

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

Cynthia Carolina da Costa Seidler

**TÚNEL METROVIÁRIO PELA TÉCNICA *CUT AND COVER*:
AVALIAÇÃO DAS EXTERNALIDADES NA CONSTRUÇÃO
DA LINHA 2 NA AV. ASSIS BRASIL – PORTO ALEGRE/RS**

Porto Alegre
julho 2012

CINTHIA CAROLINA DA COSTA SEIDLER

**TÚNEL METROVIÁRIO PELA TÉCNICA *CUT AND COVER*:
AVALIAÇÃO DAS EXTERNALIDADES NA CONSTRUÇÃO
DA LINHA 2 NA AV. ASSIS BRASIL – PORTO ALEGRE/RS**

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
Coorientador: Luiz Antônio Bressani

Porto Alegre
julho 2012

CINTHIA CAROLINA DA COSTA SEIDLER

**TÚNEL METROVIÁRIO PELA TÉCNICA *CUT AND COVER*:
AVALIAÇÃO DAS EXTERNALIDADES NA CONSTRUÇÃO
DA LINHA 2 NA AV. ASSIS BRASIL – PORTO ALEGRE/RS**

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, 12 de julho de 2012

Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna
PhD pela University of Leeds/UK
Orientador

Prof. Luiz Antônio Bressani
PhD pelo Imperial College/UK
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Antônio Bressani (UFRGS)
PhD pelo Imperial College/UK

Prof. João Fortini Albano (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Prof. Fernando Dutra Michel (UFRGS)
Me. pela UFSM

Prof. Luiz Afonso dos S. Senna (UFRGS)
PhD pela University of Leeds/UK

Dedico este trabalho aos meus pais, Jamir e Magda,
que sempre me apoiaram e me inspiraram,
cada um à sua maneira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna e ao Prof. Luiz Antônio Bressani, orientadores deste trabalho, por se mostrarem sempre solícitos e empenhados em me auxiliar durante a caminhada de elaboração do presente trabalho, além dos ensinamentos e oportunidade de desenvolver esse estudo com profissionais de grande competência e de tanto carisma pessoal.

Agradeço a professora Carin pela intensa dedicação, que sem sombra dúvida, tornou esse trabalho coeso e com apresentação digna de elogios. Além disso, gostaria de agradecer pela grande exigência quanto à forma de escrita dos textos. Profissionais das áreas de exatas também devem dominar gramática e ortografia, pois ter somente habilidade com a lógica e números não basta.

Agradeço aos meus pais e irmão, que mesmo sem entenderem exatamente os motivos dos mais diversos humores, sempre me deram suporte e me mostraram que se pode ir mais longe.

Agradeço ao meu companheiro de jornada e de profissão, Marcelo Langone, por sempre me compreender (ou não), tendo paciência e acreditando em mim. Também agradeço pelas diversas revisões do trabalho e pela grande contribuição com ideias.

Agradeço aos meus colegas da disciplina de trabalho de diplomação pela solidariedade e compartilhamento das aflições durante a elaboração dos trabalhos.

Por fim, deixo meus agradecimentos a todos os demais que contribuíram direta ou indiretamente na elaboração desse trabalho.

E aqueles que foram vistos dançando foram julgados
insanos por aqueles que não podiam escutar a música.

Friedrich W. Nietzsche

RESUMO

O presente trabalho versa sobre os custos indiretos que não foram previstos durante a escolha da técnica de construção do metrô de Porto Alegre na Avenida Assis Brasil no trecho compreendido entre a estação Obirici e a de integração multimodal Triângulo. A análise realizada neste trabalho estimou alguns custos que as pessoas terão de arcar durante o período de obras, devido à utilização da técnica *cut and cover*, para a construção do túnel que abrigará parte da Linha 2 do futuro metrô. Esses custos são denominados de externalidades, ou seja, são os custos que são impostos à sociedade e que não são pagos de forma financeira direta, mas através de malefícios ou de benefícios gerados. Essa análise foi realizada comparando o custo do transtorno para o meio antrópico durante o período de obras no trecho de estudo com o custo de implantação da infraestrutura do túnel do metrô nesse local. As análises quantitativas dos custos devido aos transtornos no meio antrópico foram relativas ao aumento do tempo despendido em congestionamento pelos usuários da via, ao maior desgaste dos veículos, à emissão extra de poluentes e ao impacto no sistema de ônibus devido ao maior tempo para percorrer o mesmo trajeto. Através das análises, pode-se chegar à conclusão que a externalidade mais significativa é a do tempo gasto em congestionamento pelos usuários da via, que representa prejuízo equivalente à 24% dos custos estimados para a implantação do metrô no trecho estudado. De maneira secundária, os custos do desgaste dos veículos, do impacto no sistema de ônibus e da emissão de poluentes tiveram valores considerados não expressivos perante o custo do tempo das pessoas, mas ainda assim, quando somados ao custo do tempo em congestionamento, resultam em um valor de aproximadamente 27%. Considerando esse acréscimo de custo ao valor de construção, surgem indagações sobre as vantagens financeiras da técnica prevista para ser utilizada na implantação da infraestrutura, pois outras técnicas, apesar de parecerem mais onerosas em uma primeira análise, poderiam apresentar menor valor global, uma vez que não causam tantos impactos ao meio antrópico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática das etapas do trabalho	17
Figura 2 – Etapas de execução do <i>cut and cover</i>	24
Figura 3 – Estudo do sistema metroviário metropolitano	39
Figura 4 – Trecho subterrâneo em galerias: vias laterais	41
Figura 5 – Trecho subterrâneo em galerias: vias superpostas	41
Figura 6 – Trecho em elevado	42
Figura 7 – Trecho subterrâneo em rocha: vias laterais	42
Figura 8 – Trecho subterrâneo em rocha: vias superpostas	43
Figura 9 – Estação tipo 1: elevada com uma plataforma central	44
Figura 10 – Estação tipo 2: elevada com duas plataformas laterais	44
Figura 11 – Estação tipo 3: subterrânea com duas plataformas laterais no mesmo nível	44
Figura 12 – Estação tipo 4: subterrânea com duas plataformas laterais em dois níveis ...	45
Figura 13 – Estação tipo 5: subterrânea com um plataforma lateral em dois níveis	45
Figura 14 – Traçado da Linha 2 do metrô e localização das estações	46
Figura 15 – Avenida Assis Brasil e seus trechos	51
Figura 16 – Fluxo de automóveis ao longo do dia	53
Figura 17 – Fluxo de pessoas em automóveis ao longo do dia	53
Figura 18 – Fluxo de ônibus ao longo do dia	54
Figura 19 – Fluxo de pessoas em ônibus ao longo do dia	54
Figura 20 – Velocidade operacional de automóveis ao longo do dia	55
Figura 21 – Velocidade operacional de ônibus ao longo do dia	55
Figura 22 – Correlação entre velocidade operacional e fluxo de automóveis direção bairro-centro	57
Figura 23 – Correlação entre velocidade operacional e fluxo de automóveis direção centro-bairro	57
Figura 24 – Correlação entre velocidade operacional e fluxo de ônibus direção bairro- centro	57
Figura 25 – Correlação entre velocidade operacional e fluxo de ônibus direção centro- bairro	58
Figura 26 – Cronograma de obra do metrô	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos estaqueamentos e tipologias das estações e vias	47
Quadro 2 – Custos estimados de implantação da Linha 2 do metrô de Porto Alegre em 1996	48
Quadro 3 – Custos estimados de implantação da Linha 2 do metrô de Porto Alegre em 2012	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidade operacional com obras	59
Tabela 2 – Tempo adicional despendido pelas pessoas em automóveis	63
Tabela 3 – Tempo adicional despendido pelas pessoas em ônibus	64
Tabela 4 – Custo operacional dos automóveis no trecho de estudo	66
Tabela 5 – Custo operacional dos ônibus no trecho de estudo	67
Tabela 6 – Emissão de poluentes por automóveis	71
Tabela 7 – Emissão de poluentes por ônibus	72
Tabela 8 – Resumo dos custos com externalidades	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	14
2.2.1 Objetivo principal	14
2.2.2 Objetivos secundários	14
2.3 HIPÓTESE	15
2.4 PRESSUPOSTO	15
2.5 PREMISSAS	15
2.6 DELIMITAÇÕES	15
2.7 LIMITAÇÕES	16
2.8 DELINEAMENTO	16
3 CONSTRUÇÃO DE TÚNEL	19
3.1 POR QUE CONSTRUIR NO SUBTERRÂNEO?	19
3.1.1 Uso do solo e localização geográfica	20
3.1.2 Isolamento	21
3.1.3 Preservação ambiental	21
3.1.4 Razões topográficas	22
3.1.5 Benefícios sociais	22
3.2 <i>CUT AND COVER</i>	23
4 EXTERNALIDADES DEVIDAS À CONSTRUÇÃO DO TÚNEL DO METRÔ EM PORTO ALEGRE	26
4.1 BENEFÍCIOS AVALIADOS PELO ESTUDO DE VIABILIDADE DE EXPANSÃO DO SISTEMA TRENSURB	26
4.1.1 Redução do tempo de viagem	27
4.1.2 Redução dos custos de operação e manutenção de veículos	28
4.1.3 Redução dos acidentes	30
4.1.4 Redução da emissão de poluentes	32
4.2 EXTERNALIDADES NÃO AVALIADAS PELO ESTUDO DE VIABILIDADE DE EXPANSÃO DO SISTEMA TRENSURB	34
4.2.1 Custo do tempo despendido em congestionamentos	34
4.2.2 Custo do impacto no sistema de ônibus	35
4.2.3 Custo da desvalorização imobiliária e da redução de vendas ou fechamento de estabelecimentos comerciais	36

5 OBJETO E ÁREA DE ESTUDO	38
5.1 A LINHA 2 DO METRÔ DE PORTO ALEGRE	38
5.1.1 A concepção da Linha 2 do metrô	40
5.1.2 Custos estimados para a implantação do metrô	48
5.2 A AVENIDA ASSIS BRASIL E O TRECHO DE ESTUDO	50
5.2.1 As características atuais do trecho de estudo	52
5.2.2 Transtornos no trecho de estudo devido à obra	55
6 O CUSTO DOS TRANSTORNOS DEVIDO À CONSTRUÇÃO DO METRÔ NO TRECHO DE ESTUDO	61
6.1 CUSTO DO TEMPO DESPENDIDO EM CONGESTIONAMENTO	61
6.2 CUSTO DO TEMPO DE VIAGEM	64
6.3 CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ÔNIBUS E AUTOMÓVEIS	65
6.4 CUSTO DO IMPACTO NO SISTEMA DE ÔNIBUS	68
6.5 CUSTO DOS ACIDENTES	68
6.6 CUSTO DA EMISSÃO DE POLUENTES	69
6.7 CUSTO DA DESVALORIZAÇÃO IMOBILIÁRIA E DA REDUÇÃO DE VENDAS OU FECHAMENTO DE ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS	73
7 CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE A	79
APÊNDICE B	88
ANEXO A	92

1 INTRODUÇÃO

Há muitos anos a população de Porto Alegre aguarda a implantação de um sistema de transporte urbano em massa de grande magnitude, mais especificamente, o metrô. Muitos estudos já foram realizados nesse âmbito, principalmente no que diz respeito ao traçado que melhor se adaptaria às necessidades da população, entretanto a definição da tecnologia construtiva ainda está à mercê de estimativas de custos diretos de implantação, devido a questões orçamentárias entre município, estado e federação. Aspectos quantitativos comparáveis de custos indiretos, advindos da fase de implantação, *a priori* não estão devidamente englobados no estudo de viabilidade econômica.

O presente trabalho visa abordar questões econômicas relativas à construção do túnel metroviário com a técnica *cut and cover* na região da avenida Assis Brasil em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, no que se refere aos possíveis impactos causados durante a sua execução, pois a técnica, assumida pela prefeitura de Porto Alegre, possui característica de elevado impacto no meio antrópico em função de fortes intervenções no ambiente urbano. Tais interferências irão desmobilizar áreas de intensa circulação na cidade durante a fase de construção, devido a sua característica de bloqueio da superfície até que sejam concluídas as obras estruturais no subterrâneo e que haja a recuperação completa da área superficial.

A análise, desenvolvida no presente estudo, visa à avaliação qualitativa e quantitativa, considerando o aspecto monetário, das perturbações impostas durante a fase de construção do túnel. Esses transtornos foram avaliados segundo os prejuízos na circulação em geral, como tempo gasto em congestionamentos, necessidade de maior frota de ônibus para atendimento da demanda de passageiros, consumo adicional de combustíveis e aumento da poluição, sendo que os custos com esses transtornos serão denominados de externalidades por se adequarem formalmente ao objetivo do estudo, pois externalidade nada mais é do que “[...] um custo ou um benefício imposto a alguém por ações de outros, sem compensação.” (OLIVEIRA, 2010, p. 19).

Para tanto, nos capítulos que seguem são abordadas questões relativas a túneis e às externalidades. O capítulo 2 contém as diretrizes utilizadas para este trabalho e são de fundamental importância para o correto entendimento da razão e das limitações do estudo. O

capítulo 3 discorre sobre motivações que levam à construção no subterrâneo e sobre a técnica *cut and cover* utilizada para a execução de túneis. No capítulo 4, são tratadas formas de avaliação das externalidades que podem ser resultado da utilização da técnica *cut and cover*. No capítulo 5, é apresentado à área de estudo e o metrô de Porto Alegre propriamente dito e, no capítulo 6, são calculadas e analisadas as externalidades decorrentes da obra do metrô. Por fim, no capítulo 7, são apresentadas as considerações finais deste trabalho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

No presente capítulo estão apresentadas: a questão, os objetivos, a hipótese, o pressuposto, as delimitações e as limitações da pesquisa, além de englobar o delineamento do trabalho para uma melhor orientação e explicação de como o estudo será desenvolvido.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: considerando a utilização da técnica construtiva *cut and cover* para a execução do túnel do metrô de Porto Alegre na avenida Assis Brasil, entre as futuras estações Obirici e Triângulo, qual é a relação entre os custos diretos (estimados pela Prefeitura) e as externalidades da obra (custos devido aos impactos no meio antrópico) durante a construção do túnel do metrô?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos do trabalho são divididos em principal e secundários e apresentam-se nos itens subsequentes.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a quantificação, através de custos, dos impactos a serem causados no meio antrópico pela utilização da técnica *cut and cover*, na avenida Assis Brasil, entre as estações Obirici e Triângulo, em Porto Alegre, em relação aos custos diretos estimados para a implantação da obra.

2.2.2 Objetivos secundários

Considerando-se as características da área antes da intervenção os objetivos secundários do trabalho são a estimativa e a descrição:

- a) dos transtornos na dinâmica de circulação;
- b) das consequências nas velocidades operacionais dos veículos;
- c) do tempo adicional despendido no trânsito devido à obra.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que os impactos no meio antrópico, quando traduzidos em custos, são equivalentes a 20% dos custos diretos da obra e deveriam necessariamente ser considerados na avaliação da viabilidade da técnica escolhida – *cut and cover* – para a execução do túnel do metrô de Porto Alegre na avenida Assis Brasil.

2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto a construção do metrô na avenida Assis Brasil em Porto Alegre, considerando que o trecho entre as estações Obirici e Triângulo ocorrerá segundo o traçado original (projetado em 1996) e que a técnica a ser aplicada para a construção do túnel metroviário será a *cut and cover*.

2.5 PREMISAS

É premissa do trabalho que a escolha de técnicas construtivas para obras que causam grande impacto na região na qual se desenvolvem deve considerar não só custos diretos da sua aplicação, mas também as externalidades impostas.

2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar, durante o período de obras, os impactos da construção do metrô na avenida Assis Brasil, entre a estação Obirici e a estação de integração multimodal Triângulo, no seu trecho subterrâneo.

2.7 LIMITAÇÕES

São limitações do presente trabalho:

- a) os dados utilizados no estudo serão aqueles disponibilizados pelas instituições ou pessoas que os possuam, podendo ocorrer imprecisões;
- b) alguns parâmetros serão os mesmos do projeto de 1996, com simples atualização por índices de inflação ou por extrapolação de curvas de dados;
- c) muitas das inferências do estudo terão, inevitavelmente, a influência do julgamento da autora;
- d) o número de distúrbios causados pela obra estará limitado a algumas variáveis definidas durante o estudo.

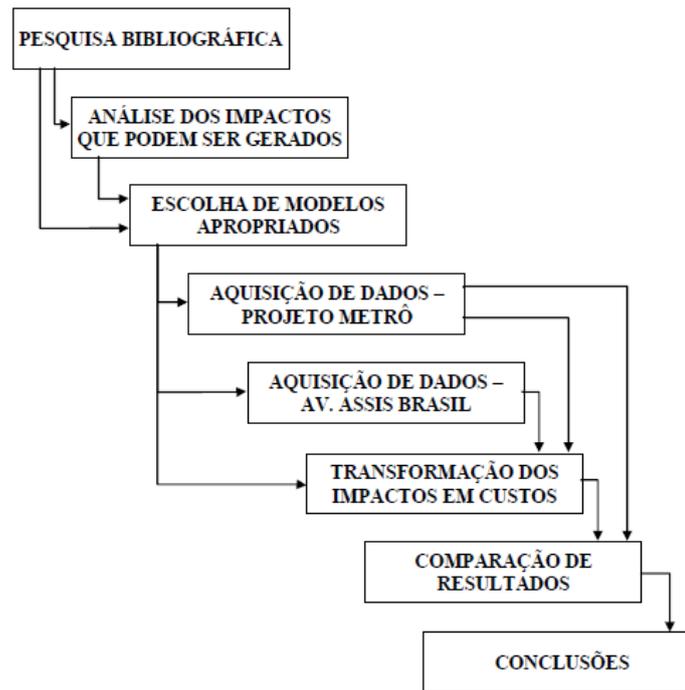
2.8 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) análise das externalidades que podem ser gerados pela obra na região;
- c) escolha de modelos apropriados para avaliação de custos com externalidades;
- d) aquisição de dados atualizados sobre o projeto do metrô;
- e) aquisição de dados sobre a utilização da avenida Assis Brasil;
- f) transformação das externalidades em custos;
- g) comparação do resultado com o custo estimado da obra;
- h) conclusões.

Estas mesmas etapas estão representadas esquematicamente na figura 1, em forma de diagrama e serão descritas nos parágrafos que seguem.

Figura 1 – Representação esquemática das etapas do trabalho



(fonte: elaborada pela autora)

Para que o presente trabalho tivesse embasamento capaz de validar o estudo, realizou-se pesquisa bibliográfica referente ao assunto em livros, artigos, dissertações, teses, entre outros que apresentassem conteúdo científico. Essa pesquisa bibliográfica resultou em capítulos que descrevem os motivos pelos quais se constrói no subterrâneo, explicam a técnica construtiva do *cut and cover* e suas características e, também, discriminam e apresentam formas de quantificar monetariamente os impactos que por ele podem ser causados, ou seja, através dessas análises foi possível inferir os modelos necessários para a transformação dos impactos em custos.

Os modelos escolhidos definiram quais variáveis deveriam ser coletadas para a quantificação dos custos, tais variáveis são referentes ao projeto atualizado do metrô e das condições atuais da avenida Assis Brasil (trânsito de pessoas, velocidade de veículos), bem como variáveis mais genéricas (como renda *per capita*, custo operacional e de manutenção de veículos). Com isso foi possível definir as fontes de dados (literatura, órgãos públicos, mercado) utilizadas para a realização do trabalho. Procurou-se utilizar fontes com credibilidade para que as informações fossem as mais corretas e confiáveis possíveis.

Após a obtenção dos dados necessários para a aplicação dos modelos de transformação de impactos em custos os mesmos foram utilizados nas respectivas fórmulas, para que, assim, fosse obtido o valor dos custos com externalidades, essencial para que as análises monetárias fossem realizadas. De posse do valor monetário dos custos, comparativos financeiros mais realistas puderam ser traçados, e permitiram, assim, gerar conclusões mais rigorosas que confirmam a hipótese lançada no trabalho.

3 CONSTRUÇÃO DE TÚNEL

Antes de abordar questões relativas às externalidades negativas advindas dos impactos da construção de túnel metroviário, é importante que se tenha uma boa noção das razões que conduzem o homem a construir no subterrâneo, quais são os métodos usuais utilizados para esse fim e quais seriam as motivações da utilização da técnica *cut and cover* para a construção do túnel metroviário em Porto Alegre. Com a intenção de apresentar esses assuntos ao leitor, neste capítulo serão explanadas ideias referentes ao tema, para que assim seja possível uma melhor compreensão sobre os benefícios e desvantagens do uso do subterrâneo, bem como os benefícios e desvantagens da utilização da técnica *cut and cover*.

3.1 POR QUE CONSTRUIR NO SUBTERRÂNEO?

Sabe-se que construir estruturas no subterrâneo não é uma tarefa trivial e acaba requerendo conhecimentos e técnicas mais avançadas de Engenharia para este intuito, principalmente em ambiente de elevada urbanização. Desta forma surge a questão de quais são os benefícios de construir uma estrutura abaixo do nível do terreno, pois se trata de uma construção mais onerosa. Pensando nas dúvidas que surgem a esse respeito, diversos autores abordaram o assunto a fim de demonstrar a importância e os benefícios do uso desse espaço.

Sterling e Godard (2002, p. 3-4, tradução nossa) explicam que inicialmente deve-se compreender algumas características intrínsecas ao espaço subterrâneo, tais como:

- a) ser um espaço onde é possível abrigar infraestrutura ou atividades que não são desejáveis de serem instaladas na superfície;
- b) oferecer proteção natural (térmica, mecânica e acústica);
- c) proteger o ambiente superficial de riscos e/ou perturbações que poderiam ser causados pelas atividades realizadas no subterrâneo;
- d) ser opaca, ou seja, sua interferência visual com o ambiente só se dá através das conexões diretas com a superfície.

Ainda Sterling e Godard (2002, tradução nossa) enumeram as vantagens e os motivos que conduzem à utilização do espaço subterrâneo de forma mais intensiva e melhor planejada, em termos de:

- a) uso do solo e localização geográfica;
- b) isolamento (clima, desastres naturais, proteção, contaminação e segurança);
- c) preservação ambiental (estética e ecológica);
- d) razões topográficas;
- e) benefícios sociais.

Essas razões que justificam a utilização do espaço subterrâneo estão melhor abordadas nos itens que seguem.

3.1.1 Uso do solo e localização geográfica

De acordo com Sterling e Godard (2002, p. 4, tradução nossa):

Em muitos casos, o uso do subterrâneo é o resultado da falta de espaço na superfície. O espaço subterrâneo viabiliza que uma edificação seja construída em um local onde as condições superficiais do terreno não permitem, tanto por falta de espaço, quanto pela construção não ser bem vinda pela comunidade local. [...] por exemplo: redes de serviços públicos, armazenamento de materiais menos desejáveis, estacionamentos.

Além disso, muitas vezes há a necessidade de separar as atividades de transporte conflitantes ou de fornecer conexões fáceis entre eles. A distribuição de pedestres em torno das principais estações de trem e locais de troca de modalidade de transporte ônibus/trem são exemplos deste tipo de necessidade. A separação dos vários tipos de modais de transporte é muitas vezes desejável e colocar um corredor subterrâneo geralmente impacta muito menos a comunidade existente.

Maire et al. (2006, p. 2, tradução nossa) exprimem um ponto de vista complementar e afirmam que os espaços subterrâneos são subutilizados e infraestruturas, como as de transportes, de centro de compras, de teatros, deveriam começar a ser concebidas ou mesmo deslocadas da superfície para o subsolo, pois o espaço superficial passaria a desempenhar papéis de recreação e de realização de atividades sociais, além de permitir a criação de espaços verdes e de áreas residenciais mais atrativas.

3.1.2 Isolamento

Sterling e Godard (2002, p. 4, tradução nossa) relatam que além da questão da posição geográfica e da utilização do solo, o isolamento das condições atmosféricas, o qual uma estrutura subterrânea permite como característica intrínseca, trás inúmeras vantagens. Na mesma obra, os autores informam que “A inércia térmica dentro do solo ou da rocha oferece um ambiente com temperaturas uniformes e moderadas quando comparadas as amplitudes térmicas encontradas na superfície [...]”. Isso é benefício, pois representa a economia de energia a ser despendida para tornar o ambiente termicamente agradável e a proteção contra a variação brusca dos climas externos ou adversidades como de tornados, furacões e tempestades, porém deve-se ter em vista que são necessários isolamentos adequados para que não ocorram infiltrações, ou ainda, inundações.

Ainda relacionado ao microclima que o subterrâneo proporciona está também a capacidade que ele tem de dissipar vibrações, Sterling e Godard (2002, p. 5, tradução nossa) mencionam que estruturas no subsolo podem ser usadas para armazenamento de produtos que devam estar em ambientes estáveis e que devam evitar contato com a atmosfera, tanto porque o ambiente externo pode ser nocivo ao produto, quanto o que foi armazenado no subterrâneo pode ser nocivo à atmosfera, como por exemplo, lixos radioativos ou plantas industriais de alto risco.

3.1.3 Preservação ambiental

Quanto às questões relacionadas com o meio ambiente Sterling e Godard (2002, p. 5, tradução nossa) explicam que:

Uma estrutura totalmente ou parcialmente subterrânea tem um menor impacto visual do que uma estrutura equivalente na superfície. Isso pode ser importante para tornar menos aparente instalações técnicas esteticamente indesejáveis ou, no caso de instalações industriais situadas em áreas adjacentes às residenciais, para a preservação da paisagem natural. A exigência crescente de todas as redes de utilidade pública serem colocadas no subterrâneo decorre essencialmente de questões relativas ao impacto visual e preocupações devido à proteção de danos contra as redes.

Em alguns casos, estruturas subterrâneas ajudam a preservar a vegetação natural, pois menores são os danos no ciclo ecológico local e global. Vegetação, passagens de animais e habitat, transpiração e respiração de plantas são mantidas em maior escala do que em ambientes com construções na superfície.

3.1.4 Razões topográficas

Outro motivo que leva à construção no subterrâneo é a topografia acidentada do terreno, pois a necessidade de transpor barreiras induz a utilização de técnicas construtivas subterrâneas com a finalidade de conectar pontos estratégicos com maior liberdade de planejamento (STERLING; GODARD, 2002, p. 5-6, tradução nossa).

3.1.5 Benefícios sociais

Por último, mas não menos importante, os benefícios sociais são mencionados por Sterling e Godard (2002, p. 6, tradução nossa) e declaram que:

Cidades capazes de operar econômica, social e ecologicamente de forma simultânea fornecem o pré-requisito para uma vida agradável em áreas urbanizadas. O espaço subterrâneo tem um papel importante a desempenhar nesse contexto, por exemplo, devido ao desenvolvimento de um ambiente ecologicamente correto, seja na redução da poluição e da poluição sonora, no uso eficiente do espaço, no desenvolvimento econômico, na preservação do ambiente natural, na melhoria da saúde pública e da segurança. Nestes campos são oferecidas inúmeras vantagens:

[...]

- b) túneis proporcionam um sistema seguro de transporte urbano em massa, ambientalmente saudável, rápido e discreto;
- c) túneis de tráfego na cidade removem os veículos das ruas de superfície, o ruído do tráfego é reduzido, o ar torna-se menos poluído e as áreas de superfície podem ser parcialmente utilizadas para outros fins;

[...]

Porém, problemas relacionados à insegurança, à saúde e a aspectos psicológicos impedem as pessoas de usarem cotidianamente o subsolo, pois afirmam ter sentimentos de apreensão e também de ansiedade quando descem para um metrô ou para um estacionamento subterrâneo. Logo, ao se discutir em projeto o uso do subterrâneo, tais aspectos devem ser levados em consideração para evitar a não utilização das instalações subterrâneas (STERLING; GODARD, 2002, p. 6, tradução nossa).

3.2 CUT AND COVER

Após apresentar os motivos que conduzem o homem a construir no subterrâneo, será explicada a técnica construtiva mais comum e, de certa forma, mais simples de execução de túneis: o *cut and cover*.

O *cut and cover* pode ser resumido segundo a frase de Wisniewski e Munfah (2009, p. 5/1, tradução nossa) que afirmam que “No túnel *cut and cover*, a estrutura é construída dentro de uma escavação e, quando essa construção é finalizada, o túnel é coberto com material de preenchimento.”. Apesar da simplificação introduzida por essa frase, ela dá uma boa ideia da técnica construtiva, cabe destacar que a tradução literal, para o português, do jargão técnico *cut and cover* é corta-e-cobre ou ainda cortar-e-cobrir, podendo também ser chamado de vala a céu aberto. A partir de agora serão explanadas, de forma mais minuciosa, quando essa técnica é utilizada, quais são os passos da execução e, também, serão apresentados alguns detalhes estruturais do *cut and cover*. Sempre tentando integrar com os impactos que por ele podem ser causados.

As razões que levam a utilização do *cut and cover* são bem explicadas por Wisniewski e Munfah (2009, p. 5/1-5/2, tradução nossa) que relatam que:

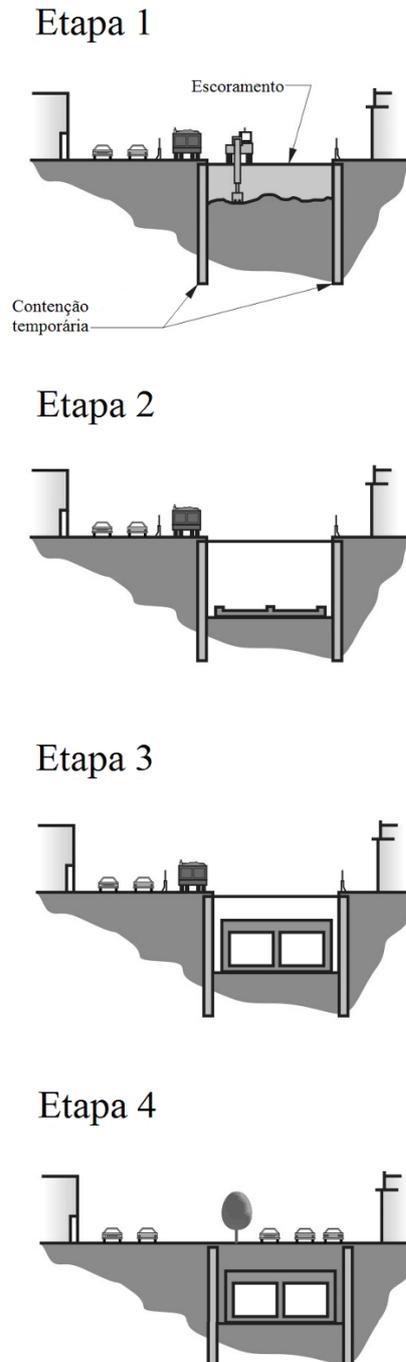
A construção *cut and cover* é utilizada quando o perfil longitudinal do túnel tem por característica a baixa profundidade de escavação e, também, quando é possível que a mesma seja realizada a partir da superfície de forma aceitável e econômica [ou seja, que o terreno superficial não se encontre edificado]

Outra afirmação realizada pelos mesmos autores é que para pequenas profundidades (10 à 12 m) essa técnica é normalmente mais econômica e prática que outras técnicas construtivas de túneis, como por máquinas tuneladoras. Entretanto, podem causar severas interferências no tráfego de veículos e em outras atividades quando construídas em ambientes urbanizados.

A figura 2 mostra as etapas da construção convencional do *cut and cover*. A etapa 1 consiste na instalação de contenções verticais a partir da superfície, após é realizado o rebaixamento do lençol freático (caso necessário) e a escavação do terreno concomitante com a instalação de elementos de suporte para as paredes de contenção temporária (escoramento). Na etapa 2 começa a construção do túnel propriamente dito, esse início se dá pela construção da base, e logo após, na etapa 3, compete a construção das paredes e da cobertura do túnel

impermeabilizadas, com a finalização desse processo, são feitos o preenchimento dos espaços vazios externos ao túnel e a restauração da superfície do terreno até que se atinja o greide de projeto (WISNIEWSKI; MUNFAH, 2009, p. 5/3, tradução nossa).

Figura 2 – Etapas de execução do *cut and cover*



(fonte: adaptada de WISNIEWSKI; MUNFAH, 2009, p. 5/2, tradução nossa)

Wisniewski e Munfah (2009, p. 5/3, tradução nossa) ainda informam sobre as vantagens e desvantagens da utilização do método. As vantagens referem-se a fácil compreensão da forma construtiva do método pelas empreiteiras, devido à simplicidade da técnica e, também, à fácil acessibilidade dos equipamentos para a construção do túnel. As desvantagens são relativas ao impedimento do uso da superfície até que as obras sejam concluídas, necessitando que as atividades, que são realizadas neste local, sejam temporariamente interrompidas ou realocadas.

De posse desse conhecimento mais geral sobre túneis *cut and cover* (razões para construí-los e forma de construção) é possível compreender as motivações que levam à análise das externalidades abordadas no próximo capítulo.

4 EXTERNALIDADES DEVIDAS À CONSTRUÇÃO DO TÚNEL DO METRÔ EM PORTO ALEGRE

Como se sabe, a construção através da técnica *cut and cover* gera inúmeros distúrbios no tráfego de veículos e pedestres devido à interrupção na utilização da superfície do terreno que ele causa durante a obra. Também é de conhecimento geral que a implantação de um metrô, se bem planejado, trás benefícios a mobilidade de pessoas. Logo, essa situação antagônica, que ocorrerá em duas etapas distintas do metrô (construção e operação) induz a crer que aquilo que será uma vantagem na operação do metrô, poderá ser uma desvantagem durante a sua construção.

A análise de viabilidade do metrô de Porto Alegre foi realizada através de um consórcio criado para o específico fim. Como resultado do estudo, a contratante, Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre SA (Trensurb), recebeu o trabalho intitulado de Estudo de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb desenvolvido pelo consórcio formado por três empresas (Ecoplan Engenharia Ltda., Magna Engenharia Ltda. e Tecnologia e Consultoria Brasileira SA). Com base neste, serão descritos os benefícios considerados para a fase de operação do metrô.

4.1 BENEFÍCIOS AVALIADOS PELO ESTUDO DE VIABILIDADE DE EXPANSÃO DO SISTEMA TRENSURB

Segundo o estudo desenvolvido pela Trensurb (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 199):

Os benefícios resultantes da transferência de passageiros de ônibus e automóveis para o sistema metroviário são os seguintes:

- a) redução dos tempos de viagem, face à maior velocidade do metrô sobre ônibus e automóveis;
- b) redução dos custos de operação e de manutenção dos ônibus e dos automóveis, decorrente da redução da frota em circulação;
- c) redução dos acidentes de ônibus e automóveis, resultado da diminuição do volume de ônibus e de automóveis circulantes;

d) redução da emissão de poluentes de ônibus e automóveis.

Esses benefícios supracitados são tidos como mensuráveis e suas formas de quantificação serão abordadas nos próximos itens. Neste mesmo estudo ainda há a menção de outras repercussões positivas advindas da operação do metrô como: aumento do conforto e da segurança dos usuários, aumento do tempo de lazer e descanso, porém são vistas como de difícil mensuração e não foram consideradas para fins de cálculo (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 195).

4.1.1 Redução do tempo de viagem

A análise do custo do tempo de viagem segundo Ortúzar e Willumsen (1994, p. 413, tradução nossa) deve ser considerada “[...] simplesmente porque a economia de tempo é o benefício mais importante de projetos de melhoria de transporte em todo o mundo.”. Ou seja, nenhum projeto de infraestrutura de transporte é desenvolvido sem que sua intenção não seja a de melhorar o desempenho de mobilidade.

Para o cálculo do custo do tempo de viagem dos passageiros (fórmula 1) multiplicam-se os valores estimados do tempo de viagem para cada modalidade de transporte (ônibus e automóveis) pelo correspondente indicador operacional chamado de passageiros vezes hora. Os valores estimados do tempo de viagem são obtidos através de metodologia própria para este fim. Nesta metodologia é avaliada a decisão do usuário em optar por um tipo de transporte em função do tempo de viagem e do custo do mesmo (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997]):

$$C_{TV} = VE_{TV} \times PH \times 365 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

C_{TV} = custo do tempo de viagem anual (R\$);

VE_{TV} = necessidade do recurso (R\$/hora.passageiro);

PH = indicador operacional passageiro vezes hora (passageiro.hora/dia).

4.1.2 Redução dos custos de operação e manutenção de veículos

A Trensurb (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 200) explica que:

Os benefícios oriundos da redução dos custos de operação e manutenção dos ônibus e dos automóveis são resultantes da redução da frota em circulação e da redução do consumo de combustíveis decorrente, proporcionada pela manutenção das velocidades praticadas atualmente pelo sistema.

Para o cálculo destes custos foram utilizadas as fórmulas 2 e 3 referentes à metodologia descrita no Manual de Avaliações da Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos. A referida metodologia diz que a redução da velocidade comercial (que ocorre nos horário de pico) aumenta o custo de operação, tanto de ônibus quanto de automóveis (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 200):

$$CO_{\text{ônibus}} = K_{\text{ônibus}} \times CCD_{\text{ônibus}} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

$CO_{\text{ônibus}}$ = custo operacional do ônibus (R\$/km.veículo);

$K_{\text{ônibus}}$ = custo operacional do ônibus sem considerar o consumo de combustível (R\$/ℓ);

$CCD_{\text{ônibus}}$ = consumo de *diesel* (ℓ/km.veículo).

$$CO_{\text{auto}} = K_{\text{auto}} \times CCD_{\text{auto}} \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

CO_{auto} = custo operacional do automóvel (R\$/km.veículo);

K_{auto} = custo operacional do automóvel sem considerar o consumo de combustível (R\$/ℓ);

CCD_{auto} = consumo de gasolina (ℓ/km.veículo).

Como parte dessa metodologia de cálculo está relativamente defasada, no presente trabalho serão apresentadas as fórmulas 4 e 5 atualizadas segundo o estudo Redução das Deseconomias Urbanas pela Melhoria do Transporte Público, o que não descaracteriza a

essência da primeira metodologia (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO, 1998):

$$CCD_{\text{ônibus}} = 0,44428 + 0,00008V^2 - 0,00708V + 1,37911/V + 0,00107P \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

$CCD_{\text{ônibus}}$ = consumo de diesel do ônibus (ℓ/km.veículo);

V = velocidade do ônibus (km/h);

P = passageiros do ônibus (sentados + em pé).

$$CCD_{\text{auto}} = 0,09543 + 1,26643/V - 0,00029V \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

CCD_{auto} = consumo de gasolina do automóvel (ℓ/km.veículo);

V = velocidade do automóvel (km/h).

Para o cálculo dos custos de manutenção e operação dos ônibus e dos veículos ainda é necessária a multiplicação dos custos operacionais obtidos pelos indicadores operacionais de veículo vezes quilômetro por dia, transformado em valores anuais, conforme a fórmula 6 (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 200):

$$C_{OM} = (CO_{\text{ônibus}} \times vkm_{\text{ônibus}} + CO_{\text{auto}} \times vkm_{\text{auto}}) \times 365 \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

C_{OM} = custo de operação e manutenção anual (R\$);

$CO_{\text{ônibus}}$ = custo operacional do ônibus (R\$/km.veículo);

CO_{auto} = custo operacional do automóvel (R\$/km.veículo);

$vkm_{\text{ônibus}}$ = indicador operacional de veículo vezes quilômetro para o ônibus (veículo.km/dia);

vkm_{auto} = indicador operacional de veículo vezes quilômetro para automóvel (veículo.km/dia).

4.1.3 Redução dos acidentes

A implantação do metrô reduzirá o número de viagens de carro e de ônibus realizadas atualmente, ou seja, considerando a diminuição do fluxo desses veículos infere-se que irá ocorrer proporcional redução do número de acidentes fatais, não fatais e sem vítimas. As obtenções dos números e dos tipos de acidentes de trânsito são feita através do banco de dados da Secretaria Municipal dos Transportes de Porto Alegre e os mesmos são corrigidos segundo o Manual de Avaliação de Projetos da Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos que declara que (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 200):

- a) as vítimas fatais são acrescidas de 10%, e as vítimas não fatais deduzidas deste valor, uma vez que se considera que 10% das vítimas morrem após o acidente;
- b) os acidentes sem vítimas são divididos por 0,3 para correção dos acidentes não periciados e não registrados.

O custo de acidentes com vítimas fatais “[...] considera a perda econômica potencial provocada pela interrupção do ciclo produtivo de uma pessoa, em decorrência da sua morte acidental no trânsito de Porto Alegre.” (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 201). Isto significa que o cálculo expresso na fórmula 7 é baseado na expectativa de vida da população gaúcha menos a idade média em que a vítima deixaria de produzir bens para a economia, multiplicado pela renda *per capita* anual:

$$CA_{VF} = (ExP - IMV) \times R_{pc} \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

CA_{VF} = custo de acidentes com vítimas fatais (R\$/vítima);

ExP = expectativa de vida da população gaúcha (anos);

IMV = idade média das vítimas de acidente de trânsito (anos);

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

Assim, “Para o cálculo do custo de acidentes com vítimas não fatais utiliza-se o valor máximo indenizável pelo seguro obrigatório de Danos Pessoais Causados pelos Veículos Automotores

(DPVAT) para os proprietários de veículos [...]” (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 201). A fórmula 8 representa este cálculo:

$$CA_{VNF} = DPVAT \quad (\text{fórmula 8})$$

Onde:

CA_{VNF} = custo de acidentes com vítimas não fatais (R\$/vítima);

DPVAT = valor pago máximo pago pelo seguro DPVAT (R\$/vítima).

A partir da metodologia e informações apresentadas pela Trensurb, exprimiu-se a fórmula 9 para o cálculo do custo anual de acidente com ônibus (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 201):

$$CA_{\text{ônibus}} = (vkm_{\text{ônibus}} / kra) \times cma \times 365 \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

$CA_{\text{ônibus}}$ = custo de acidentes com ônibus (R\$/ano);

$vkm_{\text{ônibus}}$ = indicador operacional de veículo vezes quilômetro para o ônibus (veículo.km/dia);

kra = quilômetro rodado por acidente (km/acidente.veículo);

cma = custo médio unitário por acidente (R\$/acidente).

No mesmo trabalho, utiliza-se metodologia análoga para o cálculo do custo anual de acidentes com automóveis (fórmula 10) além de destacar que os custos médios e a frequência de acidentes (quilômetro rodado por acidente) foram obtidos junto às empresas operadoras de ônibus urbanos e agências de seguros de automóveis (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 201):

$$CA_{\text{auto}} = (vkm_{\text{auto}} / kra) \times cma \times 365 \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

CA_{auto} = custo de acidentes com automóveis (R\$/ano);

vkm_{auto} = indicador operacional de veículo vezes quilômetro para automóvel (veículo.km/dia);

kra = quilômetro rodado por acidente (km/acidente.veículo);

cma = custo médio unitário por acidente (R\$/acidente).

4.1.4 Redução da emissão de poluentes

Quanto ao custo da emissão de poluentes, a Trensurb relata que “Os dados sobre poluição ambiental, causados pelos motores de ônibus, bem como os custos dos danos causados pela poluição dos ônibus foram baseados em metodologia da *Environmental Protection Agency* (EPA/USA) [...]” (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 201). Ainda esse trabalho explica que essa metodologia leva em consideração o volume de dióxido de carbono (CO_2), hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado emitidos por ônibus por quilômetro multiplicada pelo custo do dano por grama, resultando em um custo total por quilômetro rodado, conforme fórmula 11:

$$CEP_{\text{ônibus}} = VE_{CO_2} \times CD_{CO_2} + VE_{HC} \times CD_{HC} + VE_{NO_x} \times CD_{NO_x} \quad (\text{fórmula 11})$$

$$+ VE_{SO_x} \times CD_{SO_x} + VE_{MP} \times CD_{MP}$$

Onde:

$CEP_{\text{ônibus}}$ = custo da emissão de poluentes (R\$/km.veículo);

VE_{CO_2} = volume de dióxido de carbono exalado por ônibus por quilômetro (g/km.veículo);

VE_{HC} = volume de hidrocarbonetos exalado por ônibus por quilômetro (g/km.veículo);

VE_{NO_x} = volume de óxido de nitrogênio exalado por ônibus por quilômetro (g/km.veículo);

VE_{SO_x} = volume de óxido de enxofre exalado por ônibus por quilômetro (g/km.veículo);

VE_{MP} = volume de material particulado exalado por ônibus por quilômetro (g/km.veículo);

CD_{CO_2} = custo dos danos por grama de dióxido de carbono exalado (R\$/g);

CD_{HC} = custo dos danos por grama de hidrocarbonetos exalado (R\$/g);

CD_{NO_x} = custo dos danos por grama de óxido de nitrogênio exalado (R\$/g);

CD_{SO_x} = custo dos danos por grama de óxido de enxofre exalado (R\$/g);

CD_{MP} = custo dos danos por grama de material particulado exalado (R\$/g).

Para o cálculo do custo da emissão de poluentes dos automóveis o método empregado é semelhante ao utilizado para ônibus, porém somente leva em consideração a emissão de hidrocarbonetos e óxido de enxofre conforme mostrado na fórmula 12 (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 202):

$$CEP_{\text{auto}} = VE_{\text{HC}} \times CD_{\text{HC}} + VE_{\text{NO}_x} \times CD_{\text{NO}_x} \quad (\text{fórmula 12})$$

Onde:

CEP_{auto} = custo da emissão de poluentes (R\$/km.veículo);

VE_{HC} = volume de hidrocarbonetos exalado por automóvel por quilômetro (g/km.veículo);

VE_{NO_x} = volume de nitrogênio exalado por automóvel por quilômetro (g/km.veículo);

CD_{HC} = custo dos danos por grama de hidrocarbonetos exalado (R\$/g);

CD_{NO_x} = custo dos danos por grama de óxido de nitrogênio exalado (R\$/g).

Para a obtenção do custo final da emissão de poluentes deve-se multiplicar os custos da emissão de poluentes dos ônibus e automóveis pelos respectivos indicadores operacionais, veículo vezes quilômetro por dia, transformado em valores anuais, como é demonstrado na fórmula 13 (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 202):

$$C_{EP} = (CEP_{\text{ônibus}} \times vkm_{\text{ônibus}} + CEP_{\text{auto}} \times vkm_{\text{auto}}) \times 365 \quad (\text{fórmula 13})$$

Onde:

C_{EP} = custo da emissão de poluentes anual (R\$);

$CEP_{\text{ônibus}}$ = custo de emissão de poluentes por ônibus (R\$/km.veículo);

CEP_{auto} = custo de emissão de poluente por automóvel (R\$/km.veículo);

$vkm_{\text{ônibus}}$ = indicador operacional de veículo vezes quilômetro para o ônibus (veículo.km/dia);

vkm_{auto} = indicador operacional de veículo vezes quilômetro para automóvel (veículo.km/dia).

Com esta última estimativa de custo concluiu-se os aspectos analisados pela Trensurb de custo com externalidades positivas para o meio antrópico no caso da operação do metrô. Como a intenção deste trabalho é abordar mais amplamente os custos com externalidades

durante a execução da obra, outros impactos também serão discutidos e transformados em custos conforme literaturas pertinentes ao assunto.

4.2 EXTERNALIDADES NÃO AVALIADAS PELO ESTUDO DE VIABILIDADE DE EXPANSÃO DO SISTEMA TRENSURB

Somente algumas externalidades serão descritas e posteriormente analisados no presente trabalho, pois a avaliação de todos os impactos causados por uma obra do porte que será a do metrô de Porto Alegre é inviável, tanto pela dificuldade de transformar alguns transtornos em custos, quanto pela impossibilidade de se prever as mais distintas situações que possam acontecer durante a construção.

Nos próximos itens são apresentados custos com externalidades que não foram avaliados no Estudo de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb, mas que são considerados indispensáveis na avaliação dos custos da obra pela autora.

4.2.1 Custo do tempo despendido em congestionamentos

O tempo de congestionamentos é considerado todo aquele tempo de percurso que é despendido de forma adicional ao limite aceitável para a via. O custo deste tempo gasto em congestionamento nada mais é do que a multiplicação do tempo adicional pelo custo do tempo (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO, 1998). O custo do tempo depende de diversos fatores e está representado na fórmula 14:

$$CT = [R_{pc} \times (100 + ES) / 100 \times FA \times HP] / NH \quad (\text{fórmula 14})$$

Onde:

CT = valor da hora (R\$/h);

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

ES = encargos sociais (%);

FA = fator de uso alternativo em quantidade útil do tempo (0,3);

HP = percentual de uso produtivo do tempo (0,5);

NH = número de horas de trabalho por mês (168 h).

Para o cálculo do custo do tempo despendido em congestionamento multiplica-se o valor da hora pelo tempo adicional gasto no percurso, conforme fórmula 15:

$$C_C = CT \times TC \quad (\text{fórmula 15})$$

Onde:

C_C = custo do tempo despendido em congestionamento (R\$/veículo);

CT = valor da hora (R\$/h);

TC = tempo despendido em congestionamento (h/veículo).

4.2.2 Custo do impacto no sistema de ônibus

O custo do impacto no sistema de ônibus refere-se “[...] à necessidade de um maior número de veículos na operação para realizar um mesmo número de viagens em determinado período de tempo, devido ao aumento do tempo de percurso.” (INSTITUTO DE PESQUISA ECÔNOMICA APLICADA; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO, 1998, p. 10). A fórmula 16 sintetiza a forma de cálculo do custo do aumento da frota:

$$C_{AF} = DTp \times L \times F \times Aq_{\text{ônibus}} \quad (\text{fórmula 16})$$

Onde:

C_{AF} = custo do aumento da frota de ônibus (R\$);

DTp = tempo de percurso em excesso (h);

L = extensão do trecho (km);

F = frequência dos ônibus no trecho (veículo/h.km);

$Aq_{\text{ônibus}}$ = preço de aquisição de ônibus (R\$/veículo).

4.2.3 Custo da desvalorização imobiliária e da redução de vendas ou fechamento de estabelecimentos comerciais

A monetarização dos custos da desvalorização imobiliária e da redução de vendas ou fechamento de estabelecimentos comerciais é de difícil mensuração, pois o ressarcimento se trata de uma questão jurídica entre a pessoa física ou jurídica e o Estado/Administração. Policastro e Siqueira Neto (2004, p. 594) explicam que:

Obras públicas são necessárias, sem dúvida. Problemáticas e complexas quando realizadas em metrópoles com grande volume de veículos e tráfego difícil [...] que causam, inegavelmente, desconforto e prejuízos econômicos à comunidade durante sua execução.

A prudência aconselha que a realização de obra seja precedida de cuidadosa, adequada e bem organizada programação, de maneira que possam ser minimizados os efeitos e/ou reflexos, diretos e indiretos, à população a ao particular, à propriedade e às atividades econômicas em geral enquanto estiverem sendo executadas e depois de concluídas.

Sobrevindo dano ao particular em decorrência da execução da obra, surge o dever do Estado/Administração ressarcir os prejuízos a que deu causa, ainda que o ato seja lícito. O Estado não pode causar prejuízo a ninguém e muito menos a alguns membros da coletividade, em benefício dos demais. [...]

O ressarcimento muitas vezes abrange o que o particular efetivamente perdeu, o que razoavelmente deixou de ganhar e o que despendeu para diminuir ou evitar os prejuízos sofridos, durante ou após a execução da obra que prejudicou seu patrimônio [...]

O estado deve indenizar o prejudicado pelos prejuízos causados sem, contudo “[...] indenizar por todo o desconforto gerado por uma obra pública, mas sim, é admissível que o Estado seja responsabilizado pelos prejuízos reais e superiores ao que, em condições normais, deveriam ocorrer [...]” (MOTTA, 2008, p. 18). Ou seja, o órgão responsável pelo empreendimento fica vulnerável a onerosos processos, podendo arcar com elevados custos de indenizações.

A forma de quantificação desse impacto não foi definida para o presente trabalho, mas, conforme os argumentos citados, sabe-se que é de suma importância que as mesmas sejam feitas. Além disso, é sabido que as custas processuais são de porcentagem significativa sobre valores do montante pago ao indenizado e de que o princípio da sucumbência do direito gera o pagamento de custas processuais com partes privadas como advogadas, mas não os elevadíssimos custos oriundos dos foros e de toda a máquina pública necessária para dirimir tais processos.

Conhecidos esses sete impactos abordados nessa revisão bibliográfica (quatro referentes ao Estudo de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb e três outros obtidos através da literatura pertinente ao assunto), torna-se possível a análise qualitativa e quantitativa dos custos com externalidades da implantação do metrô com a utilização da técnica *cut and cover* e posteriormente a comparação com os custos diretos orçados. Para tanto foi necessária à aquisição de dados junto a quem os possui e também a atualização de valores para o tempo presente.

5 OBJETO E ÁREA DE ESTUDO

Como o presente trabalho tem a intenção de apresentar dados dos custos com externalidades envolvidas na construção do metrô de Porto Alegre, é indispensável que haja uma prévia citação das razões pela qual o metrô será executado, além da composição dos custos diretos estimados e das particularidades operacionais do sistema. Para esclarecer as motivações as quais levaram à escolha da avenida Assis Brasil para o estudo, foi caracterizado o trecho compreendido entre as estações Obirici e Triângulo da referida avenida.

5.1 A LINHA 2 DO METRÔ DE PORTO ALEGRE

O sistema de transporte metroviário é um ideal almejado por muitas capitais do País, pois as infraestruturas destinadas aos sistemas de transporte coletivo em massa trazem grandes benefícios ao município e à qualidade de vida dos cidadãos devido à significativa melhoria da mobilidade urbana. A instalação e operação de um sistema metroviário subterrâneo têm por característica demonstrar uma elevada capacidade financeira da cidade, ou seja, quem o possui encontra-se, no quesito de mobilidade, em um patamar superior, pois esse sistema de transporte urbano alinha-se a referências mundiais, como é o caso das metrópoles Londres e Tóquio.

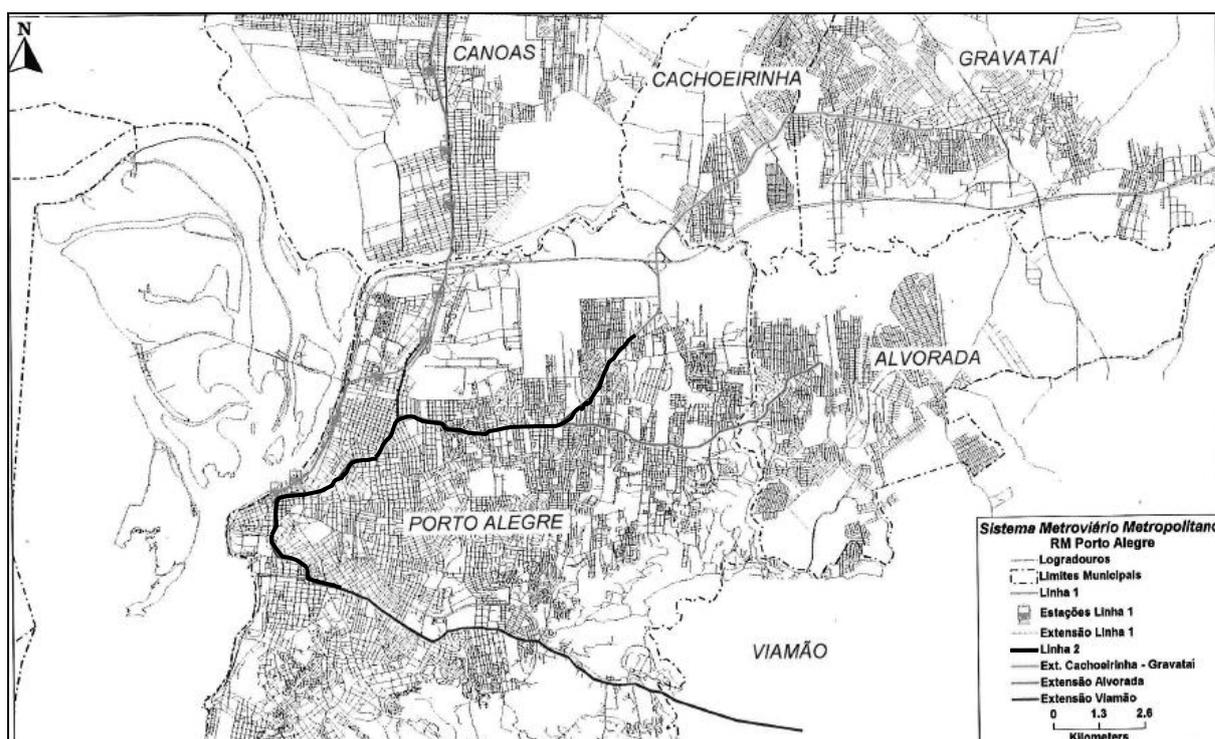
Porto Alegre, não diferente de outras capitais, trabalhou estrategicamente com a hipótese da construção de uma rede metroviária na cidade. Por isso, em 1995, a Trensurb licitou, entre outros, serviços de consultoria para a elaboração de estudos de viabilidade técnica-econômica de uma ampliação do sistema Trensurb para o corredor nordeste da região metropolitana de Porto Alegre, o resultado dessa consultoria gerou um documento intitulado: Estudo de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb – Região Metropolitana de Porto Alegre.

Devido a questões políticas e financeiras, o traçado original teve algumas modificações como diminuição de raios das curvas, retirada de algumas estações, acréscimo de outras, deixou, recentemente, de ser denominado de Linha 2 e passou a ser designado como Metrô de Porto Alegre. Contudo, como essa nova concepção está em estudo de viabilidade e há pouco material divulgado que contenham dados mais concretos, portanto optou-se por não abordar

essa nova concepção no trabalho tanto por não influenciar significativamente na proposta de estudo, quanto para não descaracterizar a ideia proposta.

No estudo de viabilidade de expansão do sistema Trensurb estão retratadas a posição de duas linhas principais de metrô e quatro extensões derivadas dessas linhas. As linhas principais foram denominadas de Linha 1 e Linha 2. Esta primeira refere-se à linha do Trensurb já existente e em ampliação, que integra Porto Alegre à região metropolitana por um corredor que liga o centro ao norte na capital e segue em direção à cidade de São Leopoldo passando por municípios como Canoas. A segunda refere-se a uma linha inteiramente nova a ser implantada em Porto Alegre, esta linha inicia-se na avenida Azenha, passa pela região central e segue vias de grande tráfego urbano na direção nordeste, acabando no terminal Sarandi, na avenida Assis Brasil, próximo ao acesso para Gravataí, como é mostrado na figura 3.

Figura 3 – Estudo do sistema metroviário metropolitano



(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 6)

Como o presente trabalho contempla apenas parte da Linha 2 do metrô de Porto Alegre, a descrição do seu trajeto e os custos estimados para a execução dessa obra serão mais bem abordados nos itens subsequentes.

5.1.1 A concepção da Linha 2 do metrô

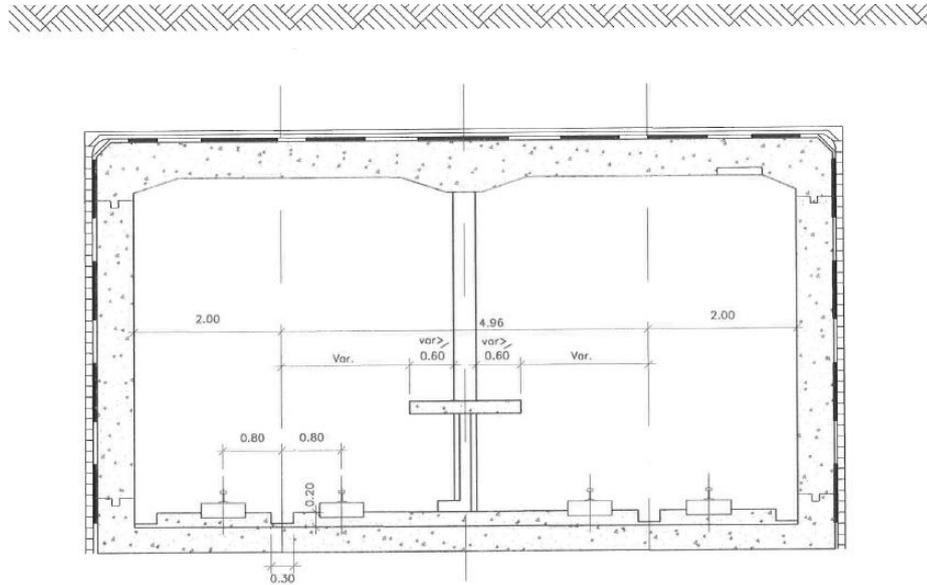
No Estudo de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb, o projeto da Linha 2 procurou utilizar eixos de transporte já estabelecidos na cidade, principalmente corredores de ônibus e áreas não edificadas para que fossem evitadas desapropriações, por isso foi concebido perfazendo uma extensão de 17,3 km, percorrendo as seguintes vias (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997]):

- a) av. Assis Brasil;
- b) av. Benjamin Constant;
- c) av. Cristóvão Colombo;
- d) av. Farrapos;
- e) av. Voluntários da Pátria;
- f) rua dos Andradas;
- g) av. Borges de Medeiros;
- h) av. Aureliano Figueiredo Pinto;
- i) av. Érico Veríssimo;
- j) av. da Azenha;
- k) av. Bento Gonçalves.

Outras considerações levadas em conta na definição do traçado foram as características geológica do terreno e a geometria da via para que o metrô pudesse operar de forma eficiente. Com isso, cinco tipologias de seção de túnel foram concebidas para o projeto (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 92-96):

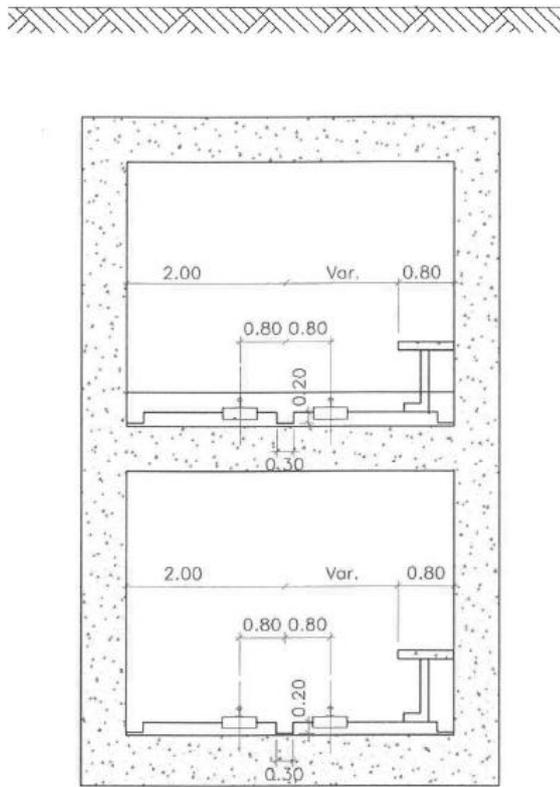
- a) trecho subterrâneo em galeria – via dupla (figura 4);
- b) trecho subterrâneo em galeria – vias superpostas (figura 5);
- c) trecho em elevado (figura 6);
- d) trecho em rocha – via dupla (figura 7);
- e) trecho em rocha – vias superpostas (figura 8).

Figura 4 – Trecho subterrâneo em galerias: vias laterais



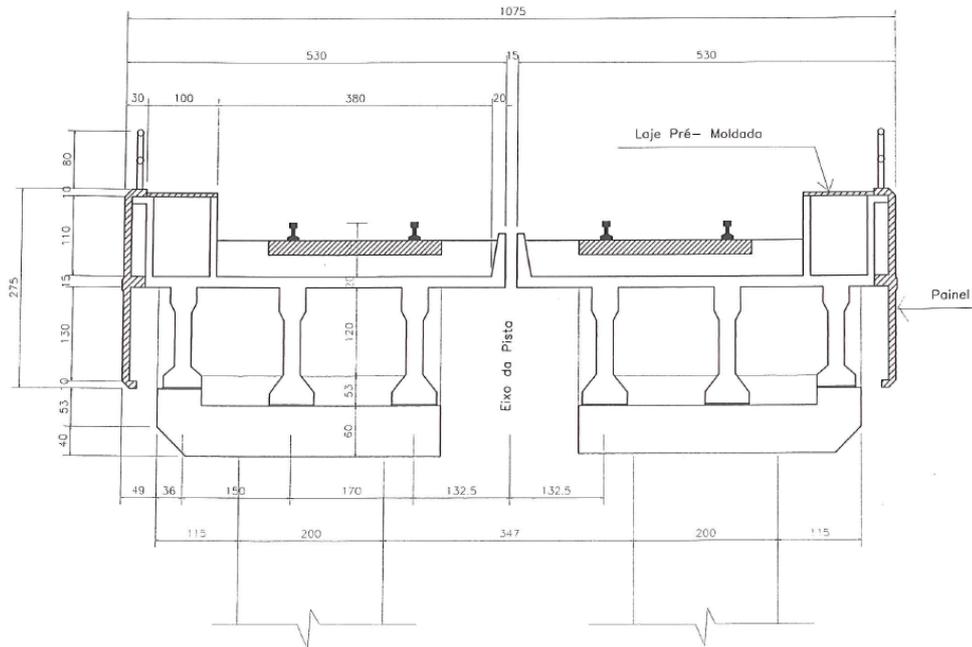
(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 97)

Figura 5 – Trecho subterrâneo em galerias: vias superpostas



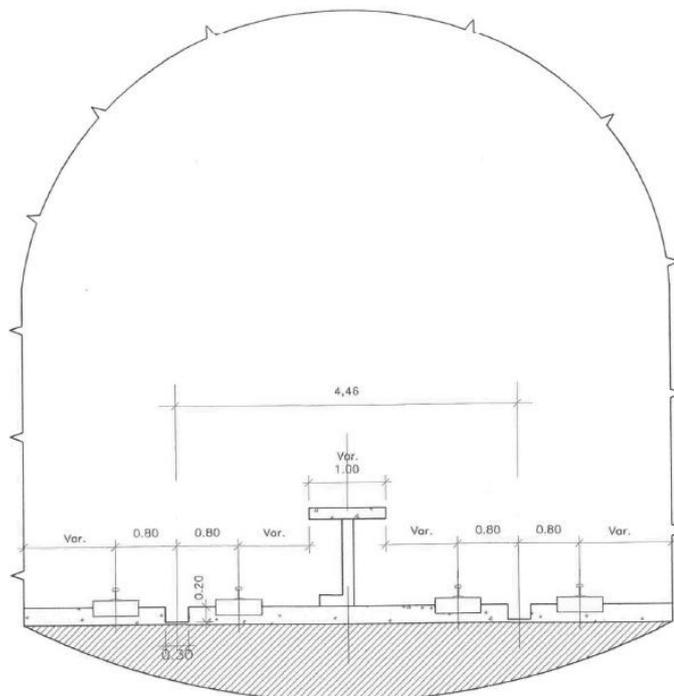
(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 99)

Figura 6 – Trecho em elevado



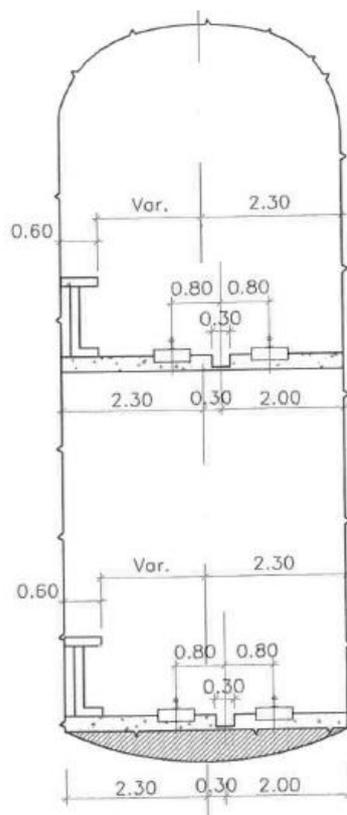
(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 100)

Figura 7 – Trecho em rocha: vias laterais



(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 102)

Figura 8 – Trecho em rocha: vias superpostas

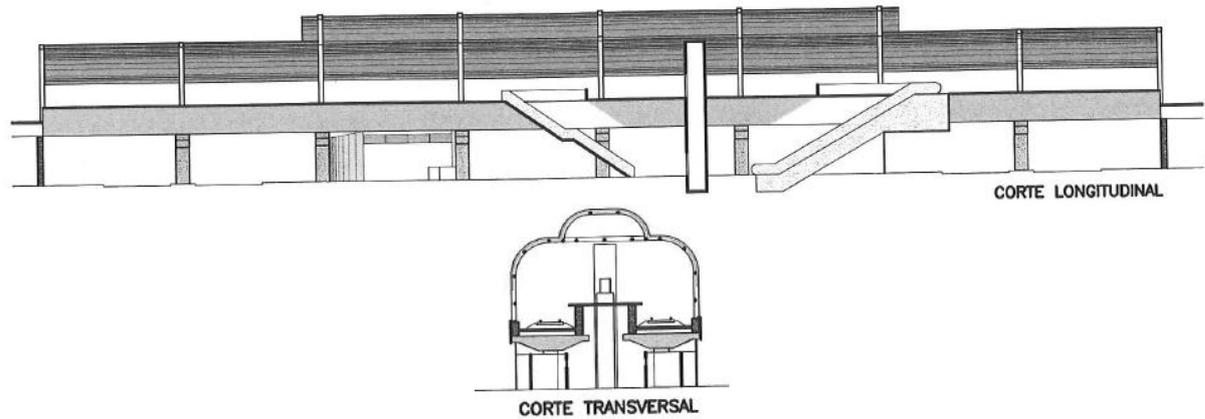


(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 103)

Assim como a via, as estações foram concebidas com diferentes tipologias a fim de melhor se adequarem ao traçado, à demanda de passageiros e à funcionalidade dada a estação (estação de passagem, estação de transferência intra/intermodal e estação terminal), com isso concebeu-se cinco tipos básicos de estação (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 127):

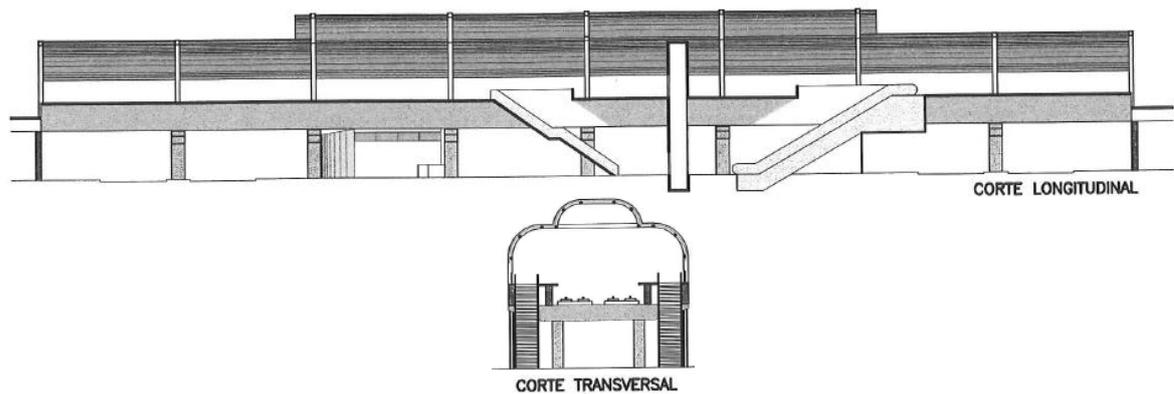
- a) tipo 1 – estação elevada com uma plataforma central (figura 9);
- b) tipo 2 – estação elevada com duas plataformas laterais (figura 10);
- c) tipo 3 – estação subterrânea com duas plataformas laterais no mesmo nível (figura 11);
- d) tipo 4 – estação subterrânea com duas plataformas laterais em dois níveis (figura 12);
- e) tipo 5 – estação subterrânea com uma plataforma lateral em dois níveis (figura 13).

Figura 9 – Estação tipo 1: elevada com uma plataforma central



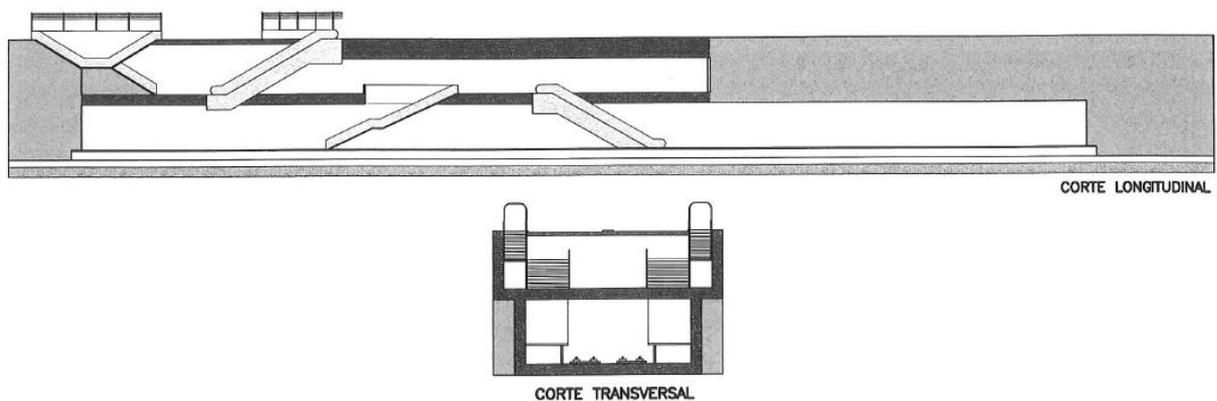
(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 131)

Figura 10 – Estação tipo 2: elevada com duas plataformas laterais



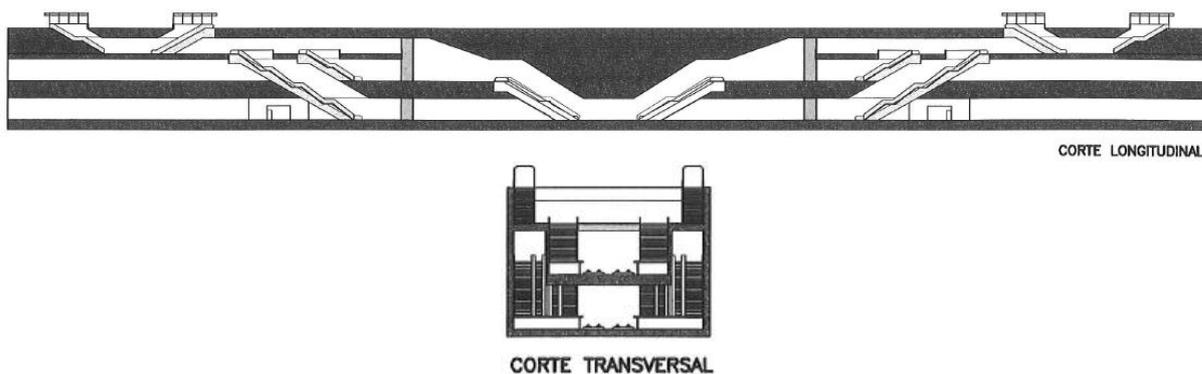
(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 133)

Figura 11 – Estação tipo 3: subterrânea com duas plataformas laterais no mesmo nível



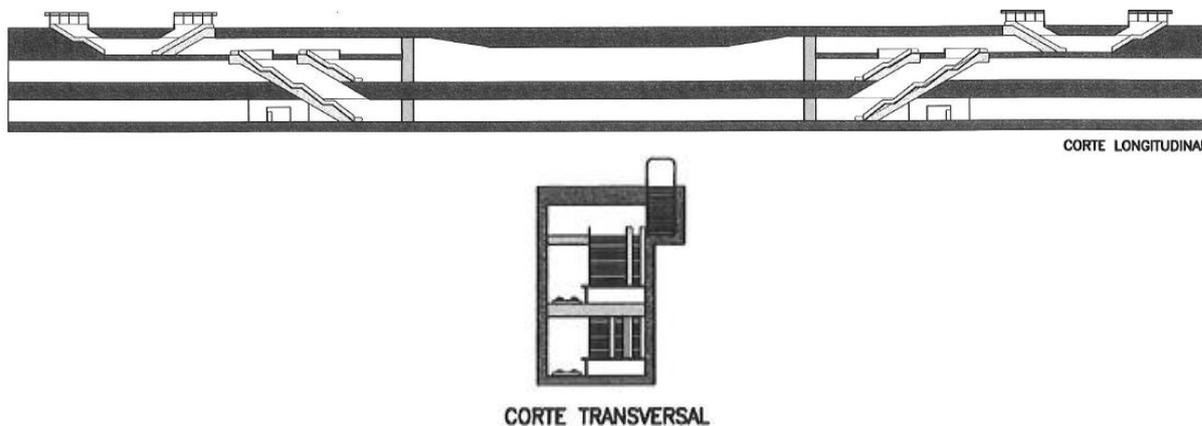
(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 135)

Figura 12 – Estação tipo 4: subterrânea com duas plataformas laterais em dois níveis



(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 137)

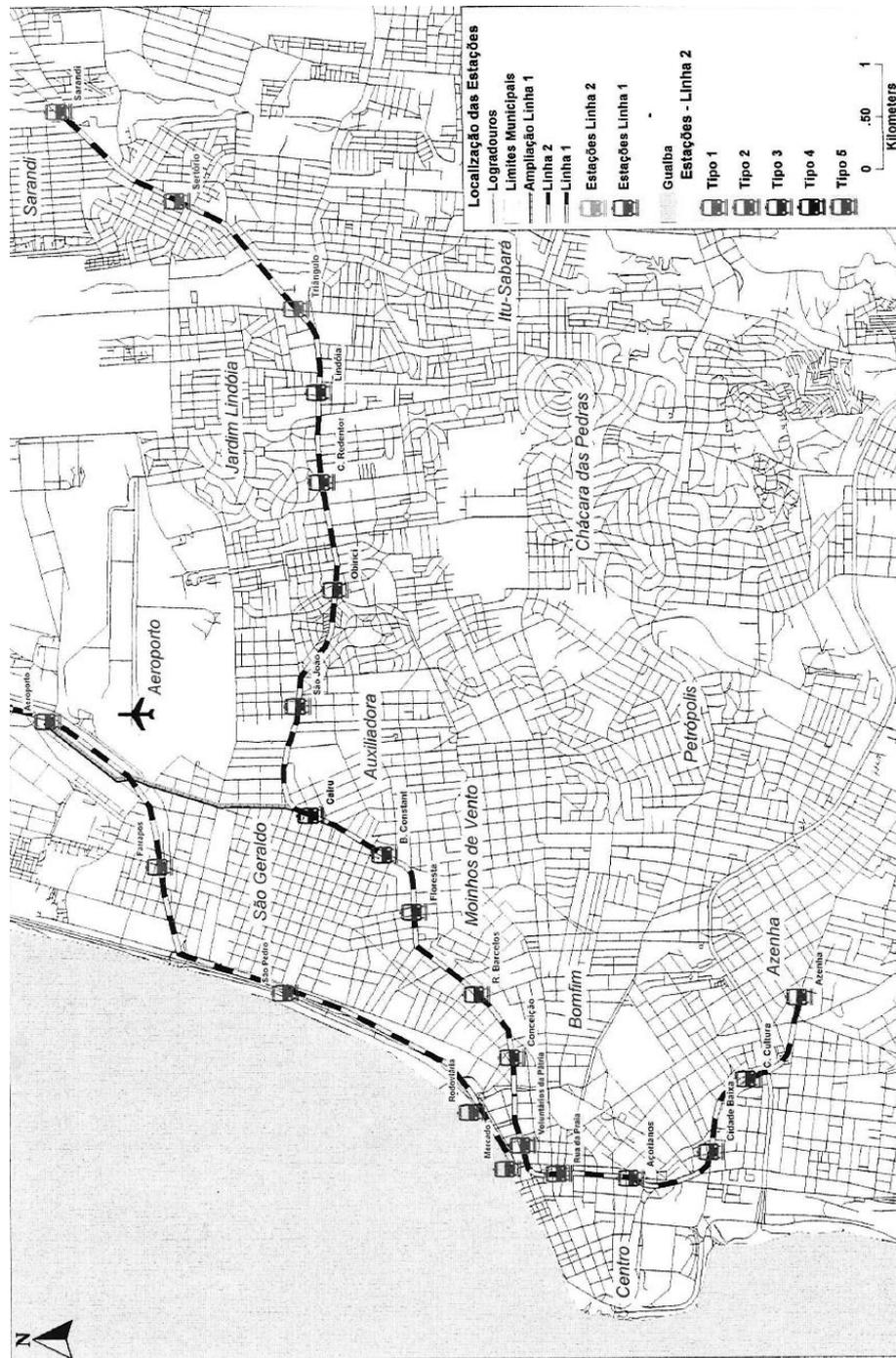
Figura13 – Estação tipo 5: subterrânea com uma plataforma lateral em dois níveis



(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 140)

A representação do traçado do metrô implantado sobre o mapa de Porto Alegre pode ser observada na figura 14, nesta figura também estão posicionadas as dezoito estações pertencentes à Linha 2, discriminadas por sua tipologia. Uma visualização mais detalhada desse projeto está disposta no anexo A deste trabalho.

Figura 14 – Traçado do metrô e posição das estações



(fonte: EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 128)

No quadro 1 está representado, de forma resumida, os estaqueamentos da via e das estações, informando também a tipologia utilizada para as mesmas.

Quadro 1 – Resumo dos estaqueamentos e tipologias das estações e vias

Nome	Estação					Via			
	km inicial	km final	Posição	Função	Tipo	km inicial	km final	Posição	Tipo
						0+000	0+362	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Azenha	0+362	0+462	Subterrâneo	Terminal	3				
						0+462	1+372	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Centro de Cultura	1+372	1+472	Subterrâneo	Passagem	3				
						1+472	2+165	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Cidade Baixa	2+165	2+265	Subterrâneo	Integração	3				
						2+265	3+193	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Açorianos	3+193	3+293	Subterrâneo	Passagem	3				
						3+293	3+550	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
						3+550	3+820	Subterrâneo	Galeria - vias superpostas
Rua da Praia	3+820	3+920	Subterrâneo	Passagem	5				
						3+920	4+356	Subterrâneo	Galeria - vias superpostas
Voluntários da Pátria	4+356	4+456	Subterrâneo	Passagem	5				
						4+456	4+750	Subterrâneo	Galeria - vias superpostas
						4+750	5+183	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Conceição	5+183	5+283	Subterrâneo	Passagem	3				
						5+283	5+920	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Ramiro Barcelos	5+920	6+020	Subterrâneo	Passagem	3				
						6+020	6+941	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Floresta	6+941	7+041	Subterrâneo	Passagem	3				
						7+041	7+645	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Benjamin Constant	7+645	7+745	Subterrâneo	Passagem	3				
						7+745	8+383	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Cairu	8+383	8+483	Subterrâneo	Transferência	4				
						8+483	9+552	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
São João	9+552	9+652	Subterrâneo	Passagem	3				
						9+652	10+808	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Obirici	10+808	10+908	Subterrâneo	Passagem	3				
						10+908	11+806	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Cristo Redentor	11+806	11+906	Subterrâneo	Passagem	3				
						11+906	12+675	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
Lindóia	12+675	12+775	Subterrâneo	Passagem	3				
						12+775	13+180	Subterrâneo	Galeria - vias laterais
						13+180	13+500	Elevado	Elevado - vias laterais
Triângulo	13+500	13+600	Elevado	Integração	1				
						13+600	15+070	Elevado	Elevado - vias laterais
Sertório	15+070	15+170	Elevado	Passagem	1				
						15+170	16+945	Elevado	Elevado - vias laterais
Sarandi	16+945	17+045	Elevado	Terminal	2				
						17+045	17+300	Elevado	Elevado - vias laterais

(fonte: baseado em EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 104)

A estimativa de tempo necessário para a execução desse percurso de 17,3 km era de 5 anos, iniciando no ano de 1997 e finalizando no ano de 2001 (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 207). Com essa previsão bastante otimista seria possível a construção de 3,46 km de infraestrutura de metrô por ano.

5.1.2 Custos estimados para a implantação do metrô

Os custos estimados para a construção do metrô referem-se à implantação da infraestrutura, ou seja, “[...] conjunto de obras civis de infra e superestrutura para implantação do projeto, correspondendo ao conjunto de vias e estações, elevadas e subterrânea; ao complexo de manutenção; à disponibilização de área; aos terminais e às obras de interferências.” (EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 127). Estes itens foram quantificados e orçados em 1996, sendo que os valores monetários correspondentes encontram-se discriminados no quadro 2.

Quadro 2 – Custos estimados de implantação da Linha 2 do metrô de Porto Alegre em 1996

Descrição	Quantidade Unitária	Unidade	Preço Unitário* (R\$ mil)	Total (R\$ mil)	%
Estações				86.932,80	17%
Subterrâneas	40.766,40	m ²	2,00	81.532,80	16%
Elevadas	6.750,00	m ²	0,80	5.400,00	1%
Via Permanente				369.597,71	74%
Subterrânea	13,15	km	24.253,40	318.932,21	64%
Elevada	4,17	km	12.150,00	50.665,50	10%
Terminais	10.000,00	m ²	0,50	5.000,00	1%
Interferências	17,32	km	750,00	12.990,00	3%
Disponibilização de áreas				22.950,00	5%
Centro	7.000,00	m ²	0,60	4.200,00	1%
Azenha e Colombo	24.000,00	m ²	0,50	12.000,00	2%
Assis Brasil	27.000,00	m ²	0,25	6.750,00	1%
Total				497.470,51	100%

*ano de referência: 1996

(fonte: adaptado de EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 196)

Para compatibilizar as comparações realizadas neste trabalho, os valores do quadro 2 foram atualizados pela inflação calculada entre o início do ano de 1997 e o início do ano de 2012, segundo o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) apurados pela Fundação Getúlio Vargas (2012, p. II). A inflação nesse período foi, em percentual, de 220,97%, resultando em uma atualização dos valores de 1996 para 2012 como estão descritos no quadro 3.

Quadro 3 – Custos estimados de implantação da Linha 2 do metrô de Porto Alegre em 2012

Descrição	Quantidade Unitária	Unidade	Preço Unitário* (R\$ mil)	Total (R\$ mil)	%
Estações				279.024,90	17%
Subterrâneas	40.766,40	m ²	6,42	261.692,73	16%
Elevadas	6.750,00	m ²	2,57	17.332,17	1%
Via Permanente				1.186.283,73	74%
Subterrânea	13,15	km	77.845,22	1.023.664,60	64%
Elevada	4,17	km	38.997,39	162.619,13	10%
Terminais	10.000,00	m ²	1,60	16.048,31	1%
Interferências	17,32	km	2.407,25	41.693,51	3%
Disponibilização de áreas				73.661,74	5%
Centro	7.000,00	m ²	1,93	13.480,58	1%
Azenha e Colombo	24.000,00	m ²	1,60	38.515,94	2%
Assis Brasil	27.000,00	m ²	0,80	21.665,22	1%
Total				1.596.712,19	100%

*atualizado segundo o INCC de 1997 à 2012

(fonte: adaptado de EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA, [1997], p. 196)

Assim, a estimativa do custo de implantação do metrô resulta em valores aproximado de R\$ 206 milhões, para o trecho em via elevada, e em R\$ 1.390 milhões, para o trecho subterrâneo. Isso equivale a R\$ 106 milhões por quilômetro de implantação de metrô subterrâneo. Em um documento elaborado pela Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2004 e intitulado de: A Expansão do Sistema de Transporte Metroferroviário da Região Metropolitana de Porto Alegre: relatório final da subcomissão mista sobre a expansão do sistema de transporte metropolitano de passageiros, foi questionado o baixo custo estimado para a implantação do metrô em relação a custos previstos em obras semelhantes.

No documento supracitado dissertou-se que, para a construção da Linha 4 do metrô de São Paulo, que apresenta características similares a do metrô de Porto Alegre, foi projetado um custo de investimento por quilômetro de infraestrutura na ordem de US\$ 98 milhões, em 2004. Logo, foi inferido que o custo de implantação do metrô de Porto Alegre não poderia ser inferior a US\$ 60 milhões/km (RIO GRANDE DO SUL, 2004, p. 16). Atualizando esse valor segundo o dólar comercial médio do ano de 2004 que era de R\$ 2,92 (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2012, p. XV) e atualizado pelo índice de inflação do INCC de 2004 a 2012, 76,96% (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2012, p. II) conclui-se que o custo por

quilômetro de infraestrutura subterrânea para o metrô não poderia se encontrar abaixo de R\$ 310 milhões/km, ou seja, esse valor representa aproximadamente o triplo do valor estimado no projeto original de 1996. Esse último resultado ficou mais próximo das expectativas, pois além de se basear em valores mais recentes, foi avaliado em comparativo com o custo de um projeto semelhante, o do metrô de São Paulo.

De posse destes dados será possível estimar o custo de implantação do metrô no trecho de estudo, por isso, no item que segue, a área abrangida pelo trecho será mais bem caracterizada. Neste enfoque serão informando as características peculiares da mesma e os motivos que conduziram a escolha desse determinado local para a realização do presente trabalho.

5.2 A AVENIDA ASSIS BRASIL E O TRECHO DE ESTUDO

A avenida Assis Brasil é uma via arterial localizada na região nordeste de Porto Alegre, essa via é uma das principais ligações entre a capital e cidades que compõe a Região Metropolitana, tais como Cachoeirinha, Alvorada e Gravataí. Como muitas das avenidas de Porto Alegre, ela segue um sentido radial em relação ao centro, e como característica peculiar, muda sua configuração diversas vezes ao longo de sua extensão, as divisões estão descritas nos parágrafos que seguem.

O primeiro trecho, que começa no final da avenida Benjamin Constant e segue até a bifurcação da avenida Assis Brasil com a avenida Brasiliano Índio de Moraes, tem na sua composição seis faixas, três em cada sentido, sendo duas de destinação exclusiva para ônibus. A divisão entre as pistas se dá através de canteiro central de pequena largura e a separação entre automóveis e ônibus é feita através de muretas quando da estação e as demais através de sinalização horizontal. A região contempla tanto edificações residenciais quanto comerciais.

O segundo trecho começa na bifurcação entre a avenida Assis Brasil e a avenida Brasiliano Índio de Moraes e termina na interseção com o viaduto Obirici. Esse percurso ocorre em sentido único (bairro-centro) e é composto de três faixas compartilhadas entre ônibus e automóveis. Nessa região predominam as atividades comerciais.

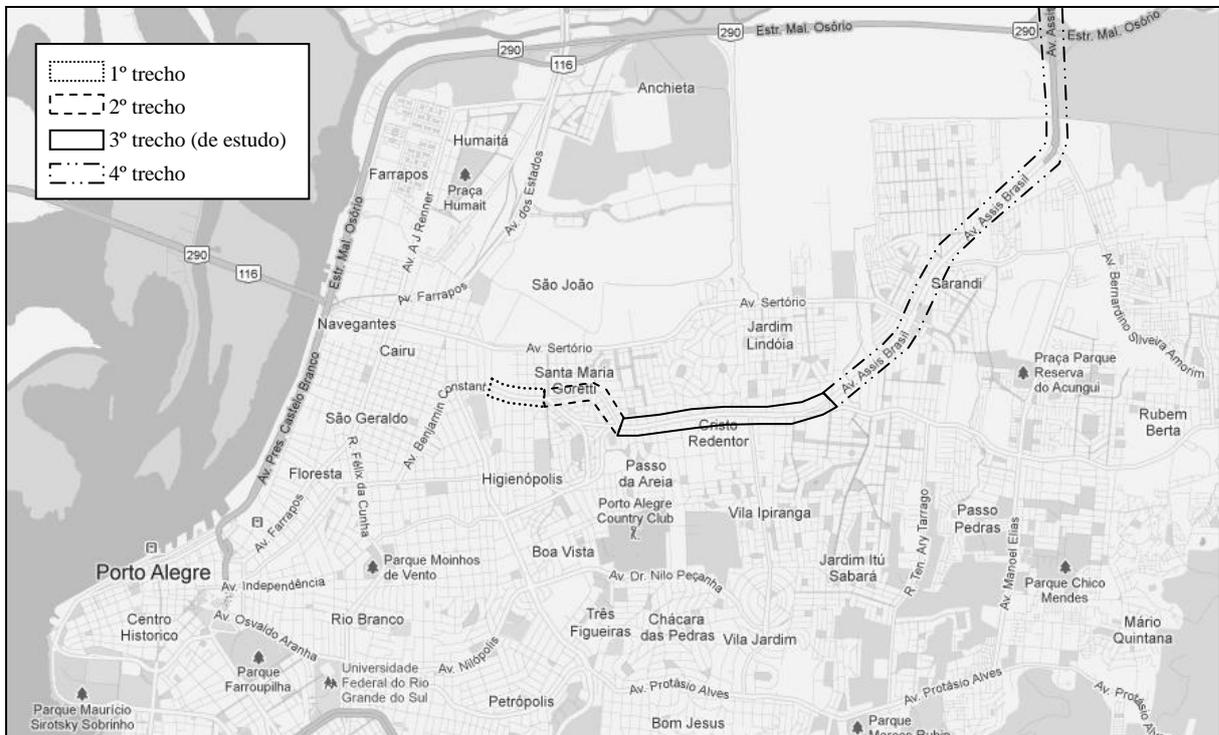
O terceiro trecho – adotado como o de estudo – começa no viaduto Obirici e estende-se até o terminal de ônibus Triângulo. Esse trecho é muito semelhante ao primeiro quanto às

características da via, porém recebe um fluxo mais intenso de automóveis e ônibus. Essa intensificação da demanda deve-se ao comércio mais dinâmico da região e também por que muitas das ruas secundárias direcionam o fluxo para a mesma, e isso deve-se, provavelmente, devido à inexistência de outras vias paralelas ou transversais de grande porte nas imediações. Outra característica que explica um fluxo mais intenso nessa região da avenida em relação aos outros é que, com a proximidade do Terminal Triângulo, muitos ônibus tem seu itinerário adaptado a trafegar pela via para, assim, acessar o terminal.

O quarto trecho tem início no Terminal Triângulo e o final na divisa com a cidade de Cachoeirinha, esse é o trecho mais extenso e é dotado de três a quatro faixas por sentido e conta com grandes canteiros centrais. O tráfego de ônibus é compartilhado com o de automóveis e com o grande número de caminhões que circulam por essa via. Nessa região predomina o comércio e também é possível encontrar algumas fábricas.

A figura 15 representa os trechos descritos acima em relação ao contexto de Porto Alegre.

Figura 15 – Avenida Assis Brasil e seus trechos



(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, 2012)

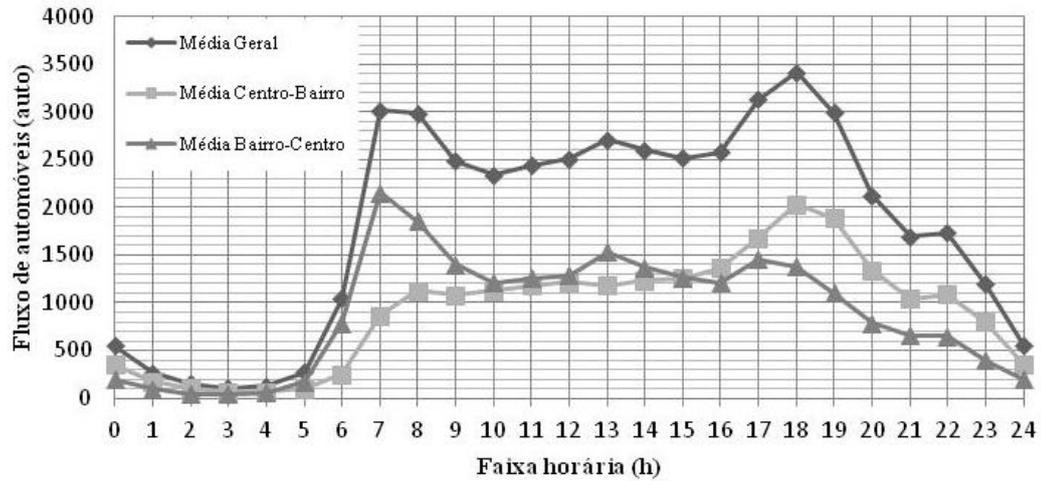
5.2.1 As características atuais do trecho de estudo

O traçado do metrô escolhido para o trabalho, que inicia no viaduto Obirici e segue até o terminal Triângulo, tem extensão de 2.792 m e é composto por dois tipos de via: subterrânea e elevada. A via subterrânea e suas estações, que são de interesse para o trabalho, perfazem 2.372 m entre o início da estação Obirici até o final da via subterrânea, incluindo também as estações Cristo Redentor e Lindóia. O trecho de estudo tem suas estações subterrâneas com duas plataformas laterais no mesmo nível e a via permanente foi concebida na forma de galeria com vias laterais. Já a via elevada e o terminal Triângulo têm, juntos, 420 m, porém não serão mais consideradas para fins de cálculo por não se enquadrarem no estudo proposto que é relacionado à construção de túnel com a técnica *cut and cover*.

Como a previsão de conclusão da obra foi, inicialmente, de cinco anos para 17,3 km, logo, por simplificação e para se ter ideia da ordem de grandeza, para os 2,372 km do trecho de estudo, seriam necessários, aproximadamente, oito meses e meio e considerando o custo de R\$ 310 milhões por quilômetro de metrô subterrâneo, e para o trecho de estudo, seriam necessários investimentos na ordem de R\$ 735,3 milhões.

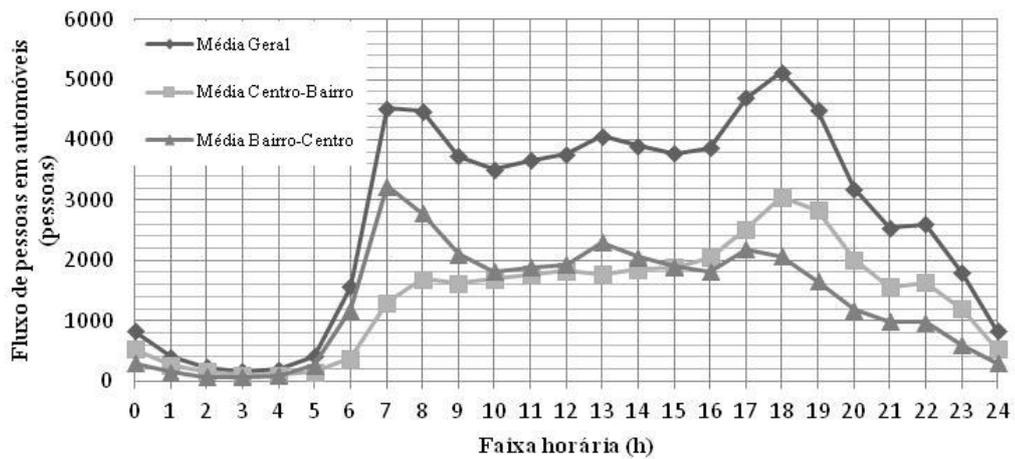
O perfil de demanda atual de automóveis, ônibus e usuários desses meios de transporte por hora que foram adotados para essa via estão dispostos nas figuras 16 a 19 e são baseados nas diretrizes e parâmetros expostos no apêndice A, onde os mesmos são obtidos através de dados disponíveis em trabalhos dos autores Cardoso e Moscarelli (2005), Porto Alegre (2010) e Ladeira e Ariotti (2011).

Figura 16 – Fluxo de automóveis ao longo do dia



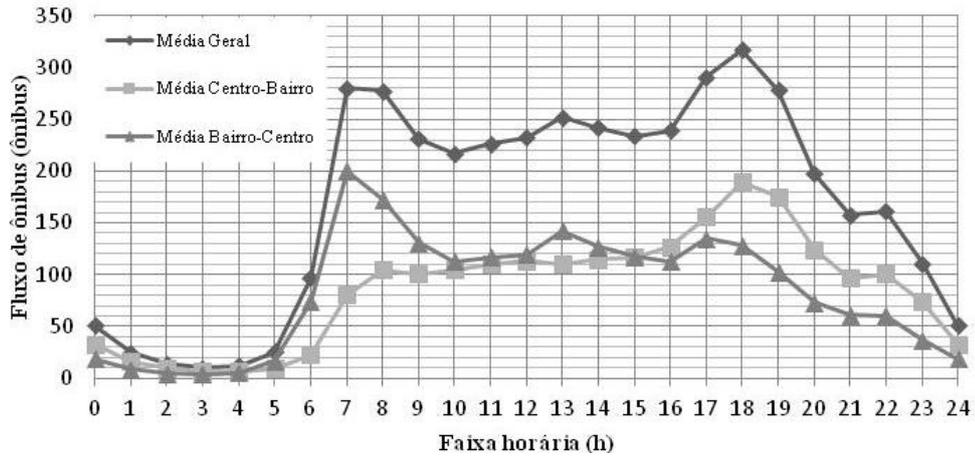
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 17 – Fluxo de pessoas em automóveis ao longo do dia



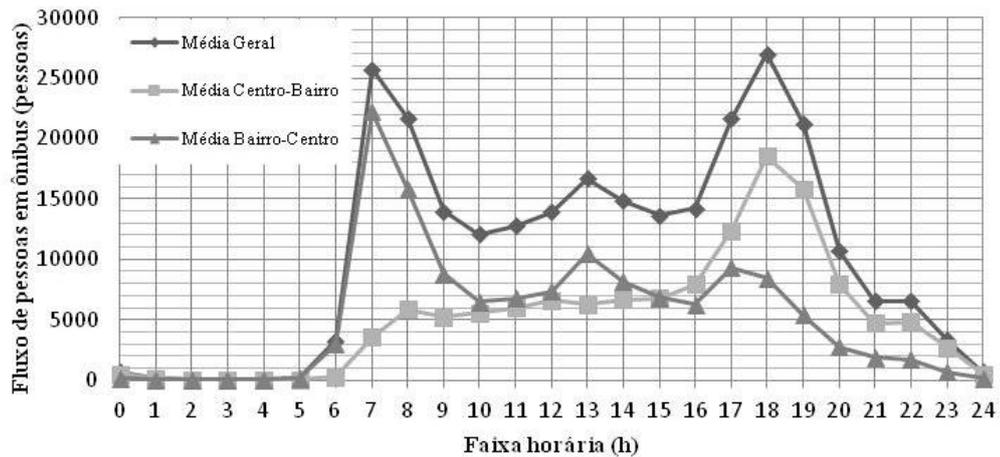
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 18 – Fluxo de ônibus ao longo do dia



(fonte: elaborada pela autora)

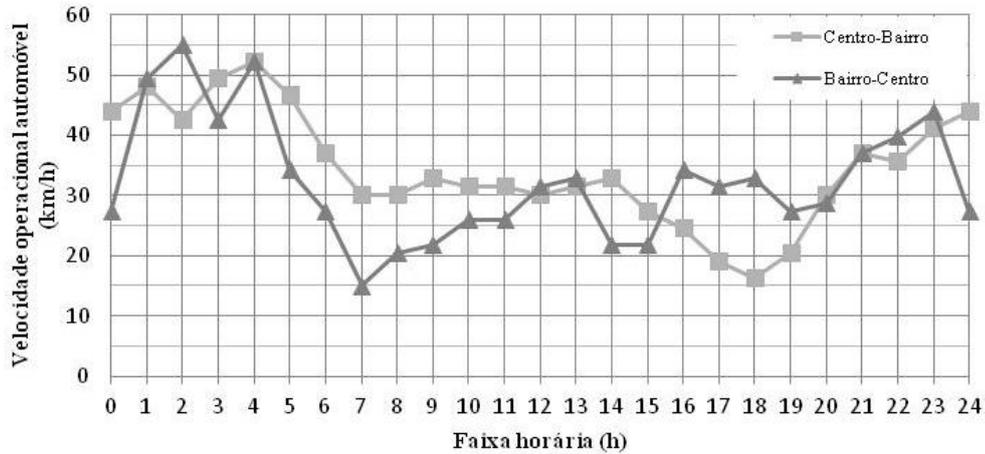
Figura 19 – Fluxo de pessoas em ônibus ao longo do dia



(fonte: elaborada pela autora)

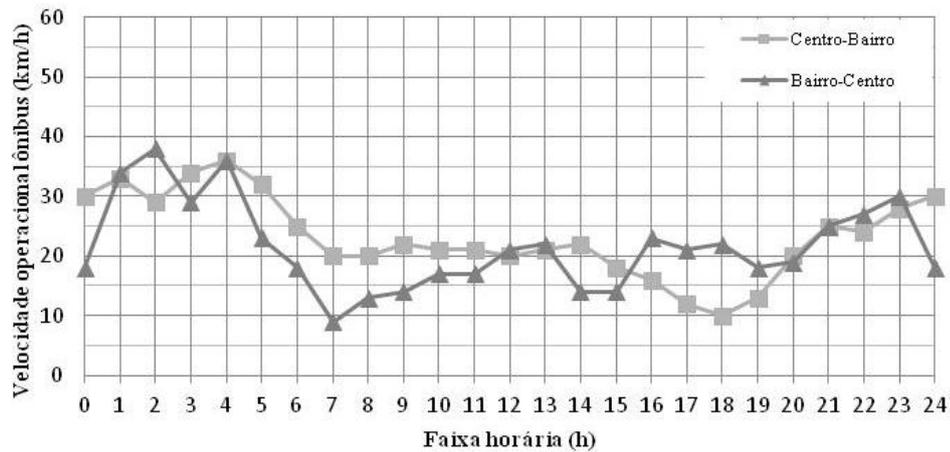
O perfil de velocidades operacionais desenvolvidas ao longo de um dia típico por automóveis e ônibus no trecho de estudo estão expostos nas figuras 20 e 21, esses perfis foram obtidos segundo informações contidas em trabalho de Ladeira e Ariotti (2011). No apêndice B é possível identificar como os mesmos foram obtidos.

Figura 20 – Velocidade operacional de automóveis ao longo do dia



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 21 – Velocidade operacional de ônibus ao longo do dia



(fonte: LADEIRA; ARIOTTI, 2011, p. [9])

De posse da caracterização e de dados referentes à via escolhida para o presente estudo, é possível que sejam feitas as análises quanto aos transtornos que podem ser causados no meio antrópico pela obra do metrô de Porto Alegre.

5.2.2 Transtornos no trecho de estudo devido à obra

Como os custos com externalidades advindas das obras do metrô de Porto Alegre serão resultado principalmente dos transtornos na dinâmica de circulação, algumas considerações foram realizadas a esse respeito para que no fim se encontre a uma situação hipotética do que

acontecerá na avenida Assis Brasil durante esse período. As considerações de como a dinâmica da Avenida se comportará com as obras do metrô servirão de contraponto à situação atual, ou seja, a referência do decréscimo da qualidade dos deslocamentos nos meios de transporte será em relação às condições atuais, que, na conjuntura existente, já apresentam baixo desempenho.

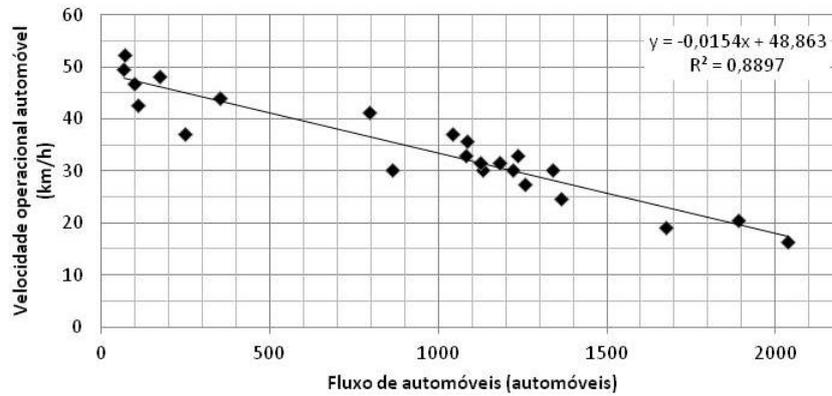
A avenida Assis Brasil, no trecho de estudo, conta com quatro faixas destinadas para automóveis, duas em cada sentido, e também com duas faixas de uso exclusivo para ônibus, com sentidos opostos. Como a concepção de túnel neste local é por galeria e a via permanente foi adotada como sendo em vias laterais, significa que a profundidade do túnel não é de grandes dimensões, porém a largura é de aproximadamente 10 m, o que equivale a ocupar toda a área destinada à circulação exclusiva de ônibus. Logo, para a construção do túnel do metrô, duas faixas de trânsito na avenida Assis Brasil estarão bloqueadas. Desconsiderou-se a possibilidade da presença de maquinário pesado transitando e, até mesmo, operando sobre as faixas de trânsito restantes, que serviriam para o escoamento do tráfego regular.

Por simplificação, foi adotado que não haverá desvios de rota por parte dos motoristas e, devido a isso, as duas faixas que restarão por sentido serão compartilhadas entre ônibus e automóveis que circulam diariamente no local (no presente trabalho não foi prevista a utilização dessa via por veículos tais como motos e caminhões). A disponibilidade de faixas considerada para cada tipo de veículo para fins de cálculo foi a seguinte:

- a) 0,5 faixas/sentido para ônibus;
- b) 1,5 faixas/sentido para carros.

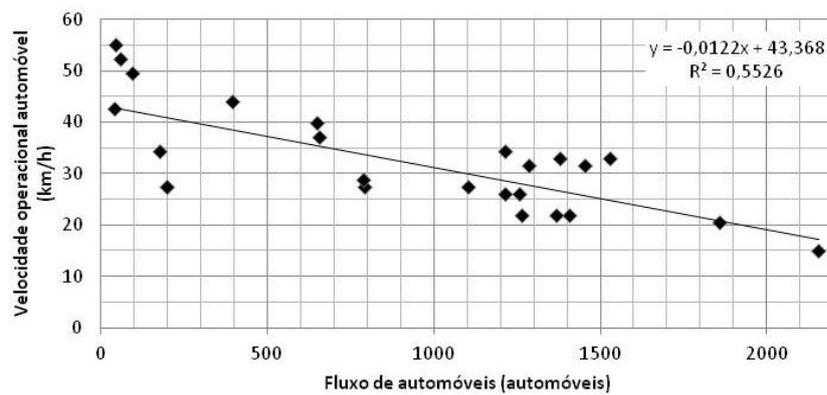
Para o cálculo da velocidade, essa consideração foi traduzida como equivalente a colocar o dobro de ônibus nas faixas exclusivas atuais, ou seja, como a disponibilidade de espaço para os ônibus cairia pela metade, fez-se o inverso, multiplicou-se o fluxo de ônibus por duas vezes, raciocínio equivalente foi utilizado para os automóveis, ou seja, multiplicou-se o número de veículos que transitam na avenida Assis Brasil atualmente por 1,33. A velocidade operacional foi obtida através da fórmula que correlaciona linearmente o fluxo de veículos por sentido com a velocidade operacional desenvolvida pelos mesmos. As figuras 22 a 25 demonstram essa correlação.

Figura 22 – Correlação entre velocidade operacional e fluxo de automóveis direção centro-bairro



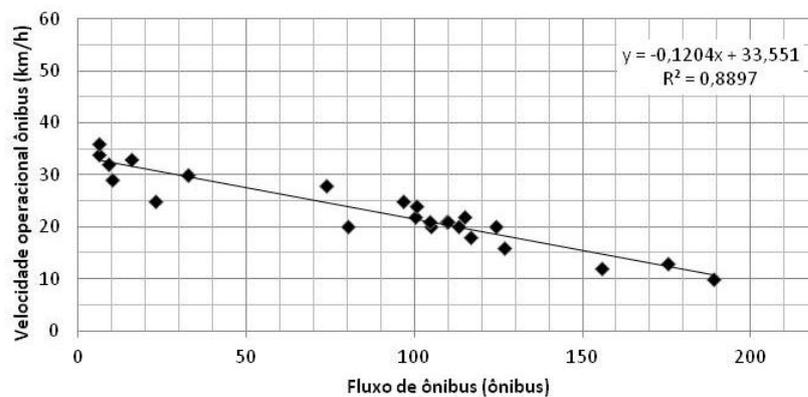
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 23 – Correlação entre velocidade operacional e fluxo de automóveis direção bairro-centro



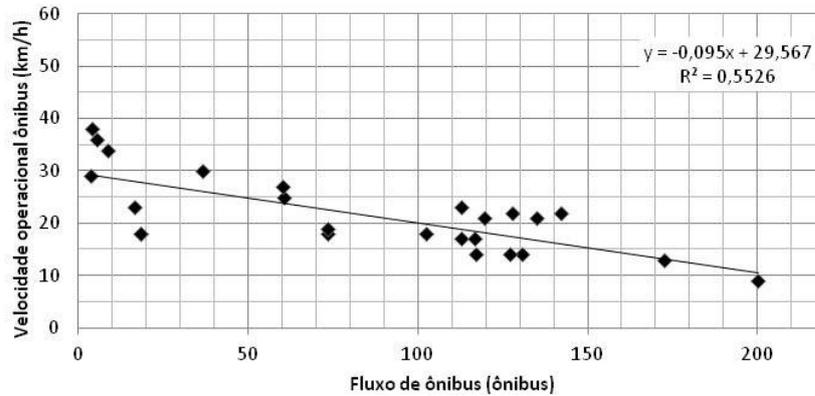
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 24 – Correlação entre velocidade operacional e fluxo de ônibus direção centro-bairro



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 25 – Correlação entre velocidade operacional e fluxo de ônibus direção bairro-centro



(fonte: elaborada pela autora)

As velocidades operacionais que serão desenvolvidas durante o período de obras foram obtidas através da utilização das fórmulas apresentadas nas figuras 22 a 25, nas quais se utilizou o número de veículos como dado de entrada, porém utilizaram-se os seguintes critérios: as velocidades operacionais durante a obra poderiam ser no máximo iguais às velocidades desenvolvidas atualmente e nenhuma velocidade poderia, por obviedade, ser igual a zero ou negativa, nesses casos adotou-se velocidade operacional igual a 1 km/h. As velocidades operacionais calculadas para os diversos períodos do dia para automóveis e ônibus estão expostas na tabela 1.

Tabela 1 – Velocidades operacionais com obras

Hora	Velocidade operacional de automóveis (km/h)		Velocidade operacional dos automóveis com obras (km/h)		Velocidade operacional dos ônibus (km/h)		Velocidade operacional dos ônibus com obras (km/h)	
	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro
0	44	27	42	27	30	18	26	18
1	48	49	45	42	33	34	30	28
2	43	55	43	43	29	38	29	29
3	49	43	47	43	34	29	32	29
4	52	52	47	42	36	36	32	29
5	47	34	47	34	32	23	31	23
6	37	27	37	27	25	18	25	16
7	30	15	30	8	20	9	14	1
8	30	21	26	13	20	13	8	1
9	33	22	27	20	22	14	9	5
10	32	26	26	24	21	17	8	8
11	32	26	25	23	21	17	7	7
12	30	32	24	22	20	21	6	7
13	32	33	25	18	21	22	7	3
14	33	22	23	21	22	14	6	5
15	27	22	23	22	18	14	5	7
16	25	34	21	24	16	23	3	8
17	19	32	14	20	12	21	1	4
18	16	33	7	21	10	22	1	5
19	21	27	10	25	13	18	1	10
20	30	29	21	29	20	19	4	16
21	37	37	27	33	25	25	10	18
22	36	40	27	33	24	27	9	18
23	41	44	33	37	28	30	16	23
24	44	27	42	27	30	18	26	18

(fonte: elaborada pela autora)

Para o tempo de obra foi pensado no presente trabalho que, como no trecho de estudo, no projeto de 1997, estão estabelecidas três estações (Obirici, Cristo Redentor e Lindóia), as obras seriam executadas em três etapas e com tempo proporcional ao seu comprimento:

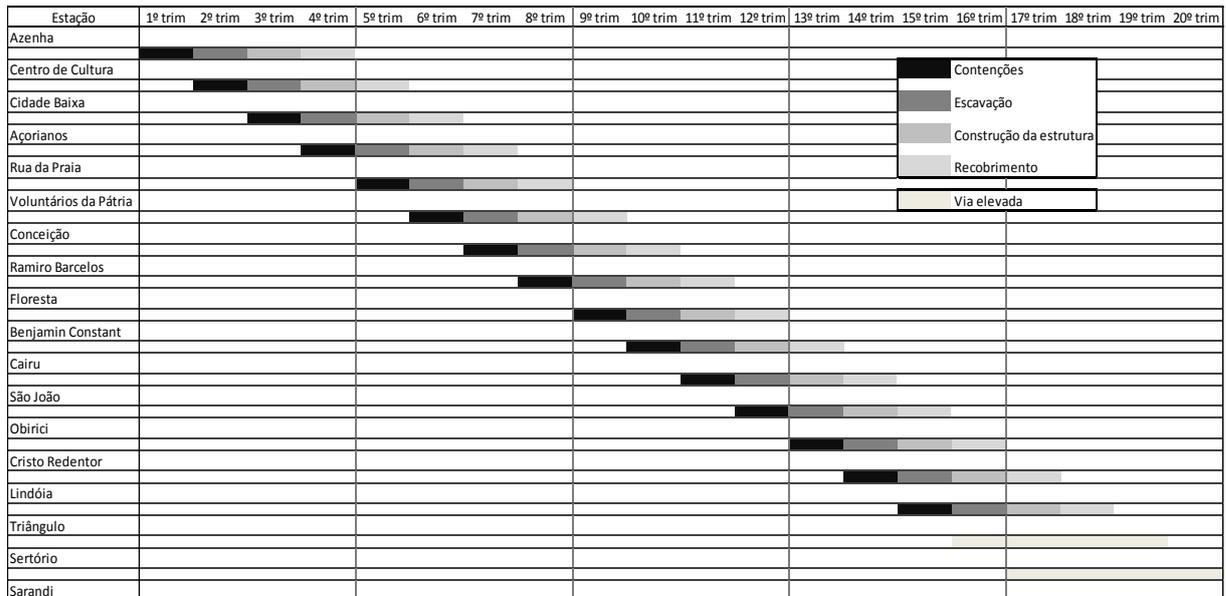
- a) estação Obirici a estação Cristo Redentor (998 m) – 3,5 meses;
- b) estação Cristo Redentor à estação Lindóia (869 m) – 3 meses;
- c) estação Lindóia até o final da via subterrânea (505 m) – 2 meses.

Contudo esses períodos pareceram demasiados curtos para a execução dessas obras que tem grandes dimensões e alta complexidade, por isso adotou-se que o túnel seria executado em frentes de trabalho:

- a) execução de contenções de solo (estacas prancha, parede de diafragma ou outros);
- b) escavação do solo até a cota inferior;
- c) construção da estrutura;
- d) recobrimento e repavimentação do local.

Se cada frente de trabalho atuasse no trecho compreendido entre estações e se cada atividade tivesse o mesmo período duração, para a obra ser concluída nos cinco anos previstos, por simplicidade, as atividades ficariam distribuídas conforme a figura 26.

Figura 26 – Cronograma da obra do metrô



(fonte: elaborada pela autora)

De posse desse cronograma é possível verificar que o tempo de transtornos causados pela obra é de um ano e meio desde o início da execução das estruturas de contenção na estação Obirici até o recobrimento e pavimentação do fim do trecho subterrâneo próximo à estação Triângulo. Contudo também é possível notar que, de fato, o tempo de interrupção do corredor de ônibus da avenida Assis Brasil no trecho de estudo é de um ano, quando considerando a sobreposição dos tempos da interrupção total da área. Esse valor de um ano é o que será adotado para fins de cálculo dos custos com externalidades mesmo sabendo que, na realidade, obras acabam tendo durações maiores que as previstas devido à contratemplos.

6 O CUSTO DOS TRANSTORNOS DEVIDO À CONSTRUÇÃO DO METRÔ NO TRECHO DE ESTUDO

Para o cálculo dos custos dos transtornos devido à construção do metrô de Porto Alegre, no trecho de estudo na avenida Assis Brasil, algumas considerações foram realizadas acerca das fórmulas apresentadas no capítulo 4. Como no estudo de viabilidade do Trensurb as fórmulas demonstravam externalidades positivas, ou seja, benefícios para a sociedade durante a operação do metrô e agora elas passam a ser externalidades negativa devido à obra, ou seja, é um preço pago pela sociedade, não com o desembolso direto de dinheiro, mas sim como uma quantificação monetária fictícia advinda dos transtornos causados à rotina das pessoas, as fórmulas foram modificadas a fim de satisfazerem os critérios desse estudo.

A análise dos custos com externalidades é diretamente dependente de características intrínsecas a área de estudo, no presente caso, das características da avenida Assis Brasil no trecho compreendido entre as estações Obirici e final da via subterrânea, próximo ao Terminal Triângulo. Por isso serão utilizadas as descrições e características da via e da construção do túnel do metrô do capítulo 5.

6.1 CUSTO DO TEMPO DESPENDIDO EM CONGESTIONAMENTOS

O custo do tempo despendido em congestionamento é dependente do valor da hora das pessoas e do tempo gasto adicionalmente pelos mesmos no trânsito. O valor da hora foi calculado em função da renda *per capita*, dos encargos sociais e do número de horas trabalhadas no mês. Esta metodologia está sujeita a críticas e é considerada ultrapassada por autores da área, porém, devido a sua simplicidade, a mesma foi utilizada.

A renda *per capita* média dos cidadãos porto-alegrenses é de R\$ 1.605,00 segundo a Fundação Getúlio Vargas (2012, p. VIII), já os encargos sociais têm o valor de 95,02% e o número de horas trabalhadas é igual a 168 horas por mês (INSTITUTO DE PESQUISA ECÔNOMICA APLICADA; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO,

1998, p. 10). Utilizando esses valores na fórmula 14 tem-se que o valor da hora de uma pessoa é, em média, de R\$ 2,80.

O tempo gasto adicionalmente no trânsito foi obtido através de metodologia desenvolvida nesse trabalho. Para isso, considerou-se que o tempo despendido no trânsito é igual à diferença entre o tempo a ser gasto pelas pessoas para percorrer o trecho de estudo durante o período de obras menos o tempo utilizado atualmente para o mesmo trajeto e multiplicado pelo número de passageiros (fórmula 17):

$$t = (d/v_{obra} - d/v_{hoje}) * FP \quad \text{(fórmula 17)}$$

Onde:

t = tempo adicional despendido pelos passageiros (h);

d = comprimento do trecho de estudo (2,372 km);

v_{hoje} = velocidade operacional atual (km/h);

v_{obra} = velocidade operacional com obras (km/h);

FP = fluxo de passageiros (pessoas).

Para a obtenção dos valores durante todo o período de obras, multiplicou-se o resultado da fórmula pelo número de meses da obra e de dias úteis do mês, não foram consideradas variações no fluxo durante a semana, nem congestionamentos nos finais de semana. As tabelas 2 e 3 dispõem os resultados para automóveis e ônibus, respectivamente.

Logo, multiplicando a soma do tempo adicional despendido pelas pessoas em automóveis e ônibus pelo valor do tempo dos mesmos chegou-se a um custo de R\$ 174.025.630,80 para o tempo despendido em congestionamento. Esse valor, por si só, corresponde a aproximadamente 24% do custo de implantação do metrô no trecho de estudo.

Tabela 2 – Tempo adicional despendido pelas pessoas em automóveis

Hora	Fluxo de pessoas em automóveis ao longo do dia (pessoas)		Velocidade operacional de automóveis (km/h)		Velocidade operacional dos automóveis com obras (km/h)		Tempo despendido pelas pessoas por dia (h)		Tempo despendido pelas pessoas durante a obra (h)
	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro Bairro-Centro
0	527	297	44	27	42	27	2	0	416
1	258	140	48	49	45	42	1	1	529
2	161	68	43	55	43	43	0	1	225
3	100	62	49	43	47	43	0	0	53
4	101	87	52	52	47	42	0	1	365
5	146	265	47	34	47	34	0	0	0
6	371	1188	37	27	37	27	0	0	0
7	1295	3234	30	15	30	8	0	413	108.907
8	1695	2786	30	21	26	13	23	180	53.822
9	1623	2109	33	22	27	20	28	16	11.409
10	1689	1821	32	26	26	24	29	17	12.031
11	1773	1885	32	26	25	23	38	23	16.107
12	1829	1930	30	32	24	22	38	59	25.679
13	1775	2295	32	33	25	18	38	129	44.144
14	1855	2053	33	22	23	21	54	8	16.415
15	1886	1893	27	22	23	22	31	0	8.173
16	2047	1820	25	34	21	24	36	57	24.537
17	2515	2183	19	32	14	20	101	99	52.842
18	3055	2067	16	33	7	21	587	85	177.533
19	2832	1656	21	27	10	25	338	11	92.181
20	2008	1184	30	29	21	29	65	0	17.159
21	1563	981	37	37	27	33	35	8	11.433
22	1627	971	36	40	27	33	37	12	13.024
23	1195	594	41	44	33	37	18	6	6.469
24	527	297	44	27	42	27	2	0	416
Total	33928	33572	-	-	-	-	1.499	1.127	693.453

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 3 – Tempo adicional despendido pelas pessoas em ônibus

Hora	Fluxo de passageiros em ônibus ao longo do dia (pessoas)		Velocidade operacional dos ônibus (km/h)		Velocidade operacional dos ônibus com obra (km/h)		Tempo despendido pelos passageiros por dia (h)		Tempo despendido pelos passageiros durante a obra (h)
	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro Bairro-Centro
0	520	165	30	18	26	18	7	0	1.814
1	123	36	33	34	30	28	1	1	405
2	48	9	29	38	29	29	0	0	45
3	21	8	34	29	32	29	0	0	24
4	19	14	36	36	32	29	0	0	108
5	42	137	32	23	31	23	0	0	16
6	287	2953	25	18	25	16	0	60	15.861
7	3561	22196	20	9	14	1	171	46.799	12.399.848
8	5862	15840	20	13	8	1	983	34.683	9.415.687
9	5204	8791	22	14	9	5	757	2.890	962.943
10	5583	6491	21	17	8	8	949	983	509.980
11	5992	6768	21	17	7	7	1.319	1.224	671.433
12	6580	7328	20	21	6	7	1.701	1.704	898.659
13	6255	10463	21	22	7	3	1.382	8.506	2.610.513
14	6672	8175	22	14	6	5	1.959	2.190	1.095.583
15	6798	6849	18	14	5	7	2.069	1.065	827.265
16	7935	6271	16	23	3	8	5.019	1.175	1.635.213
17	12362	9314	12	21	1	4	26.878	4.616	8.314.363
18	18522	8478	10	22	1	5	39.540	2.911	11.207.228
19	15816	5410	13	18	1	10	34.630	559	9.289.797
20	7943	2762	20	19	4	16	4.261	74	1.144.541
21	4701	1853	25	25	10	18	641	68	187.298
22	4840	1725	24	27	9	18	756	74	219.139
23	2659	657	28	30	16	23	175	17	50.795
24	520	165	30	18	26	18	7	0	1.814
Total	128343	132693	-	-	-	-	123.199	109.599	61.458.558

(fonte: elaborada pela autora)

6.2 CUSTO DO TEMPO DE VIAGEM

O custo do tempo de viagem é calculado através da fórmula 1 e depende do preço disposto a ser pago pelo recurso, ou seja, o benefício associado ao mesmo (ônibus ou automóveis) e do número de passageiros que utilizam esse recurso. O tempo de viagem é uma análise semelhante à realizada no item anterior, pois avalia o valor que as pessoas atribuem ao seu próprio tempo através da escolha de um meio de transporte. Por ser um cálculo que representa uma situação muito parecida ao tempo despendido em congestionamento o cálculo desse custo não vai ser explicitado para evitar redundância, pois o mesmo não seria acrescentado ao custo final das externalidades.

6.3 CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ÔNIBUS E AUTOMÓVEIS

O custo de operação e manutenção de ônibus e automóveis é dependente de diversos fatores, entre eles constam o consumo de combustíveis e os custos operacionais dos veículos por quilômetro. Os custos operacionais dos ônibus, segundo Raymundo (2010, p. 45), são de R\$ 4,90/ℓ e, para automóveis, de R\$ 0,44/ℓ. O consumo de combustíveis, por sua vez, é dependente das velocidades operacionais praticadas e do número de passageiros.

Para o cálculo do custo de operação e manutenção dos automóveis e ônibus foi utilizado o raciocínio de que o mesmo equivale à diferença do consumo de combustíveis entre a situação atual e a situação em obra, ou seja, como as velocidades operacionais vão diminuir, maior serão os custos por quilômetro rodado, isso pode ser verificado nas fórmulas 4 e 5 do presente trabalho. As tabelas 4 e 5 representam o cálculo dos custos operacionais e de manutenção dos veículos.

A soma dos custos operacionais de ônibus e de automóveis multiplicados pelo número de dias úteis do ano resultou em um custo de R\$ 5.901.733,36. Esse valor equivale a aproximadamente 0,8% do preço das obras de infraestrutura.

Tabela 4 – Custo operacional dos automóveis no trecho de estudo

Hora	Fluxo de automóveis ao longo do dia (auto)			Velocidade operacional de automóveis (km/h)			Velocidade operacional dos automóveis com obras (km/h)			Consumo de gasolina do automóvel atualmente (l/km)			Consumo de gasolina do automóvel com obra (l/km)			Diferença do consumo de gasolina (l/km)			Custo operacional dos automóveis por dia (R\$)		
	Média			Centro- Bairro- Centro			Centro- Bairro- Centro			Centro- Bairro- Centro			Centro- Bairro- Centro			Centro- Bairro- Centro			Centro- Bairro- Centro		
	Centro- Bairro- Centro	Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro	Bairro- Centro	Centro- Bairro- Centro
0	351	198	198	44	27	42	27	42	27	0,111	0,134	0,114	0,134	0,002	0,000	0,83	0,00	0,00	0,00	0,83	0,00
1	172	93	93	48	49	45	42	45	42	0,108	0,107	0,110	0,114	0,002	0,007	0,43	0,67	0,00	0,43	0,67	0,00
2	108	45	45	43	55	43	43	43	43	0,113	0,103	0,113	0,113	0,000	0,010	0,00	0,49	0,00	0,00	0,49	0,00
3	67	41	41	49	43	47	43	43	43	0,107	0,113	0,108	0,113	0,002	0,000	0,12	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
4	68	58	58	52	52	47	42	42	42	0,105	0,105	0,108	0,113	0,004	0,008	0,27	0,52	0,00	0,27	0,52	0,00
5	98	177	177	47	34	47	34	47	34	0,109	0,122	0,109	0,122	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	247	792	792	37	27	37	27	37	27	0,119	0,134	0,119	0,134	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	863	2156	2156	30	15	30	8	30	8	0,129	0,176	0,129	0,246	0,000	0,070	0,00	157,62	0,00	0,00	0,00	157,62
8	1130	1858	1858	30	21	26	13	26	13	0,129	0,151	0,137	0,188	0,009	0,037	10,25	71,17	0,00	10,25	71,17	0,00
9	1082	1406	1406	33	22	27	20	27	20	0,124	0,147	0,135	0,151	0,011	0,004	12,30	6,41	0,011	12,30	6,41	0,004
10	1126	1214	1214	32	26	26	24	26	24	0,126	0,137	0,137	0,142	0,011	0,006	12,61	7,18	0,011	12,61	7,18	0,006
11	1182	1257	1257	32	26	26	25	23	23	0,126	0,137	0,140	0,144	0,013	0,007	16,52	9,82	0,013	16,52	9,82	0,007
12	1219	1287	1287	30	32	24	22	24	22	0,129	0,126	0,142	0,145	0,013	0,019	16,57	25,46	0,013	16,57	25,46	0,019
13	1183	1530	1530	32	33	25	18	25	18	0,126	0,124	0,140	0,159	0,013	0,034	16,58	54,73	0,013	16,58	54,73	0,034
14	1237	1369	1369	33	22	23	21	23	21	0,124	0,147	0,143	0,149	0,018	0,002	23,53	3,43	0,018	23,53	3,43	0,002
15	1257	1262	1262	27	22	23	22	23	22	0,134	0,147	0,144	0,147	0,010	0,000	13,16	0,00	0,010	13,16	0,00	0,000
16	1365	1213	1213	25	34	21	24	21	24	0,140	0,122	0,150	0,142	0,011	0,020	14,98	25,04	0,011	14,98	25,04	0,020
17	1676	1455	1455	19	32	14	20	14	20	0,156	0,126	0,179	0,154	0,023	0,028	40,05	41,91	0,023	40,05	41,91	0,028
18	2037	1378	1378	16	33	7	21	7	21	0,168	0,124	0,273	0,150	0,105	0,025	223,94	36,63	0,105	223,94	36,63	0,025
19	1888	1104	1104	21	27	10	25	10	25	0,151	0,134	0,218	0,138	0,067	0,004	131,46	4,88	0,067	131,46	4,88	0,004
20	1339	789	789	30	29	21	29	21	29	0,129	0,131	0,148	0,131	0,020	0,000	27,71	0,00	0,020	27,71	0,00	0,000
21	1042	654	654	37	37	27	33	27	33	0,119	0,119	0,134	0,125	0,015	0,006	16,02	3,96	0,015	16,02	3,96	0,006
22	1085	648	648	36	40	27	33	27	33	0,121	0,116	0,135	0,124	0,015	0,009	16,74	5,95	0,015	16,74	5,95	0,009
23	796	396	396	41	44	33	37	33	37	0,114	0,111	0,125	0,119	0,011	0,008	8,93	3,11	0,011	8,93	3,11	0,008
24	351	198	198	44	27	42	27	42	27	0,111	0,134	0,114	0,134	0,002	0,000	0,83	0,00	0,002	0,83	0,00	0,000
Total	22619	22381	22381	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	603	459	-	603	459	-

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 5 – Custo operacional dos ônibus no trecho de estudo

Hora	Fluxo de ônibus ao longo do dia (ônibus)			Quantidade de passageiros por ônibus (pessoas)			Velocidade operacional dos ônibus (km/h)			Velocidade operacional dos ônibus com obra (km/h)			Consumo de diesel do ônibus atualmente (l/km)			Consumo de diesel do ônibus com obra (l/km)			Diferença do consumo de diesel (l/km)			Custo operacional excedente dos ônibus por dia (R\$)		
	Média	Centro	Bairro	Média	Centro	Bairro	Média	Centro	Bairro	Média	Centro	Bairro	Média	Centro	Bairro	Média	Centro	Bairro	Média	Centro	Bairro	Média	Centro	Bairro
0	33	18	16	9	30	18	18	26	18	0,367	0,429	0,386	0,429	0,386	0,429	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,18	0,00	0,00
1	16	9	8	4	33	34	30	28	28	0,348	0,341	0,359	0,363	0,359	0,363	0,011	0,022	0,011	0,022	0,011	0,022	2,13	2,19	0,06
2	10	4	5	2	29	38	29	29	29	0,359	0,329	0,359	0,357	0,359	0,357	0,000	0,028	0,000	0,028	0,000	0,028	0,00	1,36	0,36
3	6	4	3	2	34	29	32	29	32	0,340	0,356	0,346	0,357	0,346	0,357	0,006	0,001	0,006	0,001	0,006	0,001	0,43	0,03	0,40
4	6	5	3	3	36	36	32	29	33	0,335	0,334	0,346	0,359	0,346	0,359	0,011	0,024	0,011	0,024	0,011	0,024	0,82	1,53	0,71
5	9	16	5	8	32	23	31	23	34	0,348	0,393	0,350	0,393	0,350	0,393	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,22	0,00	0,22
6	23	74	13	40	25	18	25	16	16	0,386	0,462	0,386	0,485	0,386	0,485	0,000	0,022	0,000	0,022	0,000	0,022	0,00	19,16	19,16
7	80	200	44	111	20	9	14	1	1	0,451	0,659	0,504	1,935	0,504	1,935	0,053	1,276	0,053	1,276	0,000	1,276	49,20	2968,44	2919,24
8	105	172	56	92	20	13	8	1	8	0,463	0,570	0,617	1,915	0,617	1,915	0,154	1,345	0,154	1,345	0,000	1,345	187,62	2695,13	2507,51
9	100	131	52	67	22	14	9	5	5	0,445	0,531	0,588	0,774	0,588	0,774	0,142	0,243	0,142	0,243	0,000	0,243	166,23	368,27	202,04
10	105	113	53	58	21	17	8	8	8	0,454	0,490	0,612	0,623	0,612	0,623	0,159	0,133	0,159	0,133	0,000	0,133	192,58	174,01	18,57
11	110	117	55	58	21	17	7	7	7	0,455	0,490	0,650	0,645	0,650	0,645	0,195	0,154	0,195	0,154	0,000	0,154	248,78	209,34	39,44
12	113	119	58	61	20	21	6	7	7	0,466	0,462	0,684	0,666	0,684	0,666	0,218	0,204	0,218	0,204	0,000	0,204	287,48	282,86	4,62
13	110	142	57	74	21	22	7	3	3	0,457	0,469	0,653	1,041	0,653	1,041	0,196	0,572	0,196	0,572	0,000	0,572	249,77	944,46	694,69
14	115	127	58	64	22	14	6	5	5	0,452	0,528	0,701	0,731	0,701	0,731	0,249	0,203	0,249	0,203	0,000	0,203	331,90	300,08	31,82
15	117	117	58	58	18	14	5	7	7	0,482	0,522	0,724	0,648	0,724	0,648	0,242	0,126	0,242	0,126	0,000	0,126	328,83	172,13	156,70
16	127	113	63	56	16	23	3	8	8	0,505	0,443	0,944	0,620	0,944	0,620	0,440	0,177	0,440	0,177	0,000	0,177	647,71	231,76	415,95
17	156	135	79	69	12	21	1	4	4	0,571	0,470	1,901	0,845	1,901	0,845	1,331	0,375	1,331	0,375	0,000	0,375	2407,11	589,07	1818,04
18	189	128	98	66	10	22	1	5	5	0,624	0,461	1,921	0,743	1,921	0,743	1,297	0,282	1,297	0,282	0,000	0,282	2850,83	418,90	2431,93
19	175	103	90	53	13	18	1	10	10	0,568	0,476	1,913	0,574	1,913	0,574	1,345	0,098	1,345	0,098	0,000	0,098	2739,13	117,14	2621,99
20	124	73	64	38	20	19	4	16	16	0,472	0,452	0,869	0,482	0,869	0,482	0,397	0,030	0,397	0,030	0,000	0,030	573,45	25,61	547,84
21	97	61	49	31	25	25	10	18	18	0,424	0,405	0,567	0,452	0,567	0,452	0,142	0,047	0,142	0,047	0,000	0,047	159,83	32,97	126,86
22	101	60	48	29	24	27	9	18	18	0,429	0,393	0,585	0,449	0,585	0,449	0,156	0,056	0,156	0,056	0,000	0,056	182,30	38,88	143,42
23	74	37	36	18	28	30	16	23	23	0,396	0,369	0,479	0,405	0,479	0,405	0,082	0,036	0,082	0,036	0,000	0,036	70,66	15,55	55,11
24	33	18	16	9	30	18	26	18	18	0,367	0,429	0,386	0,429	0,386	0,429	0,019	0,000	0,019	0,000	0,019	0,000	7,18	0,00	7,18
Total	2100	2078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.684	9.609	2.075

(fonte: elaborada pela autora)

6.4 CUSTO DO IMPACTO NO SISTEMA DE ÔNIBUS

O custo do impacto no sistema de ônibus avalia a necessidade de aquisição de novos ônibus para que, mesmo com os congestionamentos, haja o atendimento periódico dos pontos de parada. A fórmula 16, que representa este custo, depende do excesso de tempo do percurso, extensão do trecho, da frequência de atendimento no ponto de parada e do preço de aquisição de ônibus.

O tempo de percurso em excesso foi considerado o do horário de maior movimento, pois se a oferta de ônibus for capaz de suprir a demanda nesse horário, será capaz de suprir em qualquer horário, então o valor assumido foi de 2,1 horas. A extensão do trecho, como já foi mencionada, é de 2,37 km e a frequência dos ônibus é de 200 veículos por hora. Logo, seriam necessários 420 ônibus para que se cumprisse a tabela horária, ou seja, seria equivalente a duplicar a frota existente.

Como se sabe que o aumento da frota de ônibus agravaria os congestionamentos e que as empresas de transporte público de Porto Alegre não realizariam aquisição tão significativa. Por isso, em uma consulta a um profissional da área de transportes, estabeleceu-se que o valor adequado de aquisição seria de 25% da quantidade necessária, ou seja, aproximadamente 55 ônibus. O custo de um ônibus está na faixa de R\$ 360.000,00 (PORTO ALEGRE, 2012, p. [2]), logo o custo do impacto no sistema de ônibus teria o valor de R\$ 19.800.000,00, que equivale a 3% do custo de implantação da infraestrutura no trecho de estudo.

6.5 CUSTO DOS ACIDENTES

O custo dos acidentes relaciona as perdas com acidentes fatais, não fatais e sem vítima (apenas danos materiais) através do número de quilômetros percorridos pelos veículos, porém como adotou-se que o trajeto dos veículos não seria modificado em função da obra e que, por consequência, não há alteração no número de quilômetros percorridos, o custo com acidentes não poderá ser avaliado neste trabalho. Contudo salienta-se que obras em vias de tráfego geram diversos fatores que influenciam na incidência de acidentes, podendo aumentar ou reduzir o número dos mesmos conforme as condições encontradas.

6.6 CUSTO DA EMISSÃO DE POLUENTES

O custo da emissão de poluentes, abordado no item 4.1.4, tem sua avaliação válida quando se considera que haverá modificação na quantidade de quilômetros percorridos, todavia, foi adotado nesse trabalho que o trajeto dos veículos será o mesmo durante o período de obras e que o impacto é por conta da redução da velocidade operacional desenvolvida. Para isso, buscou-se, na literatura, informações referentes ao custo com impactos ambientais e doenças impostas à população oriundos do aumento da emissão de poluentes devido à velocidade operacional praticada.

As avaliações encontradas relacionando velocidade e emissão de poluentes consideram a emissão de quatro poluentes nocivos à saúde (monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxido de nitrogênio e materiais particulados) de forma diferente para automóveis e ônibus (INSTITUTO DE PESQUISA ECÔNOMICA APLICADA; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO, 1998, p. 7). As fórmulas 18 a 20 referem-se à emissão por automóveis e as fórmulas 21 a 24 à emissão por ônibus:

$$HC = -28 + 62,48 / V \quad (\text{fórmula 18})$$

Onde:

HC = massa de hidrocarbonetos exalado por automóvel por quilômetro (g/km);

V = velocidade do automóvel (km/h).

$$CO = -4,51 + 727 / V + 1,34 \times 10^{-3} \times V^2 \quad (\text{fórmula 19})$$

Onde:

CO = massa de monóxido de carbono exalado por automóvel por quilômetro (g/km);

V = velocidade do automóvel (km/h).

$$\text{NO}_x = 1,03 + 7,477 \times 10^{-5} \times V^2 \quad (\text{fórmula 20})$$

Onde:

NO_x = massa de óxido de nitrogênio exalado por automóvel por quilômetro (g/km);

V = velocidade do automóvel (km/h).

$$\text{HC} = 14,14 - 3,67 \times \ln V \quad (\text{fórmula 21})$$

Onde:

HC = massa de hidrocarbonetos exalado por ônibus por quilômetro (g/km);

V = velocidade do ônibus (km/h).

$$\text{CO} = 43,34 - 8,98 \times \ln V \quad (\text{fórmula 22})$$

Onde:

CO = massa de monóxido de carbono exalado por ônibus por quilômetro (g/km);

V = velocidade do ônibus (km/h).

$$\text{NO}_x = 37,21 - 6,46 \times \ln V \quad (\text{fórmula 23})$$

Onde:

NO_x = massa de óxido de nitrogênio exalado por ônibus por quilômetro (g/km);

V = velocidade do ônibus (km/h).

$$\text{MP} = 1,74 - 0,32 \times \ln V \quad (\text{fórmula 24})$$

Onde:

MP = massa de material particulado exalado por ônibus por quilômetro (g/km);

V = velocidade do ônibus (km/h).

De posse dessas fórmulas foi calculada a diferença de emissão de poluentes entre a situação atual e a com obra, para cada um dos gases e para cada tipo de veículo. As tabelas 6 e 7 sintetizam os resultados.

Tabela 6 – Emissão de poluentes por automóveis por dia

Hora	Fluxo de automóveis ao longo do dia (auto)		Velocidade operacional de automóveis (km/h)		Velocidade operacional dos automóveis com obra (km/h)		Diferença da emissão de HC (g/km)		Diferença da emissão de CO (g/km)		Diferença da emissão de NOx (g/km)	
	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro
0	351	198	44	27	42	27	28	0	229	0	-5	0
1	172	93	48	49	45	42	14	21	100	163	-3	-5
2	108	45	43	55	43	43	0	15	0	101	0	-4
3	67	41	49	43	47	43	4	0	24	0	-1	0
4	68	58	52	52	47	42	8	16	51	115	-2	-4
5	98	177	47	34	47	34	0	0	0	0	0	0
6	247	792	37	27	37	27	0	0	0	0	0	0
7	863	2156	30	15	30	8	0	7.244	0	83.840	0	-25
8	1130	1858	30	21	26	13	412	3.169	4.407	36.251	-21	-34
9	1082	1406	33	22	27	20	484	275	5.090	3.085	-30	-6
10	1126	1214	32	26	26	24	503	298	5.347	3.268	-28	-11
11	1182	1257	32	26	25	23	663	408	7.095	4.496	-35	-14
12	1219	1287	30	32	24	22	673	1.035	7.266	11.200	-31	-47
13	1183	1530	32	33	25	18	666	2.271	7.123	24.898	-35	-85
14	1237	1369	33	22	23	21	945	147	10.114	1.644	-49	-3
15	1257	1262	27	22	23	22	544	0	5.954	0	-21	0
16	1365	1213	25	34	21	24	634	999	7.055	10.612	-18	-56
17	1676	1455	19	32	14	20	1.781	1.734	20.364	18.995	-20	-66
18	2037	1378	16	33	7	21	10.314	1.495	119.409	16.207	-33	-67
19	1888	1104	21	27	10	25	5.933	199	68.224	2.157	-45	-9
20	1339	789	30	29	21	29	1.141	0	12.467	0	-45	0
21	1042	654	37	37	27	33	614	146	6.280	1.437	-48	-15
22	1085	648	36	40	27	33	650	216	6.739	2.076	-46	-25
23	796	396	41	44	33	37	323	107	3.075	946	-38	-17
24	351	198	44	27	42	27	28	0	229	0	-5	0
Total	22619	22381	-	-	-	-	46.126		517.906		-1.049	

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 7 – Emissão de poluentes por ônibus por dia

Hora	Fluxo de ônibus ao longo do dia (ônibus)		Velocidade operacional dos ônibus (km/h)		Velocidade operacional dos ônibus com obra (km/h)		Diferença da emissão de HC (g/km)		Diferença da emissão de CO (g/km)		Diferença da emissão de NOx (g/km)		Diferença da emissão de MP (g/km)	
	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro	Centro-Bairro	Bairro-Centro
0	33	18	30	18	26	18	18	0	45	0	33	0	2	0
1	16	9	33	34	30	28	6	6	15	15	11	11	1	1
2	10	4	29	38	29	29	0	4	0	11	0	8	0	0
3	6	4	34	29	32	29	1	0	3	0	2	0	0	0
4	6	5	36	36	32	29	3	5	7	11	5	8	0	0
5	9	16	32	23	31	23	1	0	2	0	1	0	0	0
6	23	74	25	18	25	16	0	39	0	95	0	68	0	3
7	80	200	20	9	14	1	100	1.614	244	3.949	176	2.841	9	141
8	105	172	20	13	8	1	339	1.623	830	3.972	597	2.858	30	142
9	100	131	22	14	9	5	315	517	771	1.265	554	910	27	45
10	105	113	21	17	8	8	352	304	862	744	620	535	31	26
11	110	117	21	17	7	7	436	356	1.066	871	767	627	38	31
12	113	119	20	21	6	7	481	490	1.176	1.199	846	863	42	43
13	110	142	21	22	7	3	437	1.118	1.069	2.736	769	1.968	38	97
14	115	127	22	14	6	5	554	442	1.355	1.082	975	778	48	39
15	117	117	18	14	5	7	513	280	1.255	685	903	493	45	24
16	127	113	16	23	3	8	773	428	1.890	1.048	1.360	754	67	37
17	156	135	12	21	1	4	1.419	835	3.473	2.043	2.498	1.470	124	73
18	189	128	10	22	1	5	1.598	672	3.910	1.645	2.813	1.183	139	59
19	175	103	13	18	1	10	1.650	218	4.037	533	2.904	383	144	19
20	124	73	20	19	4	16	780	52	1.908	128	1.372	92	68	5
21	97	61	25	25	10	18	316	73	774	178	557	128	28	6
22	101	60	24	27	9	18	350	88	857	215	617	154	31	8
23	74	37	28	30	16	23	156	38	382	94	275	67	14	3
24	33	18	30	18	26	18	18	0	45	0	33	0	2	0
Total	2100	2078	-	-	-	-	19.801		48.450		34.854		1.727	

(fonte: elaborada pela autora)

Os custos que foram adotados para os poluentes são (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO, 1998, p. 9):

- hidrocarbonetos – R\$ 1,14/kg;
- monóxido de carbono – R\$ 0,19/kg;
- óxido de nitrogênio – R\$ 1,12/kg;
- material particulado – R\$ 0,91/kg.

Esses valores foram atualizados segundo o índice de inflação INCC, resultando nos seguintes preços:

- hidrocarbonetos – R\$ 3,66/kg;
- monóxido de carbono – R\$ 0,61/kg;
- óxido de nitrogênio – R\$ 3,60/kg;
- material particulado – R\$ 2,92/kg.

Logo, multiplicando a soma das emissões dos poluentes de cada veículo pelo valor do custo do poluente, tem-se que o custo da emissão dos poluentes é de R\$ 713,51 por quilômetro por

dia. Então, multiplicando esse valor pela extensão do trecho de estudo e pelos dias úteis do ano de interferência tem-se que o custo total da emissão de poluentes é de R\$ 446.806,18, o que corresponde a aproximadamente 0,06% do custo de implantação da infraestrutura do metrô nessa área.

6.7 CUSTO DA DESVALORIZAÇÃO IMOBILIÁRIA E DA REDUÇÃO DE VENDAS OU FECHAMENTO DE ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS

Por ser rota diária de um grande número de pessoas, a avenida Assis Brasil possui um forte caráter comercial na região norte de Porto Alegre, a mobilidade e facilidade de acesso fazem com que os imóveis comerciais atinjam significativos valores monetários. O prejuízo na mobilidade da região provavelmente induziria as pessoas a utilizarem outras regiões comerciais, o que repercutiria na diminuição de clientes e, conseqüentemente, na redução das vendas dos produtos oferecidos pelos estabelecimentos (conceito de lucros cessantes), além de desvalorizar o próprio imóvel comercial. O mesmo ocorreria com os imóveis residenciais, pois distúrbios sonoros e na segurança dos moradores influenciariam na decisão de compra/venda ou de aluguel de um bem nessa região. Entretanto como essa estimativa trata de um estudo complexo e de difícil previsão, merecedora de uma análise cautelosa devido aos diversos fatores que influenciam este fenômeno, ainda que largamente significativo, não foi calculado no presente trabalho.

Após essa explanação qualitativa e quantitativa dos custos com as externalidades, é apresentada a tabela 8 como forma de resumir e demonstrar os resultados obtidos com o cálculo dos custos indiretos devido às conseqüências no meio antrópico e, adicionalmente, é disponibilizada a comparação percentual entre o custo das externalidades em relação ao custo da obra (valor que foi assumido para o trecho em estudo).

Tabela 8 – Resumo dos custos com externalidades

Preço considerado para o trecho da obra		R\$ 735.300.000,00	
Descrição da Externalidade (custo)	Preço calculado (R\$)	Porcentagem do custo em relação ao valor da obra (%)	
Tempo despendido em congestionamento	R\$ 174.025.630,80	23,67%	
Tempo de viagem	*	*	
Operação e manutenção de ônibus e automóveis	R\$ 5.901.733,36	0,80%	
Impacto no sistema de ônibus	R\$ 19.800.000,00	2,69%	
Acidentes	*	*	
Emissão de Poluentes	R\$ 446.806,18	0,06%	
Desvalorização imobiliária	*	*	
Redução de vendas ou fechamento de estabelecimentos comerciais	*	*	
Total	R\$ 200.174.170,34	27,22%	

*não avaliados quantitativamente

(fonte: elaborada pela autora)

7 CONCLUSÕES

Como pode ser observado no trabalho, construir estruturas no subterrâneo é de suma importância quando se opta pelo bem estar das pessoas, pois a utilização do subterrâneo para atividades que não tem a necessidade de estar na superfície, como transporte ou estacionamento, libera a mesma para ser usufruída de forma mais cômoda, ou seja, pode-se ter menor quantidade de interferências visuais com edificações ou infraestrutura, menor poluição sonora, dando mais espaço à natureza e ao desenvolvimento de atividades que melhor aproveitem a superfície. Em regiões com elevada densidade demográfica, elevado nível de urbanização, e de alto valor financeiro, o espaço superficial do terreno deve ser reservado para zonas de vivências e atividades não transitórias. O espaço subterrâneo ainda é pouco explorado, limitando-se a receber tubulações de água e esgoto, eventualmente gás, e alguns tipos de cabamentos de rede, também indesejados na superfície. Esse conceito deveria ser ampliado a outras atividades ou infraestruturas que não precisam necessariamente estar na superfície.

Os níveis de serviços nas vias urbanas na cidade de Porto Alegre – como é o caso da avenida Assis Brasil – encontram-se em situações críticas sendo que, uma pequena obstrução de pista, pode gerar elevados congestionamentos que acabam por onerar a economia da região e da cidade. Na conjuntura atual do sistema de transporte urbano, a cidade de Porto Alegre demanda melhorias em seus modais de transporte de passageiros, sendo que a construção do metrô alinhar-se-ia com a ideia de utilização do subterrâneo e de ampliação do sistema sem acarretar em perdas na qualidade do serviço. O transporte subterrâneo através de trens de passageiros libera a superfície para outras atividades e não cria interferências com outros meios de transporte durante sua operação.

O objetivo desse trabalho não foi servir de contraponto aos benefícios trazidos pela implantação de um metrô subterrâneo, mas sim, questionar a técnica escolhida para a execução do mesmo. O *cut and cover* é, sabidamente, uma técnica de construção de túnel que causa grandes transtornos durante a sua execução, por isso deveria ser evitada, sendo substituída por tuneladoras ou outras técnicas que causem menor interferência na dinâmica do local de implantação.

Com esse trabalho chegou-se ao resultado de que o custo com algumas externalidades advindas da utilização da técnica *cut and cover* chegam a aproximadamente 27% do custo de implantação da infraestrutura no trecho de estudo, subestimando a hipótese inicial de 20%. Ainda, deve-se atentar que outros custos com transtornos poderiam ser adicionado a esse valor, como é o caso dos impactos negativos no setor imobiliário e no comércio local, que uma vez considerados, poderiam reforçar a necessidade das técnicas de construção totalmente subterrâneas. Logo, se fosse considerado esse valor como custo da obra, poderia ser pensada a substituição dessa técnica construtiva de túnel por outra que causasse menos impacto ao meio antrópico.

Para trabalhos futuros sugere-se que seja realizada análise de sensibilidade dos resultados e que também sejam estudados diferentes cenários de impactos na avenida Assis Brasil, como, por exemplo, considerar o desvio dos veículos para vias alternativas menos congestionadas. Também recomenda-se que se façam análises quantitativas de outros fatores que afetam o meio antrópico devido a obra, como o caso da desvalorização imobiliária e dos efeitos no comércio local, ou ainda, que se estude formas de avaliar monetariamente alguns impactos.

REFERÊNCIAS

- CARDOSO, G.; MOSCARELLI, F.¹ Definição da Variabilidade Temporal do Fluxo de Tráfego Veicular Utilizando Dados Obtidos de Controladores Eletrônicos de Velocidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTES E TRÂNSITO, 15., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTP, 2005. p. 1-9. Disponível em: <http://www.cbtu.gov.br/estudos/pesquisa/antp_15congr/pdf/TU-105.pdf>. Acesso em: 18 abril 2012.
- EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE SA. **Estudo de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb**: Região Metropolitana de Porto Alegre. Brasília, [1997].
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Conjuntura Estatística. **Conjuntura Econômica**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 4, p. II-XIX, abr. 2012.
- GOOGLE MAPS. Apresenta mapas bidimensionais e imagens de satélite. Disponível em: <<http://g.co/maps/s3v78>>. Acesso em: 16 maio 2012.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO. **Redução das Deseconomias Urbanas pela Melhoria do Transporte Público**. Brasília, DF, 1998. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/pub/livros/transportes.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2011.
- LADEIRA, M. C. M.; ARIOTTI, P. Faixa de Ultrapassagem no Contrafluxo em Corredor de Ônibus: experiência de Porto Alegre. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 25., 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ANPET, 2011. Não paginado. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2011/443_AC.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2012.
- MAIRE, P.; BLUNIER, P.; PARRIAUX, A.; TACHER, L. Underground Planning and Optimization of the Underground Resources' Combination Looking for Sustainable Development in Urban Areas. In: GOING UNDERGROUND: EXCAVATING THE SUBTERRANEAN CITY, 2006, Manchester. **Proceedings...** [S. l.]: Surf Salford, 2006. p. 1-15. Disponível em: <http://www.surf.salford.ac.uk/cms/resources/uploads/File/Going%20Underground/Pierrick_Maire.pdf>. Acesso em: 2 set. 2011.
- MOTTA, B. R. Responsabilidade Civil do Estado pela Desvalorização Imobiliária. **Atualidades Jurídicas**, Brasília, DF, v. 1, n. 2, p. 4-32, jun. 2008. Disponível em: <<http://www.oab.org.br/editora/revista/users/revista/1211290361174218181901.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2011.
- OLIVEIRA, M. E. **Pensando como um Economista**: síntese de reflexões. São Paulo: eBooksBrasil.com, 2010. Disponível em: <http://www.oeconomista.com.br/arquivos/pensando_como_um_economista.pdf>. Acesso em: 10 maio 2012.

¹ Fonte citada no apêndice A.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEM, L. G. **Modelling Transport**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

POLICASTRO, D.; SIQUEIRA NETO, O. A. Indenização por Obras Públicas. **Repertório de Jurisprudência IOB**, São Paulo, v. 1, n. 16, p. 592-594, ago. 2004.

PORTO ALEGRE². Secretaria Municipal de Transportes. Empresa Pública de Transporte e Circulação. **Mais 1,5 Milhão de Passageiros no Corredor da Assis Brasil**. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_noticia=128667>. Acesso em: 18 abr. 2012.

_____. Secretaria Municipal de Transportes. Empresa Pública de Transporte e Circulação. **Planilha de Cálculo Tarifário de Ônibus em Porto Alegre**. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/planilha_calculo_onibus_2012.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2012.

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.

RIO GRANDE DO SUL. Assembleia Legislativa. **A Expansão do Sistema de Transporte Metroferroviário da Região Metropolitana de Porto Alegre**: relatório final da subcomissão mista sobre a expansão do sistema de transporte metropolitano de passageiros. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/download/Subtrensurb/Rel_Trensurb.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2012.

STERLING, R. L.; GODARD, J. P. **Geoenvironmental Considerations in the Optimum Use of Underground Space**. [S. l.]: International Tunneling Association, 2002. ITA Position Papers.

WISNIEWSKI, J.; MUNFAH, N. Cut-and-Cover Tunnels. In: NATIONAL HIGHWAY INSTITUTE (Org.). **Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels: civil elements**. Washington, D.C.: 2009. Publication n. FHWA-NHI-10-034. p. 5/1-5/30.

² Fonte citada no apêndice A.

APÊNDICE A – Memória de cálculo de distribuição de fluxo horário

MEMÓRIA DE CÁLCULO DE DISTRIBUIÇÃO DE FLUXO HORÁRIO

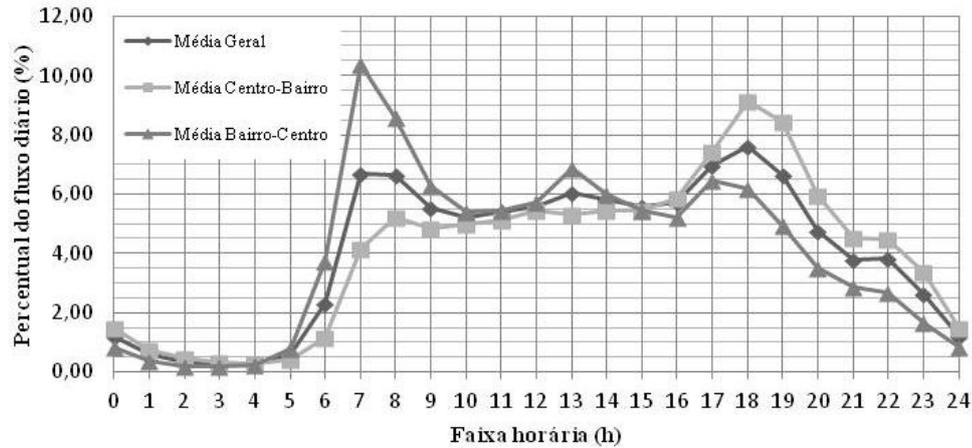
Primeiramente obteve-se uma curva de variabilidade do fluxo de veículos durante o dia em um trabalho intitulado: Definição da Variabilidade Temporal do Fluxo de Tráfego Veicular Utilizando Dados Obtidos de Controladores Eletrônicos de Velocidade de Gilmar Cardoso e Fabiane Moscarelli, colaboradores da Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC). Através desse trabalho conseguiu-se a distribuição percentual média do fluxo de tráfego por horário e segundo o sentido de deslocamento (centro-bairro e bairro-centro) para a cidade de Porto Alegre. Os dados estão apresentados na tabela A1 e na figura A1.

Tabela A1 – Percentual de fluxo de tráfego ao longo do dia

Hora	Percentual do fluxo de tráfego ao longo do dia (%)		
	Média Geral	Média Centro- Bairro	Média Bairro- Centro
0	1,22	1,49	0,84
1	0,59	0,72	0,39
2	0,34	0,45	0,19
3	0,24	0,31	0,19
4	0,28	0,29	0,25
5	0,61	0,43	0,78
6	2,31	1,17	3,75
7	6,71	4,15	10,36
8	6,64	5,22	8,58
9	5,53	4,84	6,29
10	5,20	4,99	5,38
11	5,42	5,10	5,42
12	5,57	5,43	5,73
13	6,03	5,32	6,88
14	5,79	5,43	6,01
15	5,60	5,44	5,46
16	5,73	5,85	5,20
17	6,96	7,42	6,44
18	7,59	9,15	6,19
19	6,65	8,43	4,93
20	4,73	5,97	3,52
21	3,77	4,54	2,85
22	3,85	4,49	2,68
23	2,65	3,36	1,67
24	1,22	1,49	0,84
Total	100,00	100,00	100,00

(fonte: CARDOSO; MOSCARELLI, 2005, p. 8)

Figura A1 – Percentual de fluxo de tráfego ao longo do dia



(fonte: CARDOSO; MOSCARELLI, 2005, p. 8)

Considerando que essa distribuição é válida tanto os modais ônibus e automóveis e que também é representativa para a avenida Assis Brasil, procurou-se diretrizes que pudessem estabelecer o número de veículos que transitam diariamente nessa via. Os dados obtidos foram:

- a) 45 mil automóveis passam pela estação Obirici diariamente (PORTO ALEGRE, 2010);
- b) 200 ônibus transitam na avenida Assis Brasil na hora de pico (LADEIRA; ARIOTTI, 2011, p. [1]).

CÁLCULO DO NÚMERO DE AUTOMÓVEIS POR HORA NO TRECHO DE ESTUDO

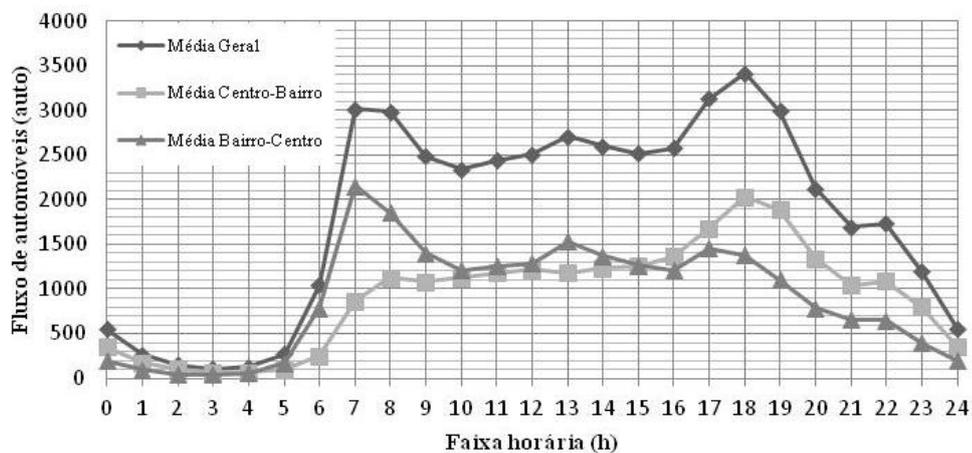
De posse do valor de 45 mil veículos diários na av. Assis Brasil, partiu-se do princípio de que se multiplicasse esse total de veículos que trafegam na estação Obirici pelo percentual horário geral, seria obtido o tráfego de veículos horário e, por proporcionalidade, seria possível identificar o tráfego por sentido (centro-bairro e bairro-centro). O resultado disso pode ser visto na tabela A2 e figura A2.

Tabela A2 – Fluxo de automóveis ao longo do dia

Hora	Percentual do fluxo de tráfego ao longo do dia (%)			Fluxo de automóveis ao longo do dia (auto)		
	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro
0	1,22	1,49	0,84	549	351	198
1	0,59	0,72	0,39	265	172	93
2	0,34	0,45	0,19	153	108	45
3	0,24	0,31	0,19	108	67	41
4	0,28	0,29	0,25	126	68	58
5	0,61	0,43	0,78	274	98	177
6	2,31	1,17	3,75	1039	247	792
7	6,71	4,15	10,36	3019	863	2156
8	6,64	5,22	8,58	2988	1130	1858
9	5,53	4,84	6,29	2488	1082	1406
10	5,20	4,99	5,38	2340	1126	1214
11	5,42	5,10	5,42	2439	1182	1257
12	5,57	5,43	5,73	2506	1219	1287
13	6,03	5,32	6,88	2713	1183	1530
14	5,79	5,43	6,01	2605	1237	1369
15	5,60	5,44	5,46	2520	1257	1262
16	5,73	5,85	5,20	2578	1365	1213
17	6,96	7,42	6,44	3132	1676	1455
18	7,59	9,15	6,19	3415	2037	1378
19	6,65	8,43	4,93	2992	1888	1104
20	4,73	5,97	3,52	2128	1339	789
21	3,77	4,54	2,85	1696	1042	654
22	3,85	4,49	2,68	1732	1085	648
23	2,65	3,36	1,67	1192	796	396
24	1,22	1,49	0,84	549	351	198
Total	100,00	100,00	100,00	45000	22619	22381

(fonte: elaborada pela autora)

Figura A2 – Fluxo de automóveis ao longo do dia



(fonte: elaborada pela autora)

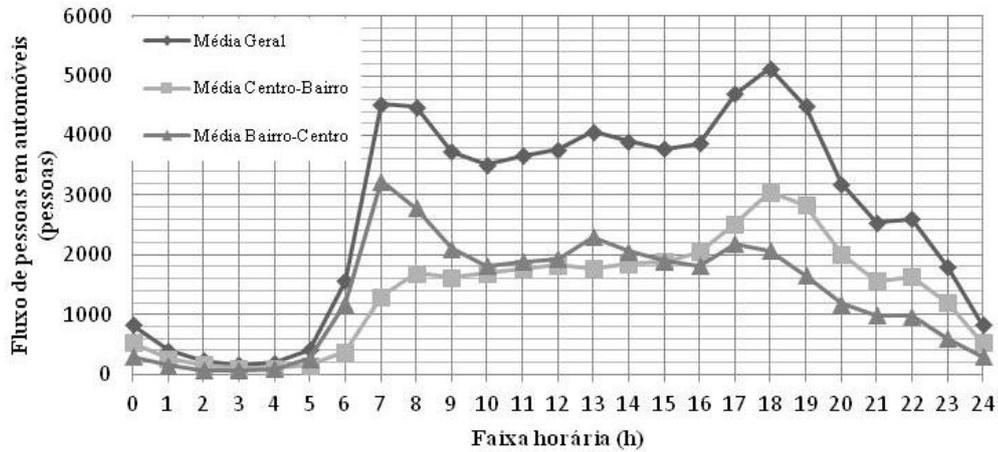
Para o número de pessoas por automóvel foi adotado o valor de 1,5 (RAYMUNDO, 2010, p. 41). Logo obteve-se a tabela A3 e a figura A3.

Tabela A3 – Fluxo de pessoas em automóveis ao longo do dia

Hora	Percentual do fluxo de tráfego ao longo do dia (%)			Fluxo de automóveis ao longo do dia (auto)			Fluxo de pessoas em automóveis ao longo do dia (pessoas)		
	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro
0	1,22	1,49	0,84	549	351	198	823	527	297
1	0,59	0,72	0,39	265	172	93	398	258	140
2	0,34	0,45	0,19	153	108	45	229	161	68
3	0,24	0,31	0,19	108	67	41	162	100	62
4	0,28	0,29	0,25	126	68	58	189	101	87
5	0,61	0,43	0,78	274	98	177	412	146	265
6	2,31	1,17	3,75	1039	247	792	1559	371	1188
7	6,71	4,15	10,36	3019	863	2156	4529	1295	3234
8	6,64	5,22	8,58	2988	1130	1858	4482	1695	2786
9	5,53	4,84	6,29	2488	1082	1406	3732	1623	2109
10	5,20	4,99	5,38	2340	1126	1214	3510	1689	1821
11	5,42	5,10	5,42	2439	1182	1257	3658	1773	1885
12	5,57	5,43	5,73	2506	1219	1287	3759	1829	1930
13	6,03	5,32	6,88	2713	1183	1530	4070	1775	2295
14	5,79	5,43	6,01	2605	1237	1369	3908	1855	2053
15	5,60	5,44	5,46	2520	1257	1262	3780	1886	1893
16	5,73	5,85	5,20	2578	1365	1213	3867	2047	1820
17	6,96	7,42	6,44	3132	1676	1455	4698	2515	2183
18	7,59	9,15	6,19	3415	2037	1378	5123	3055	2067
19	6,65	8,43	4,93	2992	1888	1104	4488	2832	1656
20	4,73	5,97	3,52	2128	1339	789	3192	2008	1184
21	3,77	4,54	2,85	1696	1042	654	2544	1563	981
22	3,85	4,49	2,68	1732	1085	648	2598	1627	971
23	2,65	3,36	1,67	1192	796	396	1789	1195	594
24	1,22	1,49	0,84	549	351	198	823	527	297
Total	100,00	100,00	100,00	45000	22619	22381	67500	33928	33572

(fonte: elaborada pela autora)

Figura A3 – Fluxo de pessoas em automóveis ao longo do dia



(fonte: elaborada pela autora)

CÁLCULO DO NÚMERO DE ÔNIBUS POR HORA NO TRECHO DE ESTUDO

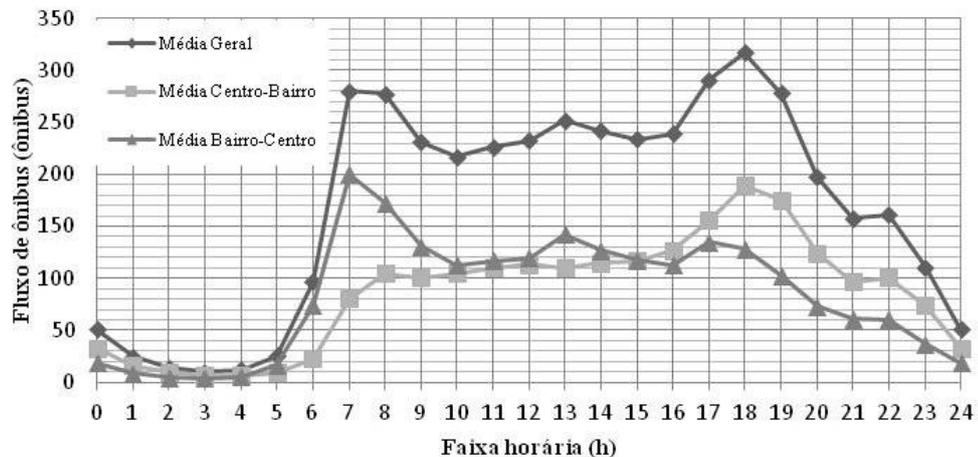
Sabendo que 200 ônibus circulam no sentido mais carregado na hora de pico na avenida Assis Brasil, utilizou-se esse valor para o horário das sete horas da manhã, no sentido bairro-centro, pois é onde se encontra o maior volume de veículos em um sentido durante o dia. Com isso conseguiu-se, por proporcionalidade, chegar ao número de ônibus que trafegam na via ao longo do dia. O resultado disso pode ser visto na tabela A4 e figura A4.

Tabela A4 – Fluxo de ônibus ao longo do dia

Hora	Percentual do fluxo de tráfego ao longo do dia (%)			Fluxo de ônibus ao longo do dia (ônibus)		
	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro
0	1,22	1,49	0,84	51	33	18
1	0,59	0,72	0,39	25	16	9
2	0,34	0,45	0,19	14	10	4
3	0,24	0,31	0,19	10	6	4
4	0,28	0,29	0,25	12	6	5
5	0,61	0,43	0,78	25	9	16
6	2,31	1,17	3,75	96	23	74
7	6,71	4,15	10,36	280	80	200
8	6,64	5,22	8,58	277	105	172
9	5,53	4,84	6,29	231	100	131
10	5,20	4,99	5,38	217	105	113
11	5,42	5,10	5,42	226	110	117
12	5,57	5,43	5,73	233	113	119
13	6,03	5,32	6,88	252	110	142
14	5,79	5,43	6,01	242	115	127
15	5,60	5,44	5,46	234	117	117
16	5,73	5,85	5,20	239	127	113
17	6,96	7,42	6,44	291	156	135
18	7,59	9,15	6,19	317	189	128
19	6,65	8,43	4,93	278	175	103
20	4,73	5,97	3,52	198	124	73
21	3,77	4,54	2,85	157	97	61
22	3,85	4,49	2,68	161	101	60
23	2,65	3,36	1,67	111	74	37
24	1,22	1,49	0,84	51	33	18
Total	100,00	100,00	100,00	4178	2100	2078

(fonte: elaborada pela autora)

Figura A4 – Fluxo de ônibus ao longo do dia



(fonte: elaborada pela autora)

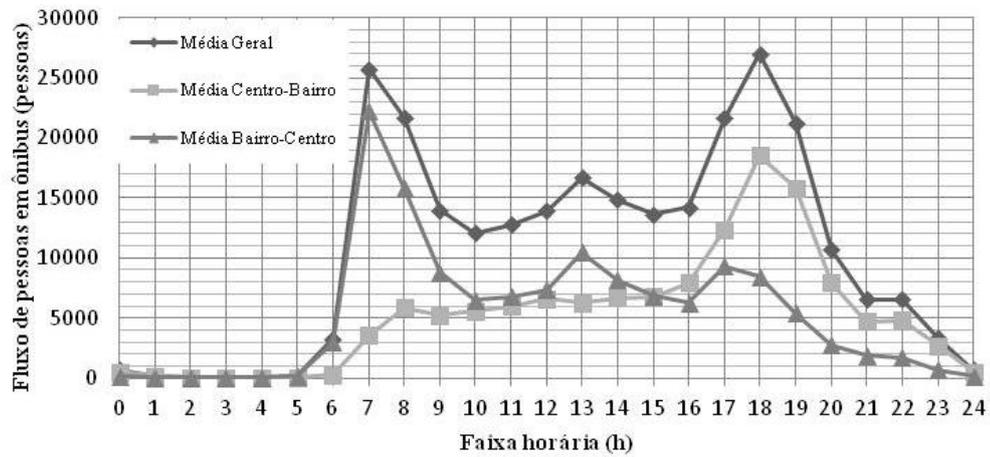
Para o número de passageiros que transitam no horário de pico foi adotado o valor de 27.000 passageiros por hora, esse valor foi obtido por Ladeira e Ariotti (2011, p. [1]) em medição feita na hora de maior pico na estação de ônibus Obirici. Ou seja, foi considerado que 27.000 pessoas andam de ônibus às 18h, somando os dois sentidos, e que a quantidade de pessoas em ônibus segue a mesma curva de demanda horária dos automóveis. Com isso, gerou-se a tabela A5 e a figura A5.

Tabela A5 – Fluxo de pessoas em ônibus ao longo do dia

Hora	Percentual do fluxo de tráfego ao longo do dia (%)			Fluxo de ônibus ao longo do dia (ônibus)			Fluxo de passageiros em ônibus ao longo do dia (pessoas)			Quantidade de passageiros por ônibus (pessoas)		
	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro	Média Geral	Média Centro-Bairro	Média Bairro-Centro
0	1,22	1,49	0,84	51	33	18	685	520	165	13	16	9
1	0,59	0,72	0,39	25	16	9	159	123	36	6	8	4
2	0,34	0,45	0,19	14	10	4	57	48	9	4	5	2
3	0,24	0,31	0,19	10	6	4	28	21	8	3	3	2
4	0,28	0,29	0,25	12	6	5	34	19	14	3	3	3
5	0,61	0,43	0,78	25	9	16	179	42	137	7	5	8
6	2,31	1,17	3,75	96	23	74	3240	287	2953	34	13	40
7	6,71	4,15	10,36	280	80	200	25757	3561	22196	92	44	111
8	6,64	5,22	8,58	277	105	172	21702	5862	15840	78	56	92
9	5,53	4,84	6,29	231	100	131	13995	5204	8791	61	52	67
10	5,20	4,99	5,38	217	105	113	12073	5583	6491	56	53	58
11	5,42	5,10	5,42	226	110	117	12760	5992	6768	56	55	58
12	5,57	5,43	5,73	233	113	119	13908	6580	7328	60	58	61
13	6,03	5,32	6,88	252	110	142	16717	6255	10463	66	57	74
14	5,79	5,43	6,01	242	115	127	14848	6672	8175	61	58	64
15	5,60	5,44	5,46	234	117	117	13647	6798	6849	58	58	58
16	5,73	5,85	5,20	239	127	113	14205	7935	6271	59	63	56
17	6,96	7,42	6,44	291	156	135	21675	12362	9314	75	79	69
18	7,59	9,15	6,19	317	189	128	27000	18522	8478	85	98	66
19	6,65	8,43	4,93	278	175	103	21226	15816	5410	76	90	53
20	4,73	5,97	3,52	198	124	73	10704	7943	2762	54	64	38
21	3,77	4,54	2,85	157	97	61	6555	4701	1853	42	49	31
22	3,85	4,49	2,68	161	101	60	6565	4840	1725	41	48	29
23	2,65	3,36	1,67	111	74	37	3316	2659	657	30	36	18
24	1,22	1,49	0,84	51	33	18	685	520	165	13	16	9
Total	100,00	100,00	100,00	4178	2100	2078	261037	128343	132693	-	-	-

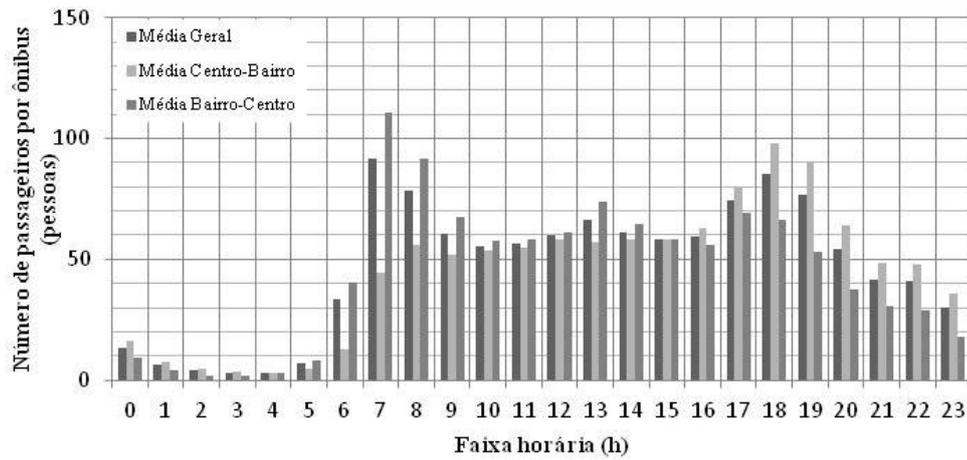
(fonte: elaborada pela autora)

Figura A5 – Fluxo de pessoas em ônibus ao longo do dia



(fonte: elaborada pela autora)

Figura A6 – Fluxo de pessoas por ônibus ao longo do dia



(fonte: elaborada pela autora)

APÊNDICE B – Memória de cálculo de velocidades operacionais

MEMÓRIA DE CÁLCULO DE VELOCIDADES OPERACIONAIS

As velocidades operacionais desenvolvidas pelos dois principais modais de transporte de passageiros – ônibus e automóveis – na avenida Assis Brasil foram obtidas das seguintes formas:

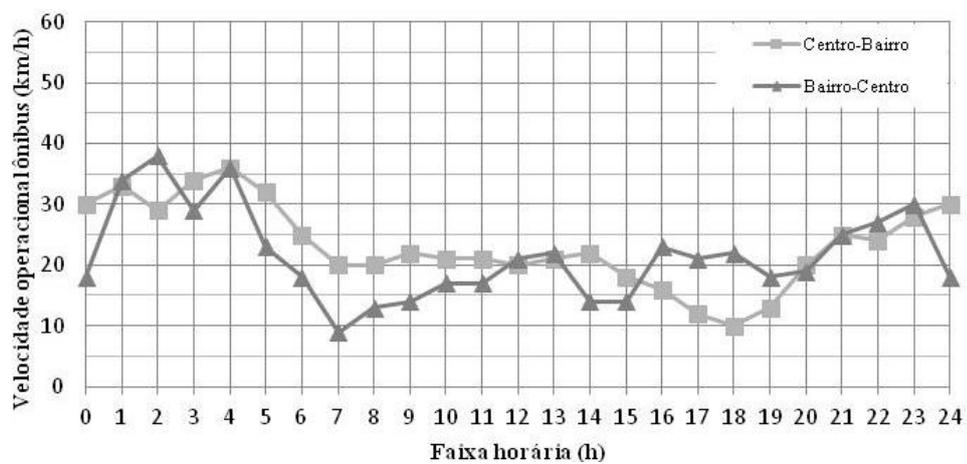
- a) transcrição de dados de velocidades operacionais para ônibus, pois Ladeira e Ariotti (2011, p. [9]), no ano de 2009, coletaram tais dados para ambos os sentidos da via em um dia típico (tabela B1 e figura B1);
- b) para automóveis a mesma curva foi utilizada, porém ampliando o intervalo de velocidades operacionais (mínimo de 15 km/h e máximo de 55 km/h) e ajustando conforme a curva de velocidades dos ônibus, está inferência foi feita, pois automóveis além de desenvolverem maiores velocidades, também não precisam fazer paradas regulares em pontos de parada (tabela B2 e figura B2).

Tabela B1 – Velocidade operacional de ônibus ao longo do dia

Hora	Velocidade operacional dos ônibus (km/h)	
	Centro-Bairro	Bairro-Centro
0	30	18
1	33	34
2	29	38
3	34	29
4	36	36
5	32	23
6	25	18
7	20	9
8	20	13
9	22	14
10	21	17
11	21	17
12	20	21
13	21	22
14	22	14
15	18	14
16	16	23
17	12	21
18	10	22
19	13	18
20	20	19
21	25	25
22	24	27
23	28	30
24	30	18
Total	-	-

(fonte: baseado em LADEIRA; ARIOTTI, 2011, p. [9])

Figura B1 – Velocidade operacional de ônibus ao longo do dia



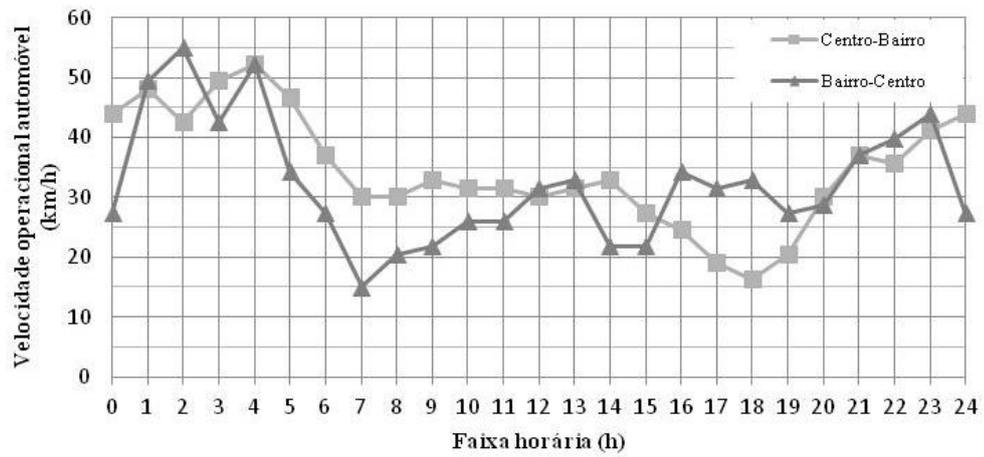
(fonte: LADEIRA; ARIOTTI, 2011, p. [9])

Tabela B2 – Velocidade operacional de automóveis ao longo do dia

Hora	Velocidade operacional de automóveis (km/h)	
	Centro-Bairro	Bairro-Centro
0	44	27
1	48	49
2	43	55
3	49	43
4	52	52
5	47	34
6	37	27
7	30	15
8	30	21
9	33	22
10	32	26
11	32	26
12	30	32
13	32	33
14	33	22
15	27	22
16	25	34
17	19	32
18	16	33
19	21	27
20	30	29
21	37	37
22	36	40
23	41	44
24	44	27
Total	-	-

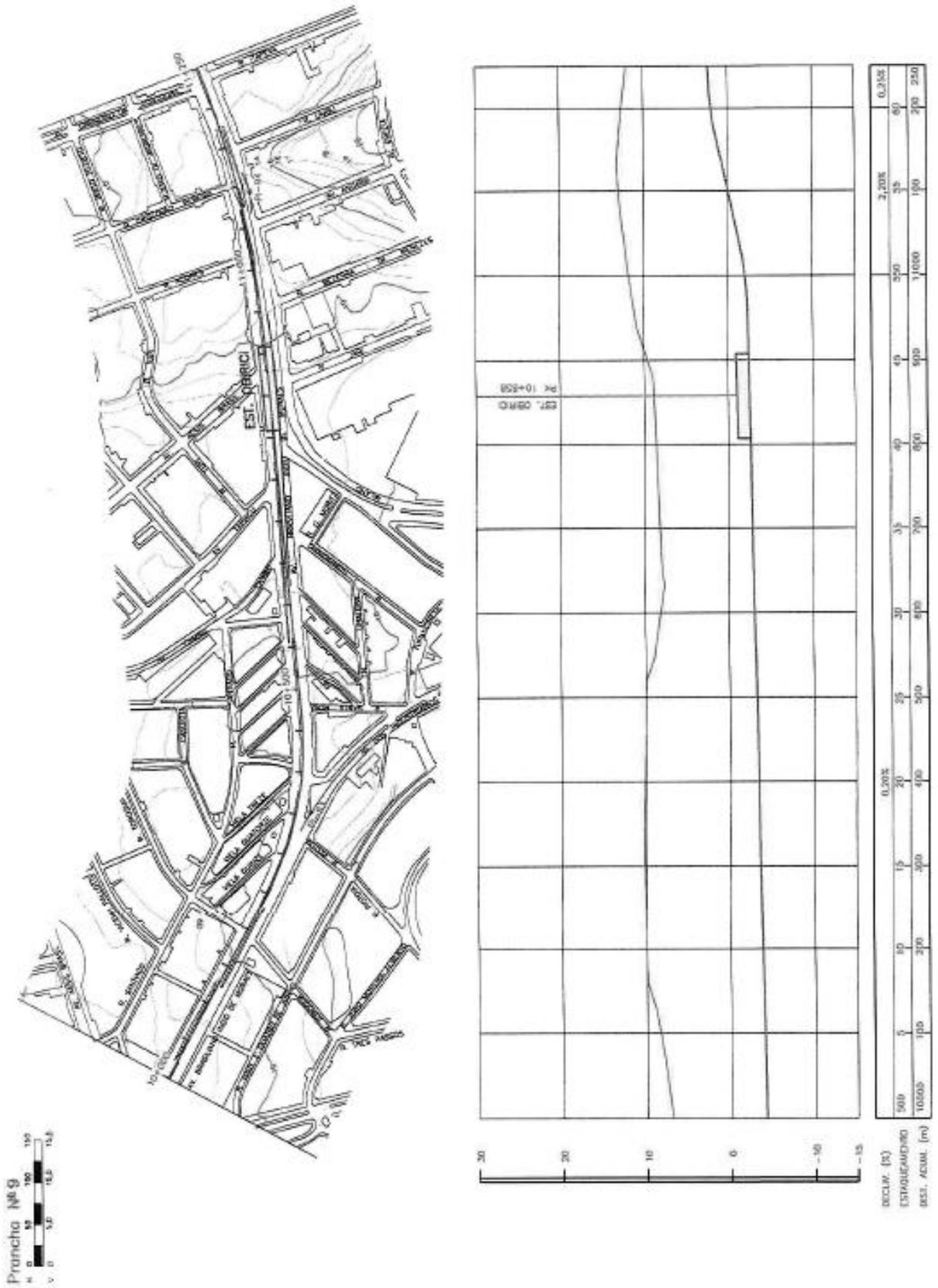
(fonte: elaborada pela autora)

Figura B2 – Velocidade operacional de automóveis ao longo do dia



(fonte: elaborada pela autora)

ANEXO A – Traçado da Linha 2 do metrô de Porto Alegre



Túnel Metroviário pela Técnica *Cut and Cover*: avaliação das externalidades na construção da Linha 2 na av. Assis Brasil – Porto Alegre/RS

