

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

LETÍCIA SCHROEDER SCHWABE

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE  
SEGURANÇA E CAPACIDADE EM SEGMENTO RODOVIÁRIO: UM ESTUDO DE  
CASO NA RODOVIA BR-101/SC, MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC

Joinville

2019

LETÍCIA SCHROEDER SCHWABE

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE  
SEGURANÇA E CAPACIDADE EM SEGMENTO RODOVIÁRIO: UM ESTUDO DE  
CASO NA RODOVIA BR-101/SC, MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC

Trabalho apresentado como requisito para  
obtenção do título de bacharel no Curso de  
Graduação em Engenharia Civil de  
Infraestrutura do Centro Tecnológico de  
Joinville da Universidade Federal de Santa  
Catarina.

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Christiane Wenck Nogueira  
Fernandes

Joinville

2019

LETÍCIA SCHROEDER SCHWABE

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE  
SEGURANÇA E CAPACIDADE EM SEGMENTO RODOVIÁRIO: UM ESTUDO DE  
CASO NA RODOVIA BR-101/SC, MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC

Trabalho apresentado como requisito para  
obtenção do título de bacharel no Curso de  
Graduação em Engenharia Civil de  
Infraestrutura do Centro Tecnológico de  
Joinville da Universidade Federal de Santa  
Catarina.

Joinville (SC), 22 de novembro de 2019.

**Banca Examinadora:**

---

Dr. <sup>a</sup> Christiane Wenck Nogueira Fernandes  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Dr. Marcelo Heidemann  
Membro da banca  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Eng. Marcelo Possamai  
Membro da banca  
Arteris Litoral Sul

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Valdir e Enilde, por todo o apoio para que fosse possível me dedicar de forma integral à Universidade. Serei eternamente grata por tudo que fizeram e fazem por mim e presto meus sinceros agradecimentos por todos os valores passados e que me tornaram a pessoa que sou hoje. Este trabalho também é de vocês.

Ao meu irmão Leandro, por ter sido um exemplo de esforço e dedicação aos estudos e à vida profissional e a toda minha família, por estar sempre presente e torcendo pelo meu sucesso.

Um agradecimento especial ao meu noivo e melhor amigo, Eduardo, que esteve comigo antes mesmo do início desta caminhada na universidade. Palavras não descrevem a importância de tê-lo ao meu lado e a felicidade em poder vencer mais esta etapa juntos. Estendo meus agradecimentos também aos meus sogros, Hercílio e Neiva, que me acolheram como filha e fazem parte desta trajetória.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Christiane Wenck Nogueira Fernandes, por ter acreditado neste trabalho e ter me conduzido à conclusão desta importante etapa em minha vida estudantil.

À NK Engenharia de Transportes, em especial aos engenheiros Newton Walter Gava, Marcos Real Dalcin e Tiago dos Santos Dias, por terem disponibilizado os softwares necessários ao desenvolvimento desse trabalho e terem sido tão receptivos em todas as minhas visitas à empresa em São Paulo. Muito obrigada!!!

Gostaria de destacar e agradecer mais uma vez ao engenheiro Marcos pelas longas explicações e todo o suporte durante o aprendizado das ferramentas e no entendimento de todos os conceitos aplicados.

À Arteris Litoral Sul, pela disponibilidade das informações e sobretudo, ao meu coordenador, Marcelo Possamai, pelo apoio ao longo do desenvolvimento desse trabalho e também pela compreensão todas as vezes que precisei me ausentar devido à universidade. Aproveito para agradecer pela oportunidade de me desenvolver como profissional e indivíduo dentro de uma empresa referência na área de concessões rodoviárias.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina e a todos os professores e colegas que de alguma forma fizeram parte desta jornada.

“O começo de todas as ciências é o espanto de as coisas serem o que são”.  
(Aristóteles)

## RESUMO

Historicamente, a matriz de transportes brasileira está focada no modal rodoviário. No entanto, as condições da infraestrutura disponível não acompanham o desenvolvimento das grandes cidades, que frequentemente se instalam no entorno das rodovias e as utilizam como vias de acesso para seus deslocamentos diários, criando elementos não condizentes com a classe de nível de serviço destes locais, reduzindo drasticamente o nível de segurança dos usuários e resultando, frequentemente, em congestionamentos. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo o estudo comparativo do cenário atual e outras três propostas a serem implementadas em segmento rodoviário sobre influência urbana do município de Joinville. O enfoque do estudo está nas interseções das marginais da rodovia BR-101/SC com as ruas Ottokar Doerffel e Minas Gerais. Para as simulações de tráfego utilizou-se o software AIMSUN associado ao programa HCS 2000 para avaliação dos níveis de serviço. O horizonte avaliado se inicia no ano de projeto, definido para 2020 e se estende até o ano de 2032, data do término do contrato de concessão do trecho em estudo.

**Palavras-chave:** Modal rodoviário. Nível de serviço. Congestionamentos. AIMSUN. HCS 2000. Concessão.

## ABSTRACT

Historically, the Brazilian transport matrix is focused on the road modal. However, the conditions of the available infrastructure do not follow the development of large cities, which often settle around the highways and use them as access routes for their daily commuting, creating elements that are not consistent with the service level class of these locations, which drastically reduce the level of safety and often results in congestions. Given the context, the present study aims at the comparative study of the current scenario and three other proposals to be implemented in the road segment under the urban influence of the city of Joinville. The objective of the study is on the intersections of the margins of highway BR-101/SC with Ottokar Doerffel and Minas Gerais streets. For traffic simulations, the AIMSUN software associated with the HCS 2000 program was used to measure service levels. The evaluated horizon starts in the project year, defined as 2020 and extends until the year 2032, date of the end of the concession contract of the segment under study.

**Keywords:** Road modal. Level of service. Congestions. AIMSUN. HCS 2000. Concession.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação dos níveis de serviço em rodovias .....	26
Figura 2 – Elementos da Matriz OD.....	32
Figura 3 – Etapas do desenvolvimento.....	35
Figura 4 – Segmento de estudo.....	37
Figura 5 – Ottokar Doerffel e via marginal norte.....	37
Figura 6 – Ottokar Doerffel e via marginal sul .....	38
Figura 7 – Rua Minas Gerais e marginal sul .....	38
Figura 8 – Marginal sul sentido rua Minas Gerais .....	38
Figura 9 – Movimentos 1 ao 8.....	40
Figura 10 – Movimentos 9 ao 15.....	41
Figura 11 – Movimentos 16 ao 19.....	42
Figura 12 – Movimentos 20 ao 23.....	42
Figura 13 – Movimento 24 .....	43
Figura 14 – Movimento 25 .....	43
Figura 15 – Movimentos 26 e 27.....	44
Figura 16 – Movimentos 28 ao 32.....	44
Figura 17 – Dados necessários para o cálculo dos fatores de expansão e correção .....	46
Figura 18 – Indicação dos movimentos permitidos no AIMSUN.....	48
Figura 19 – Análise dos movimentos na interseção com a rua Ottokar Doerffel.....	50
Figura 20 – Análise dos movimentos na interseção com a rua Minas Gerais.....	50
Figura 21 – Matriz OD de veículos leves em VMDA.....	51
Figura 22 – Matriz OD de veículos pesados em VMDA .....	51
Figura 23 – Matriz OD de veículos leves em VHP .....	52
Figura 24 – Matriz OD de veículos pesados em VHP.....	52
Figura 25 – Interface gráfica do AIMSUN.....	55
Figura 26 – Interface do HCS 2000.....	56
Figura 27 – Resumo das etapas para obtenção do nível de serviço.....	58
Figura 28 – a) Interseções 1 a 4 e b) Interseção 5 .....	58
Figura 29 – Alças de acesso exclusivo .....	60
Figura 30 – Faixas de aceleração e desaceleração.....	60
Figura 31 – Ampliação de capacidade do trecho inicial de acesso à rua Ottokar Doerffel.....	61
Figura 32 – Criação de retornos exclusivos sentidos sul e norte.....	61



Figura 33 – Colapso do fluxo na marginal sul.....	62
Figura 34 – Diagrama de estágios na região da rua Ottokar Doerffel.....	63
Figura 35 – Diagrama de estágios na região da rua Minas Gerais .....	64
Figura 36 – Diagrama de barras interseções da rua Ottokar Doerffel com as vias marginais..	64
Figura 37 – Localização e identificação dos movimentos nas interseções 1 a 4.....	65
Figura 38 – Diagrama de barras interseção da rua Minas Gerais com as vias marginais .....	66
Figura 39 – Localização e identificação dos movimentos na interseção 5.....	66
Figura 40 – Construção de viadutos para transposição das vias marginais.....	72
Figura 41 – Diagrama de barras para o ano de 2032 .....	73
Figura 42 – Contagens Ottokar Sul .....	81
Figura 43 – Contagens Ottokar Norte .....	82
Figura 44 – Contagens agulhas de incorporação e desincorporação .....	83
Figura 45 – Fatores de expansão diária para as contagens de 2016 .....	84
Figura 46 – Fatores de expansão diária para as contagens de 2017 .....	84
Figura 47 – Fatores de expansão diária para as contagens de 2019 .....	85
Figura 48 – Fatores de expansão semanal .....	85
Figura 49 – Fatores de expansão mensal .....	85
Figura 50 – Fatores de correção sazonal .....	86
Figura 51 – Planilha final de volumes diários médios anuais calculados .....	87
Figura 52 – Início da rede.....	88
Figura 53 – Região da rua Ottokar Doerffel.....	88
Figura 54 – Região de acesso a rua Anita Garibaldi .....	89
Figura 55 – Região da rua Minas Gerais e término da rede .....	89
Figura 56 – Dados de contagem, média e desvio padrão por seção .....	90
Figura 57 – Demanda futura considerando o cenário sem as transposições .....	91
Figura 58 – Demanda para o ano de 2032 considerando o cenário com transposições .....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Seleção do nível de serviço no projeto de rodovias rurais .....	28
Tabela 2 – Fatores de projeção .....	46
Tabela 3 – Taxas de crescimento do tráfego rodoviário.....	47
Tabela 4 – Nível de serviço para interseções não sinalizadas .....	57
Tabela 5 – Nível de serviço atual por interseção.....	59
Tabela 6 – Níveis de serviço por interseção após alteração de geometria .....	62
Tabela 7 – Níveis de serviço das interseções 1 a 4.....	67
Tabela 8 – Níveis de serviço da interseção 5.....	67
Tabela 9 – Comprimentos de fila por aproximação .....	69
Tabela 10 – Resumo dos comprimentos de fila e distâncias ao acesso mais próximo.....	70
Tabela 11 – Ano limite de operação semafórica sem novas alterações das interseções 1 a 4..	71
Tabela 12 – Ano limite de operação semafórica sem novas alterações da interseção 5.....	71
Tabela 13 – Níveis de serviço das interseções 1 a 4 em 2032.....	73
Tabela 14 – Níveis de serviço da interseção 5 em 2032.....	74

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
2.1	CONCESSÃO DAS RODOVIAS BRASILEIRAS.....	14
2.2	O MODELO ATUAL DAS CONCESSÕES FEDERAIS.....	15
2.3	ENGENHARIA DE TRÁFEGO .....	16
2.3.1	<b>Volume de tráfego .....</b>	<b>17</b>
2.3.2	<b>Variações no volume de tráfego .....</b>	<b>17</b>
2.3.3	<b>Volume horário de projeto (VHP) .....</b>	<b>19</b>
2.3.4	<b>Contagens volumétricas .....</b>	<b>20</b>
2.3.5	<b>Métodos de contagem.....</b>	<b>21</b>
2.3.6	<b>Fatores de expansão .....</b>	<b>22</b>
2.3.7	<b>Fator de projeção.....</b>	<b>24</b>
2.3.8	<b>Capacidade.....</b>	<b>25</b>
2.3.9	<b>Nível de serviço .....</b>	<b>25</b>
2.3.10	<b>Volume de serviço.....</b>	<b>27</b>
2.3.11	<b>Controle semafórico de tráfego .....</b>	<b>28</b>
2.4	SIMULADORES DE TRÁFEGO.....	29
2.4.1	<b>Níveis de modelagem.....</b>	<b>29</b>
2.4.2	<b>AIMSUN.....</b>	<b>30</b>
2.5	MATRIZ ORIGEM E DESTINO .....	32
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
3.1	OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS .....	34
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>37</b>

4.1	LOCALIZAÇÃO.....	37
4.2	OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS .....	39
4.3	CARREGAMENTO DA REDE VIÁRIA EXISTENTE .....	47
<b>4.3.1</b>	<b>Matriz Origem e Destino .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Simulação da rede existente.....</b>	<b>53</b>
4.3.2.1	Nível de serviço por interseção .....	55
4.4	ESTUDO DE ALTERNATIVAS .....	59
<b>4.4.1</b>	<b>ALTERNATIVA A.....</b>	<b>59</b>
<b>4.4.2</b>	<b>ALTERNATIVA B.....</b>	<b>63</b>
4.4.2.1	Cálculo do comprimento de fila .....	67
4.4.2.2	Análise da demanda futura .....	70
<b>4.4.3</b>	<b>ALTERNATIVA C.....</b>	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	76
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>
	APÊNDICE A – PLANILHAS DE CONTAGEM .....	81
	APÊNDICE B – FATORES DE EXPANSÃO E CORREÇÃO .....	84
	APÊNDICE C – PLANILHA FINAL DE VOLUMES OBTIDOS .....	87
	APÊNDICE D – REDE EXISTENTE CARREGADA NO AIMSUN .....	88
	APÊNDICE E – DADOS DE CONTAGEM, MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR SEÇÃO. 90	
	APÊNDICE F – DEMANDAS FUTURAS EM VEÍCULOS EQUIVALENTES .....	91



## 1 INTRODUÇÃO

O sistema rodoviário no Brasil é responsável por cerca de 60% da movimentação de cargas e mais de 90% dos deslocamentos de passageiros, e se destaca como principal meio de integração entre modais de transportes. No entanto, em um país onde as rodovias não pavimentadas somam 78,5% (1.3493,939 km) de toda a malha rodoviária existente, as condições da infraestrutura rodoviária não condizem com a crescente demanda advinda do setor (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES – CNT, 2018).

Uma das alternativas de maior impacto encontrada na tentativa de suprir a insuficiência de recursos públicos para investimentos na infraestrutura rodoviária brasileira teve início na década de 1990, quando foram lançados os primeiros programas para concessão das rodovias federais, estaduais e municipais à iniciativa privada (GARCIA, 2011).

Essa parceria entre a esfera pública e o setor privado resultou em significativa melhora das condições das rodovias em diversos estados brasileiros. Segundo CNT (2018), todas as dez melhores ligações rodoviárias do país são constituídas de rodovias concessionadas.

No entanto, segundo dados da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR, 2017), embora a concessão de rodovias seja um modelo de sucesso, apenas 9,24% de toda a malha rodoviária brasileira é concedida.

Nesse cenário, outro agravante recorrente mesmo nos trechos sob concessão, é a descaracterização da função principal das rodovias: o transporte de longa distância. Com o crescimento desordenado das grandes cidades, é cada vez mais comum o surgimento de ocupações e acessos irregulares em áreas lindeiras à Rodovia, criando elementos não condizentes com a classe de nível de serviço desses locais, o que resulta no aumento do fluxo urbano dentro do perímetro rodoviário, incrementando o número de acidentes e gerando problemas de tráfego, como os congestionamentos, um contratempo aparentemente simples, mas que gera inúmeros impactos (VIEIRA, 2018).

No segmento rodoviário objeto deste estudo, localizado no município de Joinville/SC, o cenário não é diferente. Segundo dados da Concessionária Arteris Litoral Sul, administradora do trecho da Rodovia BR-101/SC que corta o município, o nível de serviço em alguns pontos está próximo de atingir escalas inoperáveis e por isso, precisam ser estudadas medidas mitigadoras de tráfego a médio e longo prazo.

O enfoque da avaliação deste trabalho está nas interseções de duas passagens inferiores do segmento em estudo, locais em que a interface entre a rodovia e o meio urbano acarreta, constantemente, em congestionamentos. O objetivo é avaliar alternativas capazes de melhorar a fluidez do tráfego na região.

Dada a complexidade do problema, a utilização de softwares de simulação de tráfego surge como uma alternativa a ser explorada, que permite a avaliação de diferentes propostas para o mesmo segmento. Para este estudo, será aplicado o método de análise microscópica disponível no Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks (AIMSUN). Após simulação dos cenários propostos, extraem-se os dados para determinação do nível de serviço das interseções através do HCS (Highway Capacity Software).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade técnica de alternativas de engenharia de tráfego para um segmento rodoviário sobre influência urbana da cidade de Joinville/SC.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- I. Identificar e analisar o segmento para estudo e proposição de melhorias;
- II. Implementar o ambiente de tráfego atual no software de simulação AIMSUN;
- III. Avaliar as alterações de geometria necessárias para aumento de capacidade nas interseções;
- IV. Avaliar o desempenho do tráfego em caso de semaforização das passagens inferiores;
- V. Apresentar uma proposta que atenda a demanda até o ano de 2032.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos relativos às Concessões Rodoviárias no Brasil, desde seu histórico até o atual modelo praticado no país, a fim de contextualizar o local em que será desenvolvido este estudo de caso. Ademais, serão apresentados fundamentos da Engenharia de Tráfego referentes à capacidade, nível de serviço e ao software AIMSUN, relevantes ao desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1 CONCESSÃO DAS RODOVIAS BRASILEIRAS

Em 1993, teve início no Brasil a primeira etapa do Programa de Concessões de Rodovias Federais, criado pela Portaria Ministerial nº 10/93.

A origem do programa estava na precariedade da infraestrutura rodoviária do país, resultado da indisponibilidade de recursos públicos para execução de novas obras ou para manutenção da malha existente. Nesse contexto, a possibilidade de estabelecimento de parcerias entre a iniciativa privada e o poder público surgiram como uma solução para subsidiar os investimentos na infraestrutura rodoviária, conforme apresentado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2018).

Desde então, ocorreram outras três etapas de concessões, abrangendo aproximadamente 20.000 quilômetros de rodovias (ABCR, 2017), dos quais hoje, cerca de 9.697 quilômetros são administrados pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), criada em 2001 pela Lei nº 10.233, que atribuiu à Agência, dentre outras obrigações, a responsabilidade de regular as atividades de exploração da infraestrutura rodoviária brasileira.

Segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2018), dez das melhores ligações rodoviárias do Brasil são concessionadas, enquanto na outra ponta, as dez piores estão sob gestão do poder público. Essa disparidade pode ser explicada pela queda significativa do volume de investimento público federal em infraestrutura de transporte, que chegou a atingir 1,84% em 1975 e tem sofrido quedas desde então, alcançando um percentual de apenas 0,16% em 2018. Desde o início dos anos 2000, a parcela investida do PIB não superou 0,40%. Fato este que confirma a ineficiência governamental em administrar seus recursos e reitera a importância do papel das concessionárias no desenvolvimento da infraestrutura rodoviária.

Cabe destacar que, para o Brasil, um país historicamente dependente do modal rodoviário, investir em rodovias reflete diretamente no desenvolvimento econômico e social,



uma vez que estes investimentos condicionam a produtividade e competitividade de um dos maiores setores produtivos do país: o de transporte rodoviário (MARTINS; PARREIRA; VIEIRA, 2017).

Segundo a Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL, 2018), 65% do total de carga transportada no Brasil é escoada pelo modal rodoviário. Portanto, ganhos no tempo de viagem, custo do frete e na agilidade de movimentação de cargas e pessoas, de forma indireta, são capazes de gerar crescimento, emprego e renda para a sociedade, além de elevar a arrecadação dos municípios, estados e concessionárias de rodovias.

## 2.2 O MODELO ATUAL DAS CONCESSÕES FEDERAIS

As rodovias federais são cedidas pelo poder público ao operador privado que tenha vencido o processo de licitação pública. Ao término da licitação, é findado o contrato de concessão, documento no qual são definidos todos os investimentos previstos, o prazo para o término do contrato, o número e a localização das praças de pedágio, os critérios adotados para quaisquer reajustes de tarifa, dentre diversas outras regras claramente estabelecidas e que serão fiscalizadas pela ANTT, autarquia federal responsável pela regulação das atividades de exploração da infraestrutura rodoviária (IPEA, 2018).

Nesse contrato, uma das mais importantes ferramentas é a definição do Programa de Exploração da Rodovia (PER).

O PER especifica todas as condições para execução do Contrato, caracterizando todos os serviços e obras previstos para realização pela Concessionária ao longo do prazo de Concessão, bem como diretrizes técnicas, normas, características geométricas, escopo, parâmetros de desempenho, parâmetro técnicos, bem como os prazos de execução que devem ser observados para todas as obras e serviços previstos. (ANTT, 2013, p. 5).

Dessa forma, com a assinatura do contrato, as partes concordam que a tarifa inicial de pedágio cobre os custos operacionais, os investimentos e apresenta uma margem de lucro satisfatória ao operador privado, ou seja, o contrato está em Equilíbrio Econômico Financeiro (EEF) (IPEA, 2018).

Conforme citado anteriormente, as obras a serem executadas estão previstas no PER. No entanto, ao longo dos anos, houve uma evolução regulatório dos contratos de concessão findados no Brasil, estabelecendo outras ferramentas para a viabilização de novos

investimentos, respeitando-se a prerrogativa inicial de equilíbrio entre receitas e despesas (DEPINÉ, 2010).

Segundo consta no Capítulo VI, Art. 21 da Resolução nº 1.187/2005 da ANTT, para aprovação destes investimentos, o concessionário deve encaminhar as propostas para análise da Agência, contemplando o projeto básico, suas justificativas e principalmente, a avaliação de custos e benefícios, sejam estes operacionais, para controle ou ampliação de capacidade, ou necessários à manutenção da segurança viária.

Dessa forma, a Engenharia de Tráfego surge já nas primeiras etapas como ferramenta fundamental aos projetistas na fase de pesquisas e levantamento de dados. Os principais conceitos inerentes ao tema serão abordados nos tópicos subsequentes.

### 2.3 ENGENHARIA DE TRÁFEGO

No início da década de 1970, o Brasil se encontrava em um período de expressivo crescimento econômico, o que acarretou no aumento da demanda por transportes e na criação de políticas direcionadas ao modal rodoviário, consolidando sua importância ao desenvolvimento do país. Essas políticas exigiam o estabelecimento de Planos Diretores, além da elaboração de Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica, figurando no surgimento de novas áreas nos escopos de projetos, tais como tráfego, capacidade e a avaliação econômica das alternativas (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT, 2006a).

Todo este processo de análises quantitativas e qualitativas mais seguras gerou o aprimoramento do processo executivo e criou a necessidade de planejar a construção de rodovias (DNIT, 2006a).

Por consequência, a etapa inicial dos projetos passou a consistir na análise de um conjunto de dados levantados e em informações técnicas do local, que permitem o diagnóstico do problema e o traço do objetivo a ser atingido. Nesse contexto, cabe destacar três importantes parâmetros frequentemente utilizados: volume de tráfego, capacidade e nível de serviço, que por vezes, podem ser confundidos. No entanto, são definidos de maneira distinta, conforme apresentado em sequência (Fillizzola et al., 1977).

### 2.3.1 Volume de tráfego

O volume de tráfego (ou fluxo de tráfego) é definido como o número de veículos que passam por uma seção de uma via em um determinado intervalo de tempo, usualmente expresso em veículos/dia (vpd) ou veículos/hora (vph) e calculado para um período de tempo representativo, que na maioria dos casos é adotado como 1 (um) ano (DNIT, 2006b).

Os conceitos de volume frequentemente utilizados são:

- Volume Médio Diário (VMD): expressa a média diária do volume de tráfego em determinada seção para diferentes períodos;
- Volume Médio Diário Anual (VMDa): é a soma de todos os volumes diários registrados ao longo de um ano em dada seção de uma via, dividida por 365;
- Volume Médio Diário Mensal (VMDm): para um determinado trecho, representa o valor médio de veículos trafegando no mês, dividido pelo número de dias deste período;
- Volume Médio Diário Semanal (VMDs): a totalidade de veículos trafegando em uma semana dividida por 7;
- Volume Médio Diário em um Dia de Semana (VMDd): número total de veículos trafegando em um dia da semana.

O mais utilizado dentre os volumes médios é o VMD ou VMDa. Os demais são comumente empregados como amostras que precisarão ser ajustadas e expandidas para que o VMDa possa ser determinado a partir de contagens de tráfego, abordadas na seção 2.3.4.

Contudo, para garantir que o resultado seja realista, é imprescindível conhecer a variação generalizada dos volumes de tráfego.

### 2.3.2 Variações no volume de tráfego

A variação generalizada dos volumes de tráfego exprime uma importante característica: o fluxo se altera dependendo da hora, do dia, da semana e do ano, além de em um mesmo segmento, variar de acordo com a pista sendo analisada. Essa análise é importante para que uma característica ou variação pontual não sirva como base na tomada de decisões de um projeto (DNIT, 2008).

A seguir são apresentadas as principais características relacionadas à cada variação do volume de tráfego.

a) Variações ao longo do dia: os volumes variam de acordo com o horário ao longo do dia e apresentam pontos máximos identificados por picos. Através da avaliação das variações diárias, pode ser determinado o Volume Horário de Projeto (VHP), de fundamental importância no dimensionamento de uma rodovia e abordado no item 2.3.3 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER, 1999).

Outro conceito relacionado com as variações ao longo do dia, são as Horas de Pico, caracterizadas pelos maiores volumes de veículos de uma via em determinado dia, variando de acordo com o local, mas que apresenta uma tendência estável se avaliado o mesmo ponto, no mesmo dia da semana (DNIT, 2006b).

Dentro da hora de pico, ainda é possível observar flutuações. Por esse motivo, é adotada a prática de análise de quatro períodos consecutivos de quinze minutos, para determinar o Fator Horário de Pico (FHP), a fim de avaliar o grau de uniformidade do fluxo.

Segundo Gomes (2004), esse conceito é usualmente utilizado nos estudos de capacidade das vias e é um fator determinante em termos operacionais, uma vez que, mesmo que a via seja projetada para atender ao horário de pico, pequenas flutuações que excedem sua capacidade dentro deste tempo podem comprometer a recuperação de fluidez do tráfego.

b) Variações semanais: este tipo de variação é bastante relevante para o projeto de rodovias. Dependendo do local em que a via está inserida, são observados padrões de variação. Por exemplo, em áreas de recreio, os volumes de pico ocorrem aos finais de semana. Para locais ocupados predominantemente por indústrias, os maiores volumes acontecem nos dias úteis, de segunda a sexta-feira, devido às viagens de ida e volta do trabalho (DNIT, 2006b);

c) Variações mensais: também denominada como variação sazonal, a variação mensal tem forte relação com o tipo de via e as atividades desenvolvidas no seu entorno. Em rodovias que servem como via de acesso a cidades litorâneas por exemplo, o fluxo de veículos é consideravelmente elevado nos meses de verão (GOMES, 2004);

d) Variações anuais: este tipo de variação é especialmente importante quando se procura avaliar a tendência de crescimento do fluxo de veículos à longo prazo. A expectativa é que com o crescimento populacional e o desenvolvimento da economia, o número de viagens aumente (DNIT, 2008);

e) Variações por sentido ou faixa de tráfego: as variações por sentido usualmente se invertem nos picos dos períodos matutino e vespertino. Sua tendência normalmente não é alterada e pode ser observada com facilidade. Em casos de rodovias de pista simples, esta avaliação é bastante relevante para verificação das condições de ultrapassagem. Em rodovias de duas ou mais faixas, também são verificadas flutuações de acordo com o número de pistas

existentes. No entanto, por estarem relacionadas à diversos fatores inerentes a localização e tipo da rodovia, não apresentam uma tendência uniforme (DNIT, 2006b);

f) Variações especiais: este tipo de variação é tido como previsível e acontece em casos de eventos como jogos de futebol, festas, feriados, dentre outros acontecimentos relacionados com a região de inserção da rodovia (DNIT, 2008).

Como forma de mitigar o impacto das variações no volume de tráfego, a American Association Of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2001) considera que, para o projeto de rodovias, as condições de operação devem ser baseadas em volumes de tráfego representativos de um período de tempo inferior a um dia, usualmente igual a uma hora, conforme exposto na sequência.

### 2.3.3 Volume horário de projeto (VHP)

O VHP é definido como o volume de tráfego durante uma hora. A escolha desse fator pelo projetista deve ser cautelosa, uma vez que um valor horário baixo representaria uma perda qualitativa significativa da operação da rodovia, mas, em contrapartida, valores muito elevados podem inviabilizar o projeto devido à um custo excessivo (GOMES, 2004).

Segundo Andrade et al. (2013), a boa prática admite um VHP expresso em termos do maior fluxo de tráfego horário continuamente observado ao longo de um ano de operação, porém, prevendo um número  $n$  de horas mais carregadas. Nesse período, a qualidade do serviço poderá ser inferior ao padrão estabelecido.

Não existe ainda um consenso entre os estudiosos para determinação do número  $n$ . É sabido apenas que seu valor pode mudar de acordo com a legislação e normativas do local em que se insere o projeto. Nos Estados Unidos, é comum a adoção do fluxo observado na 30ª hora mais carregada do ano, enquanto no Brasil, o usual é a utilização da 50ª hora para determinação de um fator denominado  $K_{50}$ , inclusive permitido pelos contratos de concessão em vigência no país (ANDRADE et al., 2013).

Segundo DNIT (2006b), esse fator é determinado como o quinquagésimo maior volume horário observado ao longo do intervalo de 1 (um) ano em razão do VMDa do mesmo período.

Sendo assim, o VHP é determinado pela seguinte equação:

$$\text{VHP} = \text{VMDa}_{AH} \times K_{50} \quad (1)$$

Onde,

$VMDa_{AH}$  = Volume médio diário anual para o ano de projeto (ou ano horizonte)

$K_{50}$  = Volume da 50ª hora mais carregada do ano em razão do VMDa do período

Compreendidos os conceitos de volume usualmente aplicados nos projetos em geral, são apresentados nas seções seguintes os principais métodos de obtenção de dados volumétricos.

### 2.3.4 Contagens volumétricas

A medida do volume ou fluxo de tráfego é estabelecida por intermédio de contagens de tráfego, também conhecidas como contagens volumétricas. O objetivo é a determinação não somente da quantidade de veículos por sentido de tráfego em um ou vários pontos da rodovia em determinado espaço de tempo, mas também da composição do fluxo passante (DNIT, 2006b).

De acordo com DNIT (2006b), existem três classes de contagens volumétricas:

a) Contagens globais: no total, são contabilizados todos os veículos, sem distinção de sentido, circulando por um mesmo trecho, agrupados usualmente por suas diversas classes. Sua aplicabilidade está no cálculo de volumes diários, determinação de tendências do tráfego e preparo de mapas de fluxo;

b) Contagens direcionais: diferente da classe anterior, este tipo de contagem separa o número de veículos de acordo com o sentido de tráfego. É frequentemente utilizada em cálculos de capacidade, estudos de acidentes, previsão de faixas adicionais em rampas ascendentes, dentre outros casos;

c) Contagens classificatórias: para esse caso, as contagens são focadas no registro de volumes de veículos de acordo com suas categorias. São usualmente aplicadas para o dimensionamento estrutural e projeto geométrico de rodovias e interseções, cálculos de capacidade e benefícios aos usuários e na determinação dos fatores de correção para as contagens mecânicas.

Independente da classe de contagem, existem diferentes métodos para sua realização.

### 2.3.5 Métodos de contagem

Conforme apresentado nos trabalhos de Takeshita (2018) e Goldner (2019), DNIT (2006b) define dois métodos básicos para realização de contagens volumétricas:

a) Contagens manuais: são contagens realizadas por pesquisadores apenas com o auxílio de contadores manuais para registro do fluxo de veículos em planilhas ou fichas. Por este motivo, apresenta elevada dependência de fatores humanos e não indicadas para períodos muito longos para minimizar a probabilidade de erro;

b) Contagens automáticas: nesse caso, os veículos são identificados por intermédio de diferentes dispositivos, sendo estes:

- a. Tubos pneumáticos;
- b. Laços indutivos;
- c. Dispositivos magnéticos;
- d. Piezoelétricos;
- e. Sistema acústico;
- f. Radar;
- g. Células fotoelétricas.

Os contadores automáticos possuem, basicamente, uma unidade captadora que identifica a passagem do veículo e outra unidade que armazena os dados e dependendo da sua finalidade, podem ser portáteis ou permanentes.

Com o avanço da tecnologia, novas metodologias estão sendo estudadas e algumas já estão consolidadas entre os pesquisadores. Dentre as quais, se destaca:

- Contagens por filmagem: são instaladas câmeras que registram o fluxo de veículos em período contínuo e permitem que as contagens sejam realizadas com maior confiabilidade. Estas imagens podem ser utilizadas de duas maneiras:
  - a. Por pesquisadores em contagens manuais, porém, com maior conforto, abrigados do tempo e podendo interromper e retornar a qualquer instante;
  - b. Com o auxílio de programas em que a captura, o processamento e a contagem são realizadas de forma imediata pelo computador (FEITOSA, 2012).

Obtidas as contagens, são aplicados os fatores de expansão, correção e projeção.

### 2.3.6 Fatores de expansão

Os volumes de contagem podem ser obtidos em períodos permanentes, contabilizados por 24 (vinte e quatro) horas ao longo do ano inteiro, ou periodicamente, para diferentes tempos, por exemplo, um número de horas “n” do dia, uma contagem semanal, mensal, dentre outros.

Independentemente do tipo de contagem, existe uma maneira de relacioná-las entre si: pela aplicação dos fatores de expansão, que embora não reflitam exatamente os dados do local, já foram comprovadas pela prática que se encontram dentro de um intervalo aceitável de ajuste (DNIT, 2006b).

Dependendo do intervalo de tempo em que a contagem foi realizada é feita a seleção de fatores necessários para correção destes dados. Os conceitos relativos a estes fatores são exemplificados nos próximos tópicos com base no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT.

Cabe ressaltar que para todos os casos, a determinação do fator de expansão de forma precisa depende da disposição de um contador de tráfego contínuo que possa descrever o comportamento do fluxo de veículos nos locais sendo analisados. Usualmente, a escolha é feita por proximidade geográfica do trecho em estudo ao posto de contagem contínua (GOMES, 2004).

a) Fator de expansão diário: o fator de expansão diária é utilizado em pesquisas realizadas somente em um número de horas “n” do dia por cada tipo de veículo. O usual é que sejam observados os horários de maior fluxo do dia, as “horas de pico”, para então serem expandidas a um dia inteiro.

Para que isto seja possível, é necessário que se tenha alguma contagem realizada na mesma data por um período de 24 (vinte e quatro) horas, para então determinar o fator de expansão diário por classe de veículos pela equação:

$$f_{pd} = \frac{VP_{24}}{V_{Ph}} \quad (2)$$

Onde,

$f_{pd}$  = fator de expansão diário

$VP_{24}$  = volume de veículos durante as 24 horas do dia

$V_{Ph}$  = volume de veículos durante as “h” horas de pesquisa



b) Fator de expansão semanal: em muitos casos, por uma questão de economia de recursos, as contagens são realizadas por um período, por exemplo, de apenas 3 (três) dias. Nestas condições, os volumes devem ser ajustados de acordo com o fator de expansão semanal.

Para sua determinação, são necessários dados de contagem de algum posto em que os volumes tenham sido registrados para o período de, pelo menos, 1 (uma) semana. A partir destes valores, é definido um coeficiente que irá expandir a amostra de período inferior, por classe de veículo, pela equação a seguir:

$$f_{ps} = \frac{V_{Ps}}{V_{Pd}} \quad (3)$$

Onde,

$f_{ps}$  = fator de expansão semanal de um dia específico da semana

$V_{Ps}$  = volume de veículos durante os 7 dias da semana

$V_{Pd}$  = volume de veículos durante o dia determinado

c) Fator de expansão mensal: o fator de expansão mensal é representado pelas médias dos valores obtidos para VMD semanais. Sua determinação é feita pela seguinte equação:

$$f_{pm} = \frac{V_{Pm}}{V_{Ps}} \quad (4)$$

Onde,

$f_{ps}$  = fator de expansão mensal

$V_{Pm}$  = volume de veículos durante o mês determinado

$V_{Ps}$  = volume de veículos durante os 7 dias da semana

d) Fator de expansão sazonal: o fator de expansão sazonal, também citado como fator de correção sazonal mensal, consiste na relação entre o tráfego de cada mês com o tráfego médio diário anual e é obtido pela equação:

$$f_a = \frac{VMDa}{VMDm} \quad (5)$$

Onde,

$f_a$  = fator de expansão sazonal

VMDa = volume médio diário anual

VMDm = volume médio diário mensal

Aplicados os fatores de expansão, usualmente é necessário avaliar os volumes para um espaço de tempo futuro, obtido pela aplicação do fator de projeção.

### 2.3.7 Fator de projeção

O fator de projeção representa a taxa de crescimento do tráfego e é utilizado para estimar o fluxo de veículos no ano de abertura do projeto da rodovia ou para outros intervalos de tempo, dependendo da característica sendo analisada.

Sua estimativa é realizada através da expressão de crescimento geométrico:

$$TN_n = TNo * (1 + g)^t \quad (6)$$

Onde,

$TN_n$  = tráfego no ano “n”

$TNo$  = tráfego no ano base

$g$  = taxa de crescimento do tráfego

$t$  = período de projeção

A taxa de crescimento do tráfego, conforme apresentado por Gomes (2004), é muitas vezes determinada com base nos dados de postos permanente de contagem, comparando-se aos pares os valores de VMDa.

Sendo assim, de posse dos dados de volume de tráfego em um espaço de tempo conhecido, surge o conceito de capacidade, frequentemente avaliado no âmbito da engenharia de tráfego.

### **2.3.8 Capacidade**

A capacidade de uma via está relacionada com dois fatores básicos: o número de veículos circulando e o tempo em que isto ocorre. O resultado é expresso em termos do número máximo de veículos que podem trafegar em determinada faixa de tráfego ou segmento de uma via em um certo período de tempo sob condições predominantes de tráfego, de pista e de controle (DNIT, 2006b).

Conforme exposto por Demarchi (2000), com base nas proposições do Highway Capacity Manual (HCM), referência americana em estudos de tráfego recomendada pelo DNIT no Brasil, a capacidade da rodovia é fortemente influenciada pela sua geometria, por fatores relativos ao tráfego e por fatores ambientais e precisa ser estudada em termos de segmentos homogêneos, definidos como segmentos nos quais as características físicas e de tráfego são semelhantes.

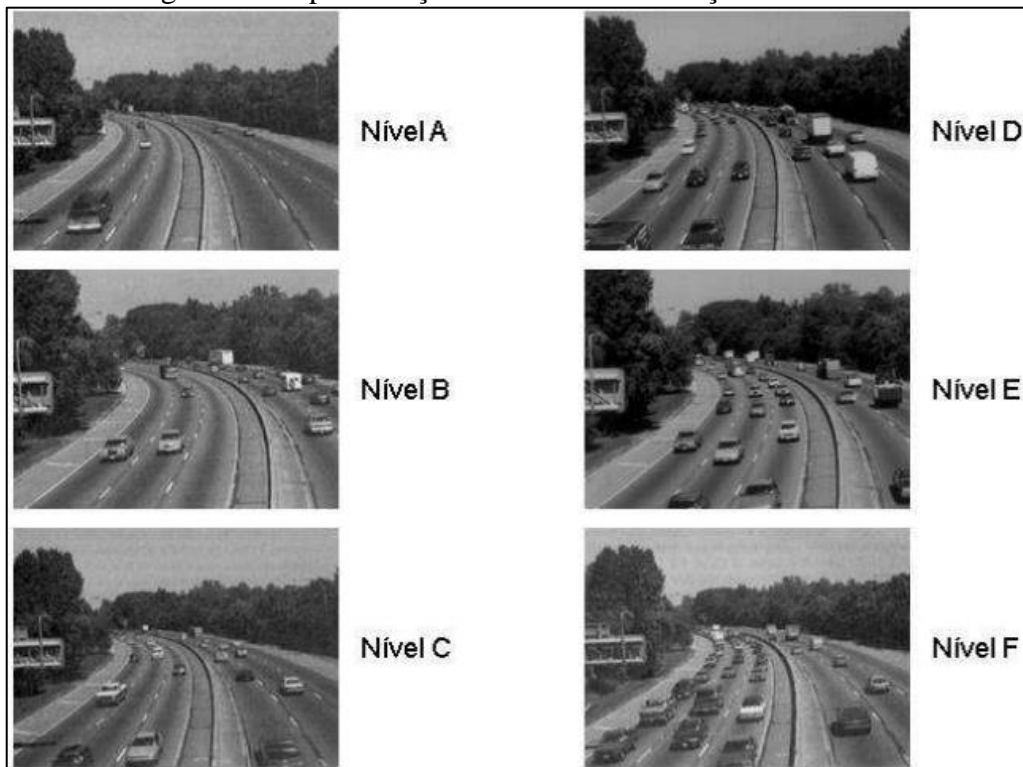
No entanto, diferente do que acontece na determinação do nível de serviço (NS), sua análise não traduz as condições de tráfego de forma completa, uma vez que para sua determinação são considerados somente o número de veículos circulando e o tempo dessa circulação, sem ponderar fatores relativos à condição com que este tráfego ocorre (DNIT, 2006b).

### **2.3.9 Nível de serviço**

Segundo DNIT (2006b), o nível de serviço está relacionado com a qualidade da operação rodoviária, refletindo o nível de fluidez dos veículos de acordo com a percepção dos usuários ao considerar uma gama de fatores, como por exemplo a velocidade e tempo de viagem, facilidade de manobras, interrupções de tráfego, conforto, segurança, conveniência no dirigir e custos operacionais.

Um segmento pode ser classificado em seis diferentes níveis de serviço, designados por letras que variam de A até F. O nível A corresponde à condição de operação ideal enquanto a outra ponta caracteriza uma condição de congestionamento completo. Entre estes dois extremos, são designados os demais níveis, todos representados na Figura 1 (DNIT, 2006b).

Figura 1 – Representação dos níveis de serviço em rodovias



Fonte: DNIT (2006b, p. 265).

A seguir são apresentadas as principais características operacionais de cada nível de serviço em rodovias rurais de pista simples de acordo com o especificado por DNER (1999):

- Nível de serviço A: representativa de um fluxo livre em rodovias de boas características técnicas. A restrição de manobra devido à presença de outros veículos é pequena ou inexistente e as velocidades se desenvolvem sem retardamento conforme percepção dos motoristas. O fluxo máximo de veículos observado em condições ideais é de 420 veículos por hora;
- Nível de serviço B: a condição de fluxo é estável, e embora os motoristas ainda detenham certa liberdade de escolha de velocidade e faixa de circulação, algumas restrições já são notadas. O fluxo máximo de veículos observado em condições ideais é de 750 veículos por hora;
- Nível de serviço C: devido à ocorrência de volumes mais elevados, as velocidades e possibilidades de manobra são mais restritas, embora ainda se situe em uma faixa de fluxo estável. O fluxo máximo de veículos observado em condições ideais é de 1.200 veículos por hora;

- Nível de serviço D: nesse momento as condições de fluxo atingem um patamar de instabilidade, e os motoristas têm limitada liberdade de manobra e dificuldade em manter as velocidades desejadas. O fluxo máximo de veículos observado em condições ideais é de 1.800 veículos por hora;
- Nível de serviço E: este é o nível representativo da capacidade da rodovia, em que as condições de instabilidade de fluxo são elevadas e as manobras de ultrapassagem são praticamente impossíveis. Ocorre ainda a redução das velocidades desenvolvidas. O fluxo máximo de veículos observado em condições ideais é de 2.800 veículos por hora;
- Nível de serviço F: nesse momento é atingido o colapso do fluxo. Ocorre a formação de filas de veículos com baixa velocidade, mantidos por períodos mais ou menos longos e que reduzem os fluxos a valores inferiores à capacidade. Em alguns casos podem ser registrados engarrafamentos com velocidade e fluxo nulos.

A cada um destes níveis de serviços está associado um volume de serviço, conforme apresentado na sequência.

### **2.3.10 Volume de serviço**

Segundo DNER (1999), o volume de serviço está relacionado com os fluxos de tráfego que podem ser dispostos nos diferentes níveis de serviço, ou seja, representa o máximo volume de tráfego ao qual as condições do nível de serviço proposto ainda são verificadas.

No desenvolvimento de projetos rodoviários, a decisão pelo nível de serviço adotado é tomada pelo projetista de acordo com o tipo de rodovia e sua localização, dentre outros fatores particulares de cada projeto.

Embora o HCM não seja específico quanto ao nível de serviço que deve ser adotado no planejamento de rodovias, a Tabela 1 apresentada abaixo foi desenvolvida pelo DNER (1999), para auxiliar no processo de tomada de decisão e é resultado da relação entre níveis de serviço, seus respectivos volumes de tráfego e critérios para graus aceitáveis de congestionamento.

Tabela 1 – Seleção do nível de serviço no projeto de rodovias rurais

Tipo de Rodovia	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Via Expressa	B	B	C
Via Arterial	B	B	C
Coletora	C	C	D
Local	D	D	D

Fonte: adaptado de DNER (1999, p. 114).

Definido o nível de serviço a ser alcançado, cabe ao projetista verificar os meios para comportar o volume de tráfego existente sem comprometer a qualidade da operação.

Nesse contexto, são avaliadas propostas operacionais de engenharia com ênfase em ferramentas de controle de tráfego como, por exemplo, a sinalização semafórica, estabelecida como ponto de partida para as análises a serem apresentadas no capítulo de estudo de caso.

### 2.3.11 Controle semafórico de tráfego

Conforme citado anteriormente, uma das ferramentas da engenharia de tráfego para controle de interseções ou seções de via onde o espaço viário é disputado por dois ou mais movimentos conflitantes, consiste na instalação de sinalização semafórica. O intuito é realizar o controle de tráfego dos usuários sobre o direito de passagem ou ainda, indicar a presença de situação perigosa ou obstáculo físico (CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, 2014).

A implementação desse tipo de solução deve ser precedida de uma avaliação criteriosa para identificar a real necessidade de instalação. Se implementados corretamente, contribuem para a redução de acidentes e impactam positivamente na fluidez do trânsito. Do contrário, podem aumentar consideravelmente o tempo de espera nas interseções e gerar um efeito oposto ao desejado (CONTRAN, 2014).

Alguns conceitos são importantes para o entendimento do funcionamento desses dispositivos, conforme apresentados por CONTRAN (2014):

- Grupo de movimentos: conjunto de movimentos em um mesmo cruzamento, em que o direito de passagem é cedido para todos simultaneamente;
- Estágio: definido como o intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebem o direito de passagem em simultâneo;

- Entreverdes: intervalo de tempo entre o término do verde de um estágio e o início do verde do próximo estágio;
- Ciclo: sequência completa dos estágios de uma sinalização semafórica;
- Tempo de ciclo: também denominado duração do ciclo, corresponde à soma dos tempos de todos os estágios;
- Diagrama de estágios: representação gráfica de todos os movimentos que podem ser realizados em cada estágio do ciclo;
- Diagrama de barras: apresenta a duração e a sequência de cada intervalo luminoso e seus estágios associados aos grupos semafóricos por meio de barras horizontais.

Quando verificada a necessidade de instalação de um semáforo, calcula-se tempo de ciclo. Para o presente trabalho, a programação semafórica foi obtida por intermédio de software de simulação de tráfego, que permite a definição dos tempos de modo experimental em conjunto com a avaliação dos níveis de serviço de cada interseção.

## 2.4 SIMULADORES DE TRÁFEGO

Os simuladores de tráfego surgiram como uma ferramenta de apoio na área de engenharia de transportes e vêm se consolidando como um mecanismo inteligente capaz de avaliar, simular e aprimorar a operação viária (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHA, 2004).

As análises servem como base ao planejamento, projeto e operação de vias em diversos contextos, uma vez que podem ser atribuídos diferentes parâmetros sem que esta seja, necessariamente, a condição observada em campo. Desta forma, é possível prever o comportamento do tráfego e adequá-lo de forma a otimizar a utilização da via ou do sistema viário, conforme estudado por Noronha (2016).

### 2.4.1 Níveis de modelagem

Dependendo da finalidade e do objetivo da análise, é feita a escolha pelo tipo de modelagem, que segundo Nazareth, Sousa e Ribeiro (2015), se divide em simulação macroscópica, microscópica e mesoscópica.

a) Simulação macroscópica: os modelos de simulação macroscópica desconsideram as velocidades individuais dos veículos e características singulares dos sistemas. Esta abordagem

reflete os fluxos de veículos de maneira generalizada baseado nas relações entre fluxo, densidade e velocidade. Embora não represente os detalhes acerca dos veículos trafegando, é capaz de realizar uma avaliação integrada do sistema, seção a seção;

b) Simulação microscópica: os modelos de simulação em escala microscópica replicam o comportamento dos veículos individualmente, observadas suas interações entre si e com os dispositivos da via, com base em teorias de perseguição de veículos e de troca de faixas. Nesse tipo de abordagem, o foco está na reação do motorista ao estímulo decorrente do seu entorno;

c) Simulação mesoscópica: diferente do que acontece nos modelos de simulação microscópica, a abordagem mesoscópica, embora busque um tratamento individualizado, realiza uma análise dos veículos como parte das correntes de tráfego, formando pelotões que se deslocam pelo sistema viário. Sua aplicabilidade é limitada, utilizada em áreas estritamente urbanas e vias interrompidas.

Nesse contexto, é importante destacar que a validade dos dados verificados nos simuladores depende fortemente do conhecimento do comportamento atual e futuro do trânsito na região em estudo.

Atualmente estão disponíveis no mercado várias ferramentas de simulação, utilizadas de acordo com o objetivo e a disponibilidade. O software Simulation Of Urban Mobility (SUMO), desenvolvido no Instituto de Sistemas de Transporte, é um simulador de código aberto, assim como o Intelligent Transportation System for Urban Mobility (ITSUMO), projetado no Brasil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Ambos os programas, embora livres, exigem um conhecimento mais aprofundado em linguagens de programação por parte do projetista (HALLMANN, 2011).

Da mesma forma, existem softwares comerciais já consolidados no âmbito da engenharia de transportes, como o AIMSUN, disponibilizado de acordo com a licença adquirida e que apresenta uma interface completa e moderna (FRATAR, 2019), escolhido para a análise a ser desenvolvida no presente trabalho.

#### **2.4.2 AIMSUN**

O AIMSUN é um software de simulação de tráfego de domínio da empresa Transport Simulation Systems – TSS.

Um dos seus principais diferenciais é a possibilidade de avaliação integrada do sistema em todas as escalas: macroscópica, microscópica e mesoscópica (TSS, 2014).



Conforme exposto por Barceló (2010), o AIMSUN foi implementado com base em três modelos comportamentais: car-following, lane-changing e gap-acceptance.

A teoria do modelo car-following considera a manutenção de uma distância mínima segura entre veículos que aumenta linearmente com a velocidade da via. Além disso, é expressa por uma equação de estímulo versus resposta, em que a velocidade do veículo é influenciada pelo estímulo que o motorista recebe do automóvel à sua frente.

Segundo Barceló (2010), o modelo de lane-changing, está relacionado com o comportamento do motorista no momento da troca de faixa. Cada vez que a simulação é atualizada, o programa realiza duas perguntas, sendo a primeira delas: a troca de faixas é necessária? A resposta requer a análise rápida das condições de tráfego, ou seja, se haverá alguma melhora para o motorista como resultado da troca de pista, em termos de velocidade e comprimento de fila.

Na etapa seguinte o software questiona: é possível a troca de faixas? Nesse momento são introduzidas as regras de gap-acceptance, que servem como base para que o movimento de troca de faixa aconteça de maneira segura, ou seja, dependendo da análise de probabilidade do software em identificar uma oportunidade, em algum instante da simulação, que permita esse movimento (BARCELO, 2010).

Dessa forma, para a construção de um modelo na ferramenta, são necessárias informações básicas da via, como largura, existência de acostamento, faixas de aceleração ou desaceleração, permissões de conversão em cada interseção, número de faixas, dentre outros parâmetros (TSS, 2014).

É importante destacar que cada veículo é tratado de forma individual e carrega informações comportamentais definidas na entrada do sistema e que permanecem constante durante todo o trajeto (BARCELÓ, 2010).

Cabe salientar que o programa permite a análise semafórica, através do carregamento de semáforos e sua configuração com o tempo de início e duração de cada plano, o tamanho do ciclo, a duração da fase amarela e a integração entre interseções.

O resultado consiste em uma simulação gráfica contínua, representativa do tráfego na rede viária, além da possibilidade de extração de dados como: volume, velocidade, tempo de viagens, atrasos e paradas, entrelaçamentos, divergências, convergências, tamanho máximo de fila, dentre diversos outros parâmetros utilizados de acordo com o objetivo do estudo (TSS, 2014).

A alocação da demanda pode ser feita de duas formas: através de Matrizes Origem e Destino (OD), ou por estados de trânsito, que dependem de informações interligadas a outros softwares e, portanto, não aconselhado para cenários complexos. A metodologia utilizada nesse trabalho consiste na criação de matrizes OD, abordadas na seção seguinte.

## 2.5 MATRIZ ORIGEM E DESTINO

A Matriz Origem e Destino é uma importante ferramenta utilizada no planejamento de transportes de grandes cidades. Sua metodologia consiste na identificação dos padrões de demanda e atração de viagens, e está relacionada com o comportamento dos usuários da via (LEITE, 2003).

Em síntese, uma Matriz OD representa o número de viagens entre origens e destinos em um período de tempo e pode ser desagregada considerando diferentes critérios como, por exemplo, o modal de transporte utilizado ou tipo de veículo.

Sua definição é critério básico para entrada em modelos de alocação de tráfego, ou seja, para o carregamento da rede de transportes em softwares de simulação (PUC-RIO, 2019).

A Figura 2 consiste na representação esquemática dos elementos que compõe uma matriz origem destino.

Figura 2 – Elementos da Matriz OD

D O	1	2	...	n	
1	$d_{11}$	$d_{12}$	...	$d_{1n}$	$P_1$
2	$d_{21}$	$d_{22}$	...	$d_{2n}$	$P_2$
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
n	$d_{n1}$	$d_{n2}$	...	$d_{nn}$	$P_n$
	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$	A/P

Fonte: Gondim (2016, p. 21).

A primeira linha representa o conjunto de zonas de destino ( $D_i$ ) e a primeira coluna consiste no conjunto de zona de origem ( $O_i$ ). Os demais elementos são:

$d_{ij}$  = Demanda com origem da zona  $i$  e destino na zona  $j$ ;

$P_i$  = Produção de demanda da zona  $i$ ;

$A_i$  = Atração de demanda da zona  $j$ ;

A/P = Total de atração/produção de demandas das zonas.

Segundo Peixoto (2013), existem diferentes métodos empregados para obtenção de uma Matriz OD, divididos entre modelos de estimativa direta simples e modelos de estimativa utilizando contagem volumétrica.

Os métodos de estimativa direta simples (ou métodos diretos) são aqueles baseados em pesquisas de origem e destino. Segundo Guerra (2011), os de maior destaque são os seguintes:

- Pesquisas de observação;
- Pesquisas de entrevista pessoal domiciliar;
- Pesquisa de abordagem;
- Pesquisa por telefone.

Em todos os casos, são elaborados questionários e entrevistados os indivíduos que trafegam pelas zonas do estudo para análise da tendência de viagens.

Segundo IPEA (2017), estes questionários buscam obter informações como:

- Locais de origem, destino e residência do entrevistado;
- Tipologia do veículo;
- Motivo da viagem;
- Dados da carga transportada, se aplicável;
- Dados da rota.

Em muitos casos, dependendo da abrangência do local sendo estudado, estas pesquisas podem ser custosas e nem sempre serão representativas de todos os pares possíveis de viagens (GUERRA, 2011).

Para o método via contagem volumétrica de tráfego, são necessárias contagens de fluxo observadas nas rodovias em um determinado período de tempo, sejam estas obtidas por postos permanentes ou através de pesquisa realizada em locais específicos, como por exemplo, em interseções (PEIXOTO, 2013).

Com base nos volumes obtidos nas contagens, procura-se dimensionar a Matriz OD de forma a reproduzir os fluxos observados. Segundo Peixoto (2013), a validade dos dados depende da disponibilidade de contagens em um percentual significativo da malha viária sendo estudada.

### 3 METODOLOGIA

Segundo Yin (2001), estudos de caso são o delineamento mais adequado à investigação de um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto real e visam conhecer em profundidade o como e as razões de uma determinada situação. Desta forma, em conformidade com seu objetivo, este trabalho pode ser classificado como um estudo de caso de cunho exploratório, por envolver levantamento bibliográfico e fomentar o levantamento de hipóteses ao local de estudo.

Nos próximos parágrafos são apresentados os métodos pertinentes ao seu desenvolvimento, assim como as etapas de obtenção dos dados e procedimentos de análise adotados.

#### 3.1 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Para avaliar a qualidade do tráfego no local em estudo, por se tratar de segmento rodoviário sob concessão à iniciativa privada, é importante destacar a premissa de contrato quanto à manutenção do nível de serviço da rodovia, conforme ANTT (2018, p. 86):

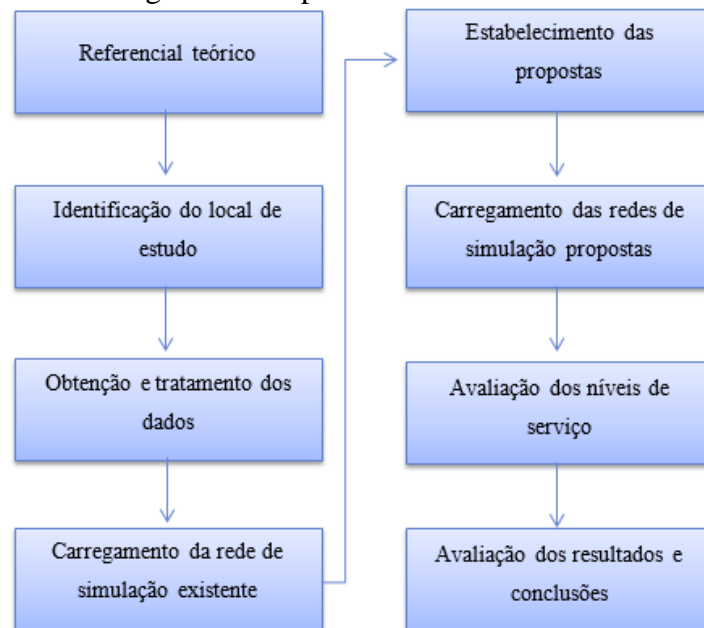
As obras de AMPLIAÇÃO DE CAPACIDADE são todas aquelas necessárias para o atendimento da segurança e fluidez do tráfego, que devem, em princípio, satisfazer à seguinte condição: em todos os segmentos que compõem a RODOVIA, a operação não deverá ultrapassar, em mais de 50 horas por ano, o Nível de Serviço referente à classe I, conforme o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, do DNIT.

Portanto, as avaliações e propostas deste trabalho consideram o atendimento a este parâmetro quantitativo. A metodologia adotada para este objetivo está em conformidade com o PER, onde é indicado que o controle dos níveis de serviço deve ser realizado com base em projeções de tráfego e em estudos de capacidade por segmento homogêneo, aplicando a metodologia definida no Highway Capacity Manual.

Os parâmetros necessários à avaliação do nível de serviço serão extraídos do software de simulação AIMSUN.

A Figura 3 apresenta em síntese as etapas adotadas no desenvolvimento deste trabalho, maiores detalhes serão abordados no capítulo seguinte, do estudo de caso.

Figura 3 – Etapas do desenvolvimento



Fonte: Autora (2019).

A seguir as etapas são exemplificadas:

1. Referencial teórico: engloba a etapa de pesquisa bibliográfica acerca dos principais conceitos da engenharia de tráfego e concessões rodoviárias relevantes ao trabalho;
2. Identificação do local de estudo: levantamento das características do segmento e apresentação dos principais pontos de melhoria;
3. Obtenção e tratamento dos dados: coleta dos dados de volume de tráfego e definição da matriz de origem destino;
4. Carregamento da rede de simulação existente: criação da rede de tráfego no software de simulação para verificação da condição atual;
5. Estabelecimento das propostas: a partir dos dados de volume de tráfego e observação do local em estudo, são identificados os principais gargalos e apresentadas as alternativas de obras e melhorias;
6. Carregamento das redes de simulação propostas: definidas as alternativas para melhoria das condições de tráfego, são feitas as alterações de geometria e sinalização no software de simulação para extração dos dados necessários ao cálculo dos níveis de serviço;

7. Avaliação dos níveis de serviço: com base nos dados extraídos da simulação, procede-se com o cálculo dos níveis de serviço conforme metodologia disposta no HCM (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD – TRB, 2000) com auxílio do software Highway Capacity Software (HCS);
8. Avaliação dos resultados e conclusões: análise dos resultados obtidos e considerações finais.

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 LOCALIZAÇÃO

O segmento da Rodovia BR-101/SC objeto desse estudo, está compreendido entre o km 41 e o km 43 e atravessa o município de Joinville no estado de Santa Catarina. A análise para implementação de controle semafórico desenvolve-se de maneira específica em duas passagens inferiores, localizadas no km 41,200 e no km 42,500, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Segmento de estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

O ponto A está situado na interseção das marginais da Rodovia BR-101/SC com a rua Ottokar Doerffel, parte da malha viária do município de Joinville. Da mesma forma, o ponto B representa a interseção entre a marginal rodoviária e a rua Minas Gerais.

Figura 5 – Ottokar Doerffel e via marginal norte



Fonte: Autora (2019).

Figura 6 – Ottokar Doerffel e via marginal sul



Fonte: Autora (2019).

Figura 7 – Rua Minas Gerais e marginal sul



Fonte: Autora (2019).

Figura 8 – Marginal sul sentido rua Minas Gerais



Fonte: Autora (2019).



## 4.2 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Conforme citado anteriormente, o trecho em estudo faz parte do escopo do contrato de concessão administrado pela Concessionária Arteris Litoral Sul.

De acordo com o PER, a Concessionária deve, permanentemente, realizar o controle dos níveis de serviço da rodovia. Como resultado desse acompanhamento constante, são apresentados, semestralmente, relatórios de nível de serviço, contendo dados atualizados de tráfego e estudos de capacidade para cada segmento homogêneo.

Além desses relatórios, são realizadas análises pontuais em trechos representativos de classes de nível de serviço iguais ou inferiores à “D”, também cedidos pela empresa para o desenvolvimento do presente estudo.

No entanto, os volumes disponibilizados não eram suficientes para compor a matriz de origem e destino do problema. Dessa forma, foram necessárias contagens complementares na região de interseção da rodovia com a rua Ottokar Doerffel e em dois acessos de entrada e dois acessos de saída da via marginal.

Em razão do número significativo de movimentos possíveis no local, as contagens foram realizadas com auxílio das câmeras de monitoramento da Concessionária através da filmagem da região por um período de 24 (vinte e quatro) horas nos dias 28/05/2019 e 03/09/2019, ambos dias úteis em um período sem eventos relevantes para evitar que anormalidades no comportamento do tráfego pudessem influenciar na obtenção de valores não representativos da realidade do local.

Os dados levantados foram concentrados nos horários de pico da manhã, entre 07:00 e 09:00, no pico do meio dia, entre 12:00 e 14:00 e no pico da noite, entre 16:00 e 19:00, um total de oito horas.

A contagem realizada, conforme definição da metodologia disposta em DNIT (2006b), foi do tipo classificatória, focada no registro de volumes de veículos de acordo com suas categorias, divididos entre leves e pesados.

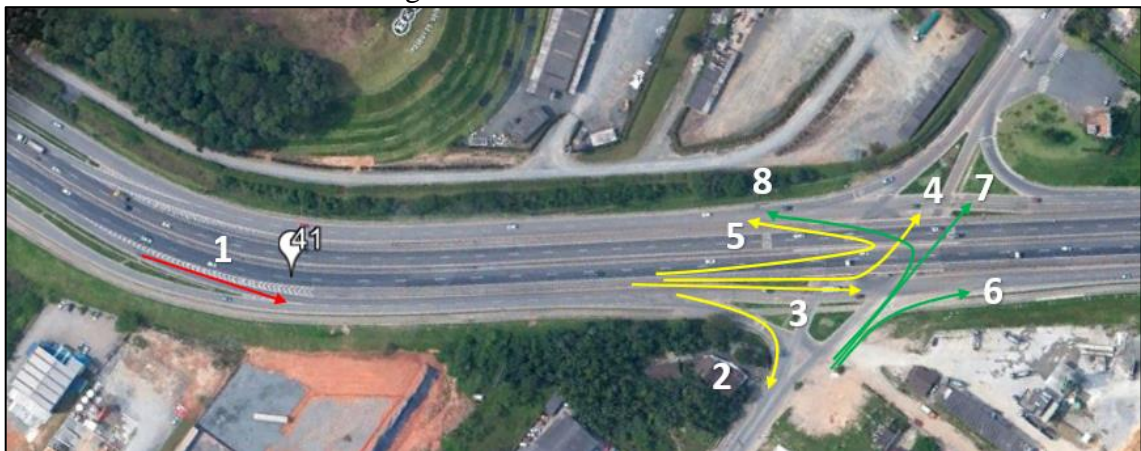
As planilhas de contagem são apresentadas no Apêndice A.

Para a definição da matriz origem e destino e posterior carregamento da rede no software de simulação de tráfego, foram contabilizados 32 (trinta e dois) movimentos, identificados nas figuras seguintes.

As Figuras 9 e 10 apresentam a interseção entre as marginais da rodovia BR-101/SC com a rua Ottokar Doerffel:

- Movimento 1: saída da rodovia principal sentido sul para acesso à via marginal;
- Movimento 2: veículos da via marginal sul convergindo à direita na rua Ottokar Doerffel;
- Movimento 3: veículos seguindo na via marginal sul;
- Movimento 4: veículos da via marginal sul convergindo à esquerda na rua Ottokar Doerffel ao norte;
- Movimento 5: veículos em manobra de retorno da via marginal sul para a via marginal norte;
- Movimento 6: veículos da rua Ottokar Doerffel ao sul convergindo à direita para acessar a via marginal;
- Movimento 7: veículos da rua Ottokar Doerffel ao sul seguindo à rua Ottokar Doerffel ao norte;
- Movimento 8: veículos da rua Ottokar Doerffel ao sul convergindo à esquerda para acesso à via marginal norte.

Figura 9 – Movimentos 1 ao 8

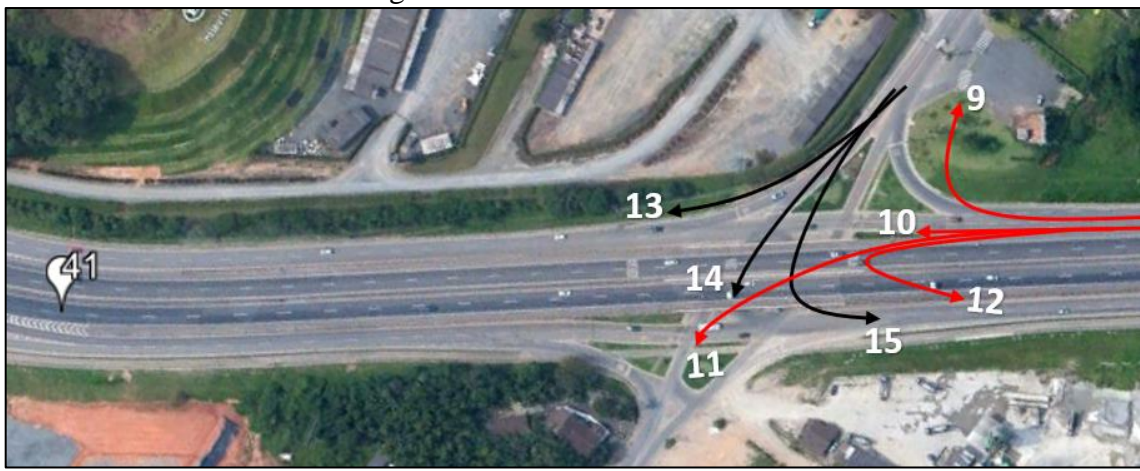


Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

- Movimento 9: veículos da via marginal norte convergindo à direita na rua Ottokar Doerffel;
- Movimento 10: veículos seguindo na via marginal norte;
- Movimento 11: veículos da via marginal norte convergindo à esquerda na rua Ottokar Doerffel ao sul;
- Movimento 12: veículos em manobra de retorno da via marginal norte para a via marginal sul;

- Movimento 13: veículos da rua Ottokar Doerffel ao norte convergindo à direita para acessar a via marginal;
- Movimento 14: veículos da rua Ottokar Doerffel ao norte seguindo à rua Ottokar Doerffel ao sul;
- Movimento 15: veículos da rua Ottokar Doerffel ao norte convergindo à esquerda para acesso à via marginal sul.

Figura 10 – Movimentos 9 ao 15



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

A Figura 11 exemplifica os movimentos na interseção da via marginal sul da rodovia BR-101/SC com a rua Minas Gerais:

- Movimento 16: veículos da via marginal sul convergindo à direita para a rua Minas Gerais;
- Movimento 17: veículos da via marginal sul convergindo à esquerda para a rua Minas Gerais;
- Movimentos 18 e 19: troca urbana entre veículos que seguem pela rua Minas Gerais.

Figura 11 – Movimentos 16 ao 19



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

As Figuras 12, 13 e 14 apresentam movimentos de entrada e saída da pista principal da rodovia por intermédio de agulhas de acesso às vias marginais.

- Movimento 20: saída da pista principal sentido sul para via marginal próximo ao km 42;
- Movimento 21: acesso da via marginal para a pista principal sentido sul próximo ao km 42;
- Movimento 22: saída da pista principal sentido norte para via marginal próximo ao km 42;
- Movimento 23: acesso da via marginal para a pista principal sentido norte próximo ao km 42.

Figura 12 – Movimentos 20 ao 23



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).



- Movimento 24: saída da pista principal sentido sul para via marginal próximo ao km 43.

Figura 13 – Movimento 24



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

- Movimento 25: acesso da via marginal para a pista principal sentido norte próximo ao km 44.

Figura 14 – Movimento 25



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

Na Figura 15 são ilustrados os movimentos da pista principal da rodovia BR-101/SC na região do km 044+600:

- Movimento 26: veículos seguindo pela pista principal sentido sul;
- Movimento 27: veículos seguindo pela pista principal sentido norte.

Figura 15 – Movimentos 26 e 27



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

Na Figura 16 são apresentados os movimentos da interseção da via marginal norte com o acesso à rua Anita Garibaldi além do tráfego de veículos na marginal sul.

- Movimento 28: acesso da via marginal para a pista principal sentido norte próximo ao km 42;
- Movimento 29: veículos da via marginal norte convergindo à direita para a rua Anita Garibaldi;
- Movimento 30: veículos seguindo na via marginal norte;
- Movimento 31: veículos da rua Anita Garibaldi convergindo à direita para acesso à via marginal norte;
- Movimento 32: veículos seguindo na via marginal sul próximo ao ponto de interesse na rua Minas Gerais.

Figura 16 – Movimentos 28 ao 32



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

A cada um dos 32 (trinta e dois) movimentos apresentados é atribuído um volume de tráfego. Desses volumes, 18 (dezoito) foram coletados no ano de 2019, como parte do desenvolvimento desse trabalho, os demais são provenientes de levantamentos realizados entre os meses de dezembro de 2016 e janeiro de 2017.

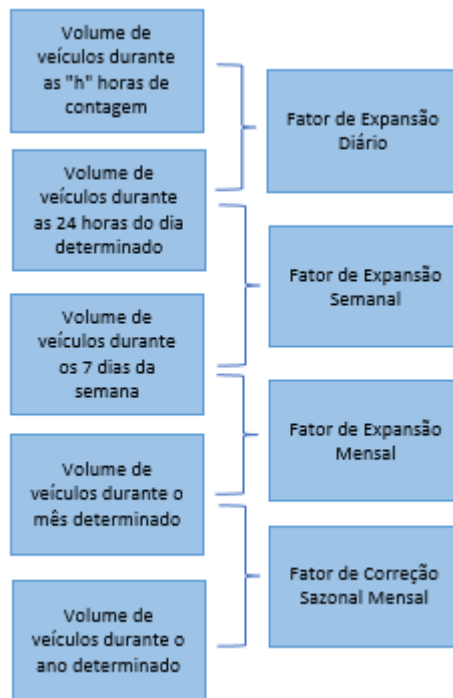
Na etapa seguinte, aplicaram-se os fatores de expansão diários, semanais e mensais e os fatores de correção sazonais elucidados na seção 2.3.6. Cabe reiterar que, conforme exposto por GOMES (2004), a obtenção desses fatores depende da disposição de um contador de tráfego contínuo que possa descrever o comportamento do fluxo de veículos nos locais sendo analisados.

Ante o exposto, exploraram-se duas possibilidades próximas ao segmento em estudo onde o volume de tráfego é ininterruptamente registrado pela Concessionária Arteris Litoral Sul: a Praça de Pedágio no km 001,350 e a Praça de Pedágio no km 079.

Considerando a premissa de que, na maioria dos casos, a escolha é feita pela proximidade geográfica (GOMES, 2004), escolheu-se a segunda Praça de Pedágio para obtenção dos dados, uma vez que a distância até o centro do segmento em análise é de 37 (trinta e sete) quilômetros, inferior aos aproximados 41 (quarenta e um) quilômetros de distância para a primeira praça. Além disso, pelo conhecimento da região em estudo em conjunto com a análise dos números de VMDA de ambas as praças, entende-se que o comportamento do tráfego na praça localizada no km 079 está mais próximo do verificado para o local objeto desse trabalho.

Um resumo dos dados correlacionados para obtenção desses parâmetros é apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Dados necessários para o cálculo dos fatores de expansão e correção



Fonte: Autora (2019).

Foram determinados 70 (setenta) fatores, divididos entre veículos leves e pesados. As planilhas com os fatores constam no Apêndice B.

Aplicadas as correções necessárias, os dados anteriores a 2019 foram carregados para o ano presente através da multiplicação por um fator de projeção, calculado pela relação entre o VMDA do período das contagens, sendo considerado o segundo semestre de 2016 e o primeiro semestre de 2017, com o VMDA do último ano, considerando o segundo semestre de 2018 e o primeiro semestre de 2019. O resultado é apresentado Tabela 2.

Tabela 2 – Fatores de projeção

Sentido	VMDA 2016-2 e 2017-1		VMDA 2018-2 e 2019-1		Fator de Projeção (2019/1)	
	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados
Norte	13.976	5.023	15.220	5.572	1,09	1,11
Sul	14.294	5.156	15.224	5.666	1,07	1,10

Fonte: Autora (2019)

O último ajuste necessário relaciona-se com o ano horizonte de projeto. Considerando a data em que se desenvolve esse estudo, prospectaram-se os dados para que as alterações fossem implementadas e começassem a operar no ano de 2020.



Dessa forma, realizou-se a projeção dos dados de demanda com base nas taxas de crescimento apresentadas no último relatório de monitoração de nível de serviço cedido pela Concessionária Arteris Litoral Sul. Os dados são provenientes da avaliação das tendências de evolução das demandas de tráfego na Rodovia e são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Taxas de crescimento do tráfego rodoviário**

<b>Ano</b>	<b>Taxa Leves</b>	<b>Acum.</b>	<b>Taxa Pesados</b>	<b>Acum</b>
2019	Base	1,000	Base	1,000
2020	1,50%	1,015	2,00%	1,020

Fonte: Arteris Litoral Sul (2019).

A planilha completa para obtenção das demandas de projeto resultantes, aplicados todos os fatores supracitados, pode ser verificada no Apêndice C.

#### 4.3 CARREGAMENTO DA REDE VIÁRIA EXISTENTE

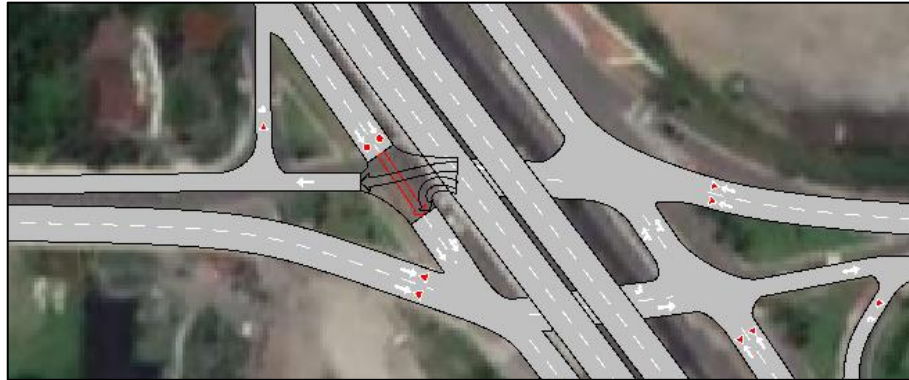
Definidos os volumes de tráfego, a etapa seguinte se estendeu ao carregamento da rede viária no software AIMSUN.

Inicialmente, consideraram-se as características existentes das ruas em análise e com base na imagem de satélite, inseriram-se as vias identificadas por seção. Cada seção carrega parâmetros básicos, que para esse estudo, foram:

- Número de faixas de rolamento;
- Largura das faixas;
- Velocidade diretriz da via;
- Existência ou não de acostamento.

Inseridas as vias, a conexão entre elas foi realizada através de nós na rede, onde se definem as permissões de conversão: livre, pare, dê a preferência ou configurações para controle semafórico. O sistema ilustra o caminho a ser percorrido pelo veículo através de flechas, conforme apresentado na Figura 18. A rede completa pode ser verificada no Apêndice D.

Figura 18 – Indicação dos movimentos permitidos no AIMSUN



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

Inseridos os nós, criaram-se os centróides, representativos dos pontos de entrada e saída de veículos dentro da simulação e utilizados para montagem da matriz origem e destino.

Considerando as rotas possíveis do segmento em estudo, foram necessários oito centróides, denominados como:

- Marginais superior: representativo do fluxo de veículos com origem na marginal sul ou destino à marginal norte;
- Principal superior: representativo do fluxo de veículos com origem na pista principal sentido sul ou destino à pista principal sentido norte;
- Ottokar Sul: alocação do tráfego de veículos com origem ou destino à rua Ottokar Doerffel em direção ao bairro São Marcos;
- Ottokar Norte: alocação do tráfego de veículos com origem ou destino à rua Ottokar Doerffel em direção ao Bairro Anita Garibaldi;
- Rua Anita Garibaldi: representativo do fluxo de veículos com origem ou destino à rua Anita Garibaldi;
- Minas Gerais Sul: alocação do tráfego de veículos com origem ou destino à rua Minas Gerais em direção ao bairro Nova Brasília;
- Minas Gerais Norte: alocação do tráfego de veículos com origem ou destino à rua Minas Gerais em direção ao bairro Anita Garibaldi;
- Principal inferior: representativo do fluxo de veículos com origem na pista principal sentido norte ou destino à pista principal sentido sul.

### 4.3.1 Matriz Origem e Destino

A alocação da demanda de tráfego no AIMSUN é feita por intermédio de matrizes OD. Para o presente trabalho foram definidas duas matrizes, uma para veículos leves e outra para veículos pesados, conforme classificação já utilizada na etapa de contagens de tráfego.

Com o intuito de representar as origens e destinos que os veículos possuem dentro do sistema viário, o processo se iniciou pela análise de todas as rotas prováveis e possíveis entre pares de centróides. Convém destacar que, de acordo com as vias carregadas no programa, pode não ser possível que um mesmo veículo acesse todos os destinos. Se, eventualmente, for atribuído um volume de veículos entre pares de OD aos quais o sistema viário não possui rota possível dentro do software, o próprio programa retorna com a mensagem de erro, indicando que o usuário deve corrigir a matriz.

A etapa seguinte, conforme abordado na seção 2.5, consiste no dimensionamento da Matriz OD com base nos fluxos de tráfego observados por intermédio de contagens volumétricas. Nessa fase, cabe destacar alguns detalhes importantes da calibração da matriz.

Em alguns casos, não é possível quantificar a distribuição exata do volume contabilizado. Por exemplo, o volume de veículos com origem na rua Anita Garibaldi que acessa a Marginal Norte é contabilizado e apresentado como o movimento número 31. Contudo, existem cinco possíveis destinos que esse mesmo veículo pode acessar: a pista principal superior, a marginal superior, a rua Ottokar Doerffel Sul, a rua Ottokar Doerffel Norte e a pista principal inferior.

Para reduzir a incerteza na alocação dos volumes de tráfego, aplicou-se um modelo de estimação estático, onde os fluxos considerados independem de variações no tempo de viagem decorrentes, por exemplo, de congestionamentos, sendo, portanto, estimados a partir de uma abordagem de alocação proporcional (IPEA, 2017).

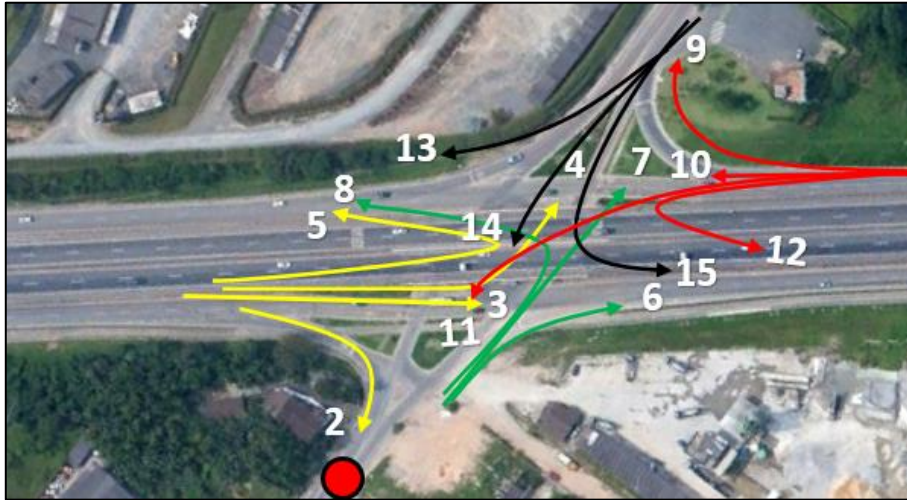
Dessa forma, a ponderação na matriz do percentual desse volume que acessa cada destino se deu de acordo com os volumes de destino de cada centróide, que consiste numa medida da atratividade daquele local com base na soma de todos os movimentos que vão em sua direção.

Com o intuito de esclarecer essa etapa, será apresentado o cálculo do volume de destino para um dos centróides do segmento em estudo.

Na Figura 19, o centróide nomeado Ottokar Sul é representado pelo sinal vermelho. Para estimar o volume de destino desse ponto, é preciso observar quais movimentos da região

em que está inserido vão em sua direção. Nesse caso, os movimentos 2, 11 e 14. A soma desses volumes representa um parâmetro quantitativo da atratividade desse centróide quando comparado aos demais. Quanto maior a soma, maior será sua capacidade de atrair veículos e, portanto, maior será a alocação de volume para aquele ponto.

Figura 19 – Análise dos movimentos na interseção com a rua Ottokar Doerffel



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

Contudo, essa abordagem implica em algumas incertezas, que podem ser minimizadas por uma segunda etapa de análise baseada no comparativo entre os volumes totais de origem e destino obtidos na matriz para cada centróide com os volumes observados nas contagens de tráfego.

Por exemplo, pela Figura 20, é sabido que o volume total de veículos que efetivamente acessou a rua Minas Gerais Sul, representada pelo ponto vermelho, é igual à soma dos movimentos 16 e 18.

Figura 20 – Análise dos movimentos na interseção com a rua Minas Gerais



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

A partir dessa informação, verificou-se na Matriz OD resultante se a soma de todos os volumes alocados para o centróide da rua Minas Gerais Sul é semelhante ao observado pela contagem. Porém, conforme exposto por Bertoncini (2010), é pouco provável que o fluxo estimado seja exatamente igual ao observado em razão de diversos fatores, relacionados às simplificações e suposições adotadas que podem ou não condizer com a realidade.

No entanto, por se tratar de um modelo, subentende-se que os resultados terão algum tipo de erro associado. Porém, o objetivo é reduzir as imprecisões ao máximo por meio do conhecimento da região de estudo e em posse de uma quantidade significativa de informações não redundantes, nesse caso, representadas pelas contagens de tráfego (BERTONCINI, 2010).

Ante o exposto, os valores de VMDA finais obtidos para cada par de origem e destino constam nos quadros das Figuras 21 e 22, para veículos leves e para veículos pesados, respectivamente.

Figura 21 – Matriz OD de veículos leves em VMDA

ORIGEM \ DESTINO	1072: Principal Superior	1075: Marginais Superior	1078: Ottokar Sul	1081: Ottokar Norte	1084: Rua Anita Garibaldi	1090: Rua Minas Gerais Norte	1093: Rua Minas Gerais Sul	1098: Principal Inferior	Total
1072: Principal Superior	0	844	665	1182	0	587	720	11822	15821
1075: Marginais Superior	0	149	817	2127	0	535	656	1315	5598
1078: Ottokar Sul	0	1890	0	3002	0	287	351	704	6234
1081: Ottokar Norte	0	6356	2694	0	0	1172	1437	2881	14540
1084: Rua Anita Garibaldi	1949	1591	769	1367	0	0	0	2992	8667
1090: Rua Minas Gerais Norte	0	0	0	0	0	0	9679	0	9679
1093: Rua Minas Gerais Sul	0	0	0	0	0	6453	0	0	6453
1098: Principal Inferior	16509	2362	1317	3195	3666	0	0	0	27049
Total	18459	13192	6262	10872	3666	9034	12843	19713	94040

Fonte: Autora (2019).

Figura 22 – Matriz OD de veículos pesados em VMDA

ORIGEM \ DESTINO	1072: Principal Superior	1075: Marginais Superior	1078: Ottokar Sul	1081: Ottokar Norte	1084: Rua Anita Garibaldi	1090: Rua Minas Gerais Norte	1093: Rua Minas Gerais Sul	1098: Principal Inferior	Total
1072: Principal Superior	0	355	58	134	0	97	132	8560	9335
1075: Marginais Superior	0	63	401	817	0	31	42	611	1964
1078: Ottokar Sul	0	605	0	716	0	17	23	333	1694
1081: Ottokar Norte	0	283	207	0	0	15	21	305	831
1084: Rua Anita Garibaldi	260	41	25	57	0	0	0	263	646
1090: Rua Minas Gerais Norte	0	0	0	0	0	0	521	0	521
1093: Rua Minas Gerais Sul	0	0	0	0	0	364	0	0	364
1098: Principal Inferior	9280	156	234	324	330	0	0	0	10324
Total	9540	1504	875	2047	330	524	738	10071	25629

Fonte: Autora (2019).

O passo seguinte consistiu na obtenção do VHP, calculado como um percentual do VMDA, conforme apresentado na seção 2.3.3.

Esse valor percentual é representado pelo fator  $K_{50}$ , calculado pelo volume da 50ª hora mais carregada do ano em razão do VMDA do mesmo período, obtidos através das contagens permanentes da Praça de Pedágio do km 79.

Dessa forma, os 50 (cinquenta) maiores volumes observados ao longo do ano foram ordenados e o quinquagésimo maior valor obtido dividido pelo VMDA do mesmo período:

$$K_{50} = \left( \frac{4.026}{41.682,32} \right) * 100 = 9,659\%$$

Sendo assim, as matrizes apresentadas anteriormente foram multiplicadas pelo valor percentual de 9,659%. Os resultados são apresentados nos quadros das Figuras 23 e 24, para veículos leves e para veículos pesados, respectivamente.

Figura 23 – Matriz OD de veículos leves em VHP

ORIGEM \ DESTINO	1072: Principal Superior	1075: Marginais Superior	1078: Ottokar Sul	1081: Ottokar Norte	1084: Rua Anita Garibaldi	1090: Rua Minas Gerais Norte	1093: Rua Minas Gerais Sul	1098: Principal Inferior	Total
1072: Principal Superior	0	82	64	114	0	57	70	1142	1528
1075: Marginais Superior	0	14	79	205	0	52	63	127	541
1078: Ottokar Sul	0	183	0	290	0	28	34	68	602
1081: Ottokar Norte	0	614	260	0	0	113	139	278	1404
1084: Rua Anita Garibaldi	188	154	74	132	0	0	0	289	837
1090: Rua Minas Gerais Norte	0	0	0	0	0	0	935	0	935
1093: Rua Minas Gerais Sul	0	0	0	0	0	623	0	0	623
1098: Principal Inferior	1595	228	127	309	354	0	0	0	2613
Total	1783	1274	605	1050	354	873	1240	1904	9083

Fonte: Autora (2019).

Figura 24 – Matriz OD de veículos pesados em VHP

ORIGEM \ DESTINO	1072: Principal Superior	1075: Marginais Superior	1078: Ottokar Sul	1081: Ottokar Norte	1084: Rua Anita Garibaldi	1090: Rua Minas Gerais Norte	1093: Rua Minas Gerais Sul	1098: Principal Inferior	Total
1072: Principal Superior	0	34	6	13	0	9	13	887	962
1075: Marginais Superior	0	6	39	79	0	3	4	59	190
1078: Ottokar Sul	0	58	0	69	0	2	2	32	164
1081: Ottokar Norte	0	27	20	0	0	1	2	29	80
1084: Rua Anita Garibaldi	25	4	2	6	0	0	0	25	62
1090: Rua Minas Gerais Norte	0	0	0	0	0	0	50	0	50
1093: Rua Minas Gerais Sul	0	0	0	0	0	35	0	0	35
1098: Principal Inferior	896	15	23	31	32	0	0	0	997
Total	922	145	89	198	32	51	71	1033	2541

Fonte: Autora (2019).

### 4.3.2 Simulação da rede existente

Finalizada a etapa de carregamento da rede viária e inseridas as matrizes de origem e destino no AIMSUN, procedeu-se com o cálculo do número de replicações necessárias para validação do problema.

Conforme definido por Chwif e Medina (2006), as replicações são entendidas como uma repetição da simulação do modelo sem que nenhuma configuração, nenhum dos parâmetros de entrada ou a duração sejam modificados, mas com uma semente de geração dos números aleatórios diferente dentro de cada replicação. Dessa forma, apesar dos dados serem os mesmos, os resultados obtidos são diferentes.

Nesse contexto, alguns conceitos são importantes: tempo de warm up, simulação terminal e não terminal, medidas de desempenho, confiança estatística e intervalo de confiança.

O tempo de warm up (aquecimento) está relacionado com a perturbação inicial do sistema e seu impacto depende da classificação da simulação em terminal ou não terminal.

De acordo com Law (2015), para o caso de simulações terminais, o fim é natural e o número de replicações seria o parâmetro crítico, capaz de afetar diretamente na precisão das estatísticas. Nesses casos, fica estabelecido que a execução tem o tempo de início e término bem definidos e por isso, a inicialização pode ser feita pelo analista a partir do momento em que as primeiras entidades chegam ao sistema.

No caso de simulações não terminais, não há um estado inicial predefinido e o encerramento da simulação também não apresenta um evento que o caracterize.

Para o presente trabalho, a simulação é classificada como terminal, pois, independentemente do número de replicações, todas são encerradas dentro do período de uma hora. Dessa forma, o tempo de aquecimento utilizado considerou, conforme mencionado anteriormente, o momento em que as primeiras entidades chegam ao sistema, sendo, portanto, a partir dos dez minutos.

Na sequência, é definida uma medida de desempenho orientada ao resultado esperado dependendo do problema sendo analisado (CHWIF e MEDINA, 2006).

Para o presente trabalho, foram selecionados os dados de contagem por seção da via, uma vez que o volume está diretamente relacionado ao cálculo de nível de serviço.

Com relação à confiança estatística, seu conceito é correlato ao intervalo de confiança do problema, uma vez que exprime a probabilidade de que esse intervalo contenha o valor da média. Usualmente, são adotados valores de 90%, 95% ou 99% (CHIWF e MEDINA, 2006).

A escolha do nível de confiança  $(1 - \alpha)$  é feita pelo projetista e implica em um número  $n^*$  de replicações com base no cálculo do desvio padrão amostral  $s$ , relacionado com a variável t-student, conforme equações apresentadas na sequência e utilização da tabela de distribuição t de Student.

$$h_0 = t_{n_0-1, \alpha/2} * \frac{s}{\sqrt{n_0}} \quad (7)$$

$$n^* = \left[ n_0 * \frac{h_0^2}{h^{*2}} \right] \quad (8)$$

Onde,

$h_0$  = largura do intervalo inicial;

$n_0$  = número inicial de replicações;

t = distribuição t de student;

s = desvio padrão amostral;

$n^*$  = número de replicações necessárias;

$h^*$  = largura do intervalo predefinido.

Dessa forma, com base em uma primeira simulação executada para um número piloto de dez replicações, foram extraídas as contagens por seção da via e calculados os valores da média e do desvio padrão. Os resultados são apresentados no Apêndice E. Foram consideradas apenas as seções próximas às interseções que afetariam o cálculo dos níveis de serviço.

Ante o exposto, considerou-se o maior desvio padrão observado ( $s=37,829$ ) para obter uma precisão  $h^*$  de dez veículos sob confiança estatística de 90%. O número de simulações necessárias é de aproximadamente 48 (quarenta e oito).

$$h_0 = 1,833 * \frac{37,829}{\sqrt{10}} = 21,93$$

$$n^* = \left[ 10 * \frac{21,93^2}{10^2} \right] = 48,09$$

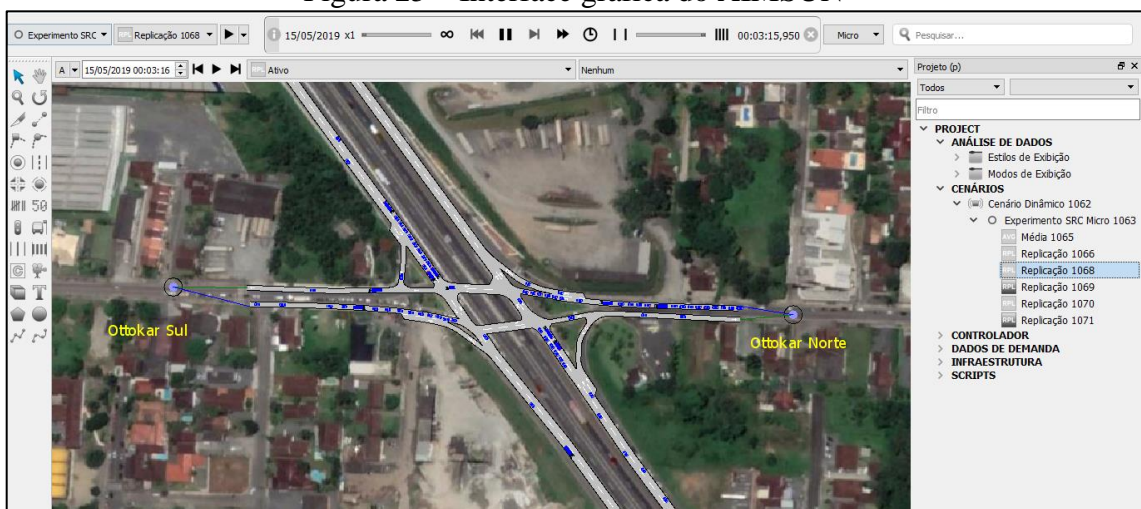


Dessa forma, executaram-se no programa cinquenta replicações de cenário, cada uma para o intervalo de uma hora e um tempo de aquecimento de dez minutos. Terminada essa etapa, calculou-se a média dos cenários replicados.

É importante destacar que durante a simulação, os resultados podem ser acompanhados através do software em tempo real, permitindo que sejam feitas alterações com base no observado e a simulação seja reiniciada.

A interface gráfica durante as simulações é apresentada na Figura 25.

Figura 25 – Interface gráfica do AIMSUN



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

Finalizadas as simulações, foram extraídos os dados de interesse do AIMSUN, através da janela de objetos. De posse desses valores, procedeu-se para a etapa de cálculo dos níveis de serviço por interseção com o auxílio do software HCS 2000.

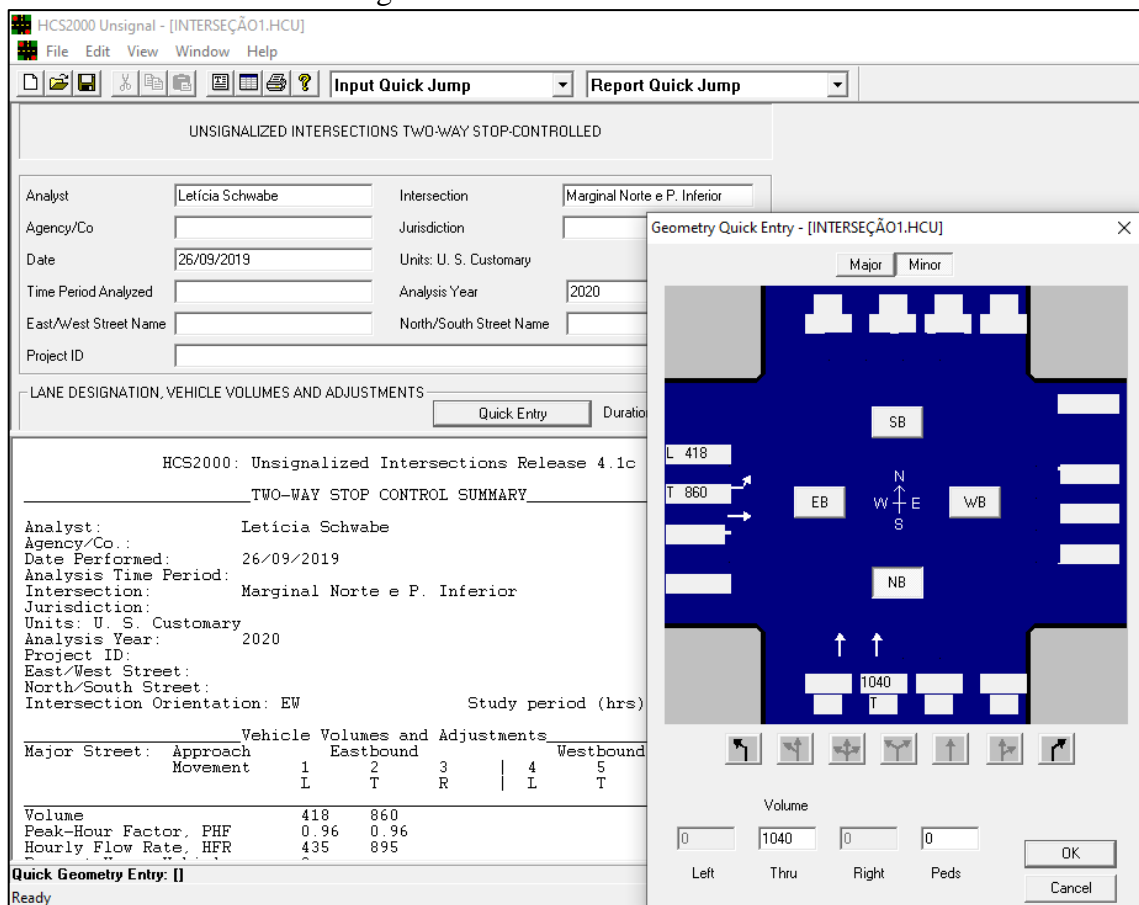
#### 4.3.2.1 Nível de serviço por interseção

Conforme mencionado anteriormente, a avaliação dos níveis de serviço nas interseções deve ser realizada em conformidade com a metodologia do Highway Capacity Manual (TRB, 2000). Para tal, utilizou-se o software auxiliar HCS 2000, de domínio do McTrans, um centro de distribuição de softwares voltados à engenharia de tráfego e aplicados ao planejamento de transportes.

Cabe destacar que o HCS 2000 não funciona em apenas uma plataforma, sendo necessária a escolha pela extensão que se aplica à situação sendo analisada. Como a primeira avaliação se deu para a rede existente, utiliza-se a extensão de avaliação para interseções não sinalizadas.

Na Figura 26 é apresentada a interface gráfica do programa e a janela onde são inseridos os dados de volume extraídos do AIMSUN.

Figura 26 – Interface do HCS 2000



Fonte: Adaptado de HCS 2000 (2019).

Observa-se que os dados são inseridos em um campo único, sem a diferenciação por veículos leves ou pesados. Essa divisão pode ser feita através de um campo de ajuste dentro do programa, onde é indicado o percentual do volume total ocupado por veículos pesados. Contudo, como no local em estudo esse dado não é constante e igual para todas as interseções, optou-se pela introdução do volume em veículos equivalentes, também denominado como unidades de carro de passeio (UCP), ou seja, o volume de veículos leves foi somado ao volume de veículos pesados multiplicado pelo fator de ajuste, igual a 1,50, conforme instrução do HCM (TRB, 2000).

Ao inserir os dados de fluxo no programa, também devem ser identificados os movimentos permitidos: seguir em frente, conversão à direita ou conversão à esquerda, combinados ou não.

Nesse momento, o HCS faz a leitura do número de faixas e identifica a existência ou não de movimentos compartilhados, fatores importantes na análise do nível de serviço, conforme exposto em TRB (2000).

Em um segundo momento, deve ser inserido o Fator de Hora Pico (FHP), parâmetro indicativo do grau de uniformidade do fluxo ao longo de uma hora, conforme abordado na seção 2.3.2. Para o presente trabalho, a escolha do FHP baseou-se nas diretrizes do HCM para áreas urbanas, aos quais são recomendados valores entre 0,80 e 0,98. De acordo com TRB (2000), valores superiores a 0,95 expressam elevados volumes de tráfego, muitas vezes com a capacidade restringida durante o fluxo da hora mais carregada. Como o local em análise condiz com a definição apresentada, adotou-se o valor de 0,96.

Inseridos os dados supracitados, o software executa os cálculos de critical gap, sendo o intervalo de tempo mínimo no fluxo de tráfego da via principal que permite a entrada na interseção para um veículo da via secundária, e o valor de follow-up time, entendido como o tempo entre a partida de um veículo da rua secundária e a partida do próximo sob uma condição de fila contínua (TRB, 2000).

Em seguida o programa calcula a capacidade de cada faixa e procede à estimativa dos tempos de atraso e por fim, apresenta o nível de serviço com base na Tabela 4, traduzida do HCM.

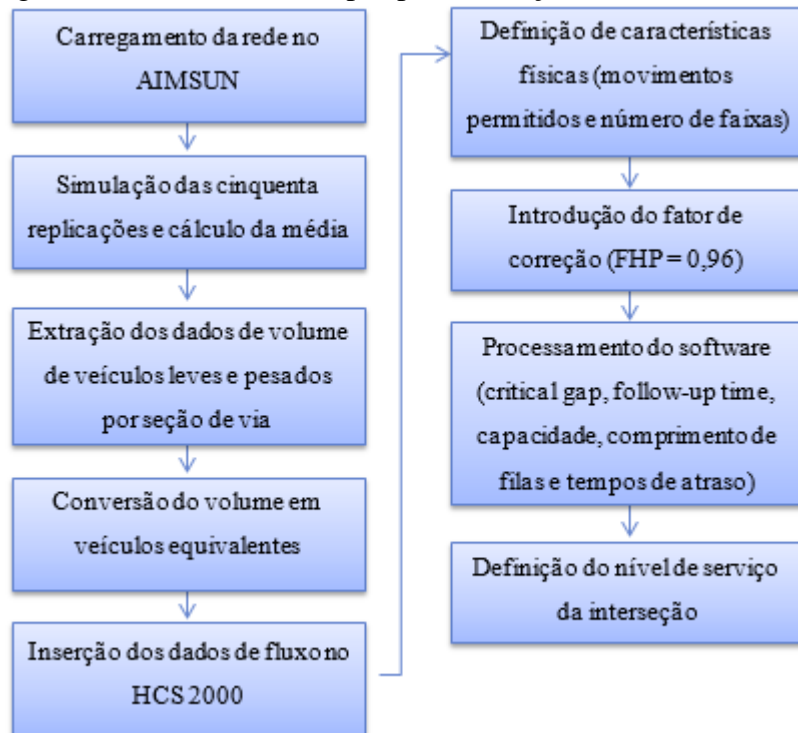
Tabela 4 – Nível de serviço para interseções não sinalizadas

Nível de Serviço	Atraso médio (s/veic)
A	0-10
B	> 10-15
C	> 15-25
D	> 25-35
E	> 35-50
F	>50

Fonte: Adaptado de TRB, 2000.

As etapas são resumidas no fluxograma da Figura 27.

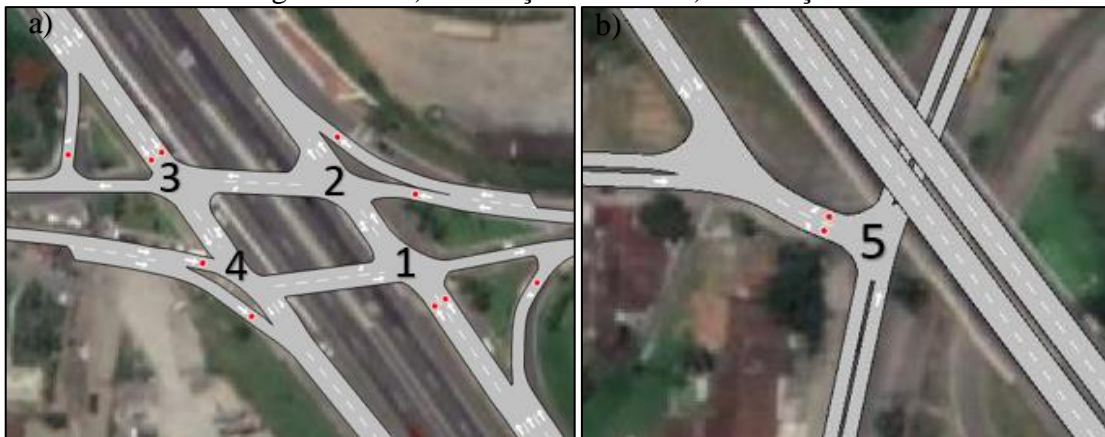
Figura 27 – Resumo das etapas para obtenção do nível de serviço



Fonte: Autora (2019).

Considerando o segmento em estudo, procedeu-se com a análise para cada uma das cinco interseções, sendo quatro na região da rua Ottokar Doerffel e uma na região da rua Minas Gerais, conforme identificadas na Figura 28. Os resultados de nível de serviço obtidos são apresentados na Tabela 5.

Figura 28 – a) Interseções 1 a 4 e b) Interseção 5



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

Tabela 5 – Nível de serviço atual por interseção

<b>Interseção</b>	<b>Nível de Serviço Atual</b>
1	F
2	F
3	F
4	F
5	F

Fonte: Autora (2019).

Conforme apresentado na Tabela 5, os níveis de serviço se encontram em condição inadequada para todas as interseções analisadas. A classificação em F, por definição, exprime o momento em que ocorre o colapso do tráfego e em alguns casos podem ser registrados engarrafamentos com velocidade e fluxo nulos (DNER, 1999).

O resultado obtido condiz com as observações reais e serve como base para que alternativas de melhoria sejam avaliadas.

Dessa forma, comprovada a necessidade, implementam-se três novos cenários no ambiente de simulação, analisados nos tópicos seguintes.

#### 4.4 ESTUDO DE ALTERNATIVAS

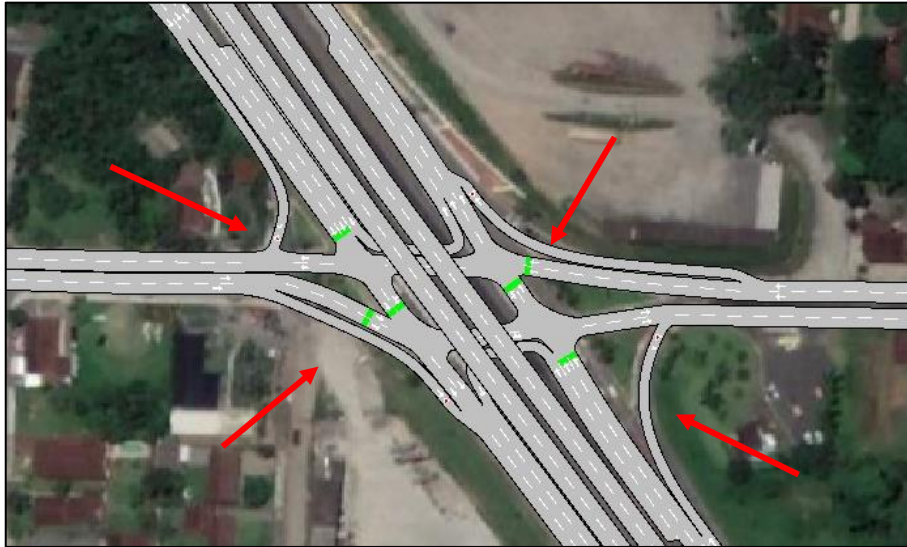
##### 4.4.1 ALTERNATIVA A

A primeira alternativa prevê modificações na geometria da via para ampliação de capacidade das pistas. As alterações foram especificamente feitas na região da rua Ottokar Doerffel, conforme apresentado na sequência. Na região da rua Minas Gerais, por se tratar de uma condição de menor complexidade em razão do reduzido número de movimentos possíveis, optou-se pela previsão apenas de implantação semafórica, solução menos onerosa, abordada em tópico adiante.

Para melhor entendimento da rede viária implementada no AIMSUN, as modificações serão individualmente apresentadas na sequência.

A primeira modificação, indicada na Figura 29, consiste na criação de faixas exclusivas de acesso aos movimentos com origem na via marginal e destino à rua Ottokar Doerffel e vice-versa, em ambos os sentidos da rua lateral.

Figura 29 – Alças de acesso exclusivo



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

A segunda alteração, conforme Figura 30, indica a construção de faixas de aceleração e desaceleração com cerca de 80 (oitenta) metros para facilitar o acesso e a saída dos veículos da rua Ottokar Doerffel e funcionam como um complemento à modificação de número 1, aumentando o espaço para tomada de decisão dos motoristas.

Figura 30 – Faixas de aceleração e desaceleração

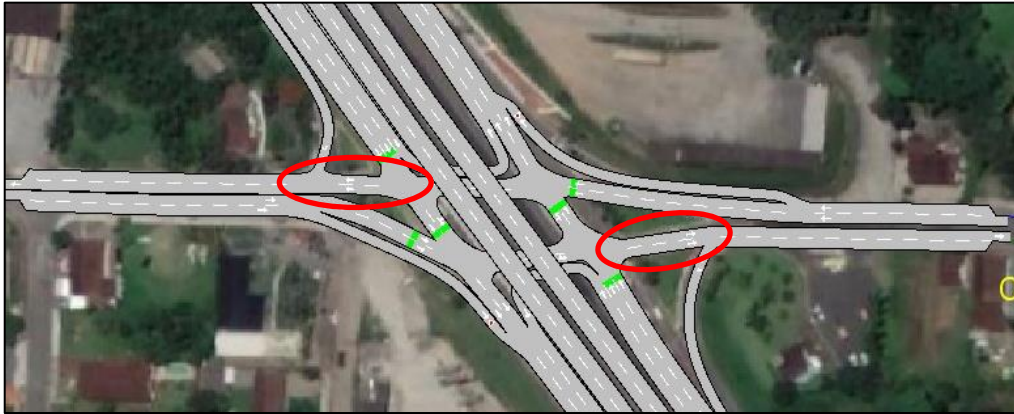


Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

A alteração de número 3, indicada na Figura 31, prevê a ampliação de capacidade para duas faixas do trecho inicial de acesso à rua Ottokar Doerffel, em ambos os sentidos, possibilitando que os veículos transitando abaixo da passagem inferior possam seguir em frente através das duas faixas já existentes.



Figura 31 – Ampliação de capacidade do trecho inicial de acesso à rua Ottokar Doerffel



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

A quarta e última proposta, conforme Figura 32, compreende a implantação de faixas exclusivas de retorno em ambos os sentidos da via marginal.

Figura 32 – Criação de retornos exclusivos sentidos sul e norte



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

Por se tratar de uma alteração mais robusta, realizou-se a simulação do tráfego de veículos caso essa mudança não fosse implementada. Contudo, as três primeiras modificações não foram suficientes para evitar o colapso do fluxo, sendo que o congestionamento é suficiente inclusive para impactar nos acessos de saída da rodovia, conforme se observa na Figura 33. Por esse motivo, manteve-se a alteração de número 4.

Figura 33 – Colapso do fluxo na marginal sul



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

Implantadas as alterações no AIMSUN, seguiram-se as etapas já exemplificadas na seção 4.3.2 e resumidas na Figura 27. Os resultados de nível de serviço são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Níveis de serviço por interseção após alteração de geometria

<b>Interseção</b>	<b>Nível de Serviço Atual</b>
1	F
2	F
3	F
4	F

Fonte: Autora (2019).

Os resultados apresentados na Tabela 6 demonstram que somente as alterações de geometria propostas não são suficientemente efetivas para melhoria do nível de serviço das interseções.

Considerando o exposto, desenvolveu-se uma segunda alternativa, apresentada na sequência.



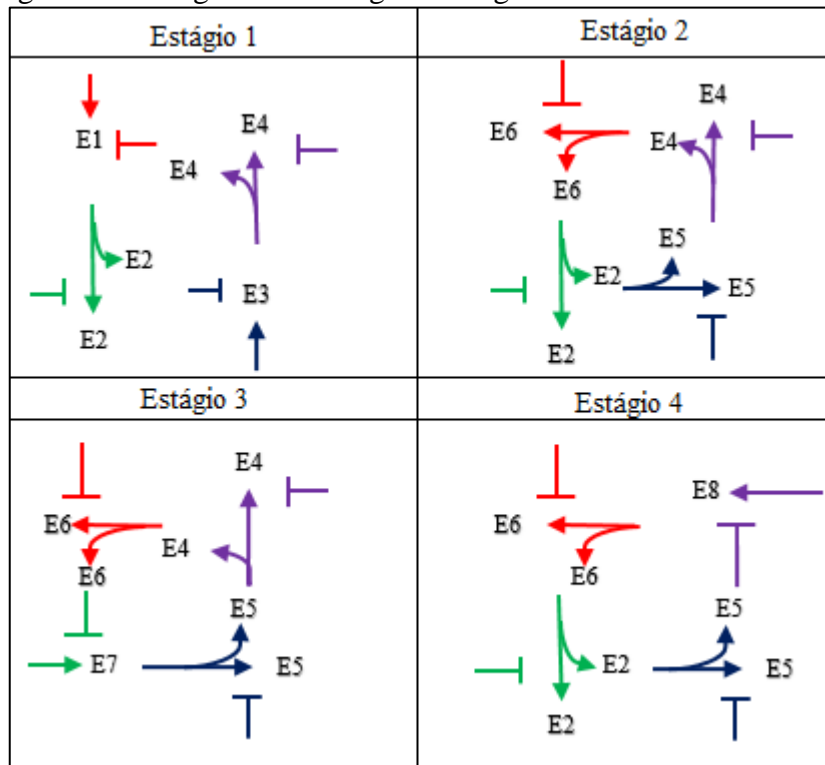
#### 4.4.2 ALTERNATIVA B

A segunda alternativa busca avaliar o impacto nas condições do tráfego e, principalmente, nos níveis de serviço, quando, em conjunto com as propostas de alteração na geometria, são utilizados semáforos para controle das interseções.

Conforme abordado na seção 2.3.11, realiza-se a programação de modo experimental com o auxílio do software AIMSUN, através da análise do funcionamento durante a simulação e, posteriormente, comprovada sua exequibilidade por intermédio do cálculo do nível de serviço.

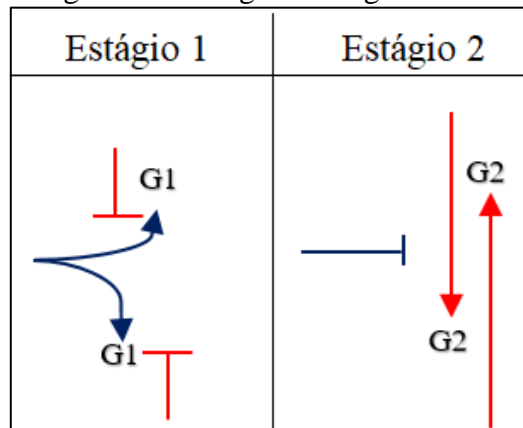
Os diagramas de estágios são apresentados nas Figuras 34 e 35 para as regiões da rua Ottokar Doerffel e da rua Minas Gerais, respectivamente. Cada uma das regiões funciona de maneira isolada, uma vez que a distância entre as interseções, cerca de 1.200 metros, não justifica a necessidade de controle em rede.

Figura 34 – Diagrama de estágios na região da rua Ottokar Doerffel



Fonte: Autora (2019).

Figura 35 – Diagrama de estágios na região da rua Minas Gerais



Fonte: Autora (2019).

Na Figura 36 é apresentado o diagrama de barras das interseções 1 a 4, localizadas nas aproximações da rua Ottokar Doerffel com as vias marginais da Rodovia BR-101/SC, representativo da duração e da sequência de cada intervalo luminoso conforme implementado no AIMSUN.

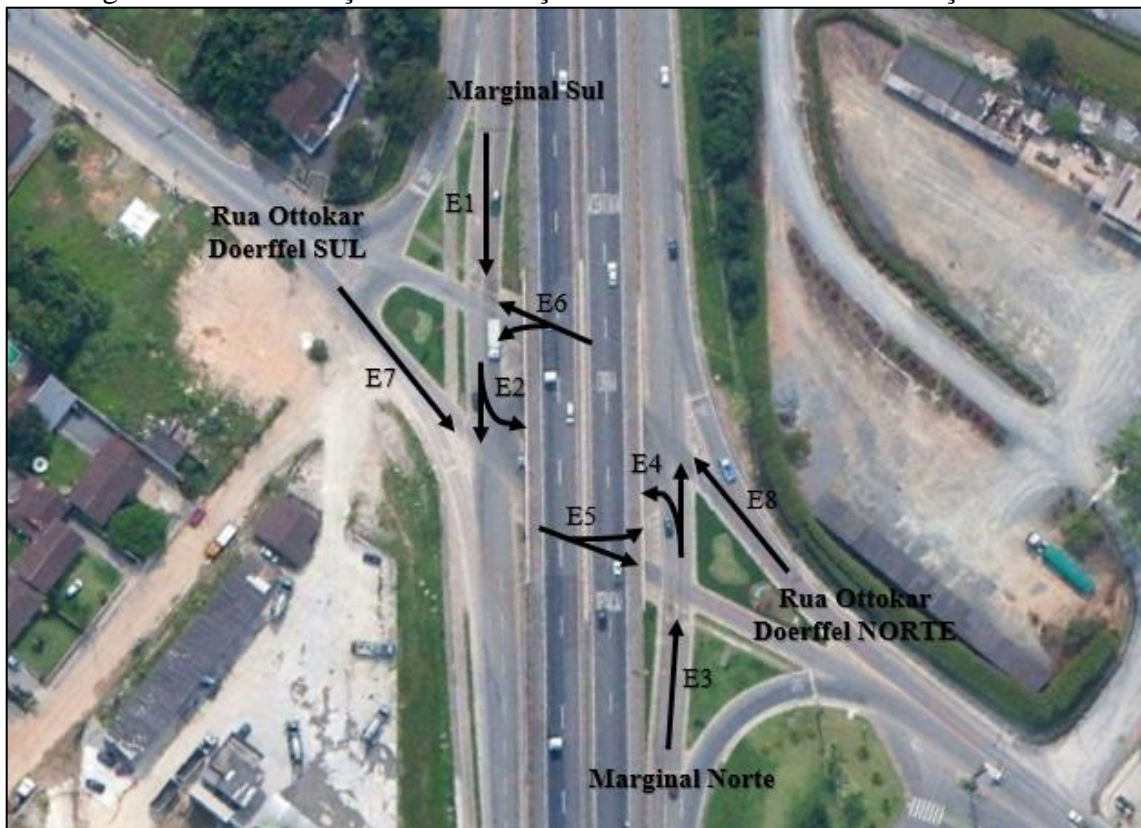
Figura 36 – Diagrama de barras interseções da rua Ottokar Doerffel com as vias marginais

Tempo decorrido (em segundos)	0	13	17	19	23	39	43	63	67
E1		13	4				50		
E2			19	4		20		24	
E3		13	4				50		
E4				39			4	24	
E5			17			46			4
E6			17			46			4
E7			23			16	4	24	
E8					43			20	4
		Estágio 1		Estágio 2		Estágio 3		Estágio 4	

Fonte: Autora (2019).

Os movimentos constantes no diagrama de barras são mais uma vez apresentados na Figura 37, alocados no local de implantação dos semáforos para melhor entendimento.

Figura 37 – Localização e identificação dos movimentos nas interseções 1 a 4



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

No primeiro estágio, os movimentos das vias marginais (E1 e E3) são liberados de forma conjunta, porém, interceptados no semáforo abaixo da passagem inferior (E5 e E6). No segundo momento, os semáforos das vias marginais são interrompidos, e esse fluxo é liberado.

No terceiro estágio, os usuários com origem na rua Ottokar Doerffel sentido sul (E7) recebem o direito de passagem, após interrupção do movimento de veículos na via marginal do mesmo sentido (E2).

No quarto e último estágio, a última aproximação restante recebe o direito de passagem, permitindo que os veículos com origem na rua Ottokar Doerffel sentido norte (E8) acessem o sistema após bloqueio do movimento de veículos na via marginal do mesmo sentido (E4).

O diagrama de barras do conjunto semaforico seguinte, localizado nas aproximações da rua Minas Gerais com a via marginal no sentido sul é apresentado na Figura 38.

Figura 38 – Diagrama de barras interseção da rua Minas Gerais com as vias marginais

Tempo decorrido (em segundos)	0	26	30	41	45
G1		26	4	15	
G2		30	11	4	
		Estágio 1		Estágio 2	

Fonte: Autora (2019).

Figura 39 – Localização e identificação dos movimentos na interseção 5



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

No primeiro estágio é permitida a troca do viário municipal (G1 e G2), consideravelmente superior ao movimento proveniente da via marginal sul (G3). No segundo estágio, o viário municipal é interrompido e os veículos na marginal adentram o bairro em ambos os sentidos.

Implementados os controladores fixos no cenário de simulação, seguiram-se as etapas já exemplificadas na seção 4.3.2 e resumidas na Figura 27.

Os resultados de nível de serviço constam nas Tabelas 7 e 8 para as interseções da rua Ottokar Doerffel e para a interseção da rua Minas Gerais, respectivamente. Em ambos os casos são apresentados os níveis de serviço por aproximação e o resultado para a interseção.

As aproximações identificadas como principal se referem às vias com origem na via marginal (E1, E2, E3, E4 e G3) e aquelas nomeadas como secundária, à outra aproximação sendo analisada, seja essa abaixo da passagem inferior (E5 e E6) ou oriunda dos bairros (E7, E8, G1 e G2).

Tabela 7 – Níveis de serviço das interseções 1 a 4

<b>Interseção</b>	<b>Aproximação principal</b>	<b>Aproximação secundária</b>	<b>Nível de Serviço Final</b>
1	C	A	<b>B</b>
2	A	D	<b>C</b>
3	D	A	<b>C</b>
4	A	D	<b>B</b>

Fonte: Autora (2019).

Tabela 8 – Níveis de serviço da interseção 5

<b>Interseção</b>	<b>Aproximação principal (G3)</b>	<b>Aproximação secundária (G1)</b>	<b>Aproximação secundária (G2)</b>	<b>Nível de Serviço Final</b>
5	C	C	A	<b>B</b>

Fonte: Autora (2019).

Conforme se observa nos quadros anteriores, após implementação dos controladores semafóricos, todas as cinco interseções apresentam níveis de serviço adequados, uma vez que não ultrapassam o limite de classificação (nível D).

É importante destacar que as aproximações com nível D podem registrar períodos de instabilidade, com breve retenção de fluxo. Contudo, os resultados finais quando consideradas ambas as aproximações, indicam uma melhora significativa das condições de tráfego na região.

Além das definições de nível de serviço terem sido aceitáveis, a simulação executada no AIMSUN apresentou bastante fluidez durante todo o período analisado, registrando, como esperado, breve demanda reprimida acumulada, mas que, em sua maioria, é dissipada no tempo de uma abertura de passagem (sinal verde).

Para avaliar o impacto no tronco principal da rodovia por intermédio dos acessos de entrada e saída, estimou-se os comprimentos de fila nas aproximações E1, E3 e G3.

#### 4.4.2.1 Cálculo do comprimento de fila

Para a estimativa do comprimento de fila, utilizaram-se os dados de atraso médio por veículo calculados por aproximação fornecidos pelo HCS 2000 durante o processo de definição do nível de serviço.

No Apêndice E são apresentados os relatórios gerados pelo programa por interseção e cenário sendo analisado. Para o presente cálculo, serão utilizados apenas os dados provenientes da simulação após implantação de controladores semafóricos e considerando somente as

interseções E1, E3 e G3, situadas nas vias marginais e que têm seu fluxo interrompido durante parte do tempo de ciclo.

Em síntese, para a estimativa do comprimento de fila, são necessários:

- Tempo de atraso médio por veículo: fornecido pelo HCS 2000;
- Volume horário de projeto passante pela aproximação em análise: obtido através dos dados extraídos do AIMSUN;
- Comprimento médio de veículos leves: adotado 5,80 m para veículos de projeto tipo leves (DNIT, 2005);
- Comprimento médio de veículos pesados: adotado 12,20 m para veículos de projeto tipo caminhões e ônibus longos (DNIT, 2005);
- Espaço entre veículos parados: adotou-se o valor de 1,0 m, por ser o parâmetro empiricamente admitido por empresas da área de transportes.

A primeira etapa do cálculo consistiu na determinação do número de veículos em fila devido ao tempo médio de atraso da aproximação, conforme equação:

$$N_v = \frac{T_m * VHP}{3600} \quad (9)$$

Onde,

$N_v$  = Número de veículos em fila;

$T_m$  = Tempo médio de atraso por veículo (s);

VHP = Volume horário de projeto (ucp/h).

Na segunda etapa, calculou-se um comprimento médio para o veículo equivalente a ser considerado, ponderando o valor em razão da composição do fluxo na aproximação sendo analisada, através da equação:

$$L_m = \frac{VHP_{leves} * L_{VL} + VHP_{pesados} * L_{VP}}{VHP_{leves} + VHP_{pesados}} \quad (10)$$

Onde,

$L_m$  = Comprimento médio do veículo equivalente (m);

$VHP_{leves}$  = Volume horário de projeto veículos leves (ucp/h);

$VHP_{pesados}$  = Volume horário de projeto veículos pesados (ucp/h);

$L_{VL}$  = Comprimento médio veículo leve (m);

$L_{VP}$  = Comprimento médio veículo pesado (m).

Ao comprimento médio do veículo equivalente obtido é somada a distância entre os veículos parados. Esse valor então é multiplicado pelo número de veículos na fila obtido pela Equação 9.

Os dados de fila média foram também extraídos do software AIMSUN, em número de veículos equivalentes. Destaca-se que os resultados são divergentes, embora próximos, uma vez que o software também considera parâmetros relacionados ao comportamento do usuário, conforme exposto na seção 2.4.2.

Os comprimentos médios de fila são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Comprimentos de fila por aproximação

<b>Localização</b>	<b>Tempo de Atraso Médio (s)</b>	<b>VHP Leves (veic/h)</b>	<b>VHP Pesados (veic/h)</b>	<b>Nv (un) - EMPÍRICO</b>	<b>Nv (un) - AIMSUN</b>	<b>Lm (m)</b>	<b>Comprimento Médio de Fila (m) - EMPÍRICO</b>	<b>Comprimento Médio de Fila (m) - AIMSUN</b>
Marginal Sul x Ottokar Doerffel	53,40	578,00	160,00	12	9	7,19	<b>86,25</b>	<b>64,69</b>
Marginal Norte x Ottokar Doerffel	32,90	611,00	47,00	8	5	6,26	<b>50,06</b>	<b>31,29</b>
Marginal Sul x Minas Gerais	21,90	245,00	16,00	3	3	6,19	<b>18,58</b>	<b>18,58</b>
Marginal Sul x Minas Gerais	31,70	273,00	31,00	4	3	6,45	<b>25,81</b>	<b>19,36</b>

Fonte: Autora (2019).

Como os valores calculados empiricamente são superiores aos obtidos pelo AIMSUN, optou-se pela análise comparativa entre os referidos valores e as distâncias entre a aproximação e o acesso de entrada ou saída da rodovia mais próximo, conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Resumo dos comprimentos de fila e distâncias ao acesso mais próximo

<b>Aproximação</b>	<b>Distância ao acesso mais próximo (m)</b>	<b>Comprimento médio de Fila (m)</b>
E1 (segue em frente)	200,00	<b>86,25</b>
E3 (segue em frente)	400,00	<b>50,06</b>
G3 (conversão à esquerda)	550,00	<b>18,58</b>
G3 (conversão à direita)	550,00	<b>25,81</b>

Fonte: Autora (2019).

Conhecidas as referidas distâncias, é possível afirmar que não haverá impacto no tronco principal da rodovia por eventuais demandas reprimidas pelo semáforo nas vias marginais.

#### 4.4.2.2 Análise da demanda futura

Comprovada a efetividade da sinalização semaforica para o ano de projeto (2020), buscou-se verificar o ano limite para o qual as interseções apresentariam níveis de serviço inadequados novamente, considerando a continuidade da operação dos semáforos, sem novas alterações de geometria.

O método utilizado consistiu na projeção dos volumes de tráfego ano a ano, até que atingissem a data de término do contrato de concessão do trecho sendo analisado, em 2032. As taxas de crescimento aplicadas são provenientes do estudo de avaliação das tendências de evolução das demandas de tráfego na Rodovia realizado pela Arteris Litoral Sul (2019), que estimou o crescimento anual de 1,50% para veículos leves e 2,00% para veículos pesados. Os volumes resultantes por ano são apresentados no Apêndice F.

Para cada nova projeção, atualizaram-se os dados de demanda por interseção no software HCS 2000 para verificação dos níveis de serviço. Foram considerados os resultados por aproximação, ou seja, mesmo que o resultado geral da interseção fosse inferior a classe D, se alguma das aproximações apresentasse nível de serviço E ou F, o funcionamento estaria comprometido e, portanto, seriam necessárias novas alterações.



Dessa forma, definiram-se os anos, por interseção, em que pelo menos uma das aproximações atingiu o nível E, representativo de um fluxo altamente instável e de velocidades bastante reduzidas. O intuito era propor novas medidas que fossem implantadas até o final desse prazo, evitando o colapso total do fluxo quando atingido o nível F.

Nas Tabelas 11 e 12 são apresentados, por interseção, o nível de serviço e o ano em que, no mínimo, uma das interseções atingiu o nível E. Para o caso das interseções 1 e 5, no cruzamento da marginal norte com a rua Ottokar Doerffel e no cruzamento da marginal sul com a rua Minas Gerais, respectivamente, mesmo ao final do contrato de concessão, em 2032, o limite de nível de serviço D não foi ultrapassado.

Tabela 11 – Ano limite de operação semafórica sem novas alterações das interseções 1 a 4

<b>Interseção</b>	<b>Ano</b>	<b>Aproximação principal</b>	<b>Aproximação secundária</b>	<b>Nível de Serviço Final</b>
1	2032	D	A	C
2	2025	A	E	C
3	2024	E	A	D
4	2025	A	E	C

Fonte: Autora (2019).

Tabela 12 – Ano limite de operação semafórica sem novas alterações da interseção 5

<b>Ano</b>	<b>Aproximação principal (G3)</b>	<b>Aproximação secundária (G1)</b>	<b>Aproximação secundária (G2)</b>	<b>Nível de Serviço Final</b>
2032	D	B	D	D

Fonte: Autora (2019).

Diante dos resultados, estudou-se uma terceira alternativa para atendimento dos parâmetros de nível de serviço em todas as interseções a partir do ano de 2024 e até, no mínimo, o ano de 2032.

#### 4.4.3 ALTERNATIVA C

O último cenário analisado considera a construção de viadutos para transposição das vias marginais em ambos os sentidos na região da rua Ottokar Doerffel, sendo prioritária a execução ao lado sul da rodovia, onde está localizada a primeira interseção a registrar declínio nos níveis de serviço, já no ano de 2024.

Na região da rua Minas Gerais não foram analisadas novas alterações, uma vez que a implantação de semáforos se mostrou operante em níveis aceitáveis até o término do período, em 2032.

Procedeu-se com o carregamento da nova geometria no software de simulação. O resultado da alteração é ilustrado na Figura 40. Os viadutos estão indicados na cor azul.

Figura 40 – Construção de viadutos para transposição das vias marginais



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

Na sequência, foram seguidas as etapas de simulação, extração dos volumes e inserção dos dados no HCS 2000 para cálculo do nível de serviço, conforme exemplificado na seção 4.3.2 e resumido na Figura 27.

Destaca-se que, conforme apresentado na seção 4.3.2, foram realizadas 50 (cinquenta) replicações. No AIMSUN, cada uma dessas replicações é identificada por um número de ID e atrelado a uma semente de geração que carrega as propriedades dos veículos e uma segunda semente relacionada com o padrão de rota escolhida por cada veículo. Para que a maneira de alimentação da simulação nos dois casos (com e sem transposição) fosse similar, buscaram-se as informações das sementes utilizadas nas replicações da alternativa B, e uma a uma, foram inseridas nas replicações da alternativa C pela janela do software.

Contudo, mesmo com as transposições, ao longo da simulação, a retenção de veículos na rua Ottokar Doerffel sentidos sul e norte é bastante expressiva, uma vez que o fluxo de veículos nessas ruas seguiu crescendo, sem nenhuma alteração prevista para o viário municipal. No entanto, como o fluxo de veículos nas vias marginais reduziu de maneira significativa com a construção dos viadutos, era prudente considerar que os tempos dos semáforos implementados no ano de 2020 não atenderiam o cenário de 2032.

Assim sendo, os semáforos foram reprogramados e mais uma vez avaliados os níveis de serviço. O diagrama de estágios permaneceu inalterado, tendo sido proposto somente um novo diagrama de barras, conforme Figura 41.

Figura 41 – Diagrama de barras para o ano de 2032

Tempo decorrido (em segundos)	0	13	17	19	23	39	43	63	67
E1		13	4				50		
E2		19		4		20		24	
E3		13	4				50		
E4				39			4	24	
E5			17			46			4
E6			17			46			4
E7			23		16	4		24	
E8					43			20	4
		Estágio 1		Estágio 2		Estágio 3		Estágio 4	

Fonte: Autora (2019).

Para essa configuração, os tempos de verde dos semáforos da rua Ottokar Doerffel, movimentos E7 e E8, são superiores aos tempos dos movimentos com origem nas vias marginais, E1 e E3.

Os resultados de nível de serviço são apresentados nas Tabela 13 e 14, considerando os volumes projetados para o ano de 2032.

Tabela 13 – Níveis de serviço das interseções 1 a 4 em 2032

Interseção	Ano	Aproximação principal	Aproximação secundária	Nível de Serviço Final
1	2032	C	A	B
2	2032	A	D	C
3	2032	D	A	B
4	2032	A	D	C

Fonte: Autora (2019).

Tabela 14 – Níveis de serviço da interseção 5 em 2032

<b>Ano</b>	<b>Aproximação principal (G3)</b>	<b>Aproximação secundária (G1)</b>	<b>Aproximação secundária (G2)</b>	<b>Nível de Serviço Final</b>
2032	D	B	D	<b>D</b>

Fonte: Autora (2019).

Dessa forma, conclui-se que a construção dos viadutos para transposição das vias marginais em conjunto com a reprogramação dos semáforos é suficiente para atender os parâmetros de nível de serviço até 2032, data do término do contrato de concessão do trecho analisado.

## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Consolidadas as alternativas para melhoria das condições de tráfego das interseções analisadas, é evidenciada a complexidade do problema devido ao expressivo volume de veículos que trafegam pela região. Esse mesmo motivo é a razão pela qual a premissa inicial de buscar alternativas de baixa complexidade não é possível para as aproximações da rua Ottokar Doerffel, que demandam alterações importantes na geometria para que em conjunto com os semáforos, seja possível atingir um nível de serviço igual ou inferior a D. O mesmo não é válido para as proximidades da rua Minas Gerais, em que a implementação de controle semaforico é suficiente para atendimento do nível de serviço por todo o horizonte avaliado.

Dessa forma, convém destacar o importante papel dos controladores a curto e longo prazo para o funcionamento das interseções, uma vez que somente alterações na geometria não foram suficientes para que os parâmetros de nível de serviço fossem atingidos. Embora os semáforos sejam muitas vezes recebidos com certo desconforto pelos usuários da via, as análises realizadas nesse trabalho ilustram que esses dispositivos, se bem dimensionados, são eficientes na ordenação dos movimentos mesmo em locais de fluxo elevado e sobretudo, contribuem para o aumento da segurança viária no local.

Contudo, salienta-se que o tráfego funciona de maneira dinâmica, ou seja, se altera de maneira contínua e pode ser afetado por eventos não previstos durante a realização desse estudo, como por exemplo, a instalação de um novo empreendimento nas cercanias das interseções analisadas, o que pode acarretar na geração e atração de um número significativo de viagens e impactar diretamente no volume de veículos circulando pela via. Dessa forma, é importante que as alterações sejam continuamente avaliadas quanto à efetividade ao longo do tempo.

Ante o exposto, entende-se que o objetivo desse trabalho foi atingido com a definição primária da alternativa B, apresentada na seção 4.4.2, em que as alterações de geometria em conjunto com a implementação de semáforos na região da rua Ottokar Doerffel atendem os parâmetros de nível de serviço até, no mínimo, 2024, ano em que a primeira interseção apresenta potencial de retenção de tráfego inadequado. Para o caso das aproximações da rua Minas Gerais, somente os semáforos surtem o efeito desejado sobre os níveis de serviço até o ano de 2032.

Posteriormente, com a definição da alternativa C, apresentada no item 4.4.3, em que se propõe a construção de viadutos para transposição das vias marginais e redimensionamento dos tempos dos semáforos, a necessidade do tráfego é atendida até no mínimo 2032, horizonte avaliado nesse trabalho.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para análises futuras relacionadas ao tema desse trabalho, sugere-se que os dados de contagem sejam refeitos com a possibilidade de serem contabilizados todos em uma mesma data e para o maior período de tempo possível. Entende-se que esse tipo de tratamento melhora a assertividade do dimensionamento da matriz de origem e destino para implementação no software de simulação.

Ainda, recomenda-se a avaliação do segmento agregando uma extensão maior do viário do município, uma vez que podem ser estudadas rotas alternativas capazes de desafogar o tráfego de veículos na interface entre as ruas municipais e o fluxo rodoviário.

Por fim, entende-se que duas importantes etapas seriam a verificação das obras necessárias para atendimento das propostas feitas nesse trabalho com base na geometria hoje existente no local, avaliando principalmente a possibilidade de utilizar a estrutura atual, assim como a análise socioeconômica das alternativas, correlacionando o ganho para a sociedade com os custos diretos das obras.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Edital de Concessão 006/2013. **Concessão da Exploração da Rodovia: BR-040/DF/GO/MG: Trecho Brasília/DF – Juiz de Fora/MG**, novembro de 2013.

\_\_\_\_\_. **Programa de Exploração da Rodovia: 10ª Revisão Ordinária e 12ª Revisão Extraordinária**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.in.gov.br/dados-abertos/base-de-dados/publicacoes-do-dou/2018/fevereiro>. Acesso em 09 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 1.187** de 09 de novembro de 2005. Dispõe sobre os procedimentos de execução de obras e serviços pelas concessionárias nas rodovias federais reguladas pela ANTT. Disponível em: [http://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-1187-2005\\_101275.html](http://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-1187-2005_101275.html). Acesso em 09 jun. 2019.

ADVANCED INTERACTIVE MICROSCOPIC SIMULATOR FOR URBAN AND NON-URBAN NETWORKS. **Software de simulação de tráfego**. 2019.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **Guidelines for traffic data programs**. Washington, D.C.: AASHTO, 1992.

ANDRADE, G. R. et al. Distribuição de volumes horários de tráfego e hora de projeto em rodovias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES, 8, 2013, Santos. **Anais [...]**. Santos: Cbr&c Brasvias, 2013. p. 1-13.

ARTERIS LITORAL SUL. **Projeções de fluxo rodoviário**. Acesso em 27 set. 2019. [mimeo].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCESSIONÁRIAS DE RODOVIAS. **Relatório anual 2017**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.abcr.org.br/RelatoriosAnuais/RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019.

BARCELÓ, J. **Fundamentals of Traffic Simulation**. Barcelona: Springer, 2010.

BERTONCINI, B. V. **Uma proposta de estimação da matriz OD a partir dos fluxos de tráfego observados nas interseções da rede de transportes**. 2010. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de rodovias 2018: Relatório gerencial**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relatorio-gerencial>. Acesso em: 10 mai. 2019.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Sinalização Semafórica**. Brasília, 2014.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

DEMARCHI, S. H. **Influência dos veículos pesados na capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla**. 2000. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

DEPINÉ, F. C. **Concessão de rodovias: modalidades e formas de remuneração do concessionário**. 2010. Dissertação (Mestrado em Direito do Estado) – Centro de Direito, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Diretrizes técnicas e parâmetros operacionais para que o DNIT execute projetos de monitoramento de tráfego na malha rodoviária federal**. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/convenios-com-a-ufsc/produto-4.3.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **Manual de projeto de interseções**. Publicação IPR – 718. Brasília, D. F. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministério dos Transportes, 2005.

\_\_\_\_\_. **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários**. Publicação IPR – 726. Brasília, D. F. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministério dos Transportes, 2006a.

\_\_\_\_\_. **Manual de Estudos de Tráfego**. Publicação IPR – 723. Brasília, D. F. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministério dos Transportes, 2006b.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer**. McLean: EDITORA, 2004.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **PLANO NACIONAL DE LOGÍSTICA**. 2018. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl>. Acesso em 09 jun. 2019.

FEITOSA, F. C. C. **Um estudo prático para contagem volumétrica automática de veículos usando visão computacional**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

FILLIZZOLA E. P. et al. Noções básicas de engenharia de tráfego. **Boletim Técnico da CET** n. 5. São Paulo, 1977.

FRATAR. **AIMSUN Brasil**. Disponível em: <https://www.fratar.com.br/a-fratar/>. Acesso em 25 set. 2019.

GARCIA, L. L. **Alocação de riscos, reajuste e revisão tarifária nas concessões de rodovias federais**. 2011. Monografia (Especialização em Controle Externo) – Instituto Serzedello Corrêa, Escola Superior do Tribunal de Contas da União, Brasília, 2011.



GOLDNER, L. G. **Engenharia de tráfego: 2º Módulo**. Disponível em: <http://pet.ecv.ufsc.br/arquivos/apoio-didatico/trafegomodII.pdf>. Acesso em 31 ago. 2019.

GOMES, M. J. T. L. **Volume horário de projeto para as rodovias estaduais do Ceará: análise e contribuição**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

GONDIM, W. A. S. **Construção de visualizações de matrizes origem-destino no cenário do tráfego urbano com foco em avaliação de usabilidade**. 2016. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

GUERRA, A. L. **Determinação de matriz origem/destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

HALLMANN, H. V. **Comparação entre softwares simuladores de trânsito**. 2011. TCC (Graduação em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

HIGHWAY CAPACITY SOFTWARE. **Software para cálculo dos níveis de serviço**. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Construção da matriz origem-destino de transporte inter-regional de cargas e passageiros para o plano nacional de logística integrada**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/170413\\_relatorio\\_pesquisa\\_estado\\_arte\\_metodos\\_construcao\\_matrizes\\_origem\\_destino.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/170413_relatorio_pesquisa_estado_arte_metodos_construcao_matrizes_origem_destino.pdf). Acesso em 09 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **Modelos de concessão de rodovias no Brasil, no México, no Chile, na Colômbia e nos Estados Unidos: evolução histórica e avanços regulatórios**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8299/1/TD\\_2378.PDF](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8299/1/TD_2378.PDF). Acesso em 09 jun. 2019.

LAW, A. M. **Simulation modeling and analysis**. 5. ed. New York: MCGRAW-HILL, 2015.

LEITE, R. G. **Aplicação dos modelos de estimação da matriz origem-destino (O/D) em planejamento de transporte urbano**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2003.

MARTINS, V. L. F. D.; PARREIRA, K. M.; VIEIRA, J. C. A importância da infraestrutura de transporte para o desenvolvimento do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 6, n. 3, p. 427-444, 24 out. 2017.

NAZARETH, V. S.; SOUSA, L. A. P.; RIBEIRO, P. C.M. **Análise comparativa entre simuladores de fluxo de tráfego**. Rio de Janeiro, 2015.

NORONHA, H. D. B. **Estudo comparativo de dois microssimuladores de tráfego: AIMSUN e VISSIM**. 2016. TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

PEIXOTO, A.G. **Método para a construção de uma matriz de origem e destino utilizando algoritmo para localização de trechos para a realização das pesquisas.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

PONTIFÍCA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO. **Modelo de Distribuição de Viagens.** Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24597/24597\\_6.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24597/24597_6.PDF). Acesso em 09 jun. 2019.

TAKESHITA, W. D. K. **desenvolvimento de um protótipo de um contador pneumático para a contagem e classificação de veículos na rede urbana.** 2018. TCC (Graduação em Engenharia de Transportes e Logística) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS. **AIMSUN 8: Dynamic Simulator User's Manual.** Transport Simulation Systems, 2014.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual.** USA: National Academy of Sciences, 2000.

VIEIRA, B. **Urbanização de rodovias dificulta transporte de longa distância.** Folha de São Paulo. São Paulo, p. 1-1. 22 jan. 2018. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2018/01/1952546-urbanizacao-de-rodovias-dificulta-transporte-de-longa-distancia.shtml>. Acesso em: 26 maio 2019.

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 212 p.

## APÊNDICE A – PLANILHAS DE CONTAGEM

Figura 42 – Contagens Ottokar Sul

Movimento	Horário	Veículos Leves	Veículos Pesados
2	06:00 - 07:00	32	2
3	06:00 - 07:00	54	9
4	06:00 - 07:00	117	26
5	06:00 - 07:00	13	5
6	06:00 - 07:00	23	6
7	06:00 - 07:00	81	30
8	06:00 - 07:00	49	10
Totais		369	88
2	07:00 - 08:00	70	32
3	07:00 - 08:00	139	56
4	07:00 - 08:00	204	74
5	07:00 - 08:00	50	27
6	07:00 - 08:00	42	26
7	07:00 - 08:00	109	68
8	07:00 - 08:00	74	32
Totais		688	315
2	08:00 - 09:00	101	52
3	08:00 - 09:00	147	63
4	08:00 - 09:00	120	87
5	08:00 - 09:00	70	31
6	08:00 - 09:00	64	31
7	08:00 - 09:00	169	24
8	08:00 - 09:00	98	46
Totais		769	334
2	12:00 - 13:00	110	24
3	12:00 - 13:00	23	8
4	12:00 - 13:00	127	41
5	12:00 - 13:00	15	26
6	12:00 - 13:00	37	14
7	12:00 - 13:00	89	28
8	12:00 - 13:00	53	25
Totais		454	166

Movimento	Horário	Veículos Leves	Veículos Pesados
2	13:00 - 14:00	128	34
3	13:00 - 14:00	32	11
4	13:00 - 14:00	139	53
5	13:00 - 14:00	21	35
6	13:00 - 14:00	48	25
7	13:00 - 14:00	103	42
8	13:00 - 14:00	73	39
Totais		544	239
2	16:00 - 17:00	76	25
3	16:00 - 17:00	88	39
4	16:00 - 17:00	123	42
5	16:00 - 17:00	31	13
6	16:00 - 17:00	42	19
7	16:00 - 17:00	91	33
8	16:00 - 17:00	58	29
Totais		509	200
2	17:00 - 18:00	102	55
3	17:00 - 18:00	138	73
4	17:00 - 18:00	126	75
5	17:00 - 18:00	51	34
6	17:00 - 18:00	72	26
7	17:00 - 18:00	128	52
8	17:00 - 18:00	83	41
Totais		700	356
2	18:00 - 19:00	126	52
3	18:00 - 19:00	161	75
4	18:00 - 19:00	198	81
5	18:00 - 19:00	59	33
6	18:00 - 19:00	91	35
7	18:00 - 19:00	167	73
8	18:00 - 19:00	102	61
Totais		904	410

Fonte: Autora (2019).

Figura 43 – Contagens Ottokar Norte

<b>Movimento</b>	<b>Horário</b>	<b>Veículos Leves</b>	<b>Veículos Pesados</b>
9	06:00 - 07:00	48	3
10	06:00 - 07:00	166	30
11	06:00 - 07:00	17	3
12	06:00 - 07:00	28	4
13	06:00 - 07:00	123	15
14	06:00 - 07:00	47	12
15	06:00 - 07:00	140	21
<b>Totais</b>		<b>569</b>	<b>88</b>
9	07:00 - 08:00	190	29
10	07:00 - 08:00	205	12
11	07:00 - 08:00	46	6
12	07:00 - 08:00	23	8
13	07:00 - 08:00	151	34
14	07:00 - 08:00	59	20
15	07:00 - 08:00	121	33
<b>Totais</b>		<b>795</b>	<b>142</b>
9	08:00 - 09:00	226	40
10	08:00 - 09:00	251	21
11	08:00 - 09:00	58	8
12	08:00 - 09:00	27	12
13	08:00 - 09:00	145	27
14	08:00 - 09:00	68	23
15	08:00 - 09:00	133	36
<b>Totais</b>		<b>908</b>	<b>167</b>
9	12:00 - 13:00	236	16
10	12:00 - 13:00	60	4
11	12:00 - 13:00	33	10
12	12:00 - 13:00	60	12
13	12:00 - 13:00	220	12
14	12:00 - 13:00	56	11
15	12:00 - 13:00	227	17
<b>Totais</b>		<b>892</b>	<b>82</b>

<b>Movimento</b>	<b>Horário</b>	<b>Veículos Leves</b>	<b>Veículos Pesados</b>
9	13:00 - 14:00	176	13
10	13:00 - 14:00	68	6
11	13:00 - 14:00	37	4
12	13:00 - 14:00	41	12
13	13:00 - 14:00	171	15
14	13:00 - 14:00	70	6
15	13:00 - 14:00	127	7
<b>Totais</b>		<b>690</b>	<b>63</b>
9	16:00 - 17:00	151	25
10	16:00 - 17:00	107	6
11	16:00 - 17:00	44	8
12	16:00 - 17:00	31	11
13	16:00 - 17:00	308	20
14	16:00 - 17:00	156	10
15	16:00 - 17:00	321	23
<b>Totais</b>		<b>1118</b>	<b>103</b>
9	17:00 - 18:00	155	37
10	17:00 - 18:00	125	10
11	17:00 - 18:00	57	14
12	17:00 - 18:00	44	18
13	17:00 - 18:00	461	20
14	17:00 - 18:00	185	11
15	17:00 - 18:00	371	18
<b>Totais</b>		<b>1398</b>	<b>128</b>
9	18:00 - 19:00	152	31
10	18:00 - 19:00	118	8
11	18:00 - 19:00	47	12
12	18:00 - 19:00	30	17
13	18:00 - 19:00	417	5
14	18:00 - 19:00	205	15
15	18:00 - 19:00	284	23
<b>Totais</b>		<b>1253</b>	<b>111</b>

Fonte: Autora (2019).

Figura 44 – Contagens agulhas de incorporação e desincorporação

Movimento	Horário	Veículos Leves	Veículos Pesados
20	06:00 - 07:00	45	15
21	06:00 - 07:00	132	32
22	06:00 - 07:00	220	13
23	06:00 - 07:00	111	23
Totais		508	83
20	07:00 - 08:00	116	28
21	07:00 - 08:00	389	45
22	07:00 - 08:00	289	30
23	07:00 - 08:00	128	36
Totais		922	139
20	08:00 - 09:00	106	39
21	08:00 - 09:00	240	32
22	08:00 - 09:00	388	56
23	08:00 - 09:00	132	38
Totais		866	165
20	12:00 - 13:00	96	23
21	12:00 - 13:00	378	37
22	12:00 - 13:00	226	33
23	12:00 - 13:00	102	26
Totais		802	119

Movimento	Horário	Veículos Leves	Veículos Pesados
9	13:00 - 14:00	92	29
10	13:00 - 14:00	421	46
11	13:00 - 14:00	296	12
12	13:00 - 14:00	144	26
Totais		953	113
9	16:00 - 17:00	98	23
10	16:00 - 17:00	313	41
11	16:00 - 17:00	284	38
12	16:00 - 17:00	88	22
Totais		783	124
9	17:00 - 18:00	223	26
10	17:00 - 18:00	369	43
11	17:00 - 18:00	339	41
12	17:00 - 18:00	212	27
Totais		1143	137
9	18:00 - 19:00	206	34
10	18:00 - 19:00	427	49
11	18:00 - 19:00	470	24
12	18:00 - 19:00	182	32
Totais		1285	139

Fonte: Autora (2019).

## APÊNDICE B – FATORES DE EXPANSÃO E CORREÇÃO

Figura 45 – Fatores de expansão diária para as contagens de 2016

Localização	Ano	Sentido	Volume de 1 dia		Volume no período de contagem		Fator de Expansão Diário	
			Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados
P3	2016	Unidirecional	8.784	1.201	4.975	601	1,766	1,998
P3	2016	Unidirecional	8.784	1.201	5.148	657	1,706	1,828
P3	2016	Unidirecional	8.784	1.201	4.208	567	2,087	2,118
P3	2016	Unidirecional	8.921	1.186	5.029	596	1,774	1,990
P3	2016	Unidirecional	8.921	1.186	5.168	621	1,726	1,910
P3	2016	Unidirecional	8.921	1.186	4.176	536	2,136	2,213
P3	2016	Unidirecional	9.644	1.125	4.602	464	2,096	2,425
P3	2016	Unidirecional	9.644	1.125	4.744	511	2,033	2,202
P3	2016	Unidirecional	9.644	1.125	3.658	408	2,636	2,757

Fonte: Autora (2019).

Figura 46 – Fatores de expansão diária para as contagens de 2017

Localização	Ano	Sentido	Volume de 1 dia		Volume no período de contagem		Fator de Expansão Diário	
			Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados
P3	2016	Unidirecional	56.830	10.385	18.854	3.010	3,014	3,450
P3	2016	Unidirecional	45.977	10.737	16.482	3.279	2,790	3,274
P3	2016	Unidirecional	43.290	10.152	15.423	3.204	2,807	3,169

Fonte: Autora (2019).

Figura 47 – Fatores de expansão diária para as contagens de 2019

Localização	Ano	Sentido	Volume de 1 dia		Volume no período de contagem		Fator de Expansão Diário	
			Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados
P3	2016	Unidirecional	19.982	38.645	10.490	18.362	1,905	2,105
P3	2016	Unidirecional	20.068	13.798	9.981	5.779	2,011	2,388
P3	2016	Unidirecional	24.631	6.329	10.835	2.598	2,273	2,436

Fonte: Autora (2019).

Figura 48 – Fatores de expansão semanal

Localização	Sentido	Data de Início	Data Final	Horário Inicial	Horário Final	Volume de 3 dias		Volume de 7 dias		Fator de Expansão Semanal	
						Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados
P3	Norte	06/12/2016	08/12/2016	00:00	00:00	32.999	20.253	92.223	39.217	2,79	1,94
P3	Sul	06/12/2016	08/12/2016	00:00	00:00	36.465	20.675	99.417	40.034	2,73	1,94
P3	Norte	06/12/2016	06/12/2016	00:00	00:00	10.715	6.635	92.223	39.217	8,61	5,91
P3	Sul	06/12/2016	06/12/2016	00:00	00:00	11.688	6.479	99.417	40.034	8,51	6,18
P3	Norte	03/01/2017	05/01/2017	00:00	00:00	80.836	16.972	178.737	33.006	2,21	1,94
P3	Sul	03/01/2017	05/01/2017	00:00	00:00	65.261	14.302	151.902	30.374	2,33	2,12
P3	Norte	04/01/2017	04/01/2017	00:00	00:00	25.135	5.758	178.737	33.006	7,11	5,73
P3	Sul	04/01/2017	04/01/2017	00:00	00:00	20.842	4.979	151.902	30.374	7,29	6,10
P3	Norte	28/05/2019	28/05/2019	00:00	00:00	10.063	7.070	78.791	40.558	7,83	5,74
P3	Sul	28/05/2019	28/05/2019	00:00	00:00	10.005	6.728	77.553	40.633	7,75	6,04
P3	Norte	03/09/2019	11/09/2018	00:00	00:00	10.647	7.023	93.659	40.951	8,80	5,83
P3	Sul	03/09/2019	11/09/2018	00:00	00:00	11.012	6.625	86.967	41.155	7,90	6,21

Fonte: Autora (2019).

Figura 49 – Fatores de expansão mensal

Localização	Sentido	Mês	Horário Inicial	Horário Final	Volume Semanal		Volume Mensal		Fator de Expansão Mensal	
					Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados
P3	Norte	Dezembro	00:00	00:00	92.223	39.217	468.567	151.614	5,08	3,87
P3	Sul	Dezembro	00:00	00:00	99.417	40.034	607.501	162.991	6,11	4,07
P3	Norte	Janeiro	00:00	00:00	79.132	36.156	369.272	160.356	4,67	4,44
P3	Sul	Janeiro	00:00	00:00	82.573	37.596	365.303	163.981	4,42	4,36
P3	Norte	Maio	00:00	00:00	78.791	40.558	400.419	178.392	5,08	4,40
P3	Sul	Maio	00:00	00:00	77.553	40.633	400.597	180.410	5,17	4,44
P3	Norte	Setembro	00:00	00:00	93.659	40.951	427.785	165.465	4,57	4,04
P3	Sul	Setembro	00:00	00:00	86.967	41.155	431.111	168.804	4,96	4,10

Fonte: Autora (2019).

Figura 50 – Fatores de correção sazonal

Localização	Sentido	Ano	Mês	Horário Inicial	Horário Final	Volume Mensal		Volume Anual		Fator de Correção Sazonal Mensal	
						Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados
P3	Norte	2016-2 e 2017-1	Dezembro	00:00	00:00	468.567	151.614	5.101.315	1.833.363	0,92	1,02
P3	Sul	2016-2 e 2017-1	Dezembro	00:00	00:00	607.501	162.991	5.217.182	1.882.099	0,73	0,98
P3	Norte	2016-2 e 2017-1	Janeiro	00:00	00:00	369.272	160.356	5.101.315	1.833.363	1,17	0,97
P3	Sul	2016-2 e 2017-1	Janeiro	00:00	00:00	365.303	163.981	5.217.182	1.882.099	1,21	0,97
P3	Norte	2018-2 e 2019-1	Maió	00:00	00:00	400.419	178.392	5.555.309	2.033.893	1,18	0,97
P3	Sul	2018-2 e 2019-1	Maió	00:00	00:00	400.597	180.410	5.556.627	2.068.217	1,17	0,97
P3	Norte	2018-2 e 2019-1	Setembro	00:00	00:00	427.785	165.465	5.555.309	2.033.893	1,10	1,04
P3	Sul	2018-2 e 2019-1	Setembro	00:00	00:00	431.111	168.804	5.556.627	2.068.217	1,09	1,04

Fonte: Autora (2019).



## APÊNDICE C – PLANILHA FINAL DE VOLUMES OBTIDOS

### Figura 51 – Planilha final de volumes diários médios anuais calculados

Seção	km	Sentido	Fluxo	Data	Horário Inicial	Horário Final	Horário Inicial	Horário Final	Horário Inicial	Horário Final	Contagem		Fator de Expansão Diário		Volume Diário		Fator de Expansão Semanal		Volume Semanal		Fator de Expansão Mensal		Volume Mensal		Fator de Correção Sazonal Mensal		VDMA 2016/2 e 2017/1		Fator de Projeção (2019/1)		VDMA CARREGADO DE 2016 PARA		Fator para Ano de Projeto (2020)		VDMA NO DE PROJETO (2020)									
											Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados	Veículos Leves	Veículos Pesados
Aguilha Desinc.	41,00	Sul	1	06/12/2016	12:00	00:00	00:00	12:00	-	-	1293	227	1,00	1,00	1293	227																												
Aguilha Desinc.	41,00	Sul	1	07/12/2016	12:00	00:00	00:00	12:00	-	-	1332	220	1,00	1,00	1332	220	2,73	1,94	11265	1321	6,11	4,07	68838	5377	0,73	0,98	1615	170	1,09	1,11	1759	188	1,05	1,02	1847	192								
Aguilha Desinc.	41,00	Sul	1	08/12/2016	12:00	00:00	00:00	12:00	-	-	1507	235	1,00	1,00	1507	235																												
Marginal Sul	41,20	Sul	2	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	745	276	2,01	2,39	1498	659	7,75	6,04	11611	3980	5,17	4,44	59976	17670	1,17	0,97	2273	553	1,00	1,00	2273	553	1,05	1,02	2387	565								
Marginal Sul	41,20	Sul	3	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	782	334	2,01	2,39	1572	797	7,75	6,04	12188	4816	5,17	4,44	62955	21384	1,17	0,97	2386	670	1,00	1,00	2386	670	1,05	1,02	2505	683								
Marginal Sul	41,20	Sul	4	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	1154	479	2,01	2,39	2320	1144	7,75	6,04	17985	6907	5,17	4,44	92902	30667	1,17	0,97	3521	961	1,00	1,00	3521	961	1,05	1,02	3697	980								
Marginal Sul	41,20	Sul	5	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	310	204	2,01	2,39	623	487	7,75	6,04	4831	2942	5,17	4,44	24956	13061	1,17	0,97	946	409	1,00	1,00	946	409	1,05	1,02	993	417								
Otokar Sul	41,20	Sul	6	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	419	182	2,01	2,39	842	435	7,75	6,04	6530	2624	5,17	4,44	33731	11652	1,17	0,97	1278	365	1,00	1,00	1278	365	1,05	1,02	1342	372								
Otokar Sul	41,20	Sul	7	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	937	350	2,01	2,39	1884	836	7,75	6,04	14603	5047	5,17	4,44	75433	22408	1,17	0,97	2859	702	1,00	1,00	2859	702	1,05	1,02	3002	716								
Otokar Sul	41,20	Sul	8	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	590	296	2,01	2,39	1186	707	7,75	6,04	9195	4268	5,17	4,44	47498	18951	1,17	0,97	1800	594	1,00	1,00	1800	594	1,05	1,02	1890	605								
Marginal Norte	41,20	Norte	9	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	1334	194	2,01	2,39	2682	463	7,83	5,74	21001	2657	5,08	4,40	106727	11687	1,18	0,97	4046	364	1,00	1,00	4046	364	1,05	1,02	4248	371								
Marginal Norte	41,20	Norte	10	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	1100	97	2,01	2,39	2212	232	7,83	5,74	17317	1329	5,08	4,40	88006	5844	1,18	0,97	3336	182	1,00	1,00	3336	182	1,05	1,02	3503	186								
Marginal Norte	41,20	Norte	11	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	339	65	2,01	2,39	682	155	7,83	5,74	5337	890	5,08	4,40	27122	3916	1,18	0,97	1028	122	1,00	1,00	1028	122	1,05	1,02	1079	124								
Marginal Norte	41,20	Norte	12	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	284	94	2,01	2,39	571	224	7,83	5,74	4471	1288	5,08	4,40	22721	5663	1,18	0,97	861	176	1,00	1,00	861	176	1,05	1,02	904	180								
Otokar Norte	41,20	Norte	13	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	1996	148	2,01	2,39	4013	353	7,83	5,74	31422	2027	5,08	4,40	159690	8916	1,18	0,97	6053	278	1,00	1,00	6053	278	1,05	1,02	6356	283								
Otokar Norte	41,20	Norte	14	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	846	108	2,01	2,39	1701	258	7,83	5,74	13318	1479	5,08	4,40	67684	6506	1,18	0,97	2566	203	1,00	1,00	2566	203	1,05	1,02	2694	207								
Otokar Norte	41,20	Norte	15	28/05/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	1724	178	2,01	2,39	3466	425	7,83	5,74	27140	2438	5,08	4,40	137929	10724	1,18	0,97	5228	334	1,00	1,00	5228	334	1,05	1,02	5490	341								
PI	42,45	Sul	16	06/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	916	80	1,71	1,83	1563	146																												
PI	42,45	Sul	16	07/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	930	81	1,73	1,91	1605	155	2,73	1,94	13876	890	6,11	4,07	84789	3622	0,73	0,98	1990	114	1,09	1,11	2167	127	1,05	1,02	2275	129								
PI	42,45	Sul	16	08/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	945	72	2,03	2,20	1921	159																												
PI	42,45	Sul	17	06/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	1315	69	1,71	1,83	2244	126																												
PI	42,45	Sul	17	07/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	1331	68	1,73	1,91	2298	130	2,73	1,94	20113	790	6,11	4,07	122903	3216	0,73	0,98	2884	101	1,09	1,11	3141	113	1,05	1,02	3298	115								
PI	42,45	Sul	17	08/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	1395	69	2,03	2,20	2836	152																												
PI	42,45	Sul	18	06/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	4975	602	1,71	1,83	8489	1100																												
PI	42,45	Sul	18	07/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	3502	183	1,73	1,91	6045	349	2,73	1,94	59034	3588	6,11	4,07	360737	14607	0,73	0,98	8464	461	1,09	1,11	9218	511	1,05	1,02	9679	521								
PI	42,45	Sul	18	08/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	3502	183	2,03	2,20	7119	403																												
PI	42,45	Sul	19	06/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	2614	217	1,71	1,83	4460	397																												
PI	42,45	Sul	19	07/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	2654	218	1,73	1,91	4581	416	2,73	1,94	39360	2504	6,11	4,07	240516	10193	0,73	0,98	5644	322	1,09	1,11	6146	357	1,05	1,02	6453	364								
PI	42,45	Sul	19	08/12/2016	07:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	2654	218	2,03	2,20	5395	480																												
Aguilha Desinc.	41,83	Sul	20	03/09/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	982	217	2,27	2,44	2232	529	7,90	6,21	17630	3284	4,96	4,10	87395	13470	1,09	1,04	3078	451	1,00	1,00	3078	451	1,05	1,02	3232	460								
Aguilha Inc.	41,90	Sul	21	03/09/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	2669	325	2,27	2,44	6067	792	7,90	6,21	47917	4918	4,96	4,10	237533	20173	1,09	1,04	8365	675	1,00	1,00	8365	675	1,05	1,02	8783	689								
Aguilha Desinc.	41,90	Norte	22	03/09/2019	06:00	09:00	12:00	14:00	16:00	19:00	2512	247	2,27	2,44	5710	602	8,80	5,83	50234	3509	4,57	4,04	229441	14177	1,10	1,04	8141	476	1,00	1,00	8141	476	1,05	1,02	8548	486								
Aguilha Inc.	41,83	Norte	23																																									

## APÊNDICE D – REDE EXISTENTE CARREGADA NO AIMSUN

Figura 52 – Início da rede



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

Figura 53 – Região da rua Ottokar Doerffel



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).



Figura 54 – Região de acesso a rua Anita Garibaldi



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

Figura 55 – Região da rua Minas Gerais e término da rede



Fonte: Adaptado de AIMSUN (2019).

APÊNDICE E – DADOS DE CONTAGEM, MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR SEÇÃO

Figura 56 – Dados de contagem, média e desvio padrão por seção

ID	Nome	Contagem - Replic. 1	Contagem - Replic. 2	Contagem - Replic. 3	Contagem - Replic. 4	Contagem - Replic. 5	Contagem - Replic. 6	Contagem - Replic. 7	Contagem - Replic. 8	Contagem - Replic. 9	Contagem - Replic. 10	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
789	Rua Lateral Sul	857	854	885	836	794	824	862	820	825	865	842,20	27,046
791	Rua Lateral Sul	1287	1295	1391	1283	1249	1295	1285	1281	1329	1291	1298,60	37,828
795	Acesso Rua OD-1	506	540	491	465	529	525	506	542	536	507	514,70	24,477
798	PI km 41,4	1064	1087	1102	1019	1113	1094	1055	1112	1148	1060	1085,40	36,782
806	Rua Od-1 - Seção	571	559	616	602	610	553	622	571	608	579	589,10	25,239
863	Marginal Sul Minas Gerais	1303	1311	1358	1267	1320	1301	1299	1293	1293	1275	1302,00	25,095
865	Rua Minas Gerais Sul	995	967	996	955	1001	981	980	977	952	946	975,00	19,482
898	Marginal Norte Minas Gerais	919	941	955	885	919	875	899	869	885	904	905,10	28,325
899	Rua Minas Gerais Norte	638	661	699	632	654	608	657	639	614	643	644,50	25,782
911	Rua Lateral Norte	975	929	900	959	901	955	930	987	926	958	942,00	29,518
925	PI km 41,4	992	996	1062	1010	995	982	1065	984	1044	1012	1014,20	31,478
930	Rua Lateral Norte	860	865	875	918	828	825	872	875	878	855	865,10	26,501
989	Acesso Rua Ottokar Doerffel	782	767	801	745	762	785	811	751	799	787	779,00	22,086
998	Saída Rua Ottokar Doerffel	816	834	890	805	893	852	817	870	911	823	851,10	37,737
1321	Rua Lateral Norte	612	612	663	704	608	583	634	633	641	618	630,80	33,648
1330	Rua Lateral Sul - Seção	866	858	945	875	864	866	842	868	893	858	873,50	28,285
1441	Retorno Norte	325	293	286	306	306	327	312	345	293	328	312,10	18,882
1452	Retorno Sul	128	106	105	107	129	98	126	109	108	127	114,30	11,757

Fonte: Autora (2019).

## APÊNDICE F – DEMANDAS FUTURAS EM VEÍCULOS EQUIVALENTES

Figura 57 – Demanda futura considerando o cenário sem as transposições

ID	Nome	VHP Leves 2020	VHP pesados 2020	VHP upc 2020	Projeção 2021	Projeção 2022	Projeção 2023	Projeção 2024	Projeção 2025	Projeção 2026	Projeção 2027	Projeção 2028	Projeção 2029	Projeção 2030	Projeção 2031	Projeção 2032
789	Rua Lateral Sul	662	195	953	970	986	1003	1019	1036	1053	1071	1088	1106	1125	1143	1162
791	Rua Lateral Sul	1120	193	1409	1432	1455	1478	1502	1526	1551	1576	1601	1627	1653	1679	1706
795	Acesso Rua OD-1	475	48	546	556	564	573	582	591	600	610	619	629	639	649	659
798	PI km 41,4	1014	81	1135	1153	1171	1189	1208	1227	1246	1265	1285	1305	1325	1346	1366
806	Rua Od-1 - Seção	482	131	677	690	701	713	724	736	748	761	773	786	799	812	825
863	Marginal Sul Minas Gerais	1123	72	1230	1250	1269	1289	1309	1329	1350	1370	1392	1413	1435	1457	1480
865	Rua Minas Gerais Sul	851	51	927	942	956	971	986	1001	1017	1032	1048	1064	1081	1098	1113
898	Marginal Norte Minas Gerais	877	50	951	967	982	997	1012	1028	1043	1059	1076	1092	1109	1126	1144
899	Rua Minas Gerais Norte	622	35	673	685	695	706	717	728	739	751	762	774	786	798	808
911	Rua Lateral Norte	903	71	1009	1025	1041	1057	1074	1090	1107	1125	1142	1160	1178	1196	1215
925	PI km 41,4	816	222	1149	1168	1187	1207	1227	1247	1267	1288	1309	1331	1353	1375	1398
930	Rua Lateral Norte	798	108	958	975	991	1006	1022	1039	1055	1072	1089	1106	1124	1141	1160
989	Acesso Rua Ottokar Doerffel	631	162	874	888	903	918	933	948	964	979	996	1012	1029	1045	1063
998	Saída Rua Ottokar Doerffel	698	54	778	791	803	816	829	841	854	868	881	895	909	923	937
1321	Rua Lateral Norte	589	81	709	722	733	745	757	769	781	793	806	819	832	845	858
1330	Rua Lateral Sul - Seção	786	102	939	954	969	984	1000	1016	1032	1048	1065	1082	1099	1116	1134
1441	Retorno Norte	293	24	328	334	339	345	350	355	361	367	372	378	384	390	396
1452	Retorno Sul	84	35	136	139	141	144	146	148	151	154	156	159	161	164	167
925-930	Conversão à esquerda	187	61	277	283	288	293	298	302	308	313	318	323	329	334	340
911-930	Segue em frente	611	47	681	692	703	714	725	736	747	759	771	783	795	807	820
930-798	Conversão à esquerda	209	27	249	253	257	262	266	270	274	278	283	287	292	297	301
789-791	Segue em frente	578	160	818	831	845	859	873	888	902	917	932	948	963	979	995
798-791	Conversão à esquerda	542	33	591	601	610	619	629	639	648	658	669	679	689	700	711
791-925	Conversão à esquerda	335	92	473	481	489	497	505	513	522	530	539	548	557	566	576
900-898	Conversão à esquerda	256	16	278	284	289	293	298	302	307	312	317	321	326	331	334
900-863	Conversão à direita	273	21	304	309	314	319	324	329	334	339	344	350	355	361	365

Fonte: Autora (2019).

Figura 58 – Demanda para o ano de 2032 considerando o cenário com transposições

ID	Nome	VHP Leves 2020	VHP pesados 2020	VHP ucp 2032
789	Rua Lateral Sul	414	126	732
791	Rua Lateral Sul	873	124	1277
795	Acesso Rua OD-1	476	48	658
798	PI km 41,4	1014	81	1363
806	Rua Od-1 - Seção	482	131	821
863	Marginal Sul Minas Gerais	1121	73	1620
865	Rua Minas Gerais Sul	850	51	1112
898	Marginal Norte Minas Gerais	877	50	1141
899	Rua Minas Gerais Norte	621	35	807
911	Rua Lateral Norte	501	51	694
925	PI km 41,4	813	221	1389
930	Rua Lateral Norte	395	88	636
989	Acesso Rua Ottokar Doerffel	628	161	1055
998	Saída Rua Ottokar Doerffel	758	54	1008
1321	Rua Lateral Norte	187	61	337
1330	Rua Lateral Sul - Seção	544	34	714
1441	Retorno Norte	293	24	394
1452	Retorno Sul	83	35	164
911-930	Segue em frente	208	27	300
925-930	Conversão à esquerda	185	61	335
930-798	Conversão à esquerda	208	27	300
789-791	Segue em frente	332	91	568
798-791	Conversão à esquerda	539	33	706
791-925	Conversão à esquerda	330	90	564
900-898	Conversão à esquerda	256	15	334
900-863	Conversão à direita	271	22	366

Fonte: Autora (2019).