

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MATHEUS WILLIAM PORTELLA**

**USO DE MICROSSIMULAÇÃO NA ANÁLISE DE DESEMPENHO  
OPERACIONAL DE INTERSEÇÕES – ESTUDO DE CASO**

**FLORIANÓPOLIS  
2023**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MATHEUS WILLIAM PORTELLA**

**USO DE MICROSSIMULAÇÃO NA ANÁLISE DE DESEMPENHO  
OPERACIONAL DE INTERSEÇÕES – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro civil.

Orientador:  
Prof. Samuel João da Silveira.

**FLORIANÓPOLIS  
2023**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Portella, Matheus William  
USO DE MICROSSIMULAÇÃO NA ANÁLISE DE DESEMPENHO OPERACIONAL  
DE INTERSEÇÕES : estudo de caso / Matheus William  
Portella; orientação de Samuel João da Silveira.  
- Florianópolis, SC, 2023.  
56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado  
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico  
de Construção Civil.  
Inclui Referências.

1. Desempenho operacional de interseções. 2. Simulação  
de tráfego. 3. InfraWorks. 4. Rodovia SC-404. I.  
Silveira, Samuel João da. II. Instituto Federal de Santa  
Catarina. III. USO DE MICROSSIMULAÇÃO NA ANÁLISE  
DE DESEMPENHO OPERACIONAL DE INTERSEÇÕES .

MATHEUS WILLIAM PORTELLA

USO DE MICROSSIMULAÇÃO NA ANÁLISE DE DESEMPENHO OPERACIONAL  
DE INTERSEÇÕES – Estudo de Caso

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de engenheiro civil, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Florianópolis, 28 de junho de 2023.

---

Prof. Samuel João da Silveira, Dr.  
Orientador  
Instituto Federal de Santa Catarina

---

Prof. Fernanda Simoni Schuch, Dr.  
Instituto Federal de Santa Catarina

---

Eng. Clauândria Ferreira Domingos Neris, Me.  
Instituto Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha família, especialmente meus pais pelos valores ensinados, aos meus irmãos pelos exemplos de dedicação e superação. Sem o apoio e suporte incondicional de vocês eu não teria alcançado esta etapa tão significativa em minha vida acadêmica.

Agradeço aos meus amigos e colegas de estudo, cuja presença constante e incentivo mútuo me ajudaram a superar os desafios ao longo dessa jornada.

Ao meu orientador Samuel João da Silveira pela disposição, ensinamentos, apoio e paciência.

A engenheira Clauândria, que tive a felicidade em conhecer em meu estágio, pela sua disposição em integrar a banca examinadora, acompanhando e contribuindo para o desenvolvimento deste trabalho desde sua fase inicial.

A professora Fernanda, por sua dedicação e compromisso com o curso, e contribuições no meu processo de formação.

A todos que contribuíram de alguma maneira, para que este estudo fosse realizado.

“Tudo flui, nada permanece,  
a mudança das coisas é constante e eterna.”  
Heráclito, 535 a.C.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a eficácia da substituição de uma interseção atualmente semaforizada por uma solução em desnível no cruzamento entre a avenida Madre Benvenuta e a rodovia SC-404, localizada na cidade de Florianópolis/SC, visando a redução de congestionamentos de tráfego na área. Os indicadores de desempenho analisados foram a fila máxima, atraso e nível de serviço para as aproximações, e velocidade média para cada origem/destino. Os indicadores de desempenho foram obtidos a partir da simulação do tráfego, por meio da ferramenta de análise de tráfego do Infracore. Os ciclos semaforicos e suas programações foram obtidas por meio de observações em campo, e a demanda de tráfego do cruzamento foi estimada com base em contagens de veículos realizada em 2021. As contagens foram expandidas, através do uso de fatores de expansão, para o volume médio diário do ano de 2023, e aplicando-se as taxas de crescimento da frota de veículos de SC, estimou-se a demanda de 2033 ano de projeto da interseção. Os resultados indicam que a atual interseção opera com nível de serviço F em três aproximações, além de elevadas formações de fila. Com a projeção do tráfego para 10 anos, outras três aproximações passam a operar com nível de serviço F. Em contrapartida, a interseção proposta mostrou-se eficiente, reduzindo consideravelmente as filas e atrasos, e com níveis de serviço variando de A a C, tendo o potencial de melhorar significativamente a situação do tráfego na região de estudo.

**Palavras-chave:** Desempenho operacional de interseções. Simulação de tráfego. Infracore. Rodovia SC-404.

## ABSTRACT

This study aims to analyze the effectiveness of replacing a currently signalized intersection with a grade-separated solution at the crossing of Madre Benvenuta Avenue and SC-404 highway in Florianópolis/SC, with the objective of reducing traffic congestion in the area. Performance indicators analyzed include maximum queue length, delay, and level of service for each approach, as well as average speed for each origin/destination. These performance indicators were obtained through traffic simulation using the Infracore traffic analysis tool. Signal cycle lengths and timings were derived from field observations, and the traffic demand at the intersection was estimated based on vehicle counts conducted in 2021. The counts were extrapolated using expansion factors to obtain the average daily volume for the year 2023. Furthermore, applying the vehicle fleet growth rates of Santa Catarina, the demand for the year 2033, representing the design year of the intersection, was estimated. The results indicate that the current intersection operates at level of service F for three approaches, with significant queue formations. With the traffic projection for the next 10 years, three additional approaches also operate at level of service F. In contrast, the proposed intersection demonstrates efficiency by substantially reducing queues and delays, with the potential to significantly improve the traffic situation in the study area.

**Keywords:** Intersection operational performance, Traffic microsimulation, Infracore, SC-404 highway.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Interseção Mínima.....	9
Figura 2: Interseção Tipo Gota.....	9
Figura 3: Interseção Tipo Canalizada.....	10
Figura 4: Interseção Tipo Rótula Urbana. ....	10
Figura 5: Interseção Tipo Rótula Maior. ....	11
Figura 6: Interconexão. ....	12
Figura 7: Exemplo de grupos de movimentos e grupos semafóricos.....	13
Figura 8: Diagrama de estágios. ....	13
Figura 9: Diagrama de Intervalos Luminosos.....	14
Figura 10: Caracterização dos níveis de serviço.....	21
Figura 11: Níveis de detalhe dos modelos. ....	23
Figura 12: Fluxograma das Etapas de Trabalho. ....	26
Figura 13: SC-404.....	27
Figura 14: Avenida Madre Benvenuta. ....	28
Figura 15: Interseção existente. ....	29
Figura 16: Interseção Proposta.....	30
Figura 17: Modelagem em 3D Cenário I. ....	31
Figura 18: Modelagem em 3D Cenário II. ....	32
Figura 19: Matriz Origem/Destino.....	32
Figura 20: Movimentos Veiculares e Estágios - Zona 01. ....	34
Figura 21: Movimentos Veiculares e Estágios - Zona 02. ....	35
Figura 22: Fluxograma de tráfego – Ano 2023.....	39
Figura 23: Fluxograma de tráfego – Ano 2033.....	39
Figura 24: Cenário I – Processo de Execução da Simulação .....	40
Figura 25: Cenário II – Processo de Execução da Simulação.....	41
Figura 26: Cenário I.a - Representação das Filas e Atrasos.....	42
Figura 27: Cenário I.b - Representação das Filas e Atrasos.....	43
Figura 28: Cenário II.a - Representação das Filas e Atrasos.....	43
Figura 29: Cenário II.b - Representação das Filas.....	44
Figura 30: Identificação das Aproximações.....	44
Figura 31: Identificação das Aproximações.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores de Equivalência em Unidades de Carros de Passeio – UCP. ....	18
Tabela 2: Nível de Serviço Para Interseções. ....	22
Tabela 3: Fatores de Equivalência em Carros de Passeio – UCP. ....	31
Tabela 4: Movimentos Veiculares e Estágios. ....	35
Tabela 5: Duração dos Estágios Para Cada Movimento. ....	36
Tabela 6: Contagem Volumétrica Classificatória – Horário de Pico. ....	36
Tabela 7: Projeção de Volumes – Ano 2023 – Horário de Pico. ....	37
Tabela 8: Projeção de Volumes – Ano 2033 – Horário de Pico. ....	38
Tabela 9: Volume Horário de Tráfego em UCP. ....	38
Tabela 10: Indicadores de Desempenho - Cenário I.a. ....	45
Tabela 11: indicadores de desempenho - Cenário I.b. ....	46
Tabela 12: indicadores de desempenho - Cenário II.a. ....	46
Tabela 13: Indicadores de Desempenho - Cenário II.b. ....	47
Tabela 14: Velocidade Média por segmento - Cenário I.a. ....	47
Tabela 15: Velocidade Média por segmento - Cenário II.a . ....	48
Tabela 16: Diferença das Velocidades Médias Por Segmento. ....	51

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
1.1	Justificativa .....	6
1.2	Objetivo Geral.....	7
1.3	Objetivos Específicos.....	7
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>8</b>
2.1	Interseções .....	8
2.2	Sinalização Semafórica de Regulamentação.....	12
2.3	Volume de Tráfego.....	14
2.3.1	Contagem Volumétrica.....	15
2.3.2	Projeção do Volume de Tráfego.....	15
2.4	Fator Hora de Pico .....	16
2.5	Velocidade .....	17
2.6	Composição do Tráfego .....	18
2.7	Capacidade da Via .....	18
2.8	Medidas de desempenho.....	19
2.8.1	Fila Máxima.....	19
2.8.2	Atraso.....	19
2.8.3	Nível de serviço.....	19
2.9	Simulação de Tráfego.....	22
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	<b>25</b>
3.1	Levantamento de Dados.....	27
3.1.1	Interseção Existente.....	28
3.1.2	Interseção Proposta .....	29
3.1.3	Estimativa dos Volumes de Tráfego.....	30
3.1.4	Unidades de Carro de Passeio .....	30
3.2	Simulação .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANALISES</b> .....	<b>34</b>
4.1	Resultados.....	34
4.2	Análises .....	49
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>52</b>
5.1	Conclusões.....	52
5.2	Recomendações Para Trabalhos Futuros.....	53
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é um tema amplamente discutido nas políticas públicas e possui um impacto direto na qualidade de vida da população (Cohen et al., 2013). Com o crescente aumento da frota de veículos, torna-se crucial buscar soluções eficientes para otimizar o uso da infraestrutura viária existente e planejar sua expansão conforme necessário.

Em Florianópolis, a frota de veículos registrou um expressivo crescimento nos últimos anos. Segundo dados DETRAN/SC (2008), entre 2008 e 2022, houve um aumento de aproximadamente 100%, passando de 2.937.056 para 5.768.787 veículos. No entanto, os investimentos em infraestrutura não acompanharam esse crescimento, com apenas 50% dos valores previstos sendo aplicados nos últimos 10 anos.

Além da falta de investimentos, o desenvolvimento da infraestrutura em Florianópolis é desafiado pelas características geográficas da cidade, que está predominantemente localizada na ilha de Santa Catarina. Com vários núcleos urbanizados e isolados ao longo de seus 54 km de extensão, a conexão desses núcleos entre si, bem como com a parte continental e municípios vizinhos, representa um desafio para os gestores (SOUZA E ROCHA, 2022). Essa situação coloca Florianópolis como uma das cidades com pior índice de mobilidade no mundo, e o deslocamento mais complicado em comparação com outras capitais brasileiras (DÉPINÉ 2020).

O Departamento Estadual de Infraestrutura - DEINFRA (2008) publicou o plano diretor rodoviário para o estado de Santa Catarina, no qual foram identificados os segmentos rodoviários com níveis de serviço críticos, destacando-se a SC-404, que foi classificada com nível de serviço 6 (próximo à saturação) para o ano de 2007. Diante dessa situação, a Secretaria de Estado da Infraestrutura e Mobilidade - SIE contratou a elaboração de um projeto de melhorias para a SC-404, que inclui a duplicação da rodovia e a implementação de novos modelos de interseção.

Diante desse cenário, é fundamental recorrer a ferramentas eficientes que possam auxiliar na escolha de projetos adequados para atender às necessidades projetuais. Nesse contexto, a simulação de tráfego surge como uma solução

promissora. Através da simulação, é possível avaliar e prever o comportamento do tráfego diante de diferentes alternativas de projeto, permitindo uma análise mais precisa e embasada na tomada de decisões.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a eficácia da substituição da atual interseção semaforizada por uma solução em desnível entre a rodovia SC-404 e a Avenida Madre Benvenuta. Essa análise será realizada por meio de indicadores de desempenho obtidos com o auxílio de um simulador de tráfego, considerando tanto o estado atual da rodovia como o cenário após a execução do projeto de melhorias. A utilização da simulação de tráfego permitirá uma análise detalhada do comportamento do tráfego, contribuindo para a escolha de um projeto adequado que atenda às necessidades projetuais.

## **1.1 Justificativa**

A escolha deste tema se baseia na observação da importância de encontrar meios eficientes para avaliar o comportamento do tráfego frente a diferentes alternativas de projeto. Com o avanço dos recursos de Modelagem da Informação da Construção (BIM), estudar e utilizar softwares que oferecem recursos para tornar os processos de projeto e avaliação de alternativas mais dinâmicos e precisos se tornou essencial. Diante desse contexto, o presente estudo se justifica pela necessidade de explorar as potencialidades oferecidas pelos recursos avançados de simulação e visualização em projetos de engenharia rodoviária. Compreender como o tráfego se comporta diante de diferentes cenários e alternativas de projeto é fundamental para tomar decisões embasadas e implementar soluções mais eficientes no gerenciamento da infraestrutura viária.

A utilização de softwares como o InfraWorks, que combina recursos de simulação de tráfego e visualização em 3D, possibilita uma análise mais abrangente e precisa do desempenho operacional das interseções e contribui para o desenvolvimento de projetos mais eficazes.

Portanto, a escolha deste tema se fundamenta na necessidade de explorar e aplicar as ferramentas tecnológicas disponíveis para a análise de desempenho operacional de interseções, visando o aprimoramento contínuo da infraestrutura viária

e o fornecimento de informações precisas aos projetistas, gestores de tráfego e demais envolvidos na tomada de decisões relacionadas ao planejamento urbano e rodoviário.

## **1.2 Objetivo Geral**

Este estudo tem como objetivo analisar a eficácia da substituição de uma interseção semaforizada por uma solução em níveis diferentes, entre a rodovia SC-404 e a Avenida Madre Benvenuta, a análise será realizada por meio de indicadores de desempenho obtidos com o auxílio de um simulador de tráfego, considerando tanto o estado atual da rodovia como o cenário após a execução do projeto de melhorias.

## **1.3 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- a) Obter as condições operacionais atuais da interseção;
- b) Estimar a demanda de tráfego atual e para o ano de projeto;
- c) Modelar a interseção existente e as intervenções propostas para a interseção;
- d) Obter os indicadores de desempenho resultantes;
- e) Comparar as condições de operação da interseção antes e após as intervenções;
- f) Analisar a eficácia da substituição da interseção existente pela interseção em níveis diferentes.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será apresentada a fundamentação teórica, trazendo os conceitos e variáveis associadas a projetos de rodovias e interseções e estudo e simulação de tráfego.

### 2.1 Interseções

As interseções são elementos de descontinuidade na rede viária e, portanto, acarretam situações críticas que devem ser tratadas de forma adequada (DNIT, 2005), elas desempenham um papel significativo na eficiência do tráfego em uma rodovia, pois são áreas onde as estradas se cruzam ou se unem e possuem dispositivos para regular o movimento dos veículos.

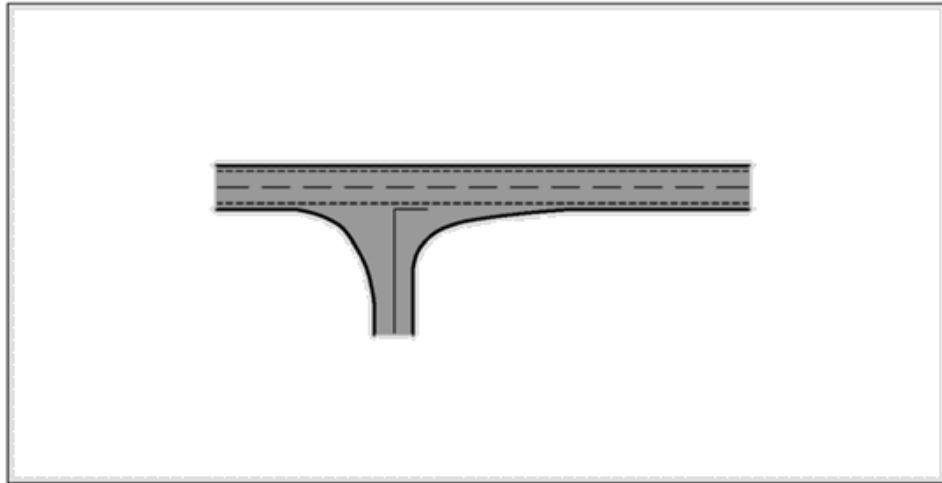
Dependendo da complexidade da interseção, é possível encontrar interseções com três ramos, conhecidas como "em T", interseções com quatro ramos ou ramos múltiplos, que ocorrem quando há cinco ou mais ramos (DNIT, 2005). Os ramos podem ser definidos como as diferentes aproximações nas quais os veículos chegam à interseção (CET, 2014). Essa classificação dos ramos e a forma como eles se conectam na interseção têm um papel crucial na eficiência do fluxo de tráfego e na segurança dos usuários da via.

Existem dois grupos principais de interseções, que são classificadas com base nos planos em que os cruzamentos ocorrem: interseções em nível e interseções em níveis diferentes (DNIT, 2005).

As intervenções em nível, como o próprio nome sugere, são interseções onde ocorre o cruzamento entre fluxos conflitantes de veículos no mesmo nível. Essas interseções podem ser classificadas de acordo com as soluções adotadas, e o Manual de Projeto de Interseções elaborado pelo DNIT (2005) apresenta os tipos básicos de interseções em nível:

- a) Interseção mínima: Neste tipo de interseção não há ilhas canalizadoras de tráfego, e normalmente apenas uma faixa de trânsito para cada tipo de movimento, conforme representado na Figura 1.

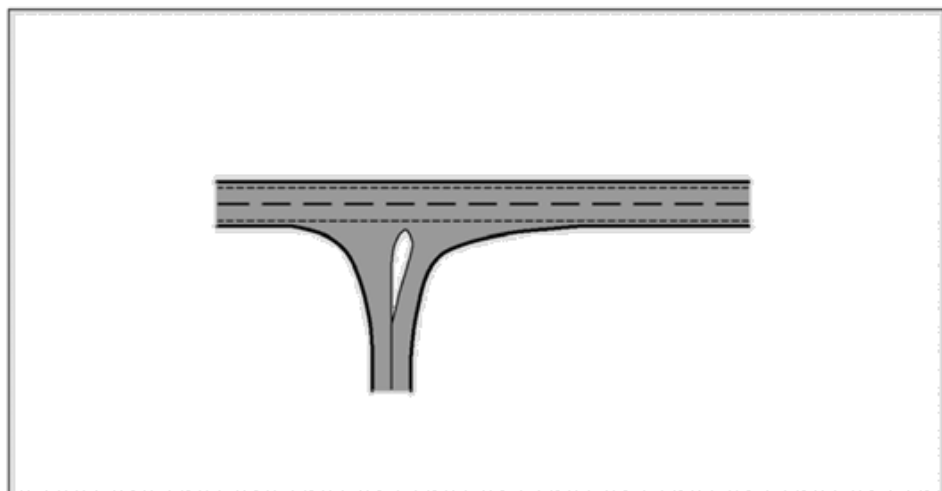
Figura 1: Interseção Mínima.



Fonte: DNIT (2005).

- b) Interseção do tipo gota: Esta solução adota uma ilha direcional do tipo gota na via secundária (Figura 2), que tem a função de disciplinar os movimentos de giro a esquerda, ajuda a controlar o fluxo de tráfego e as condições de visibilidade.

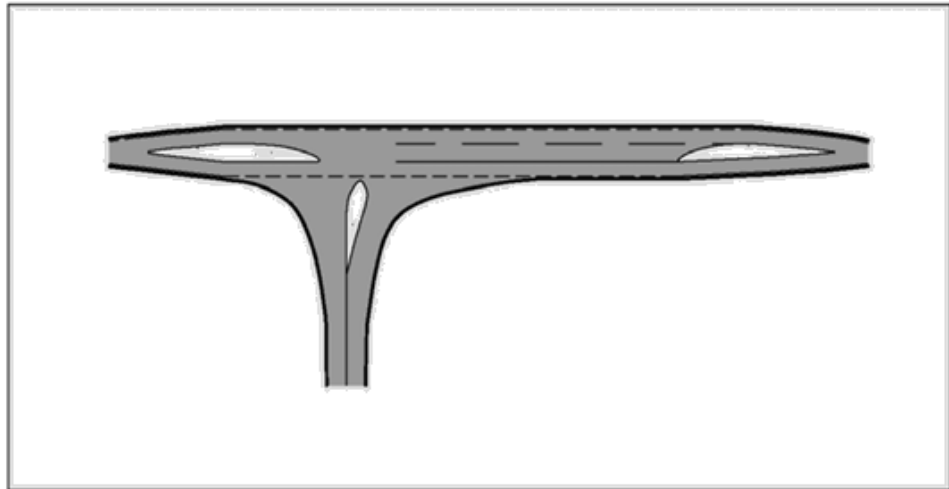
Figura 2: Interseção Tipo Gota.



Fonte: DNIT (2005).

- c) Interseção do tipo canalizada: Nessa solução existe uma faixa de trânsito para giro a esquerda (Figura 3). Os movimentos de tráfego são definidos pela sinalização horizontal, por ilhas ou outros meios. O objetivo é de minimizar seus conflitos.

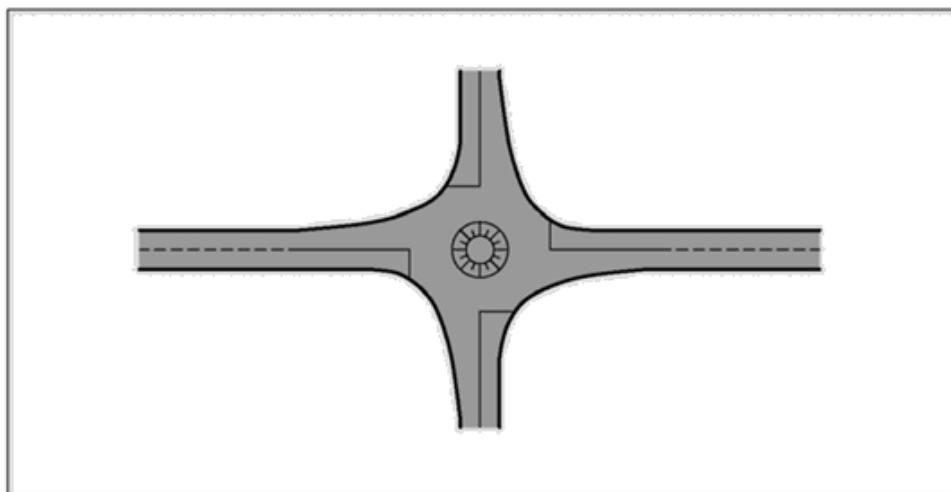
Figura 3: Interseção Tipo Canalizada.



Fonte: DNIT (2005).

- d) Interseção do tipo Rótula Urbana: Possui uma ilha central (Figura 4) e o tráfego se move no sentido anti-horário ao seu redor. São projetadas de modo a diminuir a velocidade dos veículos, a área de circulação possui raio pequeno, e a parada é obrigatória antes de entrar na área de circulação.

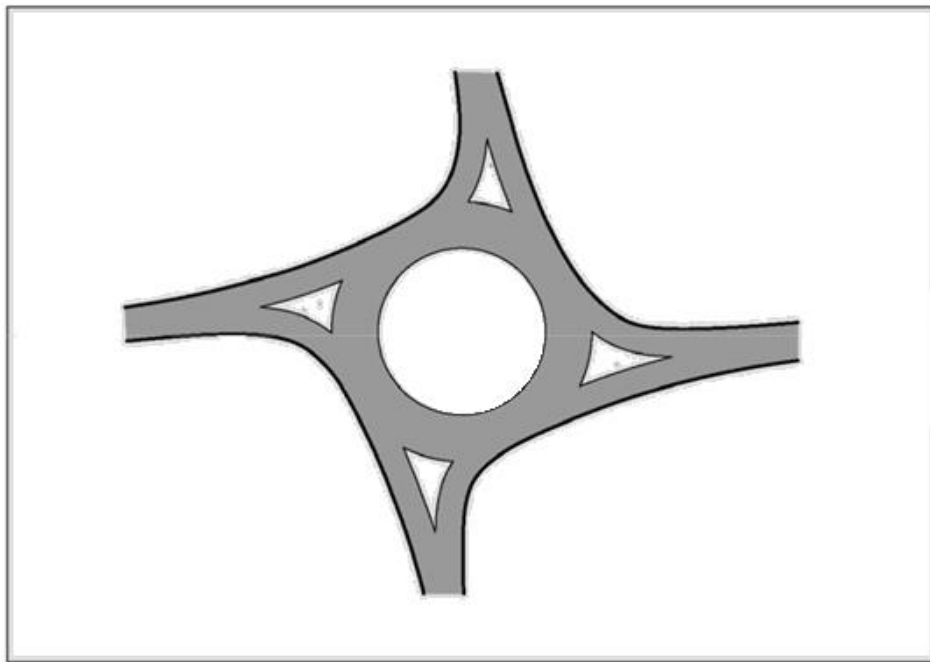
Figura 4: Interseção Tipo Rótula Urbana.



Fonte: DNIT (2005).

- e) Interseção do tipo Rótula Maior: Possuem maior raio de giro e são empregadas ilhas canalizadoras nos acessos (Figura 05).

Figura 5: Interseção Tipo Rótula Maior.



Fonte: DNIT (2005).

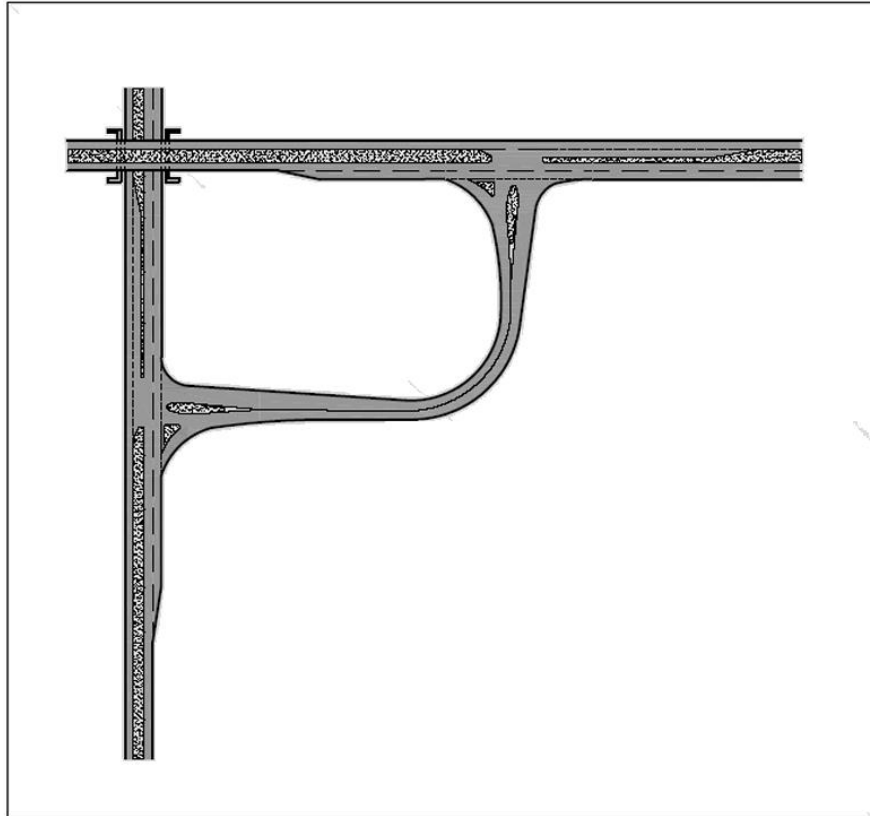
As interseções em nível podem possuir controle de sinalização por meio de sinalização semafórica, comumente encontradas em zonas urbanas.

As interseções em níveis diferentes apresentam rampas para separar os movimentos que seriam conflitantes em uma interseção em nível. Para as interseções em desnível DNIT (2005) apresenta dois tipos gerais, que são os cruzamentos em níveis diferentes sem ramos, e Interconexões.

Os cruzamentos em níveis diferentes sem ramos são aplicados quando não há troca de fluxos de tráfego entre as rodovias que se cruzam, dessa forma não existem ramos de conexão.

As interconexões além de apresentarem o cruzamento em desnível, possuem ramos que direcionam os veículos de uma via a outra, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Interconexão.



Fonte: DNIT (2005).

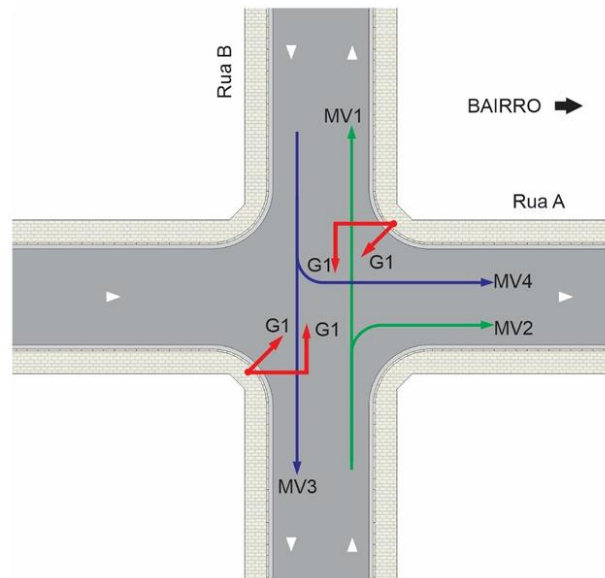
## 2.2 Sinalização Semafórica de Regulamentação

Nas interseções ocorrem vários movimentos que não podem ser realizados simultaneamente, conhecidos como movimentos conflitantes. Para gerenciar o fluxo veicular nessas áreas são empregados semáforos, que são dispositivos de controle de tráfego. Os semáforos alternam de forma cíclica e sequencial o direito de passagem de veículos ou pedestres por meio de indicações luminosas (DUTRA, 2005).

O sistema de sinalização semafórica em uma interseção é regido pelo grupo semafórico, um conjunto de grupo focais com indicações luminosas idênticas que controlam grupos de movimentos que sempre tem direito de passagem concomitante (CET, 2014). A Figura 07 representa este esquema, onde tem-se os movimentos MV1 e MV2 formando um grupo de movimentos com direito de passagem

simultâneos, e outro grupo de movimentos formado por MV2 e MV3. Ambos os grupos de movimentos são atendidos pelo grupo semafórico G1.

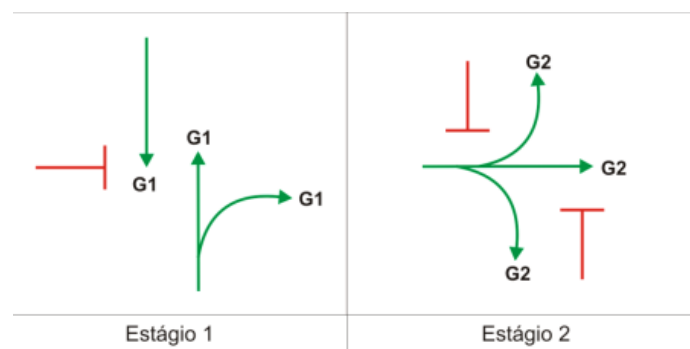
Figura 7: Exemplo de grupos de movimentos e grupos semafóricos.



Fonte: CET, 2014.

O direito de passagem dos grupos de movimentos pode ser representado graficamente pelo diagrama de estágios, nele é apresentado as sequências de estágios que compõe o ciclo semafórico. A Figura 08 mostra um exemplo de diagrama de estágios para o controle dos movimentos apresentados na Figura 07.

Figura 8: Diagrama de estágios.



Fonte: CET, 2014.

Por fim, a duração e sequência dos intervalos luminosos e estágios, e a associação destes com grupos semafóricos correspondentes, podem ser representados pelo diagrama de barras ou diagrama de intervalos luminosos. A

Figura 09 apresenta a aplicação do diagrama de barras para os estágios apresentados na Figura 08.

Figura 9: Diagrama de Intervalos Luminosos.

DIAGRAMA DE INTERVALOS LUMINOSOS						
INSTANTE (s)	0	30	34	36	74	78 80
G1	[Barra Verde]		[Barra Amarela]	[Barra Vermelha]		
G2	[Barra Vermelha]			[Barra Verde]		[Barra Amarela]
INTERVALOS	1	2	3	4	5	6
DURAÇÃO (s)	30	4	2	38	4	2
% CICLO	38	5	2	48	5	2
ESTÁGIOS	1			2		

Fonte: CET, 2014.

### 2.3 Volume de Tráfego

O volume de tráfego é a quantidade de veículos que circulam em uma determinada seção de uma via em um intervalo de tempo específico (DENIT, 2005). Esse parâmetro é fundamental para o projeto de engenharia de rodovias, pois influencia no dimensionamento da geometria da via. Além disso, em rodovias existentes, o volume de tráfego é utilizado para determinar a capacidade e o nível de serviço da via, auxiliando no estudo de melhorias para aumentar sua eficiência.

Existem diferentes denominações para o volume de tráfego, dependendo do período, da seção da via e do sentido do fluxo. Segundo o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT, os seguintes conceitos de volume de tráfego são comumente utilizados:

#### 1) Volume Médio Diário

O Volume Médio Diário (VMD) de tráfego é a grandeza básica da demanda de tráfego. É obtido pela divisão do volume total de veículos durante determinado período pelo número de dias do período. Onde tem-se:

- a) Volume Médio Diário Anual (VMDa) - resulta do número total de veículos que trafegam em uma via pelo período de um ano, dividido por 365.
- b) Volume Médio Diário Mensal (VMDm) - resulta do número total de veículos que trafegam na via em um mês, dividido pelo número de dias do mês.
- c) Volume Médio Diário Semanal (VMDs): produto da divisão do número de veículos que circularam na via por uma semana, dividido por 7.
- d) Volume Médio Diário em um Dia da Semana (VMDd) - expresso pelo número total de veículos que trafegam na via em um dia da semana.

## 2) Volume Horário de Projeto

O Volume Horário de Projeto (VHP) corresponde ao volume de veículos que trafegam na via por hora. Aplica-se ao projeto de forma que este atenda a demanda horária prevista ao ano de projeto, com nível de serviço adequado.

### 2.3.1 Contagem Volumétrica

As contagens volumétricas determinam a composição, sentido e quantidade de veículos que circulam por determinados pontos do sistema viário, em determinado período (DNIT, 2006). Essas contagens são usadas para análise e dimensionamento das melhorias a serem empregadas na via. Normalmente são realizadas em trechos entre interseções, e nas interseções.

As contagens podem ser divididas em classificatórias, direcionais e globais. Nas contagens classificatórias são registrados os volumes para cada tipo e classe de veículo. As contagens direcionais consideram o número de veículo por sentido de fluxo, enquanto as contagens globais registram o número de veículos independente do seu sentido.

### 2.3.2 Projeção do Volume de Tráfego

Quando se dispõe de dados de tráfego de uma rodovia ou região, é possível realizar a projeção do volume de tráfego através da análise das séries históricas, baseando-se em extrapolação de tendências. A estimativa do tráfego com base em

séries históricas dispõe de três tipos de projeção: linear, geométrica e de curvas do tipo logístico, sendo os dois primeiros rotineiramente empregados (DNIT, 2006).

- Projeção Linear:

Nesta, Admite-se que o volume de tráfego cresce de acordo com uma progressão aritmética:

$$V_n = V_0(1 + na)$$

Onde:

$V_n$  = volume de tráfego no ano n

$V_0$  = volume de tráfego no ano base

a = taxa de crescimento anual

n = número de anos decorridos após o ano base

- Projeção Geométrica

Admite-se que o volume de tráfego cresce segundo uma progressão geométrica:

$$V_n = V_0(1 + a)^n$$

Onde:

$V_n$  = volume de tráfego no ano “n”

$V_0$  = volume de tráfego no ano base

a = taxa de crescimento anual

n = número de anos decorridos após o ano base

## 2.4 Fator Hora de Pico

O volume de veículos que trafegam em uma via é variável ao longo do tempo. A intensidade de tráfego durante a hora de pico pode apresentar valores altos em frações desta hora, e relativamente baixo nas demais, ou ainda, manter-se mais ou menos uniforme durante toda ela. Este comportamento pode ser quantificado através do Fator Horário de Pico (FHP).

O FHP é dado pela seguinte equação:

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4xV_{15}}$$

Onde :

$V_{hp}$  = Volume da hora de pico;

V15= volume dos 15 minutos consecutivos de maior tráfego dentro da hora de pico.

O Fhp é utilizado nos estudos de capacidade das vias, no intervalo de 15 minutos, considerado como o menor intervalo em que pode existir o fluxo estável.

## 2.5 Velocidade

A velocidade apresenta diferentes conceitos, que variam de acordo com o tipo de tempo que é utilizado e a base espacial sobre a qual é calculada.

- Velocidade de Projeto – É a velocidade selecionada para fins de projeto, a partir da qual se determinam características físicas da rodovia, que afetam a operação e os movimentos dos veículos (DNIT, 2006).
- Velocidade de Fluxo Livre (FFS) - É a velocidade média dos automóveis em condições de fluxo livre, com baixo volume de tráfego, sem restrição de velocidade.
- Velocidade Média de Viagem (Vmv): É definida como a velocidade em um trecho de uma via, determinada pela razão entre o comprimento do trecho pelo tempo médio gasto em percorrê-lo, incluindo os tempos em que os veículos estejam parados(DNIT, 2006). É calculada conforme a seguinte equação:

$$V_{mv} = \frac{L}{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n T_i}$$

Onde:

Vmv = Velocidade Média de Viagem (km/h);

L = Comprimento do trecho (km);

Ti = Tempo de viagem do veículo i (h);

n = Número de veículos observados.

## 2.6 Composição do Tráfego

A composição de tráfego se refere aos diferentes tipos de veículos que trafegam na via, que possuem variações de tamanho, peso e velocidade. Cada tipo exerce influência distinta na corrente de tráfego, e conseqüentemente na capacidade da via.

Os veículos podem ser agrupados em carros de passeio, ônibus e caminhões. No grupo de carros de passeio fazem parte os automóveis, vans, minivans, pick-ups, carros esportivos e utilitários. Já no grupo de ônibus estão inseridos os veículos de transporte coletivos com capacidade para mais de vinte passageiros. O grupo de caminhões é constituído por veículos de transporte de carga e veículos de recreio.

É comum na análise de operação de rodovias e vias urbanas, a conversão dos vários tipos de veículos em um veículo padrão, denominado unidade de carro de passeio – UCP (LOPES; GIUBERTI, 2011). Para realizar a conversão utiliza-se o fator de equivalência veicular, apresentados na tabela 01.

Tabela 1: Fatores de Equivalência em Unidades de Carros de Passeio – UCP.

Tipo de Veículo	Veículo de Passeio	Caminhão e Ônibus	Semi-reboque e Reboque	Moto	Bicicleta	Sem informação
Fator de Equivalência	1	1,5	2	1	0,5	1,1

Fonte: Brasil, 2005.

## 2.7 Capacidade da Via

O termo capacidade de acordo com DNIT, é usado para representar o número máximo de veículos que se estima poder passar por dado trecho de uma rodovia em dado período, onde as características geométricas da via não se alteram significativamente, e de acordo com as condições predominantes de tráfego.

A capacidade é determinada em termos de uma taxa de fluxo de veículos, dada pela razão entre a quantidade de veículos que cruzam o trecho analisado num intervalo de tempo. A determinação da capacidade de uma via tem por objetivo

quantificar seu grau de suficiência para acomodar os volumes de tráfego existentes e previstos, possibilitando a análise técnica e econômica de intervenções que garantam o escoamento dos volumes em condições aceitáveis.

## **2.8 Medidas de desempenho**

Existem diversas medidas de desempenho que podem ser empregadas na avaliação do desempenho da operação do tráfego. CET (2014) aponta que as mais utilizadas são: fila máxima, velocidade média, número de paradas e atraso.

### **2.8.1 Fila Máxima**

A fila pode ser definida como o número total de veículos aguardando em uma aproximação para transpor a via. Os veículos que diminuem a velocidade aproximando-se do final da fila também são contabilizados.

### **2.8.2 Atraso**

O indicador “atraso” mede a espera pela qual os veículos estão sujeitos devido a interseção. É obtido pela diferença entre o tempo gasto por um veículo para percorrer um determinado trecho com fluxo interrompido e o tempo que gastaria para o mesmo trecho em regime de fluxo ininterrupto (CET, 2014).

### **2.8.3 Nível de serviço**

O nível de serviço é um indicador que avalia a qualidade operacional de uma rodovia, levando em consideração a relação entre a infraestrutura disponível e a demanda de tráfego. O Highway Capacity Manual (HCM) classifica esses níveis de serviço com base no desempenho operacional da rodovia e na percepção dos motoristas em relação à qualidade de tráfego.

Nível de serviço A - Escoamento livre, o motorista não é afetado pela presença de outros veículos na corrente de tráfego. Após ocorrência de acidente, o tráfego volta à normalidade rapidamente.

Nível de serviço B - Regime de escoamento estável, a liberdade de manobra do motorista é ligeiramente restringida. Incidentes são facilmente absorvidos pela corrente de tráfego.

Nível de serviço C - Condições de escoamento estáveis, as ultrapassagens requerem maior atenção. Alguns veículos passam a trafegar em pelotões. A velocidade da corrente de tráfego é menor que a velocidade de fluxo livre. A corrente de tráfego absorve pequenos incidentes.

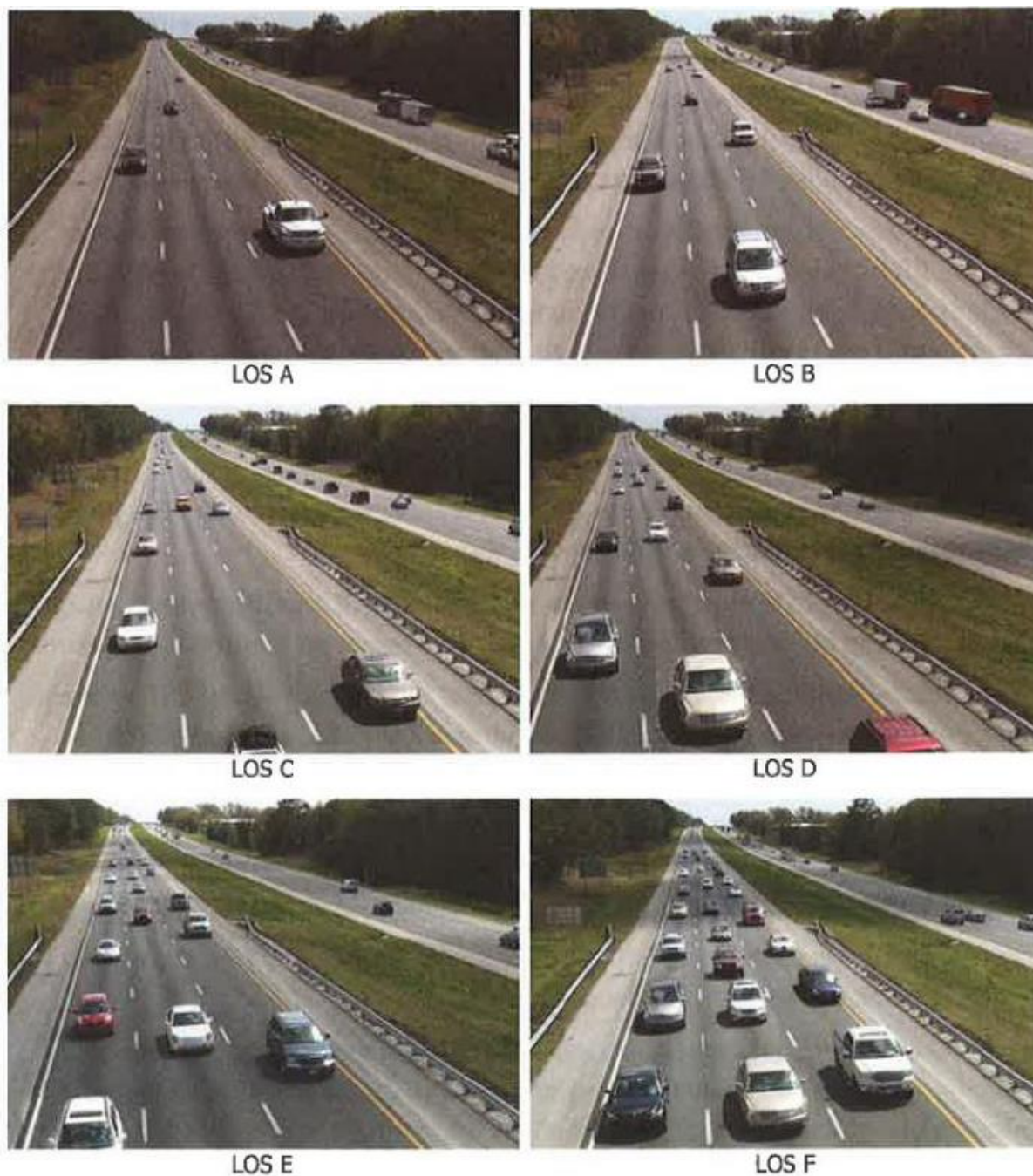
Nível de serviço D - Condições de escoamento instável, obstruções momentâneas na corrente de tráfego geram efeitos significativos na qualidade de operação. As manobras são restritas pelo volume de veículos e velocidades.

Nível de serviço E - O volume de serviço corresponde à capacidade máxima da rodovia, sem condições de ultrapassagem. Qualquer distúrbio na corrente compromete o escoamento, podendo gerar congestionamentos.

Nível de serviço F - Condições de escoamento forçado. O fluxo de veículos em uma ou ambas as direções excedem a capacidade da rodovia.

Em resumo, os níveis de serviço de uma rodovia são classificados de 'A' a 'F' com base no desempenho operacional, refletindo a percepção dos motoristas em relação à qualidade do tráfego. A Figura 10 ilustra como esses níveis de serviço são caracterizados em diferentes condições de tráfego.

Figura 10: Caracterização dos níveis de serviço.



Fonte: TRB (2010).

Nas interseções, o nível de serviço é determinado pelo tempo médio de espera ou atraso que os veículos da via secundária enfrentam para realizar um determinado tipo de movimento. O atraso de um veículo pode ser compreendido como o intervalo de tempo entre sua chegada à interseção e o início da manobra de cruzamento (Demarchi e Setti, s.d.).

A Tabela 2 apresenta a relação entre o atraso dos veículos e os diferentes níveis de serviço nas interseções. O atraso é utilizado como indicador para classificar o nível de serviço, refletindo o tempo de espera dos veículos e a eficiência operacional da interseção.

Tabela 2: Nível de Serviço Para Interseções.

<b>Atraso</b>	<b>Nível de Serviço</b>
<b>0-10</b>	A
<b>&gt;10-20</b>	B
<b>&gt;20-35</b>	C
<b>&gt;35-55</b>	D
<b>&gt;55-80</b>	E
<b>&gt;80</b>	F

Fonte: TRB (2010).

Em resumo, o nível de serviço em interseções é definido pelo tempo médio de espera ou atraso dos veículos da via secundária para realizar movimentos específicos.

## 2.9 Simulação de Tráfego

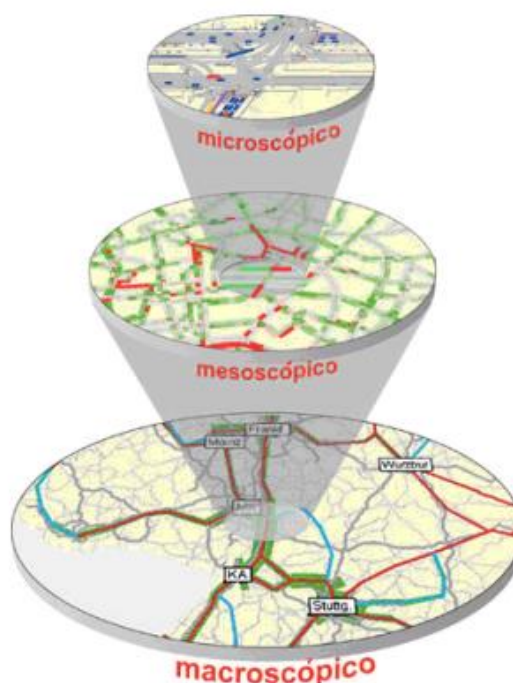
Os simuladores de tráfego são ferramentas para gerar modelos de tráfego que se assemelham à realidade, são capazes de reproduzir o comportamento dos sistemas e testar distintas alternativas de um modo mais seguro e econômico (VILARINHO, 2008).

A modelagem de fluxos de tráfego passou por um progresso significativo desde a criação dos primeiros modelos de simulação nos anos 1950. Esse avanço ocorreu devido a várias razões: melhorias na área da ciência da computação, tanto em termos de equipamentos quanto de ferramentas de programação; avanços na engenharia de tráfego e de transportes, que permitem uma modelagem mais precisa dos fenômenos de tráfego; e a demanda da sociedade por análises mais detalhadas e precisas dos efeitos e consequências dos projetos de transporte (GOMES, 2004).

Existem três modelos básicos de simulação de trânsito usualmente implementados para o estudo de tráfego: microscópicos, mesoscópicos e

macroscópicos (Fratar, 2015), eles se diferem pelo nível de detalhes do sistema, e pela escala que se pretende utilizar, conforme representado na Figura 11.

Figura 11: Níveis de detalhe dos modelos.



Fonte: Vilarilho (2008).

Os modelos microscópicos consideram o comportamento individual dos veículos na corrente de tráfego, com grande detalhe dos elementos que compõe o sistema, buscando uma representação mais realística.

Já os modelos macroscópicos possuem uma abordagem simplista, a corrente de tráfego é tratada como um todo, não considerando o comportamento individual das entidades. Enquanto o modelo mesoscópico é o intermediário entre os citados, possui uma combinação de características dos modelos microscópicos e macroscópicos, as entidades são tratadas em pelotões.

Neste cenário tem-se o Infracworks, um software desenvolvido pela Autodesk, que permite a criação de modelos que consistem em várias fontes de dados e formatos de arquivo, como dados raster e vetoriais. Recentemente, foi adicionada uma ferramenta de simulação de tráfego ao software, permitindo a análise do fluxo de tráfego e a geração de animações de simulação.

A simulação de tráfego no InfraWorks pode ser feita por meio do Traffic Analyst Panel (TAP), que permite ajustar parâmetros como demanda, tipos de

veículos e regras de prioridade em interseções. Além disso, o software permite compartilhar designs e modelos com outros usuários online, aproveitando suas capacidades em nuvem. O InfraWorks também é compatível com o AutoCAD Civil 3D, permitindo a troca de dados entre os dois.

A simulação de tráfego no InfraWorks oferece resultados como o número de veículos, tempo médio de viagem, fluxo médio, velocidade média, densidade média em cada trecho. Já para as interseções, o simulador fornece indicadores de desempenho para cada ramo que as compõe: fila máxima, atraso e nível de serviço.

Além disso, ao executar a simulação no InfraWorks, é possível obter informações adicionais sobre os veículos, como emissões de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. Os resultados podem ser exportados em arquivos do Microsoft Excel e uma animação dos comprimentos das filas também é exibida no modelo.

Na análise de tráfego, através da modelagem de cenários, essa ferramenta permite observar e experimentar possíveis intervenções no sistema rodoviário, auxiliando de forma eficaz a tomada de decisão das alternativas de projeto.

### **3 MÉTODO DE PESQUISA**

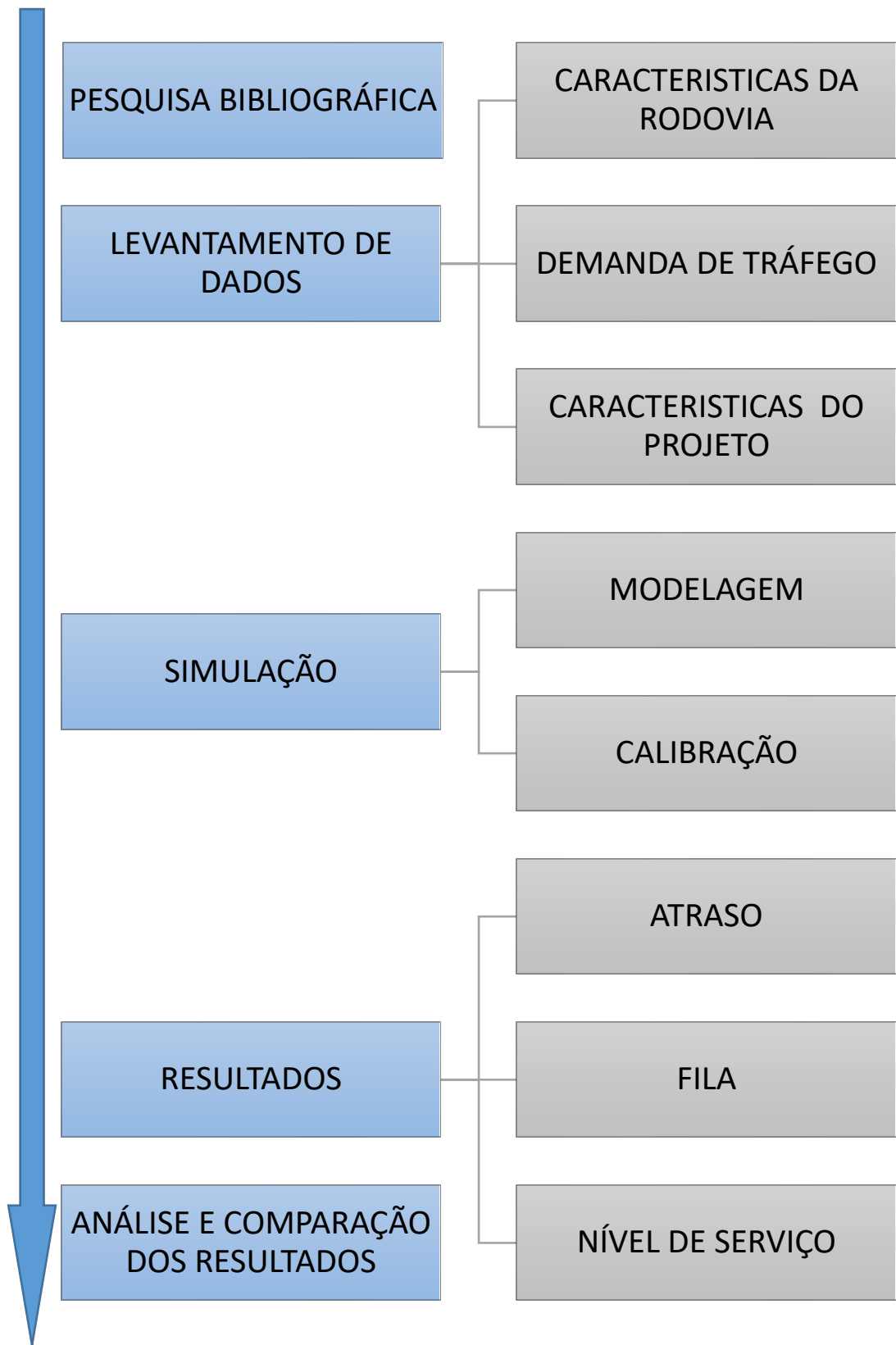
O método empregado na elaboração do presente estudo tem como base a pesquisa exploratória, aplicado a um estudo de caso.

A técnica para coleta de dados se deu parcialmente por análise documental, através de relatório de atividades e memórias justificativas do projeto de duplicação e melhorias da rodovia em estudo. Também foi utilizada a coleta de dados em campo, para obter os ciclos semaforicos da interseção.

A ferramenta utilizada foi o software InfraWorks para a simulação de tráfego.

A fim de atingir os objetivos, definiu-se passos metodológicos apresentados na Figura 12.

Figura 12: Fluxograma das Etapas de Trabalho.

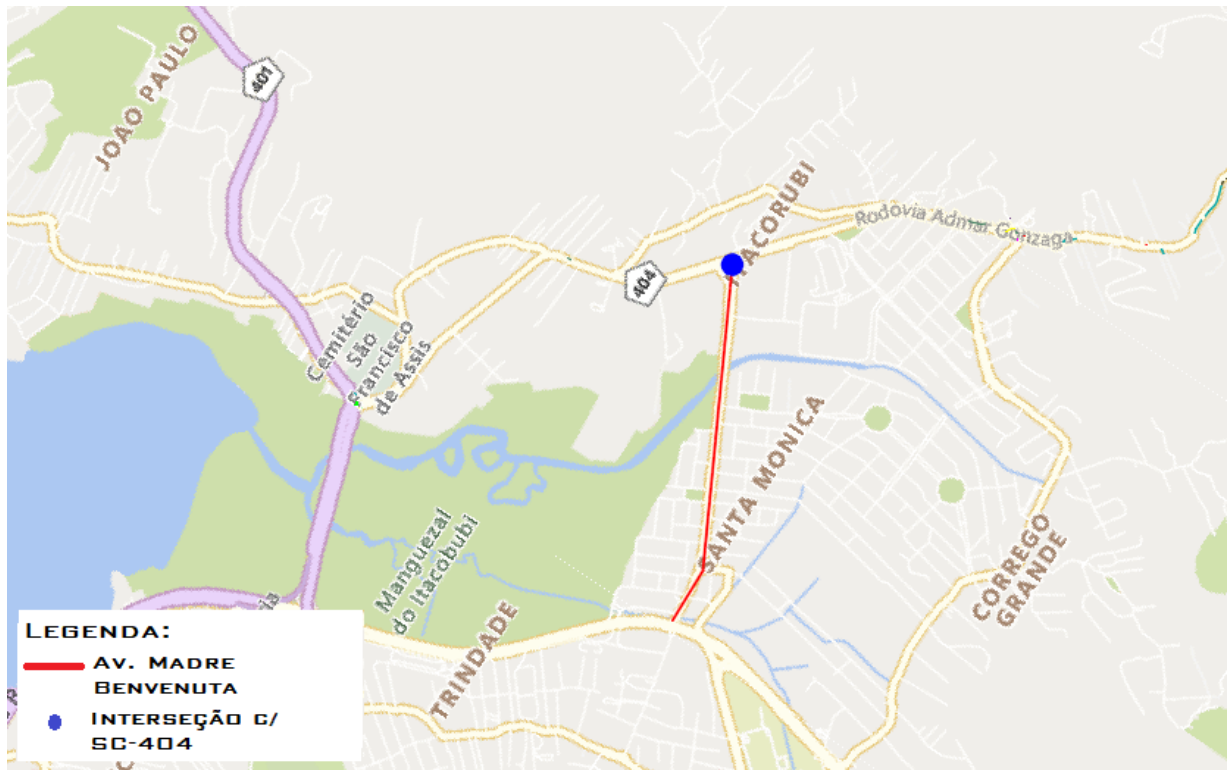


Fonte: Autor (2022).



ao bairro Itacorubi (Figura 14) onde está localizada a interseção com a SC-404, possui também em ambas as extremidades as regiões dos campus das universidades UFSC e UDESC, que contribuem para o seu intenso volume de tráfego.

Figura 14: Avenida Madre Benvenuta.



Fonte: Google Maps, 2023.

### 3.1.1 Interseção Existente

A interseção existente (Figura 15) trata-se uma interseção em nível, canalizada e de três ramos, formados pela SC-404 e Av. Madre Benvenuta. A SC-404 possui faixa de trânsito exclusiva para giro a esquerda. Ambas as avenidas possuem alto volume de tráfego, o cruzamento entre as vias possui movimentos dos tipos conflitantes e sua operação ocorre por meio de semáforos.

Figura 15: Interseção existente.

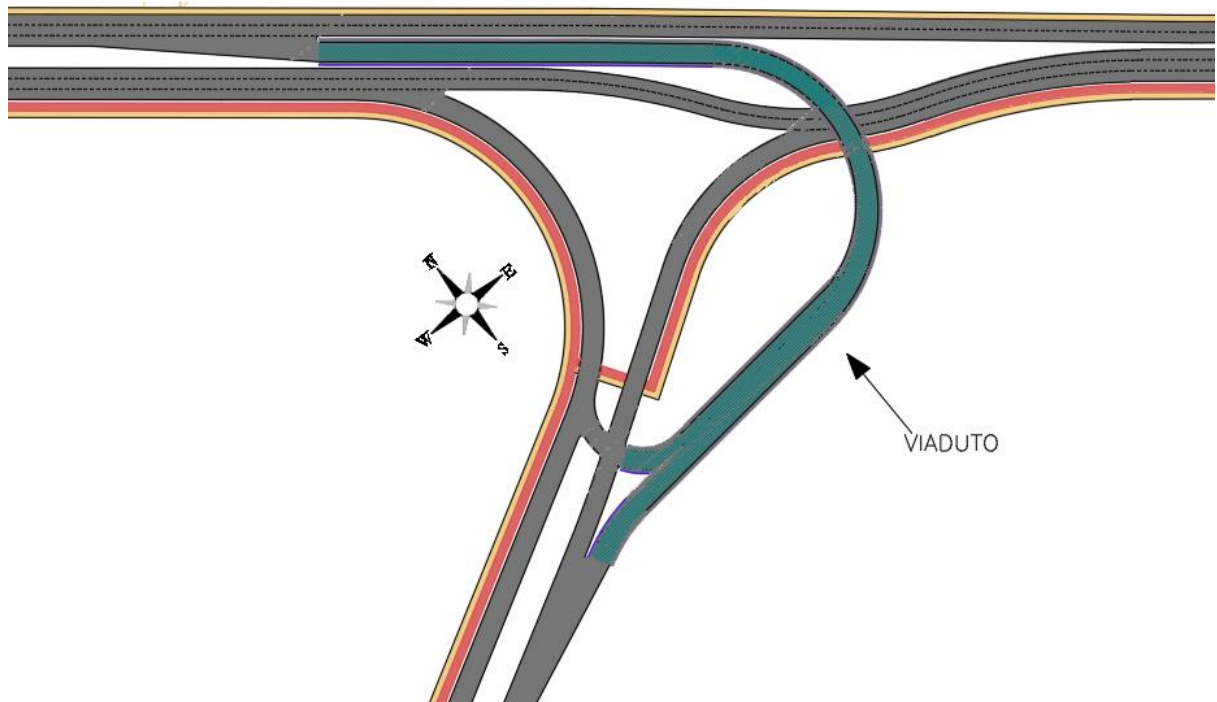


Fonte: Autor, 2023.

### 3.1.2 Interseção Proposta

A interseção proposta (Figura 16) trata-se de uma interconexão do tipo direcional, com viaduto que elimina o conflito entre as vias, direcionando o fluxo de veículos que circulam na av. Madre Benvenuta e acessam a SC-404 sentido centro. A SC-404 passa a ter 4 faixas de rolamento, sendo 2 para cada sentido de tráfego. Possui também faixas de mudança de velocidade, sendo de desaceleração para acessar a av. Madre Benvenuta, assim como faixa de aceleração para o motorista que acessa a SC-404.

Figura 16: Interseção Proposta.



Fonte: Autor, 2023.

### 3.1.3 Estimativa dos Volumes de Tráfego

O método utilizado neste trabalho para a estimativa de volume de tráfego foi o método de estimativa de demanda através de contagens volumétricas e classificatórias de veículos na interseção. Os dados utilizados foram coletados em 2021, e para fins do presente estudo, foram colhidos os dados referentes ao horário de pico.

### 3.1.4 Unidades de Carro de Passeio

A partir das projeções dos volumes de tráfego, faz-se a conversão dos distintos tipos de veículos em unidades de carro de passeio. Os fatores de conversão utilizados são apresentados na Tabela 03.

Tabela 3: Fatores de Equivalência em Carros de Passeio – UCP.

Tipo de Veículo	Veículo de Passeio	Caminhão e Onibus	Semi-reboque e Reboque	Moto	Bicicleta	Sem informação
Fator de Equivalência	1	1,5	2	1	0,5	1,1

Fonte: Brasil, 2006.

### 3.2 Simulação

Esta etapa consistiu na simulação do tráfego, inicialmente foi realizada a modelagem de dois cenários no Infracore, onde foram atribuídas as características geométricas da rodovia:

- Cenário I: Representa a rodovia em seu estado atual, o modelo gerado está representado na Figura 17.

Figura 17: Modelagem em 3D Cenário I.



Fonte: Autor, 2023.

- Cenário II: Neste cenário foi modelada a interseção proposta, conforme dados do projeto geométrico, resultado no modelo apresentado na Figura 18.

Figura 18: Modelagem em 3D Cenário II.



Fonte: Autor, 2023.

Posteriormente foi feito os ajustes no simulador, através da função painel analista de tráfego, no qual foram atribuídos os tipos de controle existentes ou previstos para cada aproximação, os volumes de tráfego em UCP na matriz origem/destino (Figura 19) e as porcentagens de cada tipo de veículo de acordo com a contagem classificatória.

Figura 19: Matriz Origem/Destino.

 A screenshot of the 'Editor de demanda' software interface. The window title is 'Editor de demanda'. Below the title bar, there is a dropdown menu for 'Demanda' set to 'PICO 2023 MODELO ATUAL'. There are two main sections: 'Demanda direcionada: Matrices de origem e destino' and 'Demanda não dirigida: Volumes de origem'. The main area displays a table with columns for 'Perfil', 'Simulação', 'Divisão', and 'Division'. The table contains data for various origin and destination profiles, including 'B - SC-404 lagoa', 'A - SC-404 centro', 'D - Av Madre Be...', and 'C-mercado'. A 'Total' row is at the bottom. The interface also includes a sidebar with icons and buttons for 'Ajuda', 'OK', and 'Fechar' at the bottom right.
 

Perfil	Simulação	Divisão	Division	Total
B - SC-404 lagoa				1170
A - SC-404 centro				1568
D - Av Madre Be...				997
C-mercado				87
Total				3810

Fonte: Autor, 2023.

Os tipos de controle para cada interseção são atribuídos aos modelos também nesta etapa, e no caso daquelas que possuem controle semafórico, foram programadas com o mesmo ciclo e estágios observados no levantamento.

Cada cenário possui duas variações da demanda de tráfego, uma para cada ano analisado, gerando quatro matrizes O/D. Dessa forma, são simulados o total de 4 cenários, sendo eles:

Cenário I.a: Modelo com a geometria da interseção existente e volume de tráfego para o ano de 2023;

Cenário I.b: Geometria existente da interseção e volume de tráfego para o ano de 2033;

Cenário II.a: Geometria do projeto da interseção e volume de tráfego para o ano de 2023;

Cenário II.b: Geometria do projeto da interseção e volume de tráfego para o ano de 2033;

Por fim, deve ser inserido o período que se deseja executar simulação. Visto que o presente estudo segue as recomendações do HCM, e este propõe a análise por hora (mais precisamente a hora de pico) o tempo de rodagem deve ser de 1 hora.

Os resultados são exportados para arquivos de saída, no formato .csv executável em Excel, e devem ser organizados para obter os dados de interesse.

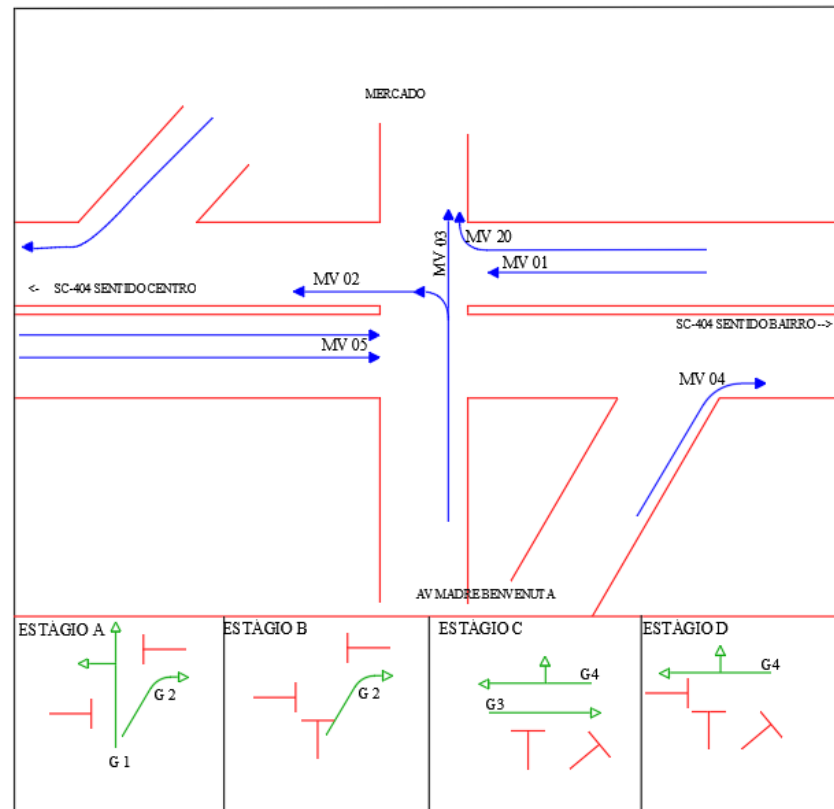
## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 Resultados

No levantamento de dados em campo foram identificadas duas zonas semaforizadas, e destas foram obtidos os ciclos semaforicos, a composição de cada estágio dos grupos semaforicos e a duração e movimentos que compõem cada um.

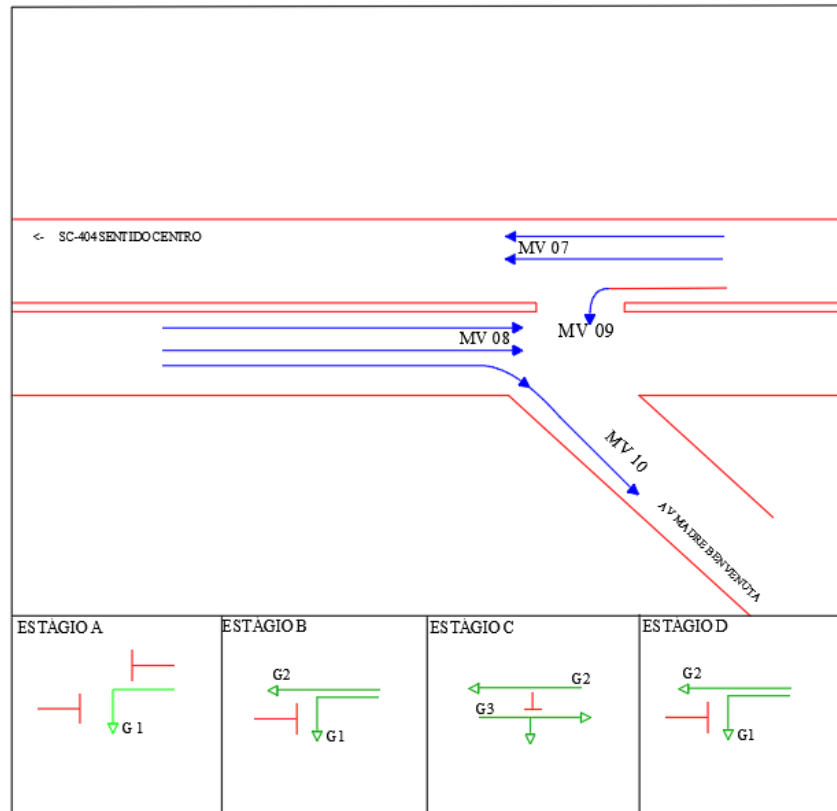
Nas Figuras 20 E 21 são apresentados os movimentos veiculares e estágios que compõem os grupos semaforicos das zonas 01 e 02, respectivamente.

Figura 20: Movimentos Veiculares e Estágios - Zona 01.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 21: Movimentos Veiculares e Estágios - Zona 02.



Fonte: Autor, 2023.

Na zona 01 foram identificados quatro estágios, compostos por quatro grupos de movimentos. Enquanto a zona 02 possui quatro estágios e três grupos de movimentos. Na Tabela 4 são apresentados os movimentos veiculares que compõem cada grupo de movimento.

Tabela 4: Movimentos Veiculares e Estágios.

GRUPO DE MOVIMENTO						
ZONA 1				ZONA 02		
G 1	G 2	G 3	G 4	G 1	G 2	G 3
MV 02	MV 04	MV 05	MV 01	MV 09	MV 07	MV 08
MV 03			MV 20			MV 10

Fonte: Autor, 2023.

Os tempos que compõem o ciclo semafórico são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Duração dos Estágios Para Cada Movimento.

Movimento	Tempo verde (s)	Tempo amarelo (s)	Tempo vermelho (s)	tempo total (s)
MV 01	63	3	44	110
MV 02	22	3	85	110
MV 03	22	3	85	110
MV 04	44	3	63	110
MV 05	44	3	63	110
MV 06	NÃO EXISTE CONTROLADOR			
MV 07	90	3	17	110
MV 08	44	3	63	110
MV 09	44	3	63	110
MV 10	44	3	63	110

Fonte: Autor, 2023.

Da análise documental realizada a partir da memória justificativa do projeto de melhorias da rodovia, fornecida pela empresa ESSE Engenharia, foi obtido a contagem volumétrica classificatória realizada na interseção, a partir do qual obteve-se o horário de pico e os volumes correspondentes. O horário de pico da interseção acontece entre as 12h e 13h, os dados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Contagem Volumétrica Classificatória – Horário de Pico.

SENTIDO	AUTOS	ONIBUS		CAMINHOES			SEMI-REBOQUES					
		2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	
A-B	778	20	7	0	8	1	0	0	0	0	0	0
A-C	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-D	565	35	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0
C-A	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-C	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-A	722	21	6	0	6	2	0	0	0	0	0	0
D-B	347	2	6	1	4	1	0	0	0	0	0	0
D-A	526	11	5	0	7	0	0	0	0	0	0	0
A-A	118	3	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0
B-D	290	4	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C-D	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-C	36	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Adaptado de ESSE Consultoria, 2021.

A partir dos dados existentes, faz-se necessário a correção dos volumes através da projeção de tráfego para o cenário atual – Ano 2023, e para o décimo ano de projeto – 2033.

As taxas de crescimento adotadas para estimativa de tráfego foram obtidas através do estudo publicado pela SIE, provenientes da evolução das matrizes atuais e futuras de origem/destino do transporte de pessoas e dos 35 principais produtos transportados no Estado de Santa Catarina. Para a microrregião de Florianópolis, as taxas de crescimento recomendadas de acordo com o tipo de veículo, entre os anos de 2021/2025 são:

- Veículos Leves: 2,59%
- Ônibus: 2,17%
- Veículo de carga tipo 1 (VC1): 2,55%
- Veículo de carga tipo 2 (VC2): 2,58%

Para a projeção de tráfego adotou-se o modelo de projeção linear, visto que esta é recomendada pelo DNIT como sendo a mais provável para períodos curtos e de média duração. As Tabelas 7 e 8 apresentam a projeção do tráfego para os anos 2023 e 2033 respectivamente.

Tabela 7: Projeção de Volumes – Ano 2023 – Horário de Pico.

SENTIDO	AUTOS	ONIBUS		CAMINHOES			SEMI-REBOQUES					
		2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	
A-B	819	21	7	0	8	1	0	0	0	0	0	0
A-C	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-D	595	37	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0
C-A	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-C	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-A	760	22	6	0	6	2	0	0	0	0	0	0
D-B	365	2	6	1	4	1	0	0	0	0	0	0
D-A	554	11	5	0	7	0	0	0	0	0	0	0
A-A	124	3	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0
B-D	305	4	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C-D	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-C	38	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 8: Projeção de Volumes – Ano 2033 – Horário de Pico.

SENTIDO	AUTOS	ONIBUS		CAMINHOES			SEMI-REBOQUES					
		2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	
A-B	1057	26	9	0	10	1	0	0	0	0	0	0
A-C	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-D	768	45	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
C-A	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-C	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-A	981	27	8	0	8	3	0	0	0	0	0	0
D-B	472	3	8	1	5	1	0	0	0	0	0	0
D-A	715	14	6	0	9	0	0	0	0	0	0	0
A-A	160	4	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0
B-D	394	5	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C-D	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-C	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autor, 2023.

Aplicando os fatores de equivalência nas projeções de volume horário de tráfego para os anos de 2023 e 2033, obteve-se a Tabela 09.

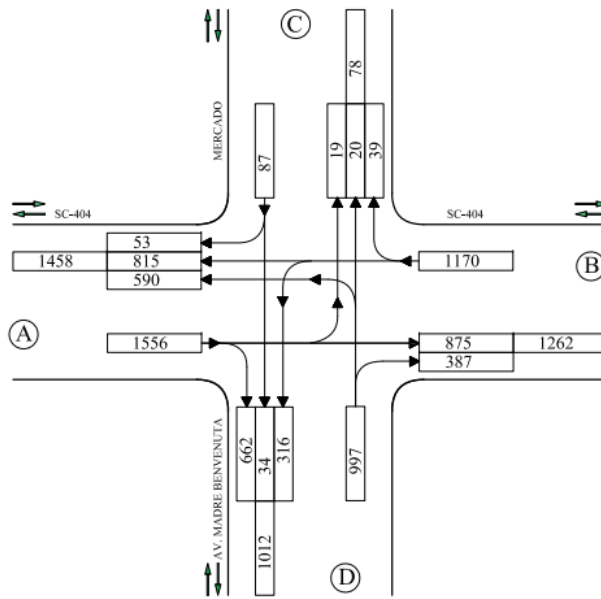
Tabela 9: Volume Horário de Tráfego em UCP.

SENTIDO	UCP	
	2023	2033
A-B	875	1127
A-C	19	24
A-D	662	851
C-A	53	68
D-C	20	26
B-A	815	1049
D-B	387	499
D-A	590	760
A-A	138	178
B-D	316	408
C-D	34	43
B-C	39	51

Fonte: Autor, 2023.

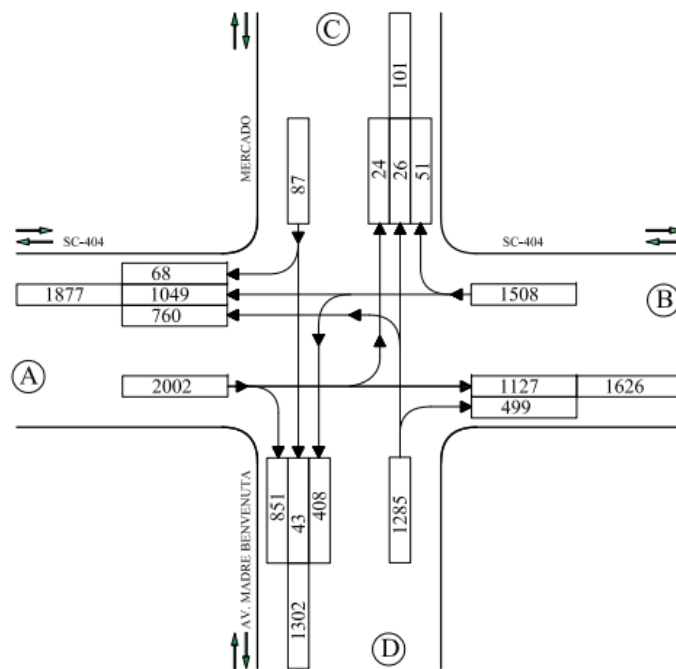
Para melhor visualização dos fluxos do cruzamento, fora elaborados os fluxogramas (Figura 19 e 20) dos volumes horários de tráfego em UCP para os respectivos cenários.

Figura 22: Fluxograma de tráfego – Ano 2023.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 23: Fluxograma de tráfego – Ano 2033.



Fonte: Autor, 2023.

Após a definição das características da interseção, tipos de controle, demandas de tráfego e modelagem dos respectivos cenários no InfraWorks, foi

executado a simulação. Durante o processo de simulação, é possível visualizar sua execução em 3D, e em diferentes perspectivas e escalas. A Figura 24 apresenta imagens tiradas durante a execução da simulação para o cenário I.

Figura 24: Cenário I – Processo de Execução da Simulação



Fonte: Autor, 2023.

A Figura 25 apresenta imagens da execução da simulação para o cenário II em diferentes perspectivas.

Figura 25: Cenário II – Processo de Execução da Simulação.



Fonte: Autor, 2023.

No ambiente virtual de simulação, os resultados referentes às filas e atrasos podem ser analisados de forma visual. O painel analista de tráfego exibe os volumes e utiliza uma escala de cores no modelo 3D para representar os resultados de fila e atraso nos diversos cenários. Neste modelo, as pistas que apresentam volume na cor vermelha indicam atraso maior que 55 segundos, enquanto a cor azul representa atrasos inferiores a esse valor. O comprimento dos volumes é proporcional ao tamanho das filas.

Ao analisar os resultados do processo de simulação para o cenário I.a, é possível identificar que quatro aproximações operam com nível de serviço entre 'E' e 'F', uma vez que apresentam atrasos acima de 55 segundos. Isso pode ser observado na Figura 26.

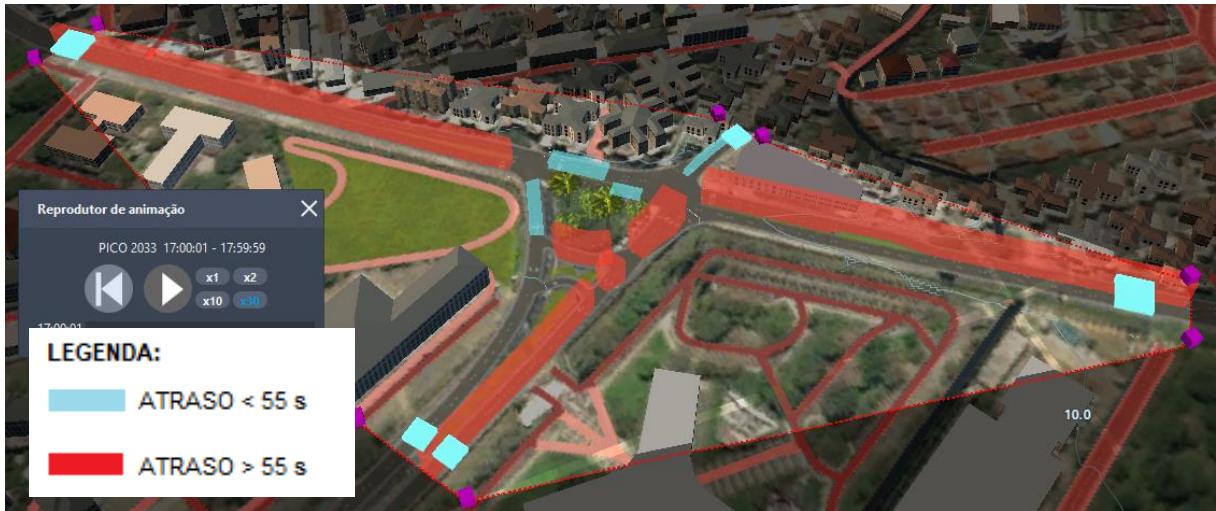
Figura 26: Cenário I.a - Representação das Filas e Atrasos.



Fonte: Autor, 2023.

No cenário I.b, a rodovia SC-404 passou a apresentar atraso superior a 55 segundos nas aproximações de ambos sentidos da via. Conforme pode ser visualizado na Figura 27.

Figura 27: Cenário I.b - Representação das Filas e Atrasos.



Fonte: Autor, 2023.

No cenário II.a, conforme representado na figura 28, foi constatado que os atrasos são inferiores a 55 segundos em todas as aproximações. Além disso, os comprimentos das filas são menores em comparação com os cenários anteriores.

Figura 28: Cenário II.a - Representação das Filas e Atrasos.



Fonte: Autor, 2023.

No cenário II.b, observou-se que houve poucas mudanças em relação ao cenário II.a, como pode ser observado na Figura 29. No entanto, notou-se um aumento nos comprimentos das filas nas aproximações.

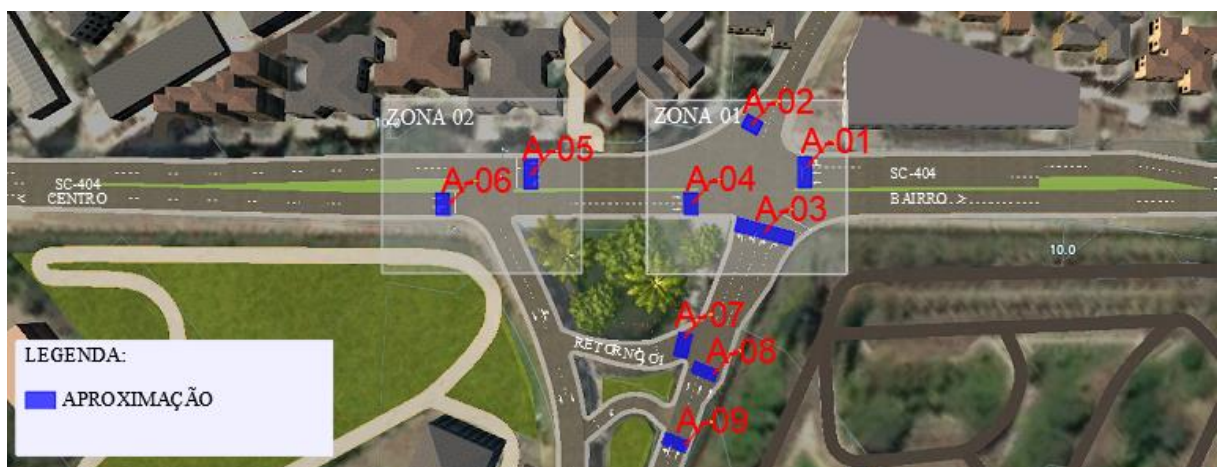
Figura 29: Cenário II.b - Representação das Filas.



Fonte: Autor, 2023.

Para expressar os resultados em tabelas, as aproximações foram identificadas conforme Figuras 30 e 31.

Figura 30: Identificação das Aproximações.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 31: Identificação das Aproximações.



Fonte: Autor, 2023.

Dessa forma foram obtidas as Tabelas 10, 11, 12 e 13 para os respectivos cenários, apresentando os resultados das filas, atrasos e os respectivos níveis de serviço.

Tabela 10: Indicadores de Desempenho - Cenário I.a.

<b>APROXIMAÇÃO</b>	<b>FILA (m)</b>	<b>ATRASSO (s)</b>	<b>NÍVEL DE SERVIÇO</b>
A-01	118,6	43	D
A-02	24,2	8	A
A-03	71,3	78	E
A-04	15,4	9	B
A-05	84,2	18	B
A-06	376,8	81	F
A-07	31,1	190	F
A-08	21,3	60	E
A-09	122	243	F

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 11: indicadores de desempenho - Cenário I.b.

<b>APROXIMAÇÃO</b>	<b>FILA (m)</b>	<b>ATRASSO (s)</b>	<b>NÍVEL DE SERVIÇO</b>
A-01	243,7	122	F
A-02	88	18	C
A-03	80,9	111	F
A-04	16,2	11	B
A-05	90,9	24	C
A-06	428,3	105	F
A-07	33,9	201	F
A-08	24,7	85	F
A-09	123,6	326	F

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 12: indicadores de desempenho - Cenário II.a.

<b>APROXIMAÇÃO</b>	<b>FILA (m)</b>	<b>ATRASSO (s)</b>	<b>NÍVEL DE SERVIÇO</b>
A-01	0	23	C
A-02	0	0	A
A-03	0	0	A
A-04	0	0	A
A-05	31,2	2	A
A-06	0	12	B
A-07	9	1	A
A-08	0	1	A
A-09	0	5	A
A-10	39,2	10	A

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 13: Indicadores de Desempenho - Cenário II.b.

<b>APROXIMAÇÃO</b>	<b>FILA (m)</b>	<b>ATRASSO (s)</b>	<b>NÍVEL DE SERVIÇO</b>
A-01	4,8	19	C
A-02	0	0	A
A-03	2	0	A
A-04	2,4	0	A
A-05	36	8	A
A-06	11,7	13	B
A-07	9	1	A
A-08	0	1	A
A-09	0	6	A
A-10	135,8	17	C

Fonte: Autor, 2023.

Adicionalmente, as Tabelas 14 e 15 apresentam informações sobre distância, tempo e velocidade média para os cenários I.a e II.a, respectivamente. Esses dados referem-se ao deslocamento entre os percursos criados para cada origem e destino.

Tabela 14: Velocidade Média por segmento - Cenário I.a.

<b>O/D</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>	<b>TEMPO (s)</b>	<b>VEL. MÉDIA (km/h)</b>
A-B	0,65	126,78	18,38
D-B	0,61	205,36	10,66
B-A	0,64	72,83	31,59
D-A	0,57	642,08	3,21
C-A	0,43	37,42	41,26
B-C	0,30	36,25	29,92
B-D	0,52	136,27	13,74
A-D	0,32	84,73	13,54
C-D	0,47	170,49	10,01
A-C	0,50	420,03	4,33
D-C	0,26	439,90	2,11

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 15: Velocidade Média por segmento - Cenário II.a .

<b>O/D</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>	<b>TEMPO (s)</b>	<b>VEL. MÉDIA (km/h)</b>
A-B	0,57	36,42	56,20
D-B	1,46	106,96	49,27
B-A	0,96	77,29	44,73
D-A	0,73	52,00	50,59
C-A	0,94	58,30	58,26
B-C	0,69	50,58	49,27
B-D	1,05	77,53	48,70
A-D	0,92	51,26	64,84
C-D	0,42	24,65	61,30
A-A	0,49	29,52	59,45

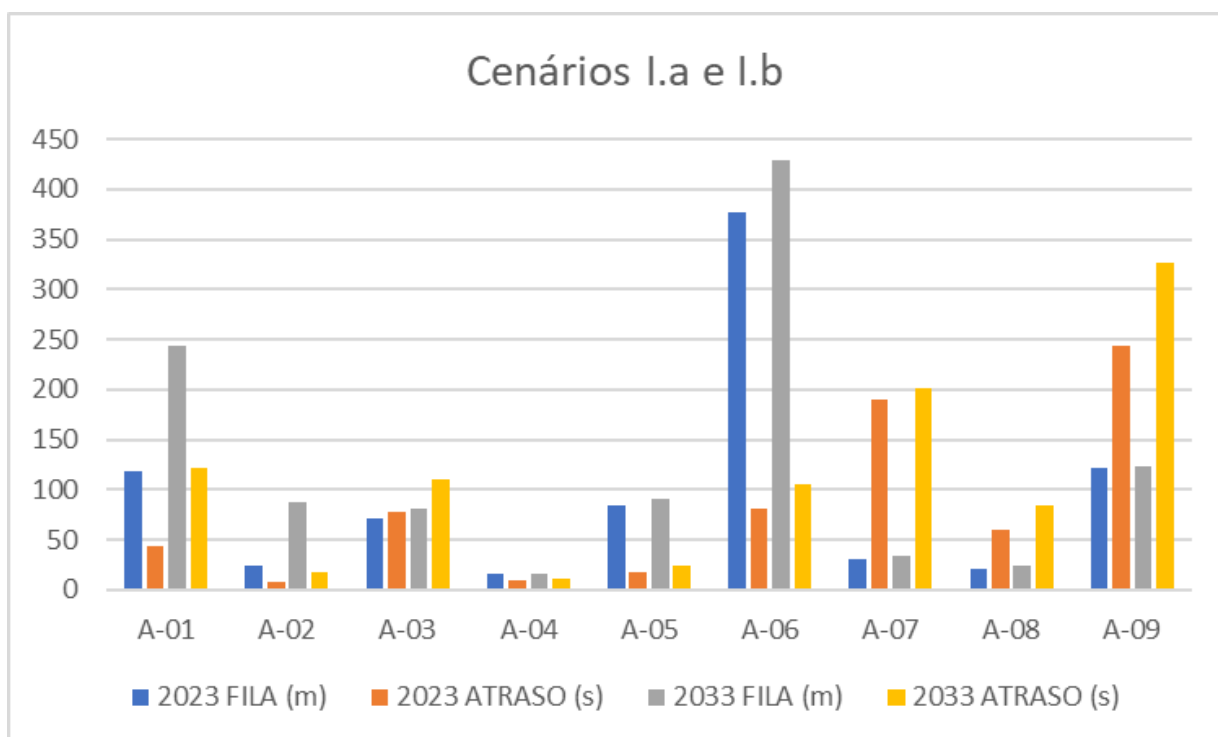
Fonte: Autor, 2023.

Os dados apresentados possibilitam uma análise detalhada e abrangente dos resultados da simulação, permitindo a avaliação comparativa dos diferentes cenários em relação aos indicadores de desempenho obtidos.

## 4.2 Análises

Com base nos resultados apresentados para o cenário I-a, e comparando com os resultados apresentados para o cenário I-b, obteve-se o Gráfico 2, onde são representados as filas e atrasos para cada aproximação de ambos cenários.

Gráfico 1: Comparativo Entre Cenários I.a e I.b



Fonte: Autor, 2023.

Apartir destes dados, é possível chegar concluir que:

Aproximação A-01: A fila aumentou significativamente, passando de 118,6 metros em 2023 para 243,7 metros em 2033. O atraso também aumentou de 43 segundos para 122 segundos, resultando em um nível de serviço F em ambos os anos.

Aproximação A-02: A fila aumentou de 24,2 metros em 2023 para 88 metros em 2033. O atraso aumentou ligeiramente de 8 segundos para 18 segundos, resultando em uma mudança de nível de serviço de A para C.

Aproximação A-03: O atraso aumentou de 78 segundos para 111 segundos, resultando em uma piora no nível de serviço de E para F.

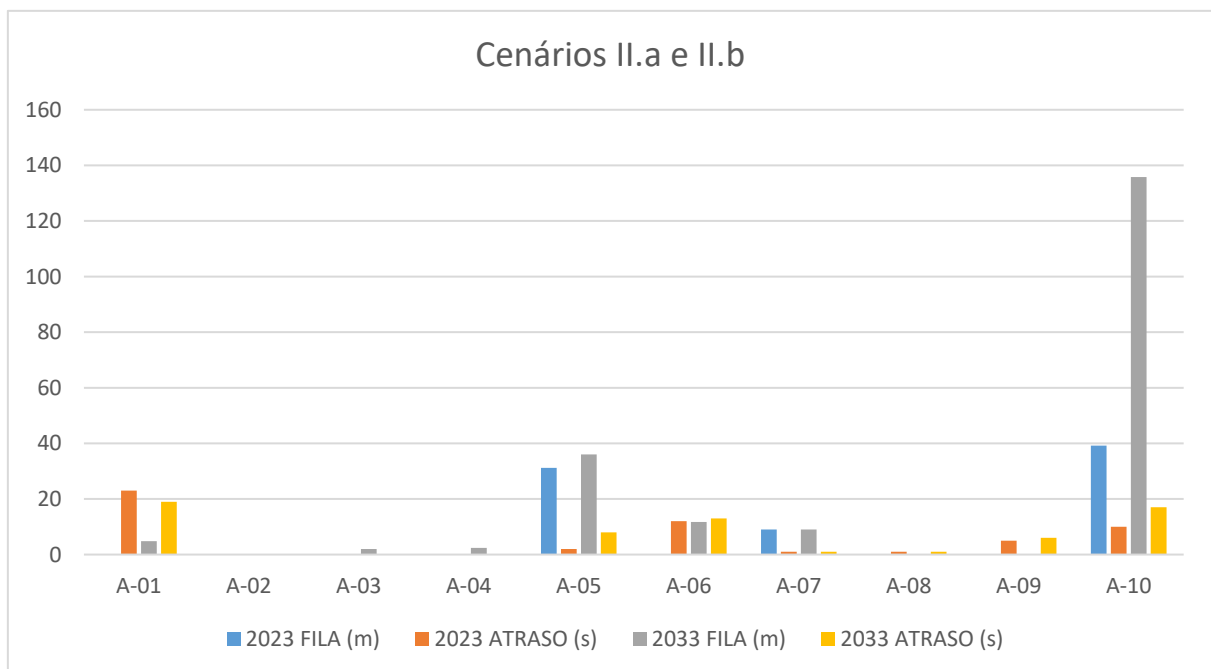
Aproximações A-04, A-05, A-07 e A-09: Essas aproximações apresentaram poucas alterações significativas entre os dois cenários, mantendo níveis de serviço semelhantes.

Aproximações A-06 e A-08: Houve um aumento considerável na fila e no atraso nessas aproximações entre 2023 e 2033.

Esses resultados mostram que a interseção existente não suporta a demanda atual de tráfego, apresentando nível de serviço F em três, das nove aproximações existentes. Observa-se ainda, que o quadro tende a piorar, com a projeção do tráfego para o ano de 2033, onde 6 aproximações passam a apresentar nível de serviço F.

Apartir das Tabelas 12 e 13, foi obtido o Gráfico 3, onde também são expressos os valores de filas e atrasos para os Cenários II.a e II.b.

Gráfico 2: Comparativo Entre Cenários II.a e II.b



Os resultados para o cenário II-a mostram que apenas as aproximações A-05 e A-10 apresentam filas, e o pior nível de serviço encontrado foi 'C' para a aproximação 01. Com a projeção do tráfego para o ano de projeto (2033) os resultados apresentados para o cenário II-b indicam que as aproximações A-01 e A-06 passam a apresentar pequenas formações de filas também, e a aproximação A-10 passa a operar com nível de serviço C.

Comparando-se as velocidades médias para cada seguimento origem/destino, entre os cenários 01-a e 02-a, observa-se uma melhora significativa na velocidade média. A tabela 16 apresenta a diferença da velocidade média em porcentagem para cada seguimento.

Tabela 16: Diferença das Velocidades Médias Por Segmento.

O/D	VEL. MÉDIA (Cenário I-a) km/h	VEL. MÉDIA (Cenário II-a) km/h	DIFERENÇA (%)
A-B	18,38	56,2	205,27%
D-B	10,66	49,27	361,89%
B-A	31,59	44,73	41,65%
D-A	3,21	50,59	1487,54%
C-A	41,26	58,26	41,14%
B-C	29,92	49,27	64,89%
B-D	13,74	48,7	254,52%
A-D	13,54	64,84	379,34%

Fonte: Autor, 2023.

Com base nas análises realizadas, observa-se que a interseção existente não possui capacidade para atender a demanda de tráfego atual. Isso resulta em longas filas de veículos e atrasos significativos, o que resulta em um nível de serviço classificado como F em três aproximações específicas. Essas aproximações correspondem aos fluxos de tráfego que se deslocam da SC-404 sentido bairro, SC-404 sentido av. Madre Benvenuta e av. Madre Benvenuta sentido SC-404, bem como no retorno da av. Madre Benvenuta.

A partir das constatações apresentadas, se conclui que a interseção proposta é uma solução viável e eficaz para melhorar a fluidez do tráfego e solucionar os problemas de congestionamento atuais na região. Os níveis de serviço satisfatórios tanto para a demanda de tráfego atual quanto para o ano de projeto indicam que a interseção é capaz de atender o volume de veículos esperado.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusões

O estudo realizado apresenta uma análise da eficácia da substituição de uma interseção semaforizada por uma interseção em níveis diferentes entre o cruzamento da Avenida Madre Benvenuta com a rodovia Admar Gonzaga.

Através dos estudos de tráfego realizados na interseção existente, observou-se que as vias apresentam uma elevada demanda de veículos, e a partir da projeção do volume de tráfego para o período de dez anos, a demanda tende a aumentar sensivelmente.

A partir dos indicadores de desempenho obtidos através da simulação de tráfego, foi constatado que a interseção semaforizada atualmente opera com nível de serviço F em três das nove aproximações analisadas, e nas demais aproximações apresenta elevadas filas e atrasos. Utilizando os volumes de tráfego projetados para o ano de projeto, a interseção apresenta uma piora significativa, onde o número de aproximações que operam com nível de serviço F sobe para seis.

Em contrapartida os indicadores de desempenho obtidos para a interseção em níveis diferentes mostram que a interseção possui capacidade de suporte para a demanda de tráfego atual e para o ano de projeto, com níveis de serviço variando entre A e C para ambas as situações.

Foram analisados também a velocidade média entre os trechos gerados a partir da matriz origem/destino para a interseção atual e para a interseção em níveis diferentes, utilizando a demanda de tráfego atual. Os resultados mostram que a velocidade média para o primeiro caso varia entre 3,2 e 41,3 km/h para o primeiro caso, já para o segundo caso fica entre 44,7 e 64,8 km/h. Esses resultados complementam a hipótese de ineficiência da interseção atual, e a eficácia de sua substituição pela interseção proposta.

Com base nestas análises pode-se concluir que a interseção proposta tem o potencial de melhorar significativamente a situação do tráfego na região, mostrando-se uma alternativa viável em termos de desempenho operacional para resolver os atuais problemas de congestionamento.

Por fim, foi possível concluir também que o simulador de tráfego do InfraWorks é uma ferramenta prática e eficiente para analisar o comportamento do tráfego diante de distintas propostas de arranjo geométrico de uma malha viária, a partir do momento que esta é modelada corretamente no ambiente de simulação.

## **5.2 Recomendações Para Trabalhos Futuros**

1. Comparar os resultados obtidos através do simulador de tráfego do InfraWorks com outro Simulador;
2. Considerar o deslocamento e tráfego de pedestres na simulação de tráfego.
3. Analisar se a estrutura proposta não está superdimensionada para os volumes de tráfegos previstos.
4. Realizar um estudo de outras possibilidades de interseção possíveis de ser adotadas para o caso, considerando a viabilidade econômica.
5. Realizar uma análise da malha viária em maior escala, a fim de se observar se outras estruturas existentes afetam a trafegabilidade da região.

## REFERÊNCIAS

Bezerra, Barbara Stolte. **Metodologia Para Cálculo do Nível de Serviço de Rodovias**. [Material de apoio à disciplina de engenharia de tráfego, lecionada na UNESP]. Disponível em: <<https://pessoas.feb.unesp.br/barbara/files/2012/08/hcm-2010-manual-versao3.pdf>> Acesso em 17 de nov. de 2022.

Cohen, S. C.; Costa, R. G.-R., Silva, C. G. T. da. (2013). **A Origem do Caos – a crise de mobilidade no Rio de Janeiro e a ameaça à saúde urbana**. Cadernos Metr pole, 15(30), 411–431. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2013-3003>

Companhia de Engenharia de Tráfego, CET. **Boletim Técnico 05 – Noções Básicas de Engenharia de Tráfego**. São Paulo, SP, Brasil, 1977.

Companhia de Engenharia de Tráfego, CET. **Manual de Sinalização Urbana - Volume 6: Sinalização Semafórica**. São Paulo: CET-SP, 2014. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/1178991/MSUVol06-Partell-Semaforica-Rev02.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

Consórcio PROSUL - SCETAUROUTE. **Plano Diretor Rodoviário para o Estado de Santa Catarina** Volume III.2 - A Malha Rodoviária Atual do PDR/SC. Florianópolis, SC, Brasil, 2008. Disponível em: <[https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/plano-rodoviario/Volume\\_III.2\\_A\\_Malha\\_Rodoviaria\\_Atual\\_do\\_PDRSC.pdf](https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/plano-rodoviario/Volume_III.2_A_Malha_Rodoviaria_Atual_do_PDRSC.pdf)> Acesso dia 13 de out. de 2022.

Consórcio PROSUL - SCETAUROUTE. **Plano Diretor Rodoviário para o Estado de Santa Catarina** Volume III.4 - A Malha Rodoviária Futura. Florianópolis, SC, Brasil, 2008. Disponível em: <[https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/plano-rodoviario/Volume\\_III.4\\_A\\_Malha\\_Rodoviaria\\_Futura.pdf](https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/plano-rodoviario/Volume_III.4_A_Malha_Rodoviaria_Futura.pdf)> Acesso dia 13 de out. de 2022.

Demarchi, S. H; Setti, J. R. **Determinação da Capacidade e Nível de Serviço em Interseções Rodoviárias** Através de Simulação. **Transportes**, v.5, n.2, seção Artigos. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/280>> Acesso em: 17 de nov. de 2022.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Manual de Estudo de Tráfego**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Manual de projeto de interseções**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2005.

Dépiné, Ágatha. **Mobilidade em Florianópolis**: em direção à ressignificação das ruas. Via Estação Conhecimento. 29 de Jul. de 2020. Disponível em: <<https://via.ufsc.br/mobilidade-florianopolis/>>. Acesso em 15 de jul. de 2022.

DETRAN Santa Catarina. **Histórico de Frota**. Disponível em: <https://www.detran.sc.gov.br/transparencia/estatisticas/historico-de-frota/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

Dutra, Cristiane Biazzono. **Avaliação da Eficiência de Métodos de Coordenação Semafórica em Vias Arteriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, Departamento de Transportes. São Carlos, 2014. Disponível em: < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-29112006-110048/publico/DissertCristianeBDutra.pdf> >

Farias, Júlio César. **O que é o InfraWorks?** SPBIM, 2019. Disponível em: <<https://spbim.com.br/o-que-e-o-infracworks/>> Acesso em: 01/12/2022

Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC). **Investimentos na infraestrutura de SC estão aquém do crescimento da economia**. Disponível em: <https://fiesc.com.br/pt-br/imprensa/investimentos-na-infraestrutura-de-sc-estao-aquem-do-crescimento-da-economia>. Acesso em: 17 fev. 2023.

Fernandes, Enio. **Capacidade e Nível de Serviço em Rodovias**. [Material de apoio à disciplina de engenharia de tráfego, lecionada na FATEC]. Disponível em:

Ferreira, José M. A. **Avaliação de Desempenho de Interseções Prioritárias**. 2013. 63f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2014.

FRATAR. **Estudo de Capacidade HCM**. Disponível em: <<https://www.fratar.com.br/servicos/estudos-de-trafego-e-transportes/microsimulacao-de-trafego/>> Acesso em: 16 de set. 2022.

Gomes, Giovane Zito. **Uso de microsimulação na avaliação da sustentabilidade de corredores rodoviários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-18022011-093705/publico/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 27 de nov. de 2022.

Lopes, Breno Castro; Giuberti, Heitor. **Aplicação das técnicas de engenharia de tráfego para análise e melhoria de uma interseção semaforizada**. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia de Produção, Vitória, 2011. Disponível em: [https://producao.ufes.br/sites/producao.ufes.br/files/field/anexo/2011\\_aplicacao\\_das\\_tecnicas\\_de\\_engenharia\\_de\\_trafego\\_para\\_analise\\_e\\_melhoria\\_de\\_uma\\_intersecao\\_semaforizada\\_-2011\\_3.pdf](https://producao.ufes.br/sites/producao.ufes.br/files/field/anexo/2011_aplicacao_das_tecnicas_de_engenharia_de_trafego_para_analise_e_melhoria_de_uma_intersecao_semaforizada_-2011_3.pdf). Acesso em: 16 de abr. 2023.

Rocha, R; Souza, M. **Florianópolis e o Desafio de Tirar Carros das Ruas**. Mobilize Brasil, 27 de abr. de 2022. Disponível em: <<https://www.mobilize.org.br/noticias/13134/florianopolis-e-o-desafio-de-tirar-carros-das-ruas.html>> Acesso em: 14 de jul. de 2022.

Transportation Research Board – TRB. **Highway Capacity Manual** 2010. Washington, D.C, 2010

Vilarinho, Cristina Alexandra Teixeira. **Calibração de Modelos Microscópicos de Simulação de Tráfego em Redes Urbanas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Porto, Porto, Portugal, 2008. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60070/1/000129417.pdf>> Acesso em 17 de nov. de 2022.