

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Everton Benini**

**TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE PORTO ALEGRE:  
ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ALTERNATIVAS**

Porto Alegre  
julho 2014

**EVERTON BENINI**

**TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE PORTO ALEGRE:  
ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ALTERNATIVAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Luiz Afonso dos Santos Senna**

Porto Alegre  
julho 2014

**EVERTON BENINI**

**TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE PORTO ALEGRE:  
ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ALTERNATIVAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2014

Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna  
Ph.D. pela University of Leeds, Inglaterra  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Dra. pelo PPGA/UFRGS  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Fernando Dutra Michel (UFRGS)**  
MSc. pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna (UFRGS)**  
Ph.D. pela University of Leeds, Inglaterra

**Profa Brenda Medeiros (UFRGS)**  
MSc pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Neido e Silvane, aos meus irmãos Wellington e Evelin, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação, não mediram esforços para que eu atingisse meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna, orientador deste trabalho, pela imensa dedicação e apoio para que obtivesse êxito em minha empreitada.

Agradeço à Profa. Carin por tamanha dedicação e disponibilidade, sempre visando o crescimento do aluno.

Agradeço aos meus colegas de trabalho e do curso de graduação, por estarem ao meu lado durante esta jornada de aprendizado e crescimento pessoal.

Agradeço aos meus melhores amigos, Ricardo, Gabriel, Vinicius, Shanna, Yasmim, Leonardo, Priscylla, Bruno, por estarem sempre ao meu lado, me apoiarem e tornarem essa jornada mais leve e feliz.

Por fim, agradeço à UFRGS, por toda a estrutura e ensino de qualidade que sempre me foi disponibilizada.

O que importa na vida não é o simples fato de ter vivido.  
A diferença que fizemos na vida dos outros que vai  
determinar a importância da vida que conduzimos.

*Nelson Mandela*

## RESUMO

Este trabalho versa sobre as alternativas para a melhoria do transporte público urbano de Porto Alegre, bem como de todo o trânsito na cidade. Tendo por objetivo a análise da viabilidade das opções de transporte público que resultaria em um investimento mais eficiente por parte do governo. A análise fica restrita a três opções, as mais comumente aplicadas em grandes centros urbanos brasileiros: metrô, BRT com projeto completo e o BRT mais simples, ou também chamado de BRT leve, sem todas as características operacionais, e por consequência de menor custo. Para tanto é necessária a análise das principais características operacionais destes modais de transporte, como capacidade de transporte de passageiros, velocidade, frequência e tempo de acesso ao sistema. Como a análise vislumbra um projeto de alto investimento é necessário que o horizonte de projeto seja grande também, para que, tanto sociedade quanto investidores recuperem os investimentos feitos em sua implantação. Então é necessário que seja feita uma previsão de demanda para o correto dimensionamento do projeto, essa previsão utiliza-se de modelos matemáticos para prever a necessidade futura do modal implantado. Por fim, para que algum dos projetos seja executado é necessária a análise de viabilidade das alternativas, para que se verifique um saldo positivo para sociedade e investidores ao final do horizonte de projeto. Esta análise não aborda apenas o aspecto financeiro, verificando também ganhos sociais advindos da implantação de um dos projetos.

Palavras-chave: Transporte Público Urbano. Comparação de modais. Viabilidade Metrô BRT.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delineamento da pesquisa .....	18
Figura 2 – Evolução da frota gaúcha .....	22
Figura 3 – Divisão modal caso 1 .....	36
Figura 4 – Divisão modal caso 2 .....	37
Figura 5 – Divisão modal caso 3 .....	37
Figura 6 – Custos associado à operação e manutenção de BRT.....	54



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados inseridos nas funções de utilidade .....	36
Quadro 2 – Valor do tempo em 2006 .....	39
Quadro 3 – Valor do tempo em 2014 .....	39
Quadro 4 – Redistribuição modal em caso de implantação do metrô.....	45
Quadro 5 – Redistribuição modal em caso de implantação do BRT completo.....	45
Quadro 6 – Redistribuição modal em caso de implantação do BRT incompleto.....	46
Quadro 7 – Receita anual dos modais analisados.....	46
Quadro 8 – Benefício da redução de tempo global associado à implantação do metro....	47
Quadro 9 – Benefício da redução de tempo global associado à implantação do BRT completo .....	48
Quadro 10 – Benefício da redução de tempo global associado à implantação do BRT incompleto .....	48
Quadro 11 – Benefício total da redução de acidentes .....	52

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Situação inicial da matriz de escolha modal motorizada – corredor norte.....	44
---	----

## LISTA DE SIGLAS

BRT – *Bus Rapid Transit*

DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito

EPTC – Empresa Pública de Transporte e Circulação

IGP-M – Índice Geral de Preços do Mercado

ITS – *Intelligent Transportation Systems*

PD – Preferência Declarada

RBC – Relação Benefício/Custo

TIR – Taxa Interna de Retorno

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VLT – Veículo Leve sobre Trilhos

VPL – Valor Presente Líquido

VT – Valor do tempo

## LISTA DE SÍMBOLOS

$U_{iq}$  – utilidade aleatória para a população  $q$

$V_{iq}$  – utilidade medida para a população  $q$

$\varepsilon_{jq}$  – erro aleatório para a população  $q$

$q$  – população observada

$\Sigma$  – somatório

$\theta_i$  – parâmetro ponderador para a variável  $i$

$x_k$  – variável analisada

$P_i$  – probabilidade de escolha da opção  $i$

$V_i$  – utilidade medida para o modo  $i$

$V_j$  – utilidade medida para o modo  $j$

$n$  – número de modos

$e$  – base de logaritmo neperiano

$V_t$  – valor no ano  $t$

$\partial$  – derivada parcial

$i$  – taxa de juros anual

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	16
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA .....	16
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA .....	16
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	16
<b>2.2.2 Objetivo Secundário</b> .....	16
2.3 PRESSUPOSTO .....	16
2.4 PREMISA .....	17
2.5 DELIMITAÇÕES.....	17
2.6 LIMITAÇÕES .....	17
2.7 DELINEAMENTO .....	18
<b>3. TRANSPORTE PÚBLICO URBANO</b> .....	21
3.1 SISTEMAS DE ALTA CAPACIDADE.....	23
<b>3.1.1 Metrô</b> .....	23
<b>3.1.2 BRT</b> .....	24
3.1.2.1 BRT de projeto completo.....	26
3.1.2.2 BRT de projeto não completo.....	26
3.2 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS .....	27
<b>3.2.1 Capacidade</b> .....	27
<b>3.2.2 Velocidade operacional</b> .....	28
<b>3.2.3 Frequência</b> .....	29
<b>3.2.4 Tempo de acesso ao sistema</b> .....	29
<b>4 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES</b> .....	30
4.1 MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA.....	31
4.2 MODELO <i>LOGIT</i> .....	32
<b>4.2.1 Funções de utilidade</b> .....	32
<b>4.2.2 Probabilidade de escolha</b> .....	33
<b>4.2.3 Valor do tempo</b> .....	38
<b>5 ANÁLISE DE VIABILIDADE</b> .....	40
5.1 VIABILIDADE SOCIOECONÔMICA.....	40
<b>5.1.1 Valor Presente Líquido (VPL)</b> .....	41
<b>5.1.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)</b> .....	41
<b>5.1.3 Relação Benefício/Custo (RBC)</b> .....	41

5.1.3.1 Benefícios .....	42
5.1.3.2 Custos .....	42
5.2 VIABILIDADE POLÍTICA .....	42
5.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	42
<b>6 QUANTIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS</b> .....	44
6.1 RECEITA DO SISTEMA .....	46
6.2 REDUÇÃO DO TEMPO GLOBAL DE VIAGEM.....	46
6.3 REDUÇÃO DE ACIDENTES .....	49
<b>6.3.1 Tipos de acidentes analisados</b> .....	49
6.3.1.1 Custo de acidentes com vítimas fatais .....	49
6.3.1.2 Custo de acidentes com vítimas não fatais .....	50
6.3.1.3 Custo de acidentes com ônibus .....	51
6.3.1.4 Custo de acidentes com automóvel .....	51
<b>6.3.2 Benefício total da redução de acidentes</b> .....	51
<b>7 CUSTOS</b> .....	53
7.1 CUSTOS DO METRÔ.....	53
7.2 CUSTOS DO BRT .....	53
<b>7.2.1 Custos do BRT completo</b> .....	54
<b>7.2.2 Custos do BRT incompleto</b> .....	55
<b>8 RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO</b> .....	56
8.1 FLUXO DE CAIXA.....	56
8.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE.....	56
8.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	57
<b>9 CONCLUSÕES</b> .....	59
REFERÊNCIAS .....	61
APÊNDICE – FLUXO DE CAIXA SOCIOECONÔMICO DO METRÔ.....	64
APÊNDICE – FLUXO DE CAIXA SOCIOECONÔMICO DO BRT COMPLETO.....	68
APÊNDICE – FLUXO DE CAIXA SOCIOECONÔMICO DO BRT INCOMPLETO..	71

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento econômico do Brasil nos últimos anos, juntamente com o aumento do poder aquisitivo dos brasileiros, em especial da classe média, aliados a uma política governamental de incentivo ao consumo de bens, como o automóvel, aumentaram a taxa de motorização em quase todas as cidades brasileiras. Esse fato evidenciou a falta de planejamento de infraestrutura, pois, optando por transporte individual, aumenta-se o número de carros nas vias e, por conseguinte, o tempo médio de deslocamentos aumenta (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2012, p. 20).

Essencial para a mobilidade urbana, o transporte público é o objeto de estudo deste trabalho, pois, devido ao seu alto preço e baixa qualidade, ele foi o estopim das manifestações populares ocorridas em muitas cidades brasileiras durante o ano de 2013. Esse fato ressalta sua importância para qualquer centro urbano hoje em dia.

Evidentemente não existe uma solução em transporte público que se aplique a todas as situações e a todas as cidades. Deve-se fazer um estudo de viabilidade das alternativas para saber a que melhor se aplica a cada situação analisada. Para tanto é necessário definir os aspectos mais relevantes a serem analisados durante este estudo. São eles:

- a) viabilidade financeira;
- b) redução global nos tempos de viagem;
- c) redução dos acidentes;
- d) capacidade de investimento do governo.

Posto que a escolha modal de uma cidade passe por diversos fatores, como a demanda (MELLO, 1981, p. 73), é primordial que os modais analisados apresentem esta característica como diferencial. Os volumes de passageiros transportados em grandes centros urbanos é muito alto, apenas modais de alta capacidade podem gerar uma real mudança no cenário atual do transporte público urbanos das grandes cidades brasileiras. Os modais selecionados que têm capacidade de atender tal pré-requisito são:

- a) metrô;
- b) *Bus Rapid Transit* (BRT) completo com faixas de ultrapassagem;

c) BRT de projeto não completo.

Todos estes modais apresentam características em comum como, por exemplo, o aumento do número de passageiros transportados por hora e a diminuição do tempo global de viagem em relação ao sistema atual – características essenciais para melhoria da situação encontrada atualmente. Mas é preciso avaliar qual destes modais é o melhor para cada cidade. Por isso Mello (1981, p. 106) afirma que “[...] cada modalidade de transporte possui uma área ótima de atuação, na qual ela é mais eficiente no que tange a sua capacidade de atender a demanda existente e os custos de operação.”.

O metrô é o modal que apresenta os maiores custos (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2009, p. 32) e tempo de implantação, porém é o de maior capacidade de transporte de passageiros. Este modal é o escolhido por várias cidades como a saída para seus problemas de mobilidade, pois tem a característica de se localizar em via segregada sob o solo, fazendo com que, desta forma, os veículos já existentes não percam espaço.

Uma opção ao metrô seria um projeto completo de BRT, com faixas de ultrapassagens na área das paradas para possibilitar linhas diretas, com alta velocidade operacional e grande capacidade de transporte de passageiros por hora (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2009, p. 27). O custo deste tipo de sistema é maior que de projetos não completos de BRT, visto que, só o fato de necessitarem de maior espaço físico nas áreas das paradas, já aumentaria o custo dessa obra. Se aliado a isso, forem necessárias desapropriações, o custo sobe ainda mais, não atingindo, ainda assim um décimo do custo do metrô (BRASIL, 2008, p. 1).

Contraopondo-se a este, o BRT advindo de um projeto não completo, sem todas as características, que tem por definição fazer com que o serviço de BRT chegue o mais perto possível dos níveis de serviço atingidos pelos modais sobre trilhos (BRASIL, 2008, p. 1), seria o de mais fácil implantação em Porto Alegre. Ele preza pela diminuição do número de linhas concorrentes nos corredores especiais, aliados a características básicas de um BRT como pagamento externo ao ônibus, acesso da parada no mesmo nível do veículo, para que assim atinja níveis satisfatórios de atendimento aos usuários (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, [2013]).



Este trabalho, portando, faz uma análise de viabilidade das alternativas apresentadas. Assim, segundo os aspectos julgados mais relevantes, apresenta o modal que reflete de forma mais positiva os investimentos feitos pela sociedade. Para isso, se tem como foco as pessoas e o aumento da qualidade de vida dos cidadãos de Porto Alegre e sua Região Metropolitana.

O capítulo 2 apresenta as diretrizes que foram seguidas durante o trabalho, bem como os objetivos e as condicionantes presentes no estudo. Entre eles estão os pressupostos, premissas, delimitações e limitações, além do delineamento seguido.

Para esta análise foi necessária a caracterização das alternativas estudadas como capazes de melhorar o atual cenário do transporte público urbano de Porto Alegre. As principais características levantadas foram: a capacidade de transporte de cada um dos modais, a velocidade operacional, a frequência com que a população é atendida por cada uma das alternativas e o tempo de acesso ao sistema em questão, todos esses itens são essenciais para o ganho esperado de qualidade ao se implantar um novo sistema de transporte na Cidade e estão apresentados no capítulo 3 deste estudo.

O transporte público é uma área de suma importância para qualquer grande centro urbano, que necessita de medidas não paliativas para representar uma real mudança no atual cenário, ou seja, a solução deve ser planejada para que seja eficiente durante um longo período. Para tanto é necessário que se tenha um dimensionamento do sistema para que ele atenda, também, a demanda futura. No capítulo 4 se fez o estudo de métodos de previsão de demanda, para que se tenha o correto dimensionamento do modal a ser escolhido.

No capítulo 5, após a análise dos dados obtidos na pesquisa bibliográfica, apresenta-se a análise da viabilidade, em três esferas: econômica, socioeconômica e política, de cada um dos modais analisados. Com essa análise foi possível a conclusão do estudo, bem como o alcance de todos os objetivos propostos para esse trabalho.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: verificada a necessidade de melhoria no transporte público de Porto Alegre, qual das alternativas estudadas se apresenta com maior viabilidade?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal do trabalho é a apresentação da alternativa, dentre as estudadas, que se mostre mais viável, dentro dos aspectos analisados, para a melhoria do transporte público de Porto Alegre.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

O objetivo secundário do trabalho é a caracterização das alternativas estudadas para a melhoria do transporte público de Porto Alegre quanto aos aspectos analisados nesse estudo.

### **2.3 PRESSUPOSTO**

O trabalho tem por pressupostos:

- a) a previsão de demanda através de modelos provenientes da pesquisa de Preferência Declarada (BRASIL et al., 2006) representa o comportamento real dos usuários;

- b) o fato de o Estado ficar responsável, no caso do metrô, pela construção enquanto a iniciativa privada, por meio da empresa vencedora do processo licitatório, pela operação e pela manutenção a estrutura criada. Já no caso do BRT, a sociedade arcaria, além da construção da infraestrutura, com a manutenção da mesma, ficando a cargo das empresas operadoras do sistema apenas a operação;
- c) não foi considerado, inicialmente, nenhum tipo de incentivo/subsídio por parte dos governos, por considerar que o projeto deve ser viável desde sua implantação, para tanto não se incluiu no fluxo de caixa o aporte feito pelo governo no modal metrô;
- d) os custos, de implantação, de operação e de manutenção, que não forem atuais, foram atualizados através do Índice Geral de Preços do Mercado – IGP-M, da Fundação Getúlio Vargas;
- e) a análise contempla a escolha de apenas uma das opções estudadas, não sendo feito a análise caso a sociedade optasse por implantar duas das soluções apresentadas.

## 2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a notória queda de qualidade do transporte público de Porto Alegre vem trazendo consigo uma diminuição da qualidade de vida dos cidadãos dessa cidade e de sua Região Metropolitana. E, portanto, ao se fazerem investimentos no setor deve haver preocupação com o gasto eficiente do dinheiro público.

## 2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a Porto Alegre e sua Região Metropolitana.

## 2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho que alguns custos foram atualizados através de indicadores econômicos e não obtidos através de levantamentos atuais. Assim como o uso da base de dados da pesquisa Preferência Declarada (BRASIL et al., 2006) desconsiderando-se assim quaisquer mudanças que possam ter ocorrido durante o período subsequente ao da realização da pesquisa.

Outra limitação é a não análise de todos os modais de alta capacidade disponíveis. A análise se atem aos modais mais comumente aplicados nos grandes centros urbanos brasileiros, sendo

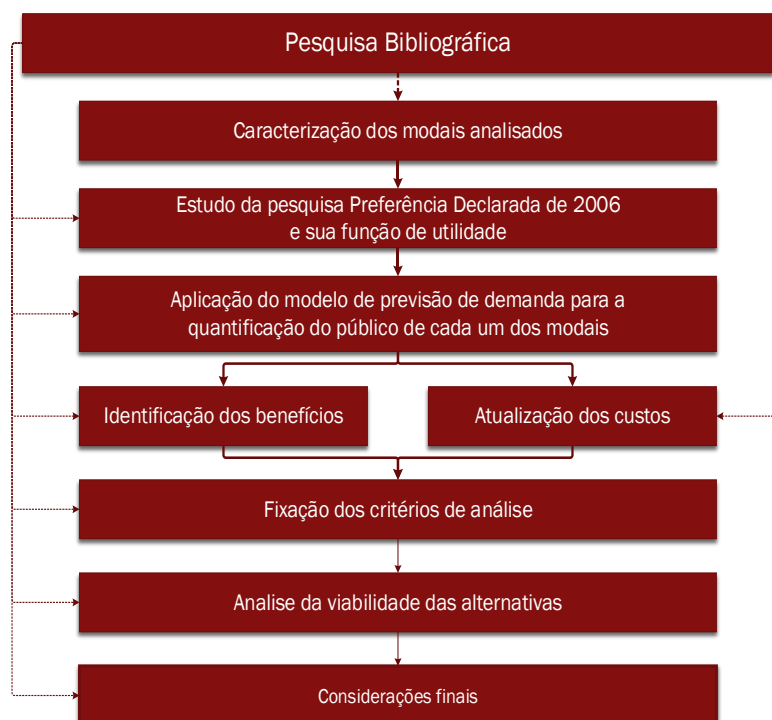
eles, o metrô e duas formas de implantação do BRT. Bem como não foram analisados todos os aspectos possíveis de um estudo dessa natureza, ficando restrito aos itens abordados nesse trabalho.

## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização dos modais analisados;
- c) estudo da pesquisa Preferência Declarada de 2006 e sua função de utilidade;
- d) aplicação do modelo de previsão de demanda para a quantificação do público de cada um dos modais;
- e) identificação dos benefícios associados aos modais;
- f) atualização dos custos;
- g) fixação dos critérios de análise
- g) análise da viabilidade das alternativas;
- h) considerações finais.

Figura 1 – Delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

A pesquisa bibliográfica acompanhou todo o processo de elaboração do trabalho. Tendo por objetivo o embasamento teórico para o bom desenvolvimento de todas as etapas subsequentes.

A caracterização dos modais analisados se deu através da obtenção das principais características de cada um dos sistemas em análise, como:

- a) capacidade;
- b) velocidade operacional;
- c) frequência;
- d) tempo de acesso.

Após o término da etapa anterior foi feito o estudo dos dados da pesquisa Preferência Declarada. Nessa etapa definiram-se os parâmetros que foram inseridos no modelo para a previsão de demanda de cada um dos sistemas analisados.

Após esta etapa estar concluída se deu a aplicação do modelo de previsão de demanda proveniente da pesquisa Preferência Declarada (BRASIL et al., 2006). Nessa etapa foram inseridos alguns parâmetros obtidos anteriormente. Sendo aplicados, sob uma faixa de variação, os parâmetros definidos como essenciais para a previsão de demanda de cada um dos sistemas. Obtendo-se assim uma previsão de público sob determinadas condições.

A etapa de identificação dos benefícios foi executada concomitantemente a etapa de atualização dos custos, visto que uma independe da outra. Considerou-se benefícios todo o item que puder ser considerado incentivador a implantação do sistema, como:

- a) retorno financeiro aos investidores do sistema;
- b) redução do tempo global de viagem;
- c) redução de acidentes com a diminuição de veículos nas ruas.

O levantamento dos custos foi concebido em três etapas:

- a) implantação;
- b) operação;
- c) manutenção.

Os custos foram obtidos de projetos já implantados, sendo atualizados através de um indexador econômico correspondente a variação do IGP-M (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS) no período entre a implantação e o estudo agora realizado.

Então se fixou os critérios para a análise comparativa dos modais, ou seja, hierarquizar quais foram os aspectos considerados mais importantes para essa análise. Somente então, foi feita a análise comparativa entre os benefícios e os custos de cada um dos modais. Nessa etapa foram analisadas questões essenciais para a viabilidade do projeto, como capacidade de atendimento à demanda existente e futura, a capacidade de investimento do governo, para que se tenha, então, a resposta para o objetivo principal do trabalho, que é a apresentação da alternativa mais viável para a sociedade, bem como subproduto desta análise a obtenção do objetivo secundário que trata-se da caracterização das alternativas, em relação aos aspectos abordados neste estudo.

Por fim, em posse dos resultados, foram feitas as considerações finais para o fechamento do trabalho.

### 3 TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Historicamente o Brasil sofreu um processo de urbanização muito acentuado desde a década de 1970, fazendo com que quase todos os centros urbanos aumentassem de tamanho. Desde 1970 até hoje, cerca de 140 milhões de pessoas foram adicionadas às cidades (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2009, p. 7). Isso por si só já ressaltaria a importância do transporte público urbano, como forma de transportar grandes quantidades de pessoas de suas casas até polos geradores de viagens. Para Mello (1981, p. 12), mesmo que as cidades também tenham se descentralizado, a periferia ainda é muito dependente das zonas centrais, em termo de empregos e serviços<sup>1</sup>.

Juntamente com o aumento da população urbana brasileira se observa, mais acentuadamente na última década, o aumento do número de pessoas que optam pelo transporte individual, verificado através do aumento da taxa de motorização dos gaúchos, como mostra a figura 2 (DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO, 2013, p. 5). Verifica-se, também, que essa opção por transporte individual se dá por conta da baixa qualidade encontrada nos atuais modos de transporte público. O ônibus normalmente é qualificado como inconveniente, inseguro e pouco confiável (BRASIL, 2008, p. 11). Unindo-se os fatores acima citados, tem-se um trânsito cada vez mais lento, tanto que o tempo médio de deslocamento nas capitais brasileiras aumentou em 20% entre 2003 a 2010 (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2012, p. 12), causando prejuízos tanto para as pessoas como ao desenvolvimento econômico de um centro urbano.

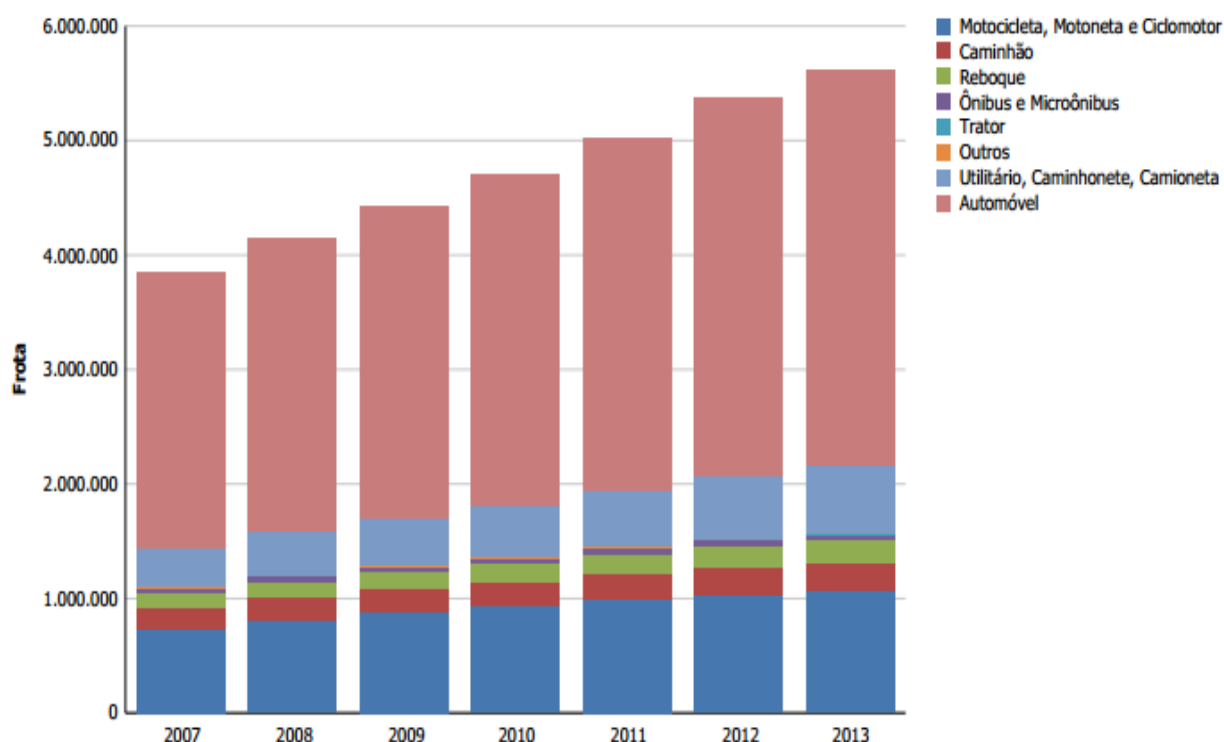
Como forma de melhoria para o atual cenário é primordial que grandes centros urbanos deem a devida importância ao transporte público. Segundo o Manual de BRT (BRASIL, 2008, p. 11):

Um transporte público eficiente é central para o desenvolvimento. Para a vasta maioria dos residentes de cidades em desenvolvimento, o transporte público é, na prática, a única maneira de acessar empregos, educação e serviços públicos, especialmente quando tais serviços estão além de distâncias viáveis para caminhar e pedalar.

---

<sup>1</sup> Prefácio escrito por Josef Barat

Figura 2 – Evolução da frota gaúcha



(fonte: DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO, 2013)

Para Mello (1981, p. 73), a escolha tecnológica de um modal está diretamente ligada a certas exigências e limitações de um centro urbano e sua população, tais como: demanda, espaço, recursos financeiros, entre outros. Na maioria dos grandes centros urbanos brasileiros, conforme Ortúzar e Willumsen<sup>2</sup> (1990 apud RAYMUNDO, 2010, p. 13) as maiores dificuldades de locomoção se encontram no horário de pico, quando a demanda por viagens é muito maior que no restante do dia. Nesse cenário, se faz necessário um modo de transporte de alta capacidade, ou seja, um transporte de massa. Este é, definido por Mello (1981 p. 12), como um sistema que movimentava grande quantidade de passageiros, por corredores com alta densidade, com grande capacidade em termos de passageiros/hora<sup>3</sup>.

Neste capítulo são apresentadas as características dos modais estudados, para que então, se pudesse fazer uma análise de acordo com os critérios estudados, daquele que traria maior benefício para a sociedade frente a seus custos de implantação.

<sup>2</sup> ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 3rd. ed. London: Wiley, 1990.

<sup>3</sup> Prefácio escrito por Josef Barat



### 3.1 SISTEMAS DE ALTA CAPACIDADE

Mello (1981, p. 75) afirma que, num primeiro momento, a escolha modal, está condicionada à demanda do sistema, por existirem impedimentos de ordem física, que determinam a capacidade de cada modal. Dessa forma existe uma faixa de atendimento ótima para cada um dos sistemas analisados.

O sistema de transporte público de Porto Alegre, em 2012, transportou um milhão e duzentos mil passageiros por dia útil, em média, evidenciando a grande demanda existente hoje na Cidade (PORTO ALEGRE, [2013]). Admitindo-se que com a implantação de um novo sistema que melhore as condições do transporte público, esse número deverá aumentar.

Verificada a necessidade de um transporte de alta capacidade, as alternativas analisadas são:

- a) metrô;
- b) BRT de projeto completo;
- c) BRT de projeto incompleto.

#### 3.1.1 Metrô

Em relação ao sistema metroviário, Mello (1981, p. 13) afirma:

Os metrôs foram introduzidos nas grandes metrópoles europeias e norte-americanas no fim do século XIX e início do século XX. O rápido aumento das distâncias de viagens e a impossibilidade de competição em tempo e velocidade por parte das alternativas de superfície favoreceram a implantação maciça de sistemas de metrô, com vista a melhorar a acessibilidade aos centros de negócios e a descentralização urbana<sup>4</sup>.

Mello (1981, p. 13) coloca ainda que os metrôs entraram em recesso em relação a construção de novas linhas, por volta de 1920 devido a popularização do automóvel, voltando a ter a antiga importância por volta de 1960, ante as perspectivas futuras da escassez de petróleo. Evidenciando a disputa entre os modos de transporte individual e coletivo, tanto em países desenvolvidos como, atualmente, em países em desenvolvimento.

O metrô sempre é considerado quando se fala em transporte de alta capacidade, muito devido a suas grandes vantagens operacionais, tais como: elevada velocidade média, aceleração e

---

<sup>4</sup> Prefácio escrito por Josef Barat.

desaceleração rápidas, grande capacidade de transporte de passageiros, que pode chegar a 80 mil passageiros por hora por sentido, além da pequena distância entre composições consecutivas, aumentando sua frequência<sup>5</sup> (MELLO, 1981, p. 13). Essa gama de características operacionais positivas se deve muito ao fato do metrô estar em uma via segregada, ou seja, sem influência externa. Isso afeta também, muito positivamente, a redução de acidentes, por não existir a interação de mais de um modal no espaço destinado ao metrô. Outro benefício comumente associado ao metrô é a redução da emissão de gases poluidores, por se tratar de um modal elétrico.

O fato da via ser segregada, muito positiva para as características do metrô, o torna o modal mais caro, dentre os estudados, para se implantar. Fazendo com que apenas grandes centros urbanos, portanto, com grande demanda, tenham capacidade de investir nessa opção

Outro grande impeditivo para a ampla utilização do metrô é seu elevado custo operacional. Conforme dados da Associação Nacional de Transportes Públicos (2007<sup>6</sup> apud ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2009, p. 19), o custo por passageiro dos sistemas avaliados é de R\$ 3,19 sem que sejam considerados os custos de capital como o valor para a aquisição do material rodante, além de oficinas e garagem.

Outro ponto que afeta negativamente o sistema de metrô é o grande prazo de execução de um projeto, que pode levar até nove anos para sua conclusão, para um trecho de 10 km. O maior em comparação com qualquer dos outros modais normalmente selecionados como alternativa para a mobilidade urbana das cidades, como o veículo leve sobre trilhos (VLT) e o BRT, além do ônibus convencional, o de mais rápida implantação (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO, 2009, p. 32).

### 3.1.2 BRT

O Manual de BRT (BRASIL, 2008, p. 12) define o sistema de *Bus Rapid Transit* (BRT) como:

---

<sup>5</sup> Prefácio escrito por Josef Barat.

<sup>6</sup> ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Sistema de informações da mobilidade urbana**: Relatório geral 2006. São Paulo, 2007.

[...] um sistema de transporte de ônibus de alta qualidade que realiza mobilidade urbana rápida e eficiente e com custo eficiente através da provisão e infraestrutura segregada com prioridade de passagem, operação rápida e frequente e excelência em *marketing* e serviços ao usuário.

A ideia central do BRT é que ele tenha desempenho e conforto semelhante às opções sobre trilhos, porém muito mais barato, com seu custo operacional podendo ser até cem vezes menor que o do metrô, por exemplo (BRASIL, 2008, p. 12). Porém para que se obtenha um sistema de alta capacidade e alta velocidade operacional é necessário que uma gama de características do projeto operacional seja atendidas, como, múltiplas posições de parada, linhas diretas e de poucas paradas, veículos com múltiplas portas, portas largas, pagamento fora do ônibus, embarque em nível, mecanismos que auxiliam a agilizar os embarques e desembarques dos passageiros. Características estas que, se bem aplicadas, refletem positivamente na velocidade operacional e capacidade do sistema (BRASIL, 2008, p. 4)

Fora estas questões quantitativas, o Manual de BRT (BRASIL, 2008, p. 14) ressalta que também as questões qualitativas são determinantes para o sucesso de um projeto BRT, podendo-se citar entre eles:

- a) facilidade de acesso ao sistema;
- b) conforto nas estações e nos ônibus;
- c) percepção de proteção e segurança;
- d) legibilidade e clareza de mapas do sistema e placas;
- e) cordialidade de funcionários e motorista;
- f) amplo reconhecimento do nome, imagem do sistema, e limpeza e profissionalismo em todo o sistema.

De forma geral, são características que, quando observadas, evocam um sentimento de confiança por parte dos usuários para com o sistema. Outro componente que contribui para que haja essa confiança é o Sistema de Tráfego Inteligente (ITS, do inglês *Intelligent Transportation Systems*), que através de painéis de informação, os usuários tem conhecimento, em tempo real, do funcionamento do sistema, tornando as viagens mais eficientes e menos estressantes (BRASIL, 2008, p. 7) aproximando dessa forma o BRT dos modernos sistemas sobre trilhos.

Um projeto de BRT pode ter diversos níveis de serviço. A seguir é feita uma comparação entre um projeto completo, que atenda a todos os requisitos mínimos para que assim seja

considerado, sabendo que quanto mais completo for o projeto, maior é a taxa de atendimento ao público, e por consequência seu custo, e um projeto que não se utiliza de todas as características operacionais.

### 3.1.2.1 BRT de projeto completo

O Manual de BRT (BRASIL, 2008, p. 15) define como um projeto completo de BRT o que obtiver no mínimo as seguintes características:

- a) vias segregadas ou faixas exclusivas na maioria da extensão do sistema troncal/corredores centrais da cidade;
- b) vias com faixas de ultrapassagem, permitindo, assim, a operação de linhas paradoras e linhas diretas;
- c) localização das vias de ônibus no canteiro central, em vez de ao lado das calçadas;
- d) existência de uma rede integrada de linhas e corredores;
- e) estações modernas, com conveniências, conforto, seguras e abrigadas;
- f) estações oferecem acesso em nível entre plataforma e veículos;
- g) estações especiais e terminais para facilitar a integração física entre linhas troncais, serviços alimentadores e outros sistemas de transporte de massa (se aplicável);
- h) cobrança e controle de tarifas antes do embarque;
- i) integração física e tarifária entre linhas, corredores e serviços alimentadores;
- j) entrada no sistema restrita a operadores autorizados;
- k) distinta identidade de mercado.

Todas essas características são fundamentais para que o nível de serviço do BRT se aproxime dos serviços sobre trilhos, como o metrô, custando uma parcela do seu custo. Há, porém, cidades que por diversos fatores, como falta de espaço físico, baixa demanda, poucos recursos financeiros ou uma opção política em não dar prioridade a esse sistema de transporte, optam por um sistema de BRT considerado não completo, afetando assim suas características operacionais de forma negativa e diminuindo o nível de atendimento aos usuários.

### 3.1.2.2 BRT de projeto não completo

Um projeto não completo de BRT pode apresentar os resultados esperados, desde que não sejam planejadas mudanças pequenas e cosméticas no serviço convencional de ônibus. Os serviços de ônibus tem uma péssima imagem junto aos usuários, muito ligado ao desempenho

abaixo do esperado. Superar essa imagem negativa requer uma completa reconstrução dos aspectos de serviço e desempenho, de forma a não banalizar a bandeira “BRT” em sistemas que fazem um esforço marginal pela melhoria do sistema (BRASIL, 2008, p. 22).

Existem diferentes meios de se compreender um BRT não completo, para o estudo foram usadas características que serão adotadas por Porto Alegre, na implantação do BRT que atuará em quatro eixos da cidade: Av. Protásio Alves, Av. Bento Gonçalves, Av. João Pessoa e Av. Padre Cacique. Eles terão por características (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, [2013]):

- a) vias segregadas ou faixas exclusivas na maioria da extensão do sistema troncal/corredores centrais da cidade;
- b) localização das vias de ônibus no canteiro central, em vez de ao lado das calçadas;
- c) existência de uma rede integrada de linhas e corredores;
- d) estações modernas, com conveniências, conforto, seguras e abrigadas;
- e) estações oferecem acesso em nível entre plataforma e veículos;
- f) cobrança e controle de tarifas antes do embarque;
- g) integração física e tarifária entre linhas, corredores e serviços alimentadores;
- h) entrada no sistema restrita a operadores autorizados.

## 3.2 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

Trata-se das características quantitativas observadas para avaliar parte do desempenho dos modais de transporte, sendo três as mais importantes:

- a) capacidade;
- b) velocidade operacional;
- c) frequência;
- d) tempo de acesso ao sistema.

### 3.2.1 Capacidade

A capacidade é parâmetro chave para a inclusão dos modais analisados na categoria “transporte de massa”, a capacidade é vital para que o projeto obtenha sucesso no seu

principal objetivo, que é absorver a grande demanda por transporte público nos principais corredores da cidade.

Nesse quesito o metrô é o que apresenta melhores resultados, podendo transportar até 80.000 passageiros por hora/sentido, enquanto o BRT completo, com faixa de ultrapassagem e linha direta pode atingir a marca de 48.000 passageiros transportados em uma hora por sentido (BRASIL, 2008). O BRT advindo de um projeto não completo, sem faixas de ultrapassagem e apenas com linhas paradora transporta até 16.200 pessoas hora por sentido (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2009, p. 31)

### **3.2.2 Velocidade operacional**

Velocidade operacional refere-se à velocidade média que um modal atinge durante seu percurso, não sendo avaliado apenas a sua velocidade em si, mas também o tempo em que o veículo fica parado para o embarque e desembarque dos passageiros. Fatores como pagamento da tarifa fora do veículo, embarque em nível, portas largas e em boa quantidade alteram sensivelmente o tempo parado do veículo, diminuindo sua velocidade operacional (BRASIL, 2008, p. 15)

Novamente o metrô apresenta os melhores resultados, atingindo velocidade de 40 km/h, superior ao BRT completo, que tem como velocidade média 35 km/h, mostrando-se próximo ao resultado obtido pelo metrô. O BRT não completo apresenta a menor velocidade operacional, 20 km/h, fazendo, por exemplo, com que o tempo que se passa dentro do veículo seja, neste modal, o dobro do passado no metrô (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2009, p. 31).

A diferença de respostas que cada modal é capaz de apresentar deve-se muito a junção de características operacionais descritas anteriormente, como as que aproximam o BRT de projeto completo ao metrô, pagamento de passagem fora do veículo e faixas de ultrapassagem que facilitem a não formação de filas, são algumas das principais delas. O BRT de projeto incompleto não apresenta essas características, o que diminui sua velocidade operacional de maneira significativa.

### **3.2.3 Frequência**

A frequência é uma variável fortemente ligada à capacidade, visto que a capacidade de cada veículo é fixa, para se aumentar o número de pessoas atendidas pelo sistema é necessário que se tenha um alto número de veículos circulando.

Nesse ponto que o BRT leva vantagem sobre o metrô, enquanto o metrô opera, em média, com 40 veículos por hora, o BRT completo pode ter até 120 veículos em uma hora e o BRT não completo tem como característica uma média de 60 veículos por hora (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2009, p. 31).

### **3.2.4 Tempo de acesso ao sistema**

O tempo de acesso refere-se a distância entre paradas ou estações consecutivas. Como o metrô, além da distância que tem que ser percorrida até a estação, tem a distância de acesso a plataforma, esse modal leva desvantagem nesse quesito. Enquanto a distância de acesso ao BRT é, na média, de 250 metros, para se acessar uma plataforma de embarque de uma estação do metrô deve-se percorrer em torno de 700 metros, aumentando assim o tempo global da viagem (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2009, p. 33).

## 4 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

O planejamento de transportes é uma etapa crucial para a melhora do cenário existente hoje. Para a melhoria dessa situação é necessário que as cidades planejem seus sistemas de transporte público urbano. Segundo *Bureau of Public Road* (1963<sup>7</sup> apud MELLO, 1981, p. 26):

O processo de planejamento dos transportes diz respeito a todas as facilidades utilizadas para a movimentação de bens e pessoas, incluindo terminais e sistemas de controle de tráfego. O processo é baseado na coleta, análise e interpretação dos dados relativos às condições existentes e ao seu desenvolvimento histórico, nas metas e objetivos da comunidade, na previsão do futuro desenvolvimento urbano e na futura demanda por transportes. Inclui não apenas a preparação do planejamento, mas também revisões periódicas e modificações provenientes das modificações que ocorrerem.

O Manual de BRT (BRASIL, 2008, p. 32) indica que a etapa inicial em um processo de planejamento refere-se à identificação da demanda atual e futura, principalmente nos corredores com maior carregamento de viagens. A partir disso se faz uma análise dos benefícios e custos de cada uma das alternativas. Idealmente deve-se contar com participação das partes envolvidas.

Com relação a previsão de demanda futura, Mello (1981, p. 45) destaca sua importância devido a grande vida útil de projetos de transporte. O projeto não pode ser superdimensionado, para que não tenha capacidade ociosa, embora isso possa acontecer nos anos iniciais de um projeto, e também não devendo estar sobrecarregado antes do tempo previsto, para que seu efeito de benefícios para a sociedade não atinja completamente seu objetivo. Mello (1981, p. 70) afirma que: “[...] por mais imperfeitos que sejam os modelos de previsão de demanda, nenhum plano de transportes urbanos poderá prescindir de sua utilização, a menos que se trate apenas de indicar soluções para o curto prazo [...]”.

Nesse capítulo são apresentados os métodos utilizados na previsão de demanda do público de um determinado modal. Ferramenta esta, crucial para o planejamento de transportes a longo prazo, de forma a tornar mais eficientes os investimentos nessa área.

---

<sup>7</sup> BUREAU OF PUBLIC ROAD, Washington, 1963.



## 4.1 MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA

Um modelo é uma tentativa de reproduzir um sistema em que se está interessado e seu comportamento através de equações matemáticas com base em certas afirmações teóricas sobre o assunto. Embora sejam simplificações eles podem ser muito complexos e depender de grande quantidade de dados para serem úteis (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011, p. 2, tradução nossa). Por exemplo, no caso de previsão de demanda para o transporte público, existe o modelo que se utiliza de dados obtidos de uma pesquisa de preferência declarada para se ter os parâmetros necessários para prever o comportamento da tomada de decisão dos usuários.

O Plano Integrado de Mobilidade Urbana (BRASIL et al., 2006) afirma que:

A pesquisa de Preferência Declarada (PD) busca compreender a estrutura de tomada de decisão dos usuários de um determinado sistema frente a modificações impostas ou até mesmo à introdução de um novo. Com base nos dados obtidos nesse tipo de pesquisa é possível quantificar alterações na divisão modal com a introdução e/ou alteração de uma modalidade de transporte.

O Plano Integrado de Mobilidade Urbana (BRASIL et al., 2006) também apresenta o método que foi utilizado no desenvolvimento da PD. São oito as etapas:

- a) definição do público alvo, variáveis e alternativas;
- b) desenho do questionário;
- c) treinamento dos pesquisadores;
- d) pesquisa piloto;
- e) análise e ajuste dos questionários;
- f) pesquisa principal;
- g) tabulação dos dados;
- h) estimativa e avaliação dos modelos.

A primeira etapa é de identificação do público alvo da pesquisa, bem com a identificação dos modais já existentes, concorrentes do novo modal. Ainda nessa etapa se faz a caracterização, através das características quantitativas, dos modais concorrentes. Define-se também o intervalo de variação dessas características. Após essa etapa se desenvolve o questionário e as fichas de declaração de preferência. As duas etapas subsequentes ocorrem

concomitantemente, pois a pesquisa piloto, com uma pequena amostra do público alvo, permite tanto a identificação de possíveis problemas na pesquisa e para o treinamento da equipe. A próxima etapa consiste em analisar os resultados e fazer os ajustes necessários. Retorna-se para a etapa dois, até que os resultados sejam satisfatórios, só então se realiza a pesquisa principal. Em posse dos resultados se faz análise de consistência desses dados, até que então, através de processos matemáticos se geram modelos de previsão de demanda. (RAYMUNDO, 2010, p. 22-23)

## 4.2 MODELO LOGIT

Ben-Akiva e Lerman<sup>8</sup> (1985 apud VIEIRA, 1996) afirmam que o modelo Logit Multinomial é muito usado em pesquisas envolvendo modais de transporte por se tratar de um modelo que analisa escolhas que envolvem mais de uma opção.

### 4.2.1 Funções de utilidade

Partindo do pressuposto que os indivíduos pertencem a uma população homogênea, que age de forma racional e têm a informação perfeita, eles sempre escolherão a opção que lhes representar a maior utilidade. A utilidade ( $U_{jq}$ ) de tal serviço para uma pessoa pode ser definida como uma função de duas variáveis: uma delas,  $V_{jq}$  é a parte mensurável, sistemática que é função dos atributos medidos, a outra componente ( $\epsilon_{jq}$ ) é a parte aleatória que reflete as idiosincrasias e gostos particulares de cada indivíduo, em conjunto com qualquer medida ou erro cometida pelo modelador (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011, p. 230, tradução nossa). Assim, a função de utilidade é:

$$U_{jq} = V_{jq} + \epsilon_{jq} \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

$U_{jq}$  = utilidade aleatória para a população q;

$V_{jq}$  = utilidade medida para a população q;

---

<sup>8</sup> BEN-AKIVA, M.; LERMAN, S. R. **Discrete Choice Analysis: theory and application to travel demand**. 5th. ed. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press, 1985.

$\varepsilon_{jq}$  = erro aleatório para a população  $q$ .

A componente racional ( $V_{jq}$ ) da fórmula 1 é uma função que soma todos os atributos que influenciam as escolhas de cada indivíduo, podendo ser expressa da seguinte forma:

$$V_{jq} = \sum_k \theta_{kj} x_{jkq} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

$V_{jq}$  = utilidade medida para a população  $q$ ;

$\theta_k$  = parâmetro ponderador;

$x_k$  = variáveis analisadas.

Os parâmetros  $\theta$  são assumidos como constantes para todos os indivíduos no conjunto homogêneo, porém são variáveis entre as alternativas consideradas.

#### 4.2.2 Probabilidade de escolha

A probabilidade de escolha de uma das opções é uma função que analisa a utilidade dessa alternativa frente à soma das outras opções disponíveis ao indivíduo no momento em que ele toma a decisão. Ben-Akiva e Lerman (1985, p. 103) definem essa função através da fórmula 3:

$$P_i = e^{V_i} / (\sum_{j=1}^n e^{V_j}) \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

$P_i$  = probabilidade de escolha da opção  $i$ ;

$e$  = base do logaritmo neperiano;

$V_i$  = utilidade da opção  $i$ ;

$V_j$  = utilidade de cada uma das  $n$  opções.

Aplicando-se as funções de utilidade definidos na pesquisa de Preferência Declarada (BRASIL et al., 2006), é possível calcular a probabilidade de escolha por parte dos usuários

de um dos modais analisados. A seguir são apresentadas as fórmulas de cada um destes modais:

$$U_M = -0,0311T_M - 0,5368C_M - 0,0527TE_M - 0,0526TC_M \quad (\text{fórmula 4})$$

$$U_{BC} = -0,0311T_{BC} - 0,5368C_{BC} - 0,0527TE_{BC} - 0,0526TC_{BC} \quad (\text{fórmula 5})$$

$$U_{BI} = -0,0311T_{BI} - 0,5368C_{BI} - 0,0527TE_{BI} - 0,0526TC_{BI} \quad (\text{fórmula 6})$$

$$U_P = -0,0311T_P - 0,5368C_N \quad (\text{fórmula 7})$$

$$U_O = -0,0311T_O - 0,5368C_O - 0,0527TE_O - 0,0526TC_O \quad (\text{fórmula 8})$$

$$U_L = -0,0311T_L - 0,5368C_L - 0,0527TE_L - 0,0526TC_L \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

$U_i$  = Utilidade da alternativa  $i$ ;

$T_i$  = Tempo gasto durante o trajeto do modal  $i$ ;

$C_i$  = Custo para se utilizar o modal  $i$ ;

$TE_i$  = Tempo de espera para acessar o modal  $i$ ;

$TC_i$  = Tempo de caminhada até o ponto de embarque do modal  $i$ ;

$M$  = Metrô;

$BC$  = BRT completo;

$BI$  = BRT incompleto;

P = Carro particular;

O = Ônibus;

L = Lotação.

Para se alimentar as fórmulas de utilidade de cada um dos modais, foram aplicadas as características operacionais descritas no capítulo anterior a um trecho de 11 km de comprimento. O tamanho do trecho foi definido a partir do comprimento do atual projeto de metrô de Porto Alegre. Obteve-se, assim, os parâmetros: tempo gasto no trajeto, tempo de espera para acessar o modal, definido a partir da frequência que cada modal apresentará. O tempo de caminhada é definido a partir da distância média entre estações/paradas de cada um dos modais.

Para o automóvel particular foi considerado uma velocidade operacional de 21,7 km/h (ARAÚJO; CYBIS, 2002), os parâmetros tempo de espera e tempo de caminhada foram anulados para este modal por se considerar que o veículo encontra-se suficientemente próximo ao usuário. Para o ônibus e lotação, Raymundo (2010, p. 26) utiliza as velocidades operacionais de 10 e 15 km/h, respectivamente, assim como o tempo de espera para ambos de 10 minutos e tempo de caminhada, também igual para os dois modais, de 7 minutos.

Para o custo da tarifa, tanto do BRT completo quanto do BRT de projeto incompleto, foi considerado igual à tarifa atual dos ônibus de Porto Alegre, da mesma forma que a lotação também é considerada o custo atual da sua tarifa para o cálculo das funções de utilidade. O custo para utilização do veículo particular foi exclusivamente o fator de mais fácil percepção para o usuário, o gasto com combustível, sendo considerado o consumo de um litro de combustível para o trecho. A tarifa do metrô foi calculada através de uma composição entre a tarifa atual do Trensurb e a tarifa de quem necessita fazer a integração com o sistema de ônibus de Porto Alegre. Em 2011, 9% dos usuários (PORTO ALEGRE, 2012) do transporte público de Porto Alegre usaram a integração, forma de se utilizar dois ônibus pagando apenas a primeira tarifa, dessa forma a tarifa do metrô é uma composição de 9% do preço da integração atualmente praticadas pelo Trensurb ( R\$4,19) e 91% pela tarifa atual no Trensurb (R\$1,70).

Quadro 1 – Dados inseridos nas funções de utilidade

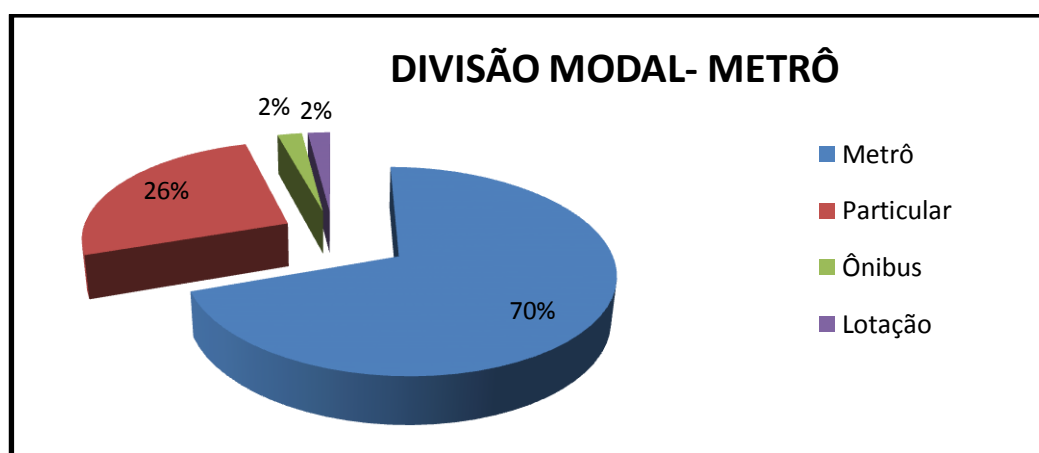
	Tempo no trajeto (min.)	Tempo de caminhada (min.)	Tempo de espera (min.)	Tarifa (R\$)
Metrô	16,5	5,25	1,5	1,95
BRT completo	22	1,88	0,5	2,95
BRT incompleto	33	1,88	1	2,95
Particular	30,4	0	0	2,8
Ônibus	66	7	10	2,95
Lotação	44	7	10	4,4

(fonte: elaborado pelo autor)

Aplicando-se os valores do quadro 1 nas fórmulas 4 a 9, obtém-se a provável nova divisão modal caso uma das alternativas seja a escolhida. São criados três cenários onde, em cada situação, apenas um dos modais é implantado. Nestes cenários os BRTs não concorreriam com o ônibus, por serem considerados uma melhoria deste sistema.

A figura 3 apresenta a divisão modal do primeiro cenário, onde o metrô é a opção escolhida. Neste cenário, estima-se, que o metrô atrairia 70% dos usuários, enquanto o transporte particular ficaria com 26% das viagens realizadas, o ônibus com 2% e a lotação com outros 2%. Este é o cenário que mais atrai usuários para o transporte público.

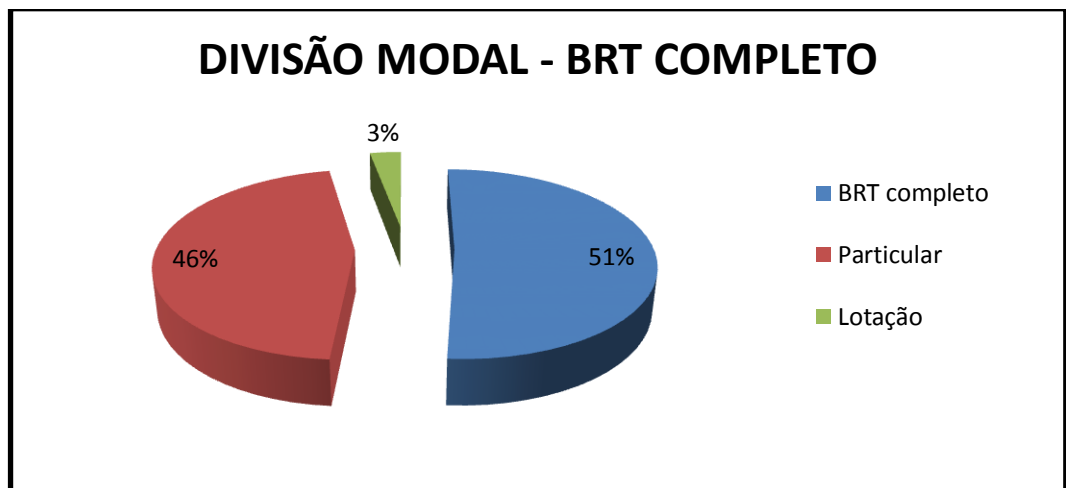
Figura 3 – Divisão modal caso 1



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 4 representa o segundo cenário de estudo, onde a opção escolhida é o BRT completo. Este modal é capaz de atrair 51% dos usuários da região. O transporte particular seria responsável por 46% das viagens e a lotação por 3%. Este é um cenário intermediário, apresenta menor atratividade do transporte público em relação ao metrô, acarretando uma mudança menos drástica na matriz de transporte.

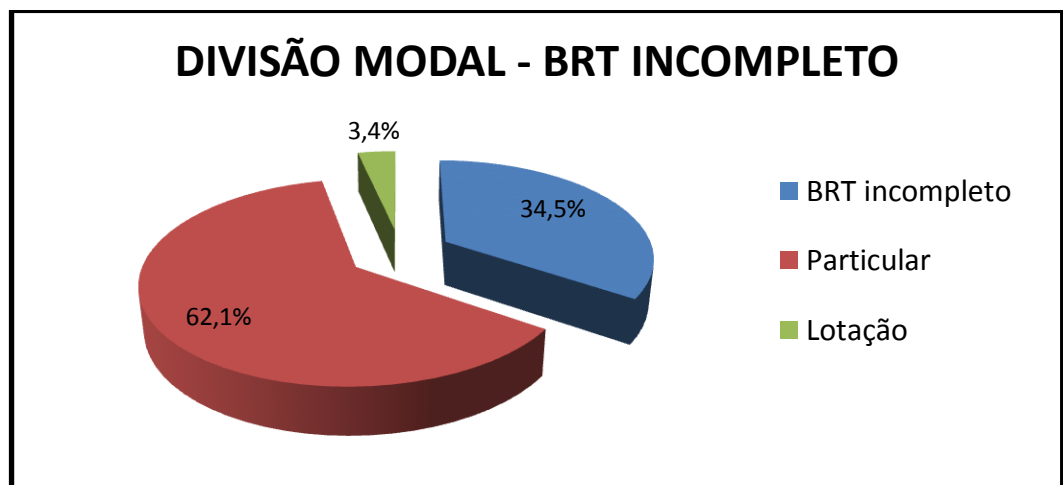
Figura 4 – Divisão modal caso 2



(fonte: elaborado pelo autor)

O último cenário, apresentado pela figura 5, é o que menos alteraria o panorama atual do transporte público. Em caso de implantação, o BRT incompleto atrairia apenas 34% dos usuários, enquanto o transporte particular ficaria com 62% dos usuários e a lotação com 3%.

Figura 5 – Divisão modal caso 3



(fonte: elaborado pelo autor)

Após a obtenção dos resultados provenientes das funções de utilidade, se faz necessário uma análise de o quanto os resultados são sensíveis a mudanças no tempo de trajeto. Esta característica é a de maior variabilidade e também, a de maior incerteza, muito devido a condições externas ao sistema, como o aumento de demanda que acarretará um maior tempo de embarque, por exemplo, fator que diminuiria a velocidade operacional.

Para fins de comparação, aumentaram-se em 10% os tempos gastos no trajeto, para então verificar-se a elasticidade da demanda com essa variação. Todos os modais apresentaram queda de aproximadamente 5% na probabilidade de escolha com o aumento do tempo no trajeto, de forma que se faz necessária uma análise de sensibilidade, para todos os itens dependentes da demanda, como os benefícios e os custos indiretos, pois não é possível assegurar que os tempos inseridos primeiramente nas funções de utilidade serão rigorosamente atendidos.

### 4.2.3 Valor do tempo

O valor do tempo é um parâmetro que estima o quanto o usuário estaria disposto a pagar por certa diminuição de tempo em seu trajeto, seja ele o tempo de caminhada, de espera no ponto de embarque ou dentro do veículo, durante o deslocamento. O cálculo deste parâmetro é importante para a avaliação dos benefícios socioeconômicos que a sociedade obtém a partir da implantação de um novo modal de transporte que diminua esses tempos.

O Estudo de Viabilidade do Metrô de Porto Alegre (BRASIL, [1997]) define esse parâmetro como sendo a derivada parcial da função de utilidade em função do tempo dividido pela derivada parcial da função de utilidade em relação ao custo, como mostra a expressão:

$$V_t = (\partial U / \partial t) / (\partial U / \partial c) \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

$V_t$  = Valor do tempo;

$\partial U / \partial t$  = Derivada parcial da função de utilidade  $U$  em relação à variável tempo;

$\partial U / \partial c$  = Derivada parcial da função de utilidade  $U$  em relação à variável custo.



Aplicando-se esse método de cálculo nas funções de utilidade definidas a partir da pesquisa de Preferência Declarada (BRASIL et al., 2006) tem-se os valores do tempo para a caminhada, a espera no ponto de embarque e da viagem, como mostra quadro 2.

Quadro 2 – Valor do tempo em 2006

No trajeto	R\$ 0,058/minuto
Caminhada	R\$ 0,098/minuto
Espera	R\$ 0,098/minuto

(fonte: BRASIL et al., 2006)

Utilizando-se da variação do IGP-M (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2014) ocorrida desde então até o presente ano, atualizou-se os valores do tempo. O quadro 3 apresenta esses valores.

Quadro 3 – Valor do tempo em 2014

No trajeto	R\$ 0,093/minuto
Caminhada	R\$ 0,161/minuto
Espera	R\$ 0,161/minuto

(fonte: elaborado pelo autor)

## 5. ANÁLISE DE VIABILIDADE

A análise de viabilidade destes projetos visa relacionar todas as variáveis significativas para cada um deles, de forma a tornar a escolha de um tomador de decisão mais racional e objetiva. A análise da viabilidade foi realizada em duas esferas, a socioeconômica e a política.

### 5.1 VIABILIDADE SOCIOECONÔMICA

Bernstein e Damodaran<sup>9</sup> (2000 apud GIACOMIN, 2008, p. 10) indicam que “[...] quando a decisão de investir está baseada apenas na análise comparativa de quantidades de recursos entrantes e de saídas referentes ao custeio do empreendimento, resultando em lucro, trata-se de viabilização econômica.”.

Este tipo de análise, normalmente é mais utilizada pelos operadores do sistema, de forma que seus investimentos resultem em lucro ao final do horizonte de projeto. Horizonte de projeto é o tempo estimado para a exploração da estrutura construída pelo Estado. Em transportes, considera-se normalmente um horizonte de projeto da ordem de 35 anos, como, por exemplo, para o metrô de Porto Alegre (BRASIL, [1997]).

Para que essa análise tome o enfoque socioeconômico, adicionam-se aos benefícios puramente econômicos os benefícios obtidos pela sociedade com a implantação do projeto, tais como a redução do tempo global de viagem e a redução dos acidentes. Esses benefícios podem ser monetarizados de forma a quantificar o quanto foi positiva a sua implantação (BRASIL, 2008, p. 50-51).

Para a análise da viabilidade socioeconômica são utilizadas três variáveis:

- a) Valor Presente Líquido (VPL);
- b) Taxa Interna de Retorno (TIR);
- c) Relação Benefício/Custo (RBC).

Em seguida são apresentados os métodos de cálculo dessas variáveis necessárias à avaliação dos projetos.

---

<sup>9</sup> BERNSTEIN, P. L., DAMODARAN, A. **Administração de investimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

### 5.1.1 Valor Presente Líquido (VPL)

Casarotto Filho e Kopittke (2010, p. 105) colocam o VPL como um método simples que consiste em trazer para o presente todos os futuros termos de um fluxo de caixa, juntando-os ao investimento inicial a uma determinada taxa de juros:

$$VPL = \sum V_t / (1+i)^t \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

VPL = valor presente líquido no ano inicial (R\$);

$V_t$  = valor no ano t (R\$);

i = taxa de juros anual (%).

### 5.1.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Casarotto Filho e Kopittke (2010, p. 120) afirmam que o método consiste no cálculo de uma taxa que zere os valores previstos no fluxo de caixa do investimento. Se essa taxa for maior que uma taxa admitida como mínima, pelo gerenciador do projeto, então, esse projeto deve ser analisado mais profundamente.

### 5.1.3 Relação Benefício/Custo (RBC)

Hoffmann et al.<sup>10</sup> (1987 apud RAYMUNDO, 2010, p. 37) definem a relação custo/benefício como “[...] o quociente entre o valor atual do fluxo de benefícios econômicos a serem obtidos e o valor atual do fluxo de custos econômicos, incluindo os investimentos necessários à implantação do sistema.”. De forma que são levantados os benefícios e os custos de cada um dos modais analisados para a composição desta variável. A seguir são apresentados os benefícios e os custos que serão quantificados nos capítulos subsequentes do trabalho.

---

<sup>10</sup> HOFFMANN, R., SERRANO, O., NEVES, E. M., THAME, A. C. M., ENGLER, J. J. C. **Administração da Empresa Agrícola**. 3. ed. São Paulo: Pioneira, 1987.

#### 5.1.3.1 Benefícios

Os benefícios utilizados no cálculo da relação benefício/custo são os valores monetarizados de toda a melhoria sentida pela sociedade com a implantação de um novo modal de transporte.

#### 5.1.3.2 Custos

Os custos levantados são os gastos necessários à construção da infraestrutura viária, os gastos com a operação do sistema, incluindo material rodante, custeio da folha salarial dos funcionários e energia. Também se mensura o custo da manutenção do sistema, tanto de infraestrutura quanto do material rodante.

### 5.2 VIABILIDADE POLÍTICA

Mello (1981, p. 35) afirma que desde meados de 1970, se busca planejar o transporte urbano no Brasil, processo este, iniciado em Recife. Essa política consistia na implantação de medidas a curto, médio e longo prazo, política essa que somente alguns anos depois foi adotada pelo governo federal da época.

Pode-se observar que, independentemente da qualidade do projeto a ser implantado, boa parcela de seu sucesso deve-se a vontade política dos administradores, tanto em âmbito municipal, estadual ou federal, de que os cidadãos realmente possam optar pelo transporte público. Sabendo que a capacidade de investimento dos governos é finita, não se pode exigir que todas as áreas sejam atendidas, de forma que o transporte público só melhorará efetivamente quando for uma das prioridades de investimento.

### 5.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Casarotto Filho e Kopittke (2010, p 311) definem que “[...] na análise de sensibilidade é estudado o efeito que a variação de um dado de entrada pode ocasionar nos resultados. Quando uma pequena variação num parâmetro altera drasticamente a rentabilidade de um projeto [...]”.

Dessa forma é necessário variar os parâmetros mais suscetíveis a erros, ou seja, os de mais difícil e imprecisa obtenção, para que o projeto se mostre não tão sensível a variação dos mesmos, como demanda e custos principalmente.

Esse tipo de análise se faz ainda mais necessária quando grande parte dos dados é oriunda de estimativas e previsões do comportamento futuro da população, tão suscetível a mudanças. A análise sensibilidade não elimina as incertezas, apenas mostra o quanto a variação dos dados pode ser significativa para os resultados obtidos.

Os parâmetros ligados à demanda são os de mais difícil estimativa, portanto deve-se fazer a análise de sensibilidade sobre os benefícios e custos provenientes da demanda, como o custo variável e todos os benefícios, visto que estes estão diretamente ligados à diminuição do transporte individual com o aumento do número de usuários do transporte coletivo. O custo de implantação também é um parâmetro importante de se inserir nessa análise devido ao ser comportamento estar ligado à macro economia, portanto, não é possível fazer uma análise que elimine o risco de uma mudança drástica e repentina no comportamento dos insumos necessários à construção, tanto da estrutura física do sistema, mas também do material rodante..

## 6. QUANTIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS

Nesse capítulo são apresentados os benefícios associados à implantação de cada um dos modais analisados. Os benefícios são divididos em duas esferas, a puramente econômica, que associa apenas a receita obtida com a venda de passagens, e a esfera socioeconômica, que leva em conta os benefícios obtidos pela sociedade a partir da implantação do modal escolhido, como a redução: do tempo de viagem e dos acidentes.

A situação atual, ou considerada inicial, do trânsito é apresentada na tabela 1 (BRASIL et al., 2006). Esse carregamento refere-se à região compreendida entre a Azenha e o terminal triângulo, na Av. Assis Brasil, trecho de maior carregamento em Porto Alegre. Os benefícios da redução do tempo global de viagem se deu a partir da comparação dessa situação inicial com a projetada assim que um dos modais analisados for implantado, conforme apresentado no capítulo 4.

Tabela 1: situação inicial da matriz de escolha modal motorizada – corredor norte

MODAL	N. DE USUÁRIOS POR DIA	TAXA DE OCUPAÇÃO (pass./veic.)	N. DE VIAGENS	DIVISÃO MODAL
ÔNIBUS	115.227	50	2.304,5	68,7%
LOTAÇÃO	28.807	11,2	2.572	17,17%
VEIC. PARTICULAR (AUTOMÓVEL)	23.692	1,5	15.794,5	14,13%

(fonte: BRASIL et al., 2006)

A partir da implantação de um novo modal, ocorre a redistribuição da matriz de deslocamentos da população, calculada no capítulo anterior. A seguir são apresentados os dados resultantes dessa redistribuição dos três cenários propostos.

O quadro 4 mostra a nova demanda diária de viagens caso a opção escolhida seja o metrô. A taxa de ocupação dos modais apresentados anteriormente é mantida nesse novo cenário. A

taxa de ocupação do metrô não é significativa para o estudo, pois não altera o número de viagens na superfície, onde essa redução é sentida pela população.

Quadro 4 – Redistribuição modal em caso de implantação do metrô

	Usuários	Taxa de ocupação	Número de viagens	Divisão modal (%)
Metrô	117.408	x	x	70
Automóvel	43.609	1,5	29.072,5	26
Ônibus	3.355	50	67,1	2
Lotação	3.355	11,2	299,5	2

(fonte: elaborado pelo autor)

O quadro 5 apresenta os dados estimados para o trecho em análise, nesse cenário a opção escolhida pela sociedade é o BRT advindo de um projeto completo. A taxa de ocupação do modal BRT é considerada a mesma porcentagem do modal ônibus. Considerando sua capacidade o dobro do ônibus convencional sua taxa de ocupação também será o dobro da taxa utilizada para o modal ônibus.

Quadro 5 – Redistribuição modal em caso de implantação do BRT completo

	Usuários	Taxa de ocupação	Número de viagens	Divisão modal (%)
BRT completo	85.540	100	855,4	51
Automóvel	77.154	1,5	51.435,97	46
Lotação	5.032	11,2	449,3	3

(fonte: elaborado pelo autor)

No caso da opção pela implantação do BRT de projeto incompleto, o cenário é apresentado pelo quadro 6. Da mesma forma que no cenário acima, essa redistribuição mantém as taxas de ocupação já apresentadas.

Quadro 6 – Redistribuição modal em caso de implantação do BRT incompleto

	Usuários	Taxa de ocupação	Número de viagens	Divisão modal (%)
BRT incompleto	57.865	100	578,65	34,5
Automóvel	104.158	1,5	69.438,56	62,1
Lotação	5.703	11,2	509,17	3,4

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.1 RECEITA DO SISTEMA

Para a quantificação do benefício associado à receita do sistema, foi considerada a quantidade de usuários descritos nos quadros apresentados neste capítulo. O valor da tarifa é o mesmo inserido nas funções de utilidade do capítulo 4. Para sua utilização no fluxo de caixa de cada modal, esse benefício foi multiplicado pelos dias de uso, considerando-se a demanda dos fins de semana como sendo a metade da demanda dos dias úteis, utilizando-se então, seis dias por semana. O quadro 7 apresenta os valores calculados.

Quadro 7 – Receita anual dos modais analisados

	metrô	BRT completo	BRT incompleto
Tarifa (R\$)	1,95	2,95	2,95
Usuários	117.408	85.540	57.865
Dias por ano	330	330	330
Receita anual (R\$)	75.552.176,70	83.273.443,11	56.332.035,05

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.2 REDUÇÃO DO TEMPO GLOBAL DE VIAGEM

O benefício associado à redução global do tempo de viagem representa o quanto o usuário ganha em tempo com a implantação de um dos modais em questão. Multiplicado este tempo pelo valor do tempo estimado no capítulo 4, tem-se o ganho monetário da sociedade com a economia de tempo tanto nas viagens, como na espera pelo transporte e também na caminhada para se acessar o modal. A fórmula 12 apresenta essa relação:



$$VRT = P_n \cdot \sum_{j=v}^{C,E} (T_j \cdot V_{t_j}) \quad (\text{fórmula 12})$$

Onde:

VRT = valor da redução do tempo global de viagem (R\$);

P<sub>n</sub> = número de pessoas associada a um modal;

T = tempo associado a j;

V<sub>t</sub> = valor do tempo em j;

V = viagem;

C = caminhada;

E = espera.

O quadro 8 apresenta a soma dos valores do benefício associado a implantação do modal metrô. Nesse quadro estão monetarizadas as economias de tempo ganhas a partir da mudança da matriz de escolhas de transporte da população. O benefício total anual associado à implantação do metrô é de R\$264.864.055,50.

Quadro 8 – Benefício da redução de tempo global associado a implantação do metrô

		metrô	automóvel	ônibus	lotação
Usuários antes da implantação		0	23.692	115.227	28.807
Usuários após a implantação		117.408	43.609	3.355	3.355
Diferença		-117.408	-19.917	111.872	25.452
Valor do tempo (R\$/min)					
0,093	Viagem (min.)	16,5	30,4	66	44
0,161	Caminhada (min.)	5,25	0	7	7
0,161	Espera	1,5	0	10	10
Benefício associado (R\$)		-101.559.559,20	-18.581.857,80	327.646.525,80	57.358.946,70

(fonte: elaborado pelo autor)

O quadro 9 apresenta o benefício obtido pela sociedade com a redução do tempo global de viagem assim que o BRT completo fosse implantado. O benefício total anual associado a implantação desse modal é R\$272.599.885,80.

Quadro 9 – Benefício da redução de tempo global associado a implantação do BRT completo

		BRT completo	automóvel	ônibus	lotação
Usuários antes da implantação		0	23.692	115.227	28.807
Usuários após a implantação		85540	77154	0	5032
Diferença		-85540	-53462	115.227	23.775
Valor do tempo (R\$/min)					
0,093	Viagem (min.)	22	30,4	66	44
0,161	Caminhada (min.)	1,88	0	7	7
0,161	Espera (min.)	0,5	0	10	10
Benefício associado (R\$)		-68.571.587,70	-49.878.724,50	337.471.077,90	53.579.123,40

(fonte: elaborado pelo autor)

O quadro 10 apresenta o benefício da redução global do tempo de viagem em relação a implantação do BRT de projeto incompleto. O benefício total anual é de R\$247.006.904,10.

Quadro 10 – Benefício da redução de tempo global associado a implantação do BRT incompleto

		BRT incompleto	automóvel	ônibus	lotação
Usuários antes da implantação		0	23.692	115.227	28.807
Usuários após a implantação		57.865	104.158	0	5703
Diferença		-57.865	-80.466	115.227	23.104
Valor do tempo (R\$/min)					
0,093	Viagem (min.)	33	30,4	66	44

0,161	Caminhada (min.)	1,88	0	7	7
0,161	Espera (min.)	1	0	10	10
Benefício associado (R\$)		-67.458.662,70	-75.072.703,20	337.471.077,90	52.067.193,41

(fonte: elaborado pelo autor)

### 6.3 REDUÇÃO DOS ACIDENTES

O benefício associado à redução de acidentes consiste na diminuição dos custos gerados com eles, ou seja, o quanto a implantação de um novo modo de transporte é capaz de amenizar essa ocorrência. Para o cálculo dessa redução se quantifica os acidentes ocorridos em um ano e a quantidade anual de quilômetros rodados por todos os modais que utilizam a região em questão, em seguida se compara com a quilometragem total dos modais em caso de implantação de um dos projetos analisado. O percentual de redução de quilômetros rodados será, também, a redução de acidentes. Para a quantificação deste benefício, devido aos dados de acidentes serem atuais (PORTO ALEGRE, 2014a), se estimou a atual quilometragem rodada na região estudada, aplicando-se os dados inseridos nas funções de utilidade do capítulo 4, porém sem serem considerados os projetos em estudo.

#### 6.3.1 Tipos de acidentes analisados

O Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) categoriza os acidentes da seguinte forma:

- a) vítimas fatais;
- b) vítimas não fatais;
- c) ônibus;
- d) automóveis

A seguir são apresentados os métodos e os custos associados a cada uma das categorias acima.

##### 6.3.1.1 Custo de acidentes com vítimas fatais

O benefício associado à redução dos custos de acidentes com vítimas fatais considera o quanto o cidadão deixa de produzir durante o tempo de vida que perdeu, esse tempo é

calculado como a diferença da expectativa dos cidadãos e a idade média das vítimas fatais de acidentes de trânsito. Essa quantidade de tempo é multiplicada pela renda *per capita* anual média da região estudada. O Estudo de Viabilidade do metrô de 1997 (BRASIL, [1997]) expressa esse cálculo através da fórmula 13:

$$V_v = (Exp_v - IM_{VF}) \cdot R_{pc} \quad (\text{fórmula 13})$$

Onde:

$V_v$  = valor da vida (R\$);

$Exp_v$  = expectativa de vida (anos);

$IM_{VF}$  = idade médias das vítimas fatais de acidentes de trânsito (anos);

$R_{pc}$  = renda *per capita* anual (R\$/ano).

Os valores utilizados para se alimentar a fórmula 13 são:

- a) expectativa de vida para o Rio Grande do Sul: 76,41 anos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014a);
- b) idade média das vítimas fatais de acidentes de trânsito: 35,93 anos (MOSCARELLI<sup>11</sup>, 2010 apud RAYMUNDO, 2010);
- c) renda *per capita* anual em Porto Alegre: R\$32.203,11 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014b).

A partir da utilização dos dados acima, estima-se que o valor de uma vida interrompida por um acidente de trânsito em Porto Alegre é de R\$1.303.581,89. Este valor é multiplicado pela estimativa da diminuição de vítimas fatais em acidentes de trânsito, assim que um dos modais for implantado.

#### 6.3.1.2 Custo de acidentes com vítimas não fatais

Da mesma forma que o benefício associado a redução de acidentes com vítimas fatais, o benefício da redução de acidentes com vítimas não fatais está diretamente ligado à diminuição da quilometragem rodada por todos os modais analisados. Como no Estudo de Viabilidade do metrô (BRASIL, [1997]), a estimativa de diminuição de acidentes foi multiplicada pelo valor

---

<sup>11</sup> MOSCARELLI, F. **Média idade**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lsenna@producao.ufrgs.br> em 12 maio 2010.

de reembolso de despesas médico-hospitalares indenizável pelo seguro Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre (DPVAT), que é de R\$2700,00 (BRASIL, 2014).

#### 6.3.1.3 Custo de acidentes com ônibus

Para o cálculo do benefício associado à diminuição de acidentes envolvendo ônibus, o Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) estimou como o valor unitário médio dos danos materiais em R\$997,41. Atualizando-se esse valor através do IGP-M, obtém-se o valor de R\$3.683,60.

#### 6.3.1.4 Custo de acidentes com automóvel

Da mesma forma que para os ônibus, os automóveis tiveram um valor médio de danos materiais estimados pelo estudo de 1997 (BRASIL, [1997]), que foi de R\$2.164,08. Com a atualização do IGP-M, o valor utilizado no cálculo do benefício é de R\$7.992,30.

### **6.3.2 Benefício total da redução de acidentes**

Partindo-se do cálculo descrito no item 6.3, para a quilometragem equivalente na situação inicial e comparando com a quilometragem equivalente de todos os modais, para cada um dos cenários estudados. A implantação do metrô gera uma redução de 72,5% na quilometragem equivalente total e por consequência essa mesma redução no número de acidentes. Em caso de implantação do BRT de projeto completo a diminuição é de 51% da quilometragem rodada por todos os modais estudados, já para o BRT de projeto incompleto, a diminuição é de 34%. O quadro 11 apresenta o resumo do benefício associado à redução de acidentes.

Quadro 11 – Benefício total da redução de acidentes

	Situação inicial	Situação após implantação metrô	Situação após implantação BRT completo	Situação após implantação BRT incompleto	Valor unitário de cada tipo de acidente (R\$)
Quilometragem equivalente diária	1175662,4	323830,2	580147,1	775790,3	
Acidentes com vítimas fatais	119	33	59	79	1.303.581,89
Acidentes com vítimas não fatais	7297	2010	3601	2482	2.700,00
Acidentes com ônibus	1664	458	821	1098	3.683,60
Acidentes com automóveis	15633	4306	7714	10316	7.992,30
Valor anual total do benefício para cada modal (R\$)		221.643.832,42	154.953.050,31	104.043.396,83	

(fonte: elaborado pelo autor)

## 7. CUSTOS

Neste capítulo são apresentados os custos associados tanto à implantação dos modais analisados, como também seus custos de operação e manutenção. Para o metrô atualizou-se o custo apresentado no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) através do IGP-M registrado durante o período. Para os projetos de BRT, os custos de implantação são considerados atuais, devido aos diversos projetos em execução no Brasil.

Os custos de implantação estão associados a construção da estrutura física necessária à operação do sistema, como estações de passageiros e as vias onde circulam os modais. Os custos fixos estão vinculados às questões de remuneração do capital, custo de mão de obra administrativa e a depreciação da frota, enquanto os custos variáveis estão ligadas a quantos quilômetros o sistema percorrerá para atender a demanda, fazendo com que se consuma mais insumos necessários à operação.

### 7.1 CUSTOS DO METRÔ

O Estudo de viabilidade do metrô de Porto Alegre (BRASIL, [1997]) estimou os custos de implantação em R\$962.456.750,00 para o ano de 1997, atualizando este valor até dezembro de 2013 chega-se ao valor de R\$3.554.507.625,13. Os custos variáveis e os custos fixos também foram atualizados, os custos variáveis foram estimados em R\$408.770.498,33 e os custos fixos em R\$388.062.440,75.

### 7.2 CUSTOS DO BRT

Os custos de implantação dos dois tipos de BRT analisados, completo e incompleto, foram estimados através dos custos de projetos semelhantes implantados no Brasil (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2011). Os custos variáveis e os custos fixos foram calculados a partir dos valores apontados na figura 6.

Figura 6 – Custos associados a operação e manutenção de BRT

Item	Unidades de medida	Valor por veículo
<b>Depreciação</b>		
Depreciação do veículo	% do valor do veículo por ano	10%
<b>Taxas financeiras</b>		
Custo do capital	Taxa de juros anuais efetivo sobre o capital investido	14%
<b>Custos fixos de operação</b>		
Salários de motoristas	Empregados/veículo	1,62
Salários de mecânicos	Empregados/veículo	0,38
Salários de pessoal administrativo e supervisores	Empregados/veículo	0,32
Outras despesas administrativas	% de custos variáveis + manutenção + pessoal	4,0%
Seguro da frota	% do valor do veículo por ano	1,8%
<b>Custos variáveis de operação</b>		
Combustível	Litros de diesel / 100 km m3 de gás natural / 100 km	70,4 74,0
Pneus		
- Pneus novos	Unidades / 100.000 km	10,0
- Recapeamento	Unidades / 100.000 km	27,6
Lubrificantes		
- Motor	litros / 10.000 km	74,6
- Transmissão	litros / 10.000 km	4,3
- Diferencial	litros / 10.000 km	5,5
- Graxa	Quilogramas / 10.000 km	3,0
Manutenção	% do valor do veículo por ano	6,0%

(fonte: BRASIL, 2008)

Os valores dos insumos inseridos no cálculo da tabela em questão são os apresentados no Edital do Transporte Público de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2014), os que não se encontravam no processo licitatório foram estimados com base nos preços praticados no mercado. Os custos fixos foram considerados iguais tanto para o BRT completo quanto para o BRT incompleto, exceto pelo tamanho da frota. Os custos variáveis são diretamente proporcionais à quantidade de quilômetros que cada modal percorre.

### 7.2.1 Custos do BRT completo

Os custos para se implantar um projeto completo de BRT, que incluía pavimento de concreto, estações de embarque fechadas, assim como as outras características descritas no capítulo 3, foram estimados em 2011 (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2011) R\$17.960.000,00 por quilômetro. O corredor analisado neste trabalho tem 11 quilômetros, então o custo total associado à implantação das obras civis, já com o custo atualizado de 2011 para 2014 através da variação do IGP-M, está estimado em R\$224.746.000,00.



Os custos fixos anual do BRT de projeto completo, partindo-se de uma frota estimada em 36 veículos, frota esta suficiente para atender a demanda semelhante, como mostra os Estudos de BRT no Brasil (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2011) foram calculados em R\$12.142.007,19 para o primeiro ano de atividade. Os custos variáveis foram estimados em R\$5.891.334,02.

### **7.2.2 Custos do BRT incompleto**

O custo de implantação do BRT de projeto incompleto, próximo ao que está sendo executado em Porto Alegre, gira em torno de R\$10.390.000,00 por quilômetro, custo esse relativo ao corredor executado na Av. Protásio Alves. (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2014) Esse custo já é referente ao ano de 2014 e multiplicando-se pelo comprimento do corredor, chega-se ao custo total de implantação de R\$114.290.000,00.

Para o cálculo dos custos fixos do BRT de projeto incompleto, foi considerado uma frota maior que a do BRT completo, por ter características operacionais inferiores. Com uma frota de 48 veículos, o custo fixo anual no primeiro ano de operação é de R\$16.034.536,43. Os custos variáveis foram estimados em R\$3.984.949,57 ao ano, no primeiro ano de operação.

## **8. RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO (RBC)**

Para o cálculo da relação benefício/custo, utiliza-se o valor presente líquido (VPL) de todos os itens presentes no fluxo de caixa para cada modal analisado. Essa relação é essencial para a análise da viabilidade de qualquer projeto.

### **8.1 FLUXO DE CAIXA**

Na elaboração do fluxo de caixa dos cenários estudados, utilizou-se a variação anual dos itens como sendo iguais à variação presente no fluxo de caixa da Atualização da Análise de Viabilidade do Metrô de Porto Alegre (RAYMUNDO, 2010). No fluxo de caixa foi considerado como tempo de implantação do metrô, cinco anos e para os BRTs o tempo de implantação considerado foi de 1 ano (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2009). A taxa de desconto utilizada é de 12% ao ano para a implantação dos projetos. O horizonte de projeto considerado para todos os modais analisados foi de 35 anos, a partir do início das obras. O fluxo de caixa de cada um dos modais estudados encontra-se no Apêndice.

### **8.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE**

Analisando de forma comparativa os fluxos de caixa é possível verificar a similaridade da ordem de grandeza dos benefícios de ambos os projetos em estudo. Os benefícios do BRT de projeto completo são os maiores já nos primeiros anos de operação, obtendo melhores resultados que o metrô devido a sua operação ocorrer em apenas um ano após o início das obras, diferentemente do metrô que precisa chegar ao sexto ano para se iniciar a operação. O BRT de projeto incompleto apresenta os piores resultados de benefícios muito devido à sua pouca capacidade de alterar a matriz de escolhas da população.

Diferentemente dos benefícios, os custos associados a implantação, operação e manutenção de cada um dos modais estudados apresenta grande variabilidade. O custo total do metrô é mais de 12 vezes maior que o custo do BRT completo e quase 17 vezes maior que o BRT

incompleto, tornando-o praticamente inviável na comparação com os outros modais, levando-se em conta o enfoque apresentado neste estudo.

Outro fato que demonstra o quanto o metrô é menos viável que os outros dois modais analisados é a TIR que apresenta. O metrô tem uma TIR de 13,5%, enquanto o BRT completo tem uma TIR de 87,7% e o BRT incompleto tem uma TIR de 91,7%.

Analisando a viabilidade socioeconômica, o BRT de projeto incompleto prece ser a melhor escolha, muito devido ao seu baixo custo de implantação, é um modal que não apresenta os melhores resultados em relação aos benefícios associados, mas sua relação benefício/custo é de 26,38. Muito próximo ao resultado obtido pelo BRT incompleto está o BRT de projeto completo, com uma relação benefício/custo de 24,6. O metrô por sua vez apresenta uma relação benefício/custo de 1,26.

Os resultados apresentados mostram que ambos projetos poderiam ser implantados, todos poderiam ser considerados viáveis, porém é importante salientar que uma variação dos parâmetros, como descrito na análise de sensibilidade, pode tornar inviável um projeto, no caso o do metrô, por ter a viabilidade mais sensível, com menores TIR e RBC.

### 8.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Para a análise de sensibilidade, admitiu-se como uma boa variação o aumento de 20% nos custos e decréscimo de 20% nos benefícios obtidos a partir da implantação de cada um dos modais analisados. Esse cenário pode não ocorrer, mas a análise é importante para se ter ideia dos riscos associados à implantação de qualquer projeto.

A partir dessa variação, o metrô apresentou a situação mais negativa. Ao final dos 35 anos do projeto, o valor presente líquido dos custos superou o das receitas, considerando uma taxa de retorno de 12%, a TIR nesse cenário é de 10,9%. A implantação de um projeto com esses resultados é ainda mais dependente de uma análise crítica e detalhada, por estar no limite entre o viável e o inviável.

O BRT de projeto completo também apresenta grande mudança nos resultados com a variação dos benefícios e custos. Porém a mudança não deixa esse projeto sob ameaça de não ser viável, pois seus resultados anteriormente já eram muito positivos, de forma que agora,

apenas são menos positivos, mas ainda considerados incentivadores do investimento. A nova TIR do BRT completo é de 67,6% e uma RBC de 16,4. Esse cenário é muito próximo ao encontrado no projeto do BRT incompleto, que também diminui seus resultados, mas não de forma a se tornar um obstáculo à sua implantação. O BRT incompleto apresenta uma TIR de 70,7% e uma RBC de 17,6.

## 9. CONCLUSÕES

O setor de transportes, ainda mais o de transporte público urbano, tem grande relevância para a sociedade. Essencial para o deslocamento de grande parte da população economicamente ativa, este setor é importante para toda a economia, principalmente para grandes centros urbanos. Investimentos nessa área devem ser precisos e eficientes, de forma a sempre contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

O investimento neste setor deve ser cuidadosamente avaliado, devido aos transtornos gerados pelas obras e o grande aporte de dinheiro público envolvido, que estaria deixando de ser aplicados em outras áreas de investimento do governo. É necessário se ter essa visão ampla de qualquer investimento, visto a natureza finita dos recursos da sociedade, o que torna ainda mais imperativo o investimento eficiente.

Após a realização das análises às quais este trabalho se propôs a fazer, desde a caracterização dos modais, previsão da demanda que cada modal é capaz de atrair e finalmente a quantificação de seus benefícios e custos, é possível concluir que dentre as opções avaliadas, a que representa o melhor investimento para a sociedade seria o BRT incompleto, seguido muito de perto pelo BRT de projeto completo, ambos apresentam características, custos e benefícios muito parecidos. Mas não se pode afirmar categoricamente que está é a melhor opção por se ter a clara noção de que alguns aspectos não foram estudados, como o quanto a sociedade ganharia indiretamente com as obras, representado pelo aumento da mão de obra para a sua construção, por exemplo.

A análise de sensibilidade é um instrumento importante para se verificar a viabilidade dos projetos estudados. Não é possível assegurar que os resultados estimados durante o estudo, ainda mais em um horizonte de projeto da ordem de 35 anos, serão atingidos em sua totalidade, de forma que a variação dos parâmetros inseridos podem mostrar os riscos de cada um dos projetos, principalmente para projetos de alto investimento que tenham seus benefícios fortemente atrelados a uma grande adesão da população, representada por uma grande demanda, como o metrô. A análise de sensibilidade também tem o caráter incentivador de um projeto, caso este se mostre pouco sensível a uma queda dos benefícios e aumento dos

custo, ou então que se mostre sensível, mas de um forma que ainda assim apresente os resultados esperados pelo tomador de decisão, como no caso deste estudo, foi o BRT incompleto e o BRT de projeto completo.

O que fica, por fim, é a necessidade de planejamento para quaisquer que sejam os projetos analisados, devendo-se ter uma análise crítica meticulosa de todo o projeto, devido ao grande número de variáveis inseridas na análise e grande incerteza intrínseca ao comportamento da população e da economia.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, D. R. C.; CYBIS, H. B. B. Aplicação do simulador de tráfego Dracula em Porto Alegre: análise comparativa com o Saturn. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTE, 16., 2002, Natal. **Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes 2002, 2001**. Natal: ANPET, 2002. V. 1. P. 341 – 352. Disponível em: <[http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/art\\_cybis5.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/art_cybis5.pdf)>. Acesso em: 13 maio 2014.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Avaliação comparativa das modalidades de transporte público urbano**. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://www.ntu.org.br/novosite/arquivos/AvaliaçãoComparativa\\_web\\_semcapa.pdf](http://www.ntu.org.br/novosite/arquivos/AvaliaçãoComparativa_web_semcapa.pdf)> Acesso em: 11 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. **Estudos de BRT no Brasil**: Caderno técnico. Brasília, 2011. Disponível em: <[http://www.energiaeambiente.org.br/arquivos/files/BRT\\_web.pdf](http://www.energiaeambiente.org.br/arquivos/files/BRT_web.pdf)>. Acesso em 29 maio 2014.

\_\_\_\_\_. **BRT Brasil**: cidades e sistemas BRT – Porto Alegre. Brasília, [2013]. Disponível em: <<http://http://brtbrasil.org.br/index.php/brt-brasil/cidades-com-sistema-brt/porto-alegre#.UpUGP8RDtvA>> Acesso em 18 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. **BRT Brasil**: cidades e sistemas BRT – Porto Alegre – BRT Protásio. Brasília, 2014. Disponível em: <[http://brtbrasil.org.br/index.php/brt-brasil/cidades-com-sistema-brt/porto-alegre/brt-prostasio#.U7Vj8PlDU\\_g](http://brtbrasil.org.br/index.php/brt-brasil/cidades-com-sistema-brt/porto-alegre/brt-prostasio#.U7Vj8PlDU_g)> Acesso em 22 jun. 2014.

BEN-AKIVA, M.; LERMAN, S. R. **Discrete Choice Analysis**: theory and application to travel demand. 5th. ed. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press, 1985.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre. **Estudo de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb**: Região Metropolitana de Porto Alegre. Brasília, [1997].

\_\_\_\_\_, Ministério das Cidades. Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre; RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Habitação e Desenvolvimento Urbano. Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional; PORTO ALEGRE. Empresa Pública de Transporte e Circulação. **Plano Integrado de Transporte e Mobilidade Urbana (PITMUrb)**: Produto P.03-03: Relatório Versão Final: Pesquisa de Preferência Declarada com os Usuários de Transporte Coletivo e Individual da Região Metropolitana de Porto Alegre. Versão 01. Porto Alegre, 2006.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Transportes e da Mobilidade Urbana. **Manual de BRT – Bus Rapid Transit**: guia de planejamento. Brasília, DF, 2008.

\_\_\_\_\_. Federação Nacional dos Seguros Privados e Capitalização. **Seguro DPVAT – Seguro Obrigatório de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.dpvatsegurodotransito.com.br/como-dar-entrada-dicas-importantes.aspx>>. Acesso em 16 jun. 2014.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKKE, B. H. **Análise de Investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Cidades**: mobilidade, habitação e escala – um chamado à ação. Brasília, DF, 2012.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO (Rio Grande do Sul). **Frota em circulação no RS**. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <[http://www.detran.rs.gov.br/uploads/13827265761\\_Frota\\_do\\_RS.pdf](http://www.detran.rs.gov.br/uploads/13827265761_Frota_do_RS.pdf)> Acesso em: 22 nov. 2013.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Instituto Brasileiro de Economia. **FGVDados**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.portalbrasil.net/igpm.htm>>. Acesso em 13 maio 2014.

GIACOMIN, J. H. **Estudo de Viabilidade Econômica-Financeira de uma Microcervejaria no Estado de Santa Catarina**. 2008. 88 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Esperança de vida ao nascer segundo projeção populacional: 1980, 1991-2030 – ambos os sexos. Brasília, 2014a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000243.pdf>>. Acesso em 16 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Cidades**. Rio Grande do Sul. Porto Alegre: síntese de informações. Brasília, 2014b. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=431490&idtema=16&search=rio-grande-do-sul|porto-alegre|sintese-das-informacoes>>. Acesso em 16 jun. 2014.

MELLO, J. C. **Planejamento dos Transportes Urbanos**. Rio de Janeiro: Campus, 1981.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 4th ed. Chichester: Wiley, 2011.

PORTO ALEGRE. Empresa Pública de Transporte e Circulação. **Transporte em números**: indicadores anuais do transporte público – modal ônibus. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <[http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu\\_doc/revista\\_onibus.pdf](http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/revista_onibus.pdf)>. Acesso em 10 maio 2014.

\_\_\_\_\_. Empresa Pública de Transporte e Circulação. **Transporte**: ônibus. Porto Alegre, [2013]. Disponível em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p\\_secao=155](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_secao=155)>. Acesso em 20 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. Secretaria Municipal da Fazenda. **Editais de Concorrência Pública 001.000233.12.9**. Permissão para serviço de transporte seletivo por lotação da categoria especial nas linhas Restinga e Belém Novo. Porto Alegre, 2014a. Disponível em: <[http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smf/usu\\_doc/edt001000233129-21082012-1430.pdf](http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smf/usu_doc/edt001000233129-21082012-1430.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2014.



\_\_\_\_\_. Empresa Pública de Transporte e Circulação. **Estatísticas**. Porto Alegre, 2014b. Disponível em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p\\_secao=203](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_secao=203)>. Acesso em 16 jun. 2014.

RAYMUNDO, B. M. **Atualização da Análise da Viabilidade do Metrô de Porto Alegre: de 1997 a 2010**. 2010. 65 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

VIEIRA, H. F. **Uma Visão Empresarial do Processo de Exportação de Produtos Containerizados Catarinenses e Análise do Nível de Serviço Logístico**. 1996. Não paginado. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

## APÊNDICE – FLUXO DE CAIXA SOCIOECONÔMICO DO METRÔ

ANO	CUSTO INVESTIMENTO	VPL	CUSTO VARIÁVEL	CUSTO FIXO	SUBTOTAL CUSTOS	REDUÇÃO TEMPO GLOBAL	REDUÇÃO DE ACIDENTES	RECEITA DO SISTEMA
2014								
2015	R\$ 986.055,00	R\$ 880.406,27			R\$ 986.055,00			
	7,47	56,67			,47			
2016	R\$ 986.055,00	R\$ 786.077,06			R\$ 986.055,00			
	7,47	14,88			,47			
2017	R\$ 986.055,00	R\$ 701.854,47			R\$ 986.055,00			
	7,47	77,57			,47			
2018	R\$ 986.055,00	R\$ 626.655,78			R\$ 986.055,00			
	7,47	83,55			,47			
2019	R\$ 986.055,00	R\$ 559.514,09			R\$ 986.055,00			
	7,47	92,45			,47			
2020			R\$ 71.098.937,58	R\$ 85.254.942,75	R\$ 156.353.880,34	R\$ 264.864.055,50	R\$ 221.643.832,42	R\$ 75.552.176,70
2021			R\$ 73.231.905,71	R\$ 85.254.942,75	R\$ 158.486.848,46	R\$ 287.351.013,81	R\$ 240.483.558,18	R\$ 81.974.111,72
2022			R\$ 75.428.862,88	R\$ 85.254.942,75	R\$ 160.683.805,63	R\$ 311.747.114,88	R\$ 260.924.660,62	R\$ 88.941.911,22
2023			R\$ 77.691.728,77	R\$ 85.254.942,75	R\$ 162.946.671,52	R\$ 338.214.444,94	R\$ 283.103.256,77	R\$ 96.501.973,67

3						
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
2	80.022.480,	85.254.942	165.277.423	366.928.851,	307.167.03	104.704.64
4	63	,75	,38	31	3,60	1,43
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
2	82.423.155,	85.254.942	167.678.097	398.081.110,	333.276.23	113.604.53
5	05	,75	,80	79	1,46	5,95
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
2	84.895.849,	85.254.942	170.150.792	431.878.197,	361.604.71	123.260.92
6	70	,75	,45	10	1,13	1,51
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
2	87.442.725,	85.254.942	172.697.667	468.544.656,	392.341.11	133.738.09
7	19	,75	,95	03	1,57	9,84
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
2	90.066.006,	85.254.942	175.320.949	508.324.097,	425.690.10	145.105.83
8	95	,75	,70	33	6,06	8,32
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
2	92.767.987,	85.254.942	178.022.929	551.480.813,	461.873.76	157.439.83
9	16	,75	,91	19	5,07	4,58
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
3	95.551.026,	85.254.942	180.805.969	598.301.534,	501.133.03	170.822.22
0	77	,75	,52	23	5,10	0,52
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
3	98.417.557,	85.254.942	183.672.500	649.097.334,	543.729.34	185.342.10
1	58	,75	,33	49	3,09	9,26
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
3	101.370.084	85.254.942	186.625.027	704.205.698,	589.946.33	201.096.18
2	,30	,75	,05	18	7,25	8,55
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
3	104.411.186	85.254.942	189.666.129	763.992.761,	640.091.77	218.189.36
3	,83	,75	,58	96	5,92	4,58
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
3	107.543.522	85.254.942	192.798.465	828.855.747,	694.499.57	236.735.46
4	,44	,75	,19	45	6,87	0,57
2						
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
0	110.769.828	85.254.942	196.024.770	899.225.600,	753.532.04	256.857.97

35	,11	,75	,86	41	0,90	4,72
2036	R\$ 114.092.922,96	R\$ 85.254.942,75	R\$ 199.347.865,71	R\$ 975.569.853,88	R\$ 817.582.264,38	R\$ 278.690.902,57
2037	R\$ 117.515.710,64	R\$ 85.254.942,75	R\$ 202.770.653,39	R\$ 1.058.395.734,48	R\$ 887.076.756,85	R\$ 302.379.629,28
2038	R\$ 121.041.181,96	R\$ 85.254.942,75	R\$ 206.296.124,71	R\$ 1.148.253.532,33	R\$ 962.478.281,19	R\$ 328.081.897,77
2039	R\$ 124.672.417,42	R\$ 85.254.942,75	R\$ 209.927.360,17	R\$ 1.245.740.257,23	R\$ 1.044.288.935,09	R\$ 355.968.859,08
2040	R\$ 128.412.589,94	R\$ 85.254.942,75	R\$ 213.667.532,69	R\$ 1.351.503.605,07	R\$ 1.133.053.494,57	R\$ 386.226.212,11
2041	R\$ 132.264.967,64	R\$ 85.254.942,75	R\$ 217.519.910,39	R\$ 1.466.246.261,14	R\$ 1.229.363.041,61	R\$ 419.055.440,14
2042	R\$ 136.232.916,67	R\$ 85.254.942,75	R\$ 221.487.859,42	R\$ 1.590.730.568,71	R\$ 1.333.858.900,14	R\$ 454.675.152,55
2043	R\$ 140.319.904,17	R\$ 85.254.942,75	R\$ 225.574.846,92	R\$ 1.725.783.593,99	R\$ 1.447.236.906,66	R\$ 493.322.540,51
2044	R\$ 144.529.501,30	R\$ 85.254.942,75	R\$ 229.784.444,05	R\$ 1.872.302.621,12	R\$ 1.570.252.043,72	R\$ 535.254.956,46
2045	R\$ 148.865.386,34	R\$ 85.254.942,75	R\$ 234.120.329,09	R\$ 2.031.261.113,66	R\$ 1.703.723.467,44	R\$ 580.751.627,76
2046	R\$ 153.331.347,93	R\$ 85.254.942,75	R\$ 238.586.290,68	R\$ 2.203.715.182,20	R\$ 1.848.539.962,17	R\$ 630.115.516,11
2	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$

0		157.931.288	85.254.942	243.186.231	2.390.810.60	2.005.665.8	683.675.33
4		,36	,75	,11	1,17	58,96	4,98
7							
2							
0	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
4		162.669.227	85.254.942	247.924.169	2.593.790.42	2.176.147.4	741.787.73
8		,02	,75	,77	1,21	56,97	8,46
V	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
P	3.554.507.6	408.770.498	388.062.44	4.351.340.5	2.581.184.34	2.162.341.1	737.081.53
L	25,13	,33	0,75	64,21	6,70	03,45	9,10

## APÊNDICE – FLUXO DE CAIXA SOCIOECONÔMICO DO BRT COMPLETO

A N O	CUSTO INVESTIME NTO	CUSTO VARIÁVE L	CUSTO FIXO	SUBTOTAL CUSTOS	REDUÇÃO TEMPO GLOBAL	REDUÇÃO DE ACIDENTES	RECEITA DO SISTEMA
20 14							
20 15	R\$ 224.746.000, 00			R\$ 224.746.000, 00			
20 16		R\$ 5.891.334,0 2	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 18.033.341,2 1	R\$ 272.599.885,80	R\$ 154.953.050,3 1	R\$ 83.273.443,1 1
20 17		R\$ 6.068.074,0 4	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 18.210.081,2 3	R\$ 295.743.616,10	R\$ 168.124.059,5 9	R\$ 90.351.685,7 7
20 18		R\$ 6.250.116,2 6	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 18.392.123,4 5	R\$ 320.852.249,11	R\$ 182.414.604,6 5	R\$ 98.031.579,0 7
20 19		R\$ 6.437.619,7 5	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 18.579.626,9 4	R\$ 348.092.605,06	R\$ 197.919.846,0 5	R\$ 106.364.263, 29
20 20		R\$ 6.630.748,3 4	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 18.772.755,5 3	R\$ 377.645.667,23	R\$ 214.743.032,9 6	R\$ 115.405.225, 66
20 21		R\$ 6.829.670,7 9	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 18.971.677,9 8	R\$ 409.707.784,38	R\$ 232.996.190,7 6	R\$ 125.214.669, 85
20 22		R\$ 7.034.560,9 2	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 19.176.568,1 1	R\$ 444.491.975,27	R\$ 252.800.866,9 8	R\$ 135.857.916, 78
20 23		R\$ 7.245.597,7 4	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 19.387.604,9 3	R\$ 482.229.343,97	R\$ 274.288.940,6 7	R\$ 147.405.839, 71
20 24		R\$ 7.462.965,6 8	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 19.604.972,8 7	R\$ 523.170.615,28	R\$ 297.603.500,6 3	R\$ 159.935.336, 09
20 25		R\$ 7.686.854,6 5	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 19.828.861,8 4	R\$ 567.587.800,51	R\$ 322.899.798,1 8	R\$ 173.529.839, 65
20		R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$

26	7.917.460,2 9	12.142.007, 19	20.059.467,4 8	615.776.004,78	350.346.281,0 3	188.279.876, 02
20 27	R\$ 8.154.984,0 9	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 20.296.991,2 8	R\$ 668.055.387,58	R\$ 380.125.714,9 1	R\$ 204.283.665, 49
20 28	R\$ 8.399.633,6 2	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 20.541.640,8 1	R\$ 724.773.289,99	R\$ 412.436.400,6 8	R\$ 221.647.777, 05
20 29	R\$ 8.651.622,6 3	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 20.793.629,8 2	R\$ 786.306.542,31	R\$ 447.493.494,7 4	R\$ 240.487.838, 10
20 30	R\$ 8.911.171,3 0	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 21.053.178,4 9	R\$ 853.063.967,75	R\$ 485.530.441,7 9	R\$ 260.929.304, 34
20 31	R\$ 9.178.506,4 4	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 21.320.513,6 3	R\$ 925.489.098,61	R\$ 526.800.529,3 4	R\$ 283.108.295, 21
20 32	R\$ 9.453.861,6 4	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 21.595.868,8 3	R\$ 1.004.063.123,0 8	R\$ 571.578.574,3 4	R\$ 307.172.500, 30
20 33	R\$ 9.737.477,4 9	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 21.879.484,6 8	R\$ 1.089.308.082,2 3	R\$ 620.162.753,1 6	R\$ 333.282.162, 83
20 34	R\$ 10.029.601, 81	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 22.171.609,0 0	R\$ 1.181.790.338,4 2	R\$ 672.876.587,1 7	R\$ 361.611.146, 67
20 35	R\$ 10.330.489, 86	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 22.472.497,0 5	R\$ 1.282.124.338,1 5	R\$ 730.071.097,0 8	R\$ 392.348.094, 13
20 36	R\$ 10.640.404, 56	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 22.782.411,7 5	R\$ 1.390.976.694,4 6	R\$ 792.127.140,3 4	R\$ 425.697.682, 13
20 37	R\$ 10.959.616, 70	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 23.101.623,8 9	R\$ 1.509.070.615,8 2	R\$ 859.457.947,2 6	R\$ 461.881.985, 12
20 38	R\$ 11.288.405, 20	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 23.430.412,3 9	R\$ 1.637.190.711,1 0	R\$ 932.511.872,7 8	R\$ 501.141.953, 85
20 39	R\$ 11.627.057, 35	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 23.769.064,5 4	R\$ 1.776.188.202,4 7	R\$ 1.011.775.381, 97	R\$ 543.739.019, 93
20 40	R\$ 11.975.869, 08	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 24.117.876,2 7	R\$ 1.926.986.580,8 6	R\$ 1.097.776.289, 44	R\$ 589.956.836, 62

20 41	R\$ 12.335.145, 15	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 24.477.152,3 4	R\$ 2.090.587.741,5 8	R\$ 1.191.087.274, 04	R\$ 640.103.167, 74	
20 42	R\$ 12.705.199, 50	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 24.847.206,6 9	R\$ 2.268.078.640,8 4	R\$ 1.292.329.692, 33	R\$ 694.511.936, 99	
20 43	R\$ 13.086.355, 49	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 25.228.362,6 8	R\$ 2.460.638.517,4 4	R\$ 1.402.177.716, 18	R\$ 753.545.451, 64	
20 44	R\$ 13.478.946, 15	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 25.620.953,3 4	R\$ 2.669.546.727,5 7	R\$ 1.521.362.822, 05	R\$ 817.596.815, 03	
20 45	R\$ 13.883.314, 54	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 26.025.321,7 3	R\$ 2.896.191.244,7 4	R\$ 1.650.678.661, 93	R\$ 887.092.544, 30	
20 46	R\$ 14.299.813, 97	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 26.441.821,1 6	R\$ 3.142.077.881,4 2	R\$ 1.790.986.348, 19	R\$ 962.495.410, 57	
20 47	R\$ 14.728.808, 39	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 26.870.815,5 8	R\$ 3.408.840.293,5 6	R\$ 1.943.220.187, 79	R\$ 1.044.307.52 0,47	
20 48	R\$ 15.170.672, 64	R\$ 12.142.007, 19	R\$ 27.312.679,8 3	R\$ 3.698.250.834,4 8	R\$ 2.108.393.903, 75	R\$ 1.133.073.65 9,71	
V P L	R\$ 200.666.071, 43	R\$ 54.762.900, 68	R\$ 88.195.985, 54	R\$ 343.624.957, 64	R\$ 4.509.520.896,1 3	R\$ 2.566.445.228, 74	R\$ 1.379.235.38 9,84



## APÊNDICE – FLUXO DE CAIXA SOCIOECONÔMICO DO BRT INCOMPLETO

A N O	CUSTO INVESTIME NTO	CUSTO VARIÁVEL	CUSTO FIXO	SUBTOTAL CUSTOS	REDUÇÃO TEMPO GLOBAL	REDUÇÃO DE ACIDENTE S	RECEITA DO SISTEMA
20 14							
20 15	R\$ 114.290.000,0 0			R\$ 114.290.000, 00			
20 16		R\$ 3.984.949,57	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 20.019.486,0 0	R\$ 247.006.904,1 0	R\$ 104.043.396, 83	R\$ 56.332.035,0 5
20 17		R\$ 4.104.498,06	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 20.139.034,4 9	R\$ 267.977.790,2 6	R\$ 112.887.085, 56	R\$ 61.120.258,0 3
20 18		R\$ 4.227.633,00	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 20.262.169,4 3	R\$ 290.729.104,6 5	R\$ 122.482.487, 83	R\$ 66.315.479,9 6
20 19		R\$ 4.354.461,99	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 20.388.998,4 2	R\$ 315.412.005,6 4	R\$ 132.893.499, 30	R\$ 71.952.295,7 6
20 20		R\$ 4.485.095,85	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 20.519.632,2 8	R\$ 342.190.484,9 1	R\$ 144.189.446, 74	R\$ 78.068.240,9 0
20 21		R\$ 4.619.648,72	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 20.654.185,1 5	R\$ 371.242.457,0 8	R\$ 156.445.549, 71	R\$ 84.704.041,3 7
20 22		R\$ 4.758.238,19	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 20.792.774,6 2	R\$ 402.760.941,6 9	R\$ 169.743.421, 44	R\$ 91.903.884,8 9
20 23		R\$ 4.900.985,33	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 20.935.521,7 6	R\$ 436.955.345,6 4	R\$ 184.171.612, 26	R\$ 99.715.715,1 1
20 24		R\$ 5.048.014,89	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 21.082.551,3 2	R\$ 474.052.854,4 8	R\$ 199.826.199, 30	R\$ 108.191.550, 89
20 25		R\$ 5.199.455,34	R\$ 16.034.536,4 3	R\$ 21.233.991,7 7	R\$ 514.299.941,8 3	R\$ 216.811.426, 24	R\$ 117.387.832, 72

20		R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
26	R\$	16.034.536,4	21.389.975,4	557.964.006,8	235.240.397,	127.365.798,
	5.355.439,00	3	3	9	47	50
20	R\$	16.034.536,4	21.550.638,6	605.335.151,0	255.235.831,	138.191.891,
27	5.516.102,17	3	0	8	26	37
20	R\$	16.034.536,4	21.716.121,6	656.728.105,4	276.930.876,	149.938.202,
28	5.681.585,23	3	6	0	92	14
20	R\$	16.034.536,4	21.886.569,2	712.484.321,5	300.470.001,	162.682.949,
29	5.852.032,79	3	2	5	45	32
20	R\$	16.034.536,4	22.062.130,2	772.974.240,4	326.009.951,	176.511.000,
30	6.027.593,77	3	0	5	58	01
20	R\$	16.034.536,4	22.242.958,0	838.599.753,4	353.720.797,	191.514.435,
31	6.208.421,59	3	2	7	46	01
20	R\$	16.034.536,4	22.429.210,6	909.796.872,5	383.787.065,	207.793.161,
32	6.394.674,23	3	6	3	25	99
20	R\$	16.034.536,4	22.621.050,8	987.038.627,0	416.408.965,	225.455.580,
33	6.586.514,46	3	9	1	79	76
20	R\$	16.034.536,4	22.818.646,3	1.070.838.206	451.803.727,	244.619.305,
34	6.784.109,90	3	3	,45	88	12
20	R\$	16.034.536,4	23.022.169,6	1.161.752.370	490.207.044,	265.411.946,
35	6.987.633,19	3	2	,17	75	05
20	R\$	16.034.536,4	23.231.798,6	1.260.385.146	531.874.643,	287.971.961,
36	7.197.262,19	3	2	,40	56	47
20	R\$	16.034.536,4	23.447.716,4	1.367.391.845	577.083.988,	312.449.578,
37	7.413.180,05	3	8	,33	26	19
20	R\$	16.034.536,4	23.670.111,8	1.483.483.413	626.136.127,	339.007.792,
38	7.635.575,46	3	9	,00	26	34
20	R\$	16.034.536,4	23.899.179,1	1.609.431.154	679.357.698,	367.823.454,
39	7.864.642,72	3	5	,76	08	69
20	R\$	16.034.536,4	24.135.118,4	1.746.071.859	737.103.102,	399.088.448,
40	8.100.582,00	3				

			3	3	,80	42	34
20	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
41	8.343.599,46	16.034.536,43	24.378.135,89	1.894.313.360,70	799.756.866,12	433.010.966,45	
20	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
42	8.593.907,44	16.034.536,43	24.628.443,87	2.055.140.565,02	867.736.199,74	469.816.898,60	
20	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
43	8.851.724,67	16.034.536,43	24.886.261,10	2.229.621.998,99	941.493.776,72	509.751.334,98	
20	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
44	9.117.276,41	16.034.536,43	25.151.812,84	2.418.916.906,71	1.021.520.747,74	553.080.198,45	
20	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
45	9.390.794,70	16.034.536,43	25.425.331,13	2.624.282.952,09	1.108.350.011,30	600.092.015,32	
20	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
46	9.672.518,54	16.034.536,43	25.707.054,97	2.847.084.574,72	1.202.559.762,26	651.099.836,62	
20	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
47	9.962.694,10	16.034.536,43	25.997.230,53	3.088.802.055,11	1.304.777.342,05	706.443.322,73	
20	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
48	10.261.574,92	16.034.536,43	26.296.111,35	3.351.041.349,59	1.415.683.416,13	766.491.005,16	
V	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
P	102.044.642,86	37.042.102,31	116.470.178,36	255.556.923,53	4.086.145.495,84	1.723.242.484,37	933.012.175,56
L							