ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO SEMAFÓRICA EM UMA INTERSEÇÃO DE FLORIANÓPOLIS[1]

Felipe Ramos de Oliveira[2]
Fernanda Soares de Souza Oliveira (orientadora)[3]

RESUMO

Florianópolis é a capital de Santa Catarina, que no ano de 2010 obteve o 3º maior IDH das cidades brasileiras, entretanto em 2019 um estudo apontou como a cidade que possui a pior mobilidade urbana. Dentro deste contexto, este artigo propôs a analisar a implementação de semáforos em uma interseção da cidade. Para isto foi feita uma pesquisa bibliográfica para entender os tipos de interseção e suas soluções e o dimensionamento de um semáforo. Posteriormente foi necessário compreender os tipos de modelos e os *softwares* de simulação, o que resultou na escolha do Infraworks. Para o desenvolvimento do artigo, foram comparados dois cenários, o Cenário 1 que considera a interseção atual e o Cenário 2, o qual controla a interseção por meio de semáforos, os quais apresentam baixo custo de implementação e manutenção, e com uma faixa de retenção para a conversão. A análise foi feita com base em 3 indicadores, o tempo médio de cada via, o atraso e a fila máxima. A interseção escolhida é a Avenida das Rendeiras com a Rua Vereador Osni Ortiga, situada na Lagoa da Conceição em Florianópolis. O resultado mostrou um aumento destes indicadores na Avenida das Rendeiras, que não houve grande impacto, mas com redução significativa na Rua Vereador Osni Ortiga, o que mostra que a implementação do semáforo pode ser uma solução a ser adotada. Por fim, as autoridades locais devem observar e desenvolver estudos como este, para tentar resolver os problemas de mobilidade urbana de suas cidades.
Palavras-chave: Infraworks; Interseção; Semáforo; *Traffic Analyst*; Simulação;

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana pode ser definida como um atributo relacionado aos deslocamentos realizados pela população nas suas atividades, entre elas, estudos, trabalho e lazer. Estes deslocamentos podem ser feitos de diversas formas, como caminhar, usando automóveis particulares, coletivos, bicicletas, entre outros. O bom planejamento e gestão destes meios de transporte,

[1] Artigo Apresentado à Faculdade Unisociesc, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, em 2021.
[2] Graduando em Engenharia Civil. – E-mail: felipe_wasem@hotmail.com
[3] Professora orientadora. Mestre. Docente na Faculdade Unisociesc. E-mail: Fernanda.s.oliveira@animaeducacao.com.br

impacta positivamente na qualidade de vida da população (MAGAGNIN E SILVA, 2008).

O impacto da mobilidade urbana no dia a dia é significante. Segundo Magagnin e Silva (2008), o crescimento das cidades influencia e é influenciado pelos meios de transportes disponíveis à sua população. “Devido à falta de planejamento no Brasil a partir da década de 1960, passaram a apresentar sistemas de mobilidade de baixa qualidade e com impactos negativos na vida das pessoas e nos custos econômicos e ambientais” (VASCONCELLOS, CARVALHO E PEREIRA, 2011). Costa (2008), aponta que os problemas relacionados com a mobilidade urbana envolvem questões ambientais, econômicas, sociais e comportamentais, aspectos que estão associados ao planejamento físico das cidades.

A cidade de Florianópolis, localizada no estado de Santa Catarina, possui um grande apelo turístico, além de ser considerada umas das melhores cidades brasileiras para se viver, possuindo o terceiro maior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) no ano de 2010 (PNUD, 2010). Com base no último censo demográfico realizado também em 2010, a população era de 421.240 habitantes, e com uma expectativa que em 2020 a cidade atinja a marca de 508.826 habitantes (IBGE, 2020).

Em 2019 uma pesquisa realizada pelas as universidades Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFGRS), Universidade de Brasília (UnB) e a Oxford Brookes University, da Inglaterra, apontaram Florianópolis como a pior mobilidade urbana do Brasil (CAROLINA BAHIA, 2019).

Segundo Setti (2002) *apud* Nibon *et al.* (2019), as interseções são consideradas como pontos críticos do sistema viário, já que são locais suscetíveis a congestionamentos, podendo prejudicar o funcionamento do sistema como um todo. É apontado por Paravisi, Musse e Bicho (2006), que as interseções “são os locais com maior risco de acidentes, por serem disputados como “recursos” pelos motoristas”.

Para realizar o gerenciamento das interseções, pode ser implementado um sistema de rotatória, o qual envolve a alteração geométrica do cruzamento, ou então o uso de semáforos (PARAVISI, MUSSE E BICHO, 2006). A última alternativa é o tema deste trabalho, já que segundo Bértoli (2019) a sinalização

luminosa é uma alternativa de eficaz e de baixo custo de manutenção e instalação, quando comparado com as alterações geométricas no traçado.

Diante deste contexto, este artigo apresenta um estudo de simulação de semáforos em uma interseção de Florianópolis, visando reduzir os congestionamentos. Desta forma, a relevância deste artigo se justifica devido à importância do tema mobilidade urbana, sendo necessária a implementação de soluções eficazes para resolver os congestionamentos de tráfego. As contribuições que este artigo expõe, envolvem de forma teórica e a prática sobre este assunto, resultando em contribuições tanto para a academia quanto para a população como um todo.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente artigo tem como objetivo geral analisar a simulação de semáforos em uma interseção de Florianópolis.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral desta pesquisa, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Entender os elementos utilizados no sistema viário, em especial nas interseções;
- Compreender o dimensionamento de semáforos; e,
- Assimilar o *software* de simulação de tráfego.

2 METODOLOGIA

Neste artigo foi adotada a metodologia de pesquisa bibliográfica, com abordagem qualitativa e de natureza aplicada, de forma a adquirir conhecimento e familiaridade com o problema apresentado.

Pesquisa bibliográfica ou revisão bibliográfica se trata de um levantamento de fontes teóricas já publicadas (livros, artigos científicos, teses, monografias, normas, etc.) com o objetivo de elaborar o contexto da pesquisa e disponibilizar o embasamento teórico para a mesma. (PRODANOV; FREITAS, 2013)

Segundo Prodanov e Freitas (2013), abordagem qualitativa se trata de realizar a coleta de dados diretamente do ambiente natural. Através desta mesma abordagem e utilizando da pesquisa bibliográfica, será possível tomar conhecimento do processo que envolve o dimensionamento dos semáforos e o uso do simulador de tráfego.

A pesquisa aplicada é um tipo de pesquisa que tem por objetivo gerar conhecimento para aplicação prática de soluções de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais. (PRODANOV; FREITAS, 2013)

3 REVISÃO DA LITERATURA

Esta revisão de literatura aborda os conceitos e classificação das interseções, o dimensionamento de semáforos e os tipos de simulação de tráfego.

3.1 INTERSEÇÕES E SEUS ELEMENTOS

A interseção é definida como uma “confluência, entroncamento ou cruzamento de duas ou mais vias”, a qual pode ser classificada em interseções em nível e em desnível. A primeira, trata dos cruzamentos das correntes de tráfego no mesmo plano. Já a interseção com desnível, também conhecida como interconexão, os cruzamentos das correntes são em planos diferentes (DNIT, 2005).

3.1.1 Número de ramos de interseção

O número de ramos trata da quantidade de aproximações, podendo ter três ramos ou em “T”, quatro ramos ou ramos múltiplos quando tiver cinco ou mais ramos (DNIT, 2005). As aproximações são os trechos da via em que os veículos chegam nas interseções. (CONTRAN, 2014)

3.1.2 Controle de sinalização

A sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária que através de indicações luminosas que são acionadas de forma alternada ou intermitente, com a finalidade de transmitir mensagens aos usuários da via quanto ao direito de passagem em interseções e/ou seções da via. Normalmente são empregados onde o espaço viário possui movimentos

conflitantes, ou então para advertir os usuários sobre situações que podem comprometer a sua segurança. (CONTRAN, 2014)

Quando não houver sinalização semafórica, deve-se utilizar as sinalizações vertical e horizontal. A sinalização vertical é aquela que transmite mensagens para os condutores através símbolos e/ou legendas posicionados verticalmente ao lado da pista ou suspensas (CONTRAN, 2006). A sinalização horizontal tem por objetivo informar os condutores e pedestres sem tirar a atenção da via, utilizando-se marcas, legendas e símbolos sobre o pavimento. (CONTRAN, 2007)

Por fim, os tipos de soluções adotadas, podendo ser mínima, gota, canalizada, rotatória ou rotatória canalizada, conforme descrito no tópico abaixo.

3.1.3 Tipos de soluções adotadas

a) **Mínima:** é aquela que não possui nenhum tipo de controle ou alteração geométrica, conforme é mostrado na Figura 1. Esta solução é aplicável onde o volume de tráfego total na via principal seja inferior a 300 Unidade de Carro de Passeio (UCP) e o da via secundária, inferior a 50 UCP. (DNIT, 2005)

Figura 1: Solução Mínima.

Fonte: Google Maps (2020), adaptado pelo autor.

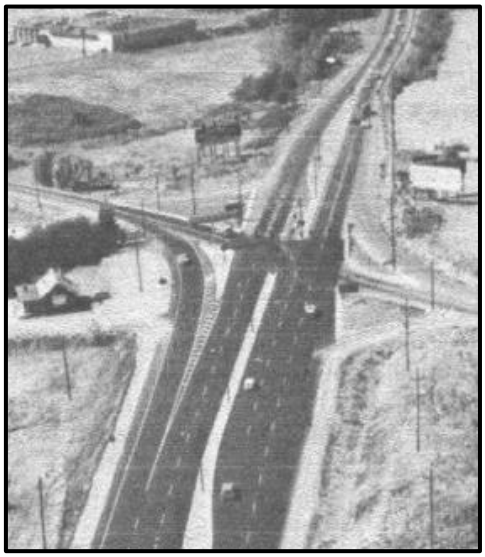
b) **Gota:** Solução a qual direciona o tráfego como uma “gota” para a via secundária, de forma que gira os veículos para realizar a conversão a esquerda, conforme Figura 2. Este tipo ajuda a controlar o fluxo de tráfego, as condições de visibilidade, podendo ajudar na travessia de pedestres, sendo indicada em rodovias rurais e urbanas. (DNIT, 2005)

Figura 2: Tipo Gota.

Fonte: DNIT (2005), adaptado pelo autor.

c) **Canalizada:** Solução em que os movimentos têm suas trajetórias definidas com o objetivo de minimizar os conflitos, como pode ser visto na Figura 3. A canalização reduz o risco de colisão traseiras e facilita a circulação do tráfego na via principal, também sendo indicada em vias urbanas e rurais. (DNIT, 2005)

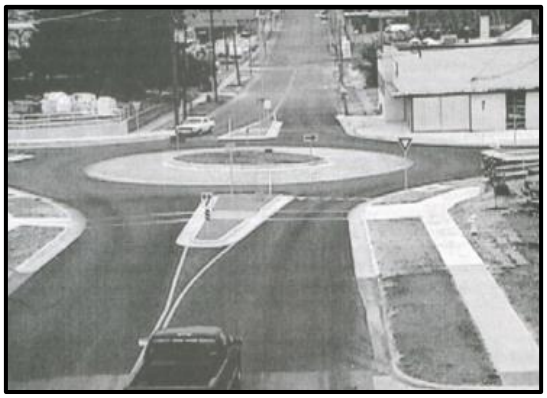
Figura 3: Canalizada.



Fonte: DNIT (2005), adaptado pelo autor.

d) **Rotatória (Rótula):** É uma solução a qual o tráfego circula em um único sentido ao redor de elemento central (DNIT, 2005), conforme mostra a Figura 4. As rotatórias são vantajosas em interseções com quatro ou mais ramos, porém também são utilizadas com três ramos, apresentam uma capacidade de tráfego maior que as soluções anteriores, tornando o sistema mais eficaz, já que reduzem os conflitos dos veículos.

Figura 4: Rotatória.



Fonte: DNIT (2005), adaptado pelo autor.

e) **Rótula vazada:** Esta solução é análoga a rotatória, mas com uma diferença, que é as vias principais atravessa o elemento central (DNIT, 2005). Como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5: Rótula vazada.

Fonte: DNIT (2005), adaptado pelo autor.

Em casos onde a interseção é controlada por sinalização semafórica, ou pretende-se implementar este tipo de sinalização, necessita-se dimensionar os

semáforos. Desta forma, o tópico abaixo pretende expor alguns conceitos e as formulas para realizar tal dimensionamento.

3.2 SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA

3.2.1 Elementos básicos

Neste parágrafo são apresentados os principais elementos básicos que envolvem a programação semafórica e seus conceitos segundo o DENATRAN (2014).

a) **Aproximação:** É o local que antecede a interseção/cruzamento;
b) **Grupo de movimentos:** É o conjunto de movimentos de uma mesma aproximação que possuem o direito de passagem simultaneamente;
c) **Grupo de semáforos:** É o grupo focal com a mesma indicação luminosa e que controla o grupo de movimentos;
d) **Estágio:** É o intervalo de tempo em que grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem, sendo composto pelo tempo de verde e entreverdes;
e) **Entreverdes:** É o intervalo entre o final de verde de um estágio e o início de verde do próximo estágio;
f) **Vermelho geral:** No caso de veículos, é o intervalo entre o final do amarelo e para pedestres o final do vermelho intermitente, e se estende até o início de verde do próximo estágio;
g) **Ciclo:** É a sequência completa dos estágios;
h) **Intervalo luminoso:** É o período em que a configuração luminosa do semáforo não se altera;
i) **Diagrama de estágios:** É a representação dos movimentos que podem ser realizados em cada estágio do ciclo;
j) **Diagrama de barras:** É a representação gráfica de como funcionará o grupo de semáforos em forma de barras, contendo a duração e a sequência de intervalos de cada estágio, fazendo a associação com o mesmo.

3.2.2 Dimensionamento do semáforo

Após a coleta dos dados do trânsito, inicia-se o dimensionamento dos semáforos, que para este trabalho, foi utilizado a metodologia apresentada pelo CONTRAN.

3.2.2.1 Volume de tráfego Equivalente

Os veículos possuem diferentes características e funções, por conta disto é necessário uniformizar todos os veículos que trafegam na via. A equivalência é tomada como base os automóveis, o qual seu fator de equivalência é de 1,0 ucp (Unidades de Carros de Passeio), conforme o Quadro 1. (CONTRAN, 2014)

Quadro 1: Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos.

TIPO	FATOR DE EQUIVALÊNCIA
Automóvel	1,00
Moto	0,33
Ônibus	2,00
Caminhão (2 eixos)	2,00
Caminhão (3 eixos)	3,00

Fonte: CONTRAN (2014).

O Quadro acima mostra os fatores de equivalência que o CONTRAN adota para cada tipo de veículo.

3.2.2.2 Fluxo de saturação

O fluxo de saturação é determinado pelo CONTRAN (2014) como um grupo de movimentos que corresponde ao número máximo de veículos numa aproximação semaforizada, considerando a indicação de verde durante uma hora inteira.

Entre os fatores que afetam o fluxo de saturação, considera-se as condições da via, que envolvem a topografia, geometria, número e largura das faixas e o estado dos pavimentos, além da quantidade e características dos

veículos, e eventuais interferências como pontos de ônibus e estacionamentos. CONTRAN (2014).

3.2.2.3 Tempo perdido total

O tempo perdido total, que também é chamado por tempo perdido de um ciclo, é a parte do ciclo o qual não é utilizada pelos veículos, podendo ter duas causas: a **existência de estágio de pedestres**, que é o estágio onde a passagem de veículos é interrompida para o tráfego de pedestres, e a **alternância de passagem entre as correntes de tráfego**, que ocorre em toda troca de estágio, de forma que não tenha veículos na interseção durante a troca do direito de passagem, garantindo assim a segurança dos condutores (CONTRAN, 2014). A (Equação 1) permite calcular o tempo perdido de um ciclo.

$$T_p = T_{ep} + \sum_{i=1}^{n} \left(t_{pin_i} + t_{pfn_i} \right) \qquad \text{(Equação 1)}$$

Em que:

T_p – Tempo perdido total, em segundos;

t_{ep} – Tempo de estágio exclusivo para pedestres, em segundos;

n – Número de estágios veiculares existentes;

t_{pini} – Tempo perdido no início do estágio i, em segundos;

t_{pfni} – Tempo perdido no final do estágio i, em segundos;

3.2.2.4 Taxa de ocupação

A taxa de ocupação, como próprio nome já diz, é a taxa de ocupação que um grupo de movimentos possuí. Conforme é observado na (Equação 2). CONTRAN (2014)

$$y = \frac{F}{FS} \qquad \text{(Equação 2)}$$

Em que:

y – Taxa de ocupação;

F – Taxa de fluxo do grupo de movimentos, em ucp/h;

FS – Fluxo de saturação do grupo de movimentos, em ucp/h;

3.2.2.5 Grupo de movimentos críticos

O grupo de movimentos críticos é definido por CONTRAN (2014), sendo “o grupo que apresenta a maior taxa de ocupação dentre os que recebem o verde nesse estágio”, e é através deste item que é calculado o tempo de ciclo e o tempo de verde.

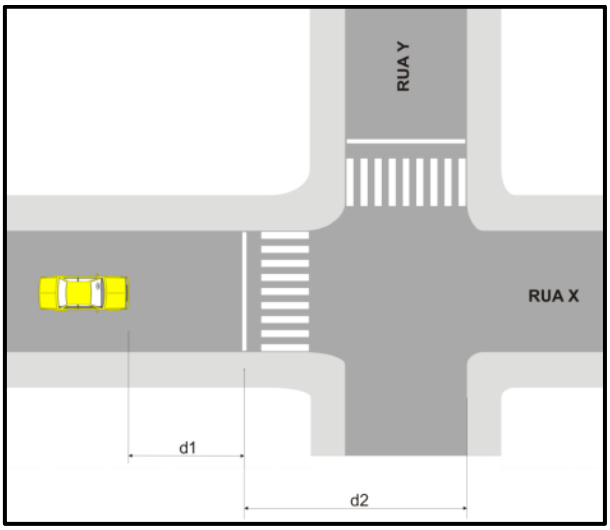
3.2.2.6 Entreverdes

O entreverdes é a parte do estágio que ocorre após o intervalo de verde, sendo composto pelo intervalo amarelo e o vermelho geral, que tem por objetivo evitar acidentes e alterar o direito de passagem. (CONTRAN, 2014)

3.2.2.6.1 Entreverdes para os veículos

Segundo CONTRAN (2014), o entreverdes para os veículos deve assegurar a travessia por parte destes, de forma que, ao perceberem que estão perdendo o direito de passagem e se encontrem na linha de retenção, consigam seguir com segurança, já que a frenagem poderá comprometer a segurança. Conforme exposto na Figura 6, d_1 representa a distância até a linha de retenção, e d_2 área de conflito.

Figura 6: Distância percorrida pelos veículos na aproximação.



Fonte: CONTRAN, 2014.

Diante deste conceito, a (Equação 3 calcula o tempo de entreverdes para que a travessia seja realizada com segurança.

$$t_{ent} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm i \times g)} + \frac{d_2 + c}{v} \quad \text{(Equação 3)}$$

Em que:

t_{ent} – Tempo de entreverdes, em segundos;

t_{pr} – Tempo de percepção e reação do condutor, em segundos;

v – Velocidade do veículo, em m/s;

a_{ad} – Máxima taxa de frenagem admissível, em m/s²;

i – Inclinação da via na aproximação, em m/m, considerando "+" quando a rampa por ascendente e "-" quando for descendente;

g – Aceleração da gravidade (9,8 m/s²);

d_2 – Extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito, em metros;

c – Comprimento do veículo, em metros;

O tempo de amarelo é composto pelas duas primeiras parcelas do tempo entreverdes, conforme(Equação 4, enquanto o tempo de vermelho geral é composto pela última parcela, como está exposto na (Equação 5.

$$t_{am} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm i \times g)} \quad \text{(Equação 4)}$$

$$t_{vg} = t_{pr} + \frac{d_2 + c}{v} \quad \text{(Equação 5)}$$

CONTRAN (2014), define valores mínimos para o tempo de amarelo, de forma que garanta a segurança da via, conforme observado no Quadro 2. Entretanto, este tempo não poderá exceder 5s, nestas situações, o excedente é concedido como vermelho geral.

Quadro 2: Tempo de amarelo mínimo.

Velocidade máxima da via	Tempo de amarelo mínimo (s)
≤ 40 km/h	3,0
50 km/h ou 60 km/h	4,0
70 km/h	5,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Usualmente adota-se um valor de 1,0 segundo para o tempo de percepção, 3,0 m/s² para a taxa de frenagem e quando o fluxo for predominantemente constituído por automóveis, adota-se o comprimento do veículo de 5,0 metros. (CONTRAN, 2014).

3.2.2.6.2 Entreverdes para pedestres

O entreverdes para os pedestres são utilizados basicamente os mesmos intervalos que o entreverdes para veículos, a diferença que invés do sinal amarelo, ele é composto pelo vermelho intermitente, e este deve possuir tempo o suficiente para que o pedestre conclua a travessia com a velocidade normal de caminhada, garantindo a sua segurança (CONTRAN, 2014). A (Equação 6) demostra o cálculo do vermelho intermitente.

$$t_{ent} = t_{pr} + \frac{l}{v_p} \qquad \text{(Equação 6)}$$

Em que:

t_{ent} – Tempo do intervalo do vermelho intermitente, em segundos;
t_{pr} – Tempo de percepção e reação do pedestre, em segundos;
l – Extensão da travessia, em metros;
v_p – Velocidade do pedestre, em m/s.

Segundo CONTRAN (2014), usualmente é adotado o tempo de percepção e reação do pedestre sendo igual a 1,0 segundo e sua velocidade igual a 1,2 m/s.

3.2.2.7 Grau de saturação

O Grau de saturação indica a capacidade da aproximação para o atendimento do grupo de movimentos ou se a mesma está próxima da saturação, quanto maior a relação entre a taxa de fluxo do grupo de movimento e a capacidade, mais próximo da saturação a aproximação está (CONTRAN, 2014). Seguindo está lógica a (Equação 7), indica o grau de saturação.

$$x = \frac{F}{Cap} \qquad \text{(Equação 7)}$$

Em que:

x – Grau de saturação;

F – Taxa de fluxo do grupo de movimento, em ucp/h;
Cap – Capacidade, em ucp/h.

3.2.2.8 Tempo de ciclo pelo método de Webster

Segundo CONTRAN (2014), é o tempo necessário que seja cumprido o ciclo inteiro de uma sinalização semafórica, que é a soma de tempo de todos os estágios. Em situações comuns, o ciclo não deve ultrapassar 120 segundos, evitando tempos de espera muito longos.

O método de Webster, procura obter o ciclo ótimo, expresso na (Equação 8, de forma que o tempo de espera seja mínimo, partindo do pressuposto que ocorre chegadas aleatórias nas aproximações.

$$t_{co} = \frac{1{,}5 + T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^{n} y_i} \qquad \text{(Equação 8)}$$

Tal que:

T_{co} – Tempo de ciclo ótimo, em segundos;

T_p – Tempo perdido total, em segundos;

y_i – Taxa de ocupação do grupo de movimentos críticos do estágio i;

n – Número de estágios.

3.2.2.9 Tempo de verde

3.2.2.9.1 Efetivo

O tempo de verde efetivo corresponde ao tempo de verde que efetivamente é utilizado pelo grupo de movimento crítico, utilizando o valor do fluxo de saturação (CONTRAN, 2014). E é calculado através da (Equação 9.

$$t_{v,efet,i} = \left(t_c + T_p\right) \times \frac{y_i}{\sum_{i=1}^{n} y_i} \qquad \text{(Equação 9)}$$

Em que:

$t_{v,ef,i}$ – Tempo de verde efetivo do estágio i, em segundos;

t_c – Tempo do ciclo, em segundos;

t_p – Tempo perdido total, em segundos;

y_i – taxa de ocupação do grupo de movimentos críticos do estágio i;

n – número de estágios.

3.2.2.9.2 Real

Segundo CONTRAN (2014), o verde real é o tempo que o grupo focal permanece verde durante um ciclo. O mesmo faz uma relação com o verde efetivo, conforme mostra a (Equação 10. Para o estágio de pedestres, o tempo de verde efetivo é igual ao real, sendo adotado um valor mínimo de 4 segundos, entretanto, é recomendado 7 segundos.

$$t_{v,real} = t_{v,efet} - t_{ent} + t_{pin} + t_{pfn} \quad \text{(Equação 10)}$$

Tal que,

$t_{v,real}$ – Tempo de verde real, em segundos;

$t_{v,efet}$ – Tempo de verde efetivo, em segundos;

t_{ent} – Tempo de entreverdes, em segundos;

t_{pin} – Tempo perdido no início, em segundos;

t_{pfn} – Tempo perdido no final, em segundos;

3.2.2.10 Recalculo da programação

Em situações que o tempo de verde for inferior ao verde de segurança, que varia entre 10 e 20 segundos, é necessário o recalculo da programação de tal forma que esta condição seja satisfeita. (CONTRAN, 2014)

Para que a condição seja satisfeita, a (Equação 8 deve ser reescrita conforme a (Equação 11, que combinada com a (Equação 10, formando a(Equação 12. Para obter as frações de verde, é necessário impor o grau de saturação desejado. Os tempos de verde das demais situações, é calculado conforme a (Equação 9. (CONTRAN, 2014)

$$t_c = t_c \times p_1 + t_c \times p_2 + \ldots + t_c \times p_i + \ldots + t_c \times p_n + T_p \quad \text{(Equação 11)}$$

$$t_c = t_c \times p_1 + \ldots + \left(t_{v,seg,j} + t_{ent,j} - t_{pin,j} - t_{pfn,j}\right) + \ldots + t_c \times p_n + T_p \qquad \text{(Equação 12)}$$

Tal que,

$t_{v,seg,j}$ – Tempo de verde igual o de segurança , em segundos.

3.3 TIPOS E CONCEITOS DE MODELOS DE SIMULADORES DE TRÂNSITO

O conceito de simulação mais aceito na atualidade é de que a "Simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador" (PRADO; YAMAGUCHI, 2019). Paravisi, Musse e Bicho (2006) apontam que basicamente existem três modelos de simuladores de trânsito, os Microscópicos, Macroscópicos e Mesoscópicos. Figueiredo *et al.*, (2014) *apud* Bértoli (2019) diz que "estes modelos tem a capacidade de representar a realidade com o maior número de detalhes em relação a escolha de rota, comportamento, infraestrutura, dinâmica dos veículos e demanda de tráfego."

Para Bértoli (2019), os modelos microscópicos são aqueles que cada usuário (pedestre, veículo, caminhão, etc) pode ser modelado individualmente, possuindo objetivos, características e propriedades próprias, e que interagem umas com as outras dentro de um sistema. Segundo Paravisi, Musse e Bicho (2006) este modelo trata dos deslocamentos dos veículos e suas interações, através dos métodos do *car-following* e troca de via.

A lógica do *car-following* é de um veículo sendo seguido por outro na mesma faixa, sem realizar ultrapassagem e em velocidade igual ou inferior ao veículo à frente. (PECKER *et al.*, 2002)

O comportamento do *car-following* descrito por Oliveira e Cybis (2008) trata da resposta às velocidades e distâncias que são percebidas pelos motoristas em relação aos outros veículos presentes na mesma faixa de rodagem, realizando uma classificação das reações de cada indivíduo.

O modelo macroscópico simula o fluxo do tráfego levando em consideração por exemplo, a velocidade, fluxo e a densidade de um conjunto de indivíduos (PARAVISI, MUSSE E BICHO, 2006). Para Bértoli (2019), os

modelos macroscópicos são aqueles que simulam o fluxo de tráfego levando em consideração velocidade, fluxo e densidade e as relações entre si.

O modelo mesoscópico é uma combinação dos modelos anteriores (PARAVISI, MUSSE E BICHO, 2006). A mesma lógica é seguida por Bértoli (2019), que diz que os modelos mesoscópicos combinam as propriedades dos modelos anteriores.

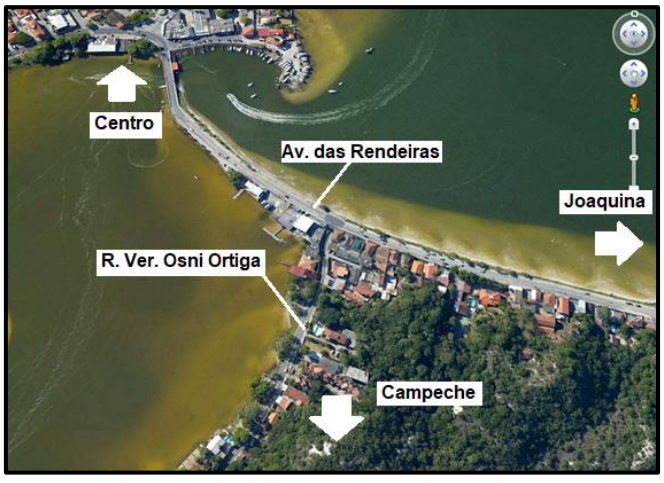
Para garantir a confiabilidade destes modelos, é necessário realizar o processo de calibração e validação. A calibração é definida sendo a estimação de parâmetros para os modelos reproduzirem o comportamento do motorista e/ou as características do fluxo de tráfego local. Já a validação é definida como “o processo de determinação da confiabilidade de um modelo”, aumentando a precisão, tornando-o uma representação da realidade (TREIBER; KESTING, 2013 *apud* FERT, 2017).

4 INTERSEÇÃO ESTUDADA

4.1 CARACTERIZAÇÃO

A Lagoa da Conceição é um dos pontos turísticos de Florianópolis, seja pela vida noturna, ou servir de acesso entre o Centro e as praias do Leste da ilha (Joaquina, Mole, e Barra da Lagoa), além de conectar estas regiões com o Sul da ilha. Um dos pontos que geram o congestionamento na Lagoa da Conceição é a Avenida das Rendeiras com a Rua Vereador Osni Ortiga (Figura 7).

Figura 7: Vista aérea da interseção estudada.



Fonte: Google Earth Pro (2021).

A atualmente a interseção possuí 3 ramos, com uma geometria de solução mínima e sem controle de semáforos, sendo controlada apenas por placas verticais, podendo ser observado pelas Figura 8 e Figura 9.

Figura 8: Interseção Avenida das rendeiras com a Rua Vereador Osni Ortiga.

Fonte: Autor (2021).

Figura 9: Interseção Rua Vereador Osni Ortiga com a Avenida das Rendeiras.

Fonte: Autor (2021).

A Avenida das Rendeiras é caracterizada sendo uma pista simples de pavimento intertravado, possuindo diversos bares, restaurantes e lojas no seu

entorno. A Rua Vereador Osni Ortiga faz a ligação entre o Centro e as praias do Leste com o Sul da ilha. Possui pista simples, com pavimento asfáltico e sem acostamento ou estacionamento.

Devido aos congestionamentos constantes formados na Rua Vereador Osni Ortiga, que é intensificado no verão por conta das praias e dos turistas, será desenvolvido um estudo o qual utiliza-se de um sistema de semáforos, seguindo as prescrições do CONTRAN, tendo como objetivo de avaliar se este tipo de controle minimizaria os congestionamentos da região.

4.2 DADOS DO TRÁFEGO

Esta etapa que antecede o dimensionamento dos semáforos, é através dela que se obtêm os dados necessário para realizar a programação. Conforme CONTRAN (2014), o volume de tráfego varia ao longo do tempo, tendo como variáveis a hora, o dia, o mês, ano e até as características da cidade e do local onde será contabilizado o volume. Para realizar o levantamento, será exposto os procedimentos recomendados e/ou utilizados por alguns autores e normas.

Segundo DNIT (2006), em seu manual de projeto de interseções, aponta que a contagem deve ser classificatória por tipo de veículo. A execução da contagem deve ser feita ao menos durante três dias, normalmente dias úteis, no horário em que provavelmente terá o maior fluxo de veículos. Além de ter amostragem de dois períodos diferentes, variando entre 2 e 4 horas cada, e sendo subdivida em intervalos de 15 minutos.

Para o CONTRAN (2014), que em seu Volume V trata do dimensionamento de semáforos, é recomendado que a contagem seja classificatória por tipo de veículos e o movimento produzido pelo mesmo. Sendo realizado, pelo menos, ao longo de um dia útil típico, e subdivido em intervalos de 15 minutos.

Como referência para trabalhos acadêmicos, foi selecionado alguns autores em que desenvolveram a coleta dados, afim de obter o volume de tráfego. O Quadro 3 mostra como foi feito o levantamento.

Quadro 3: Informações sobre a coleta de dados por diferentes autores.

Etapa metodológica	NIBON *et al*. (2019)	RIBEIRO *et al*. (2019)	Alves *et al.* (2018)	Lacerda e Neto (2014)	Oliveira e Cybis (2008)
Coleta de dados	Contagem Volumétrica de tráfego	Contagem Volumétrica de tráfego Dados operacionais das empresas de transporte coletivo Dados DENATRAN	Contagem Volumétrica de tráfego Dados operacionais das empresas de transporte coletivo	Contagem Volumétrica de tráfego Dados operacionais das empresas de transporte coletivo	Contagem Volumétrica de tráfego
Classificação	Transporte individual, coletivo e pedestres	Não separa	Automóveis, táxis, ônibus e caminhões	Não separa	Veículos leves, Caminhões, ônibus
Horário do levantamento	12:00 às 13:00	18:00 às 19:00	08:00 às 09:00	07:00 às 08:00	1:30h de duração
dia da semana	Quarta	Não especifica	Terça, quarta e quinta	Quarta	Não especifica

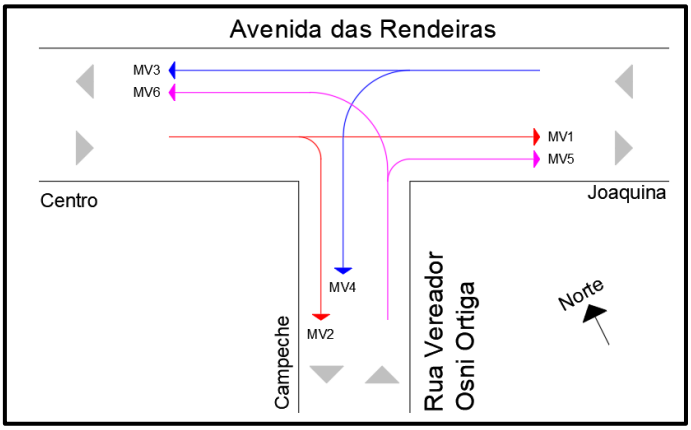
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com base no Quadro 3, foi possível analisar que predominantemente houve a classificação do tráfego em dois grupos envolvendo os automóveis e os ônibus. Além de realizar a contagem durante o período de uma hora, em uma quarta-feira. Diante desta análise, é possível associar o levantamento realizado por eles com as recomendações feitas pelo CONTRAN (2014).

Antecedendo a coletada de dados do volume de tráfego, foi classificado os veículos em automóveis, motos e ônibus/caminhões, tomando como base

as recomendações do DNIT (2006) e CONTRAN (2014). Além disto, foi elaborado o diagrama de movimentos que podem ser realizados na interseção (Figura 10). Onde o MV1 representa o movimento na Avenida das Rendeiras com origem do Centro e segue em direção a Joaquina, o MV2 também tem origem no Centro, entretanto realiza a conversão para a Rua Vereador Osni Ortiga. O MV4 e MV5 são os movimentos com origem na Avenida das Rendeiras oriundos da Joaquina ou outras praias do Leste da Ilha, tendo como destino o Centro e a Rua Vereador Osni Ortiga, respectivamente. O MV5 e MV6 tem como origem a Rua Vereador Osni Ortiga, e possuem como destino a Avenida das Rendeiras sentido Joaquina (MV5) e sentido Centro (MV6).

Figura 10: Diagrama de movimentos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para determinar o provável horário de pico, foi analisado através da ferramenta de trânsito do Google Maps os dias da semana e o horário que apresentavam as maiores filas. Desta forma, concluiu-se que a situação mais crítica ocorria na sexta-feira as entre as 16:30 e 17:30. Com base nesta informação, a coleta dos dados *in loco* foi realizada no dia 14 de maio de 2021, durante um período de uma hora, compreendidas entre às 16:35 e 17:35. Obtendo o levantamento visto no Quadro 4.

Quadro 4: Coleta dos dados.

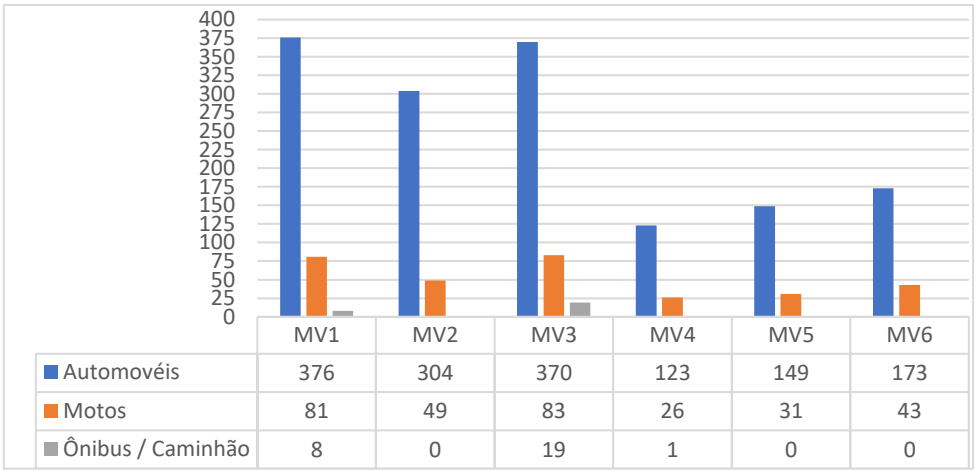
Data:	14/05/21	Divisão	Movimento					
Horário			MV1	MV2	MV3	MV4	MV5	MV6
Início:	16:35	Automovéis	115	67	86	33	42	37
Termino:	16:50	Motos	17	14	19	7	5	6
		Ônibus / Caminhão	1	0	9	0	0	0

Horário		Divisão	MV1	MV2	MV3	MV4	MV5	MV6
Início:	16:50	Automovéis	84	67	82	26	37	51
Termino:	17:05	Motos	17	11	20	9	8	15
		Ônibus / Caminhão	3	0	2	0	0	0
Início:	17:05	Automovéis	89	84	95	32	34	39
Termino:	17:20	Motos	24	12	20	3	7	11
		Ônibus / Caminhão	2	0	4	1	0	0
Início:	17:20	Automovéis	88	86	107	32	36	46
Termino:	17:35	Motos	23	12	24	7	11	11
		Ônibus / Caminhão	2	0	4	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com as informações obtidas do quadro acima, foi possível elaborar a Gráfico 1 que representa de forma resumida quantidade de veículos e sua classificação que passaram pela interseção durante esse período. Desta análise, verifica-se que há uma incidência maior de veículos tipo “automóveis”.

Gráfico 1: Quantidade de veículos que utilizaram a interseção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

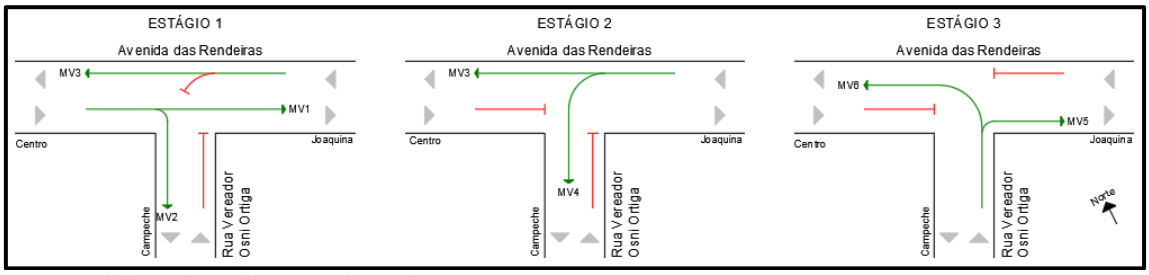
A próxima etapa aperfeiçoa os dados obtidos para o dimensionamento do semáforo.

4.3 DIMENSIONAMENTO DO SEMÁFORO

A primeira etapa do processo de dimensionamento do semáforo, consiste em analisar os movimentos conflitantes. Diante disto, o conflito

existente entre o MV1 e o MV4 e do MV5/MV6 com os movimentos MV1, MV3 e MV4, foi definido então que a programação dos semáforos deve ser dividida em três estágios, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11: Diagrama de estágios.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para o dimensionamento dos semáforos, foi coletado alguns dados no local, como o comprimento da área de conflito ($d_{2,2}$) e a inclinação da via (i) estimada utilizando as medidas de perfil coletadas do Google Earth. A velocidade da via (v) foi determinada de 60 km/h para a Avenida das Rendeiras, por ser classificada como via arterial, e a Rua Vereador Osni Ortiga de 40 km/h por ser via coletora. A distância $d_{2,1}$, considerou-se 4,0 metros de faixa de segurança e 2,0 metros da faixa de retenção. O comprimento dos veículos (c) por ser predominantemente constituído por automóveis, foi definido sendo 5,0 metros. Os demais dados foram recomendações do CONTRAN (2014), conforme mencionado no tópico 3.2.2.6.1. O Quadro 5 mostra a compilação desses dados.

Quadro 5: Dados complementares.

Localização	t_{pr} (s)	v (km/h)	a_{ad} (m/s²)	i (m/m)	$d_{2,1}$ (m)	$d_{2,2}$ (m)	c (m)
Avenida das Rendeiras sentido Joaquina	1,0	60	3,0	0,030	6,0	6,3	5,0
Avenida das Rendeiras sentido Centro	1,0	60	3,0	-0,030	6,0	6,3	5,0
Rua Vereador Osni Ortiga	1,0	40	3,0	-0,058	6,0	9,9	5,0

Legenda: t_{pr} - Tempo de percepção e reação do condutor, v - Velocidade do veículo, a_{ad} - Máxima taxa de frenagem admissível, i - Inclinação, $d_{2,1}$ e $d_{2,2}$ - Comprimento da área de conflito, c - Comprimento dos veículos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A próxima etapa envolve a determinação da taxa de ocupação e o grupo de movimentos crítico, para a taxa de ocupação foi definido um valor do fluxo de saturação, que conforme CONTRAN (2014), varia de acordo com as condições, do tráfego, do ambiente e da via, e que em geral esse valor varia entre 1600 e 2000 upc/h por faixa. Como o fluxo de saturação representa o número de veículos que podem passar pela interseção considerando uma hora de verde, foi adotado para a Rua Vereador Osni Ortiga um valor de 1600 upc/h, devido a visibilidade e por ser uma via coletora e um valor de 2000 para a Avenida das Rendeiras, por ser a via arterial. A formula é a (Equação 2, para calcular a taxa de ocupação foi descrita no tópico 3.2.2.2. Para determinar o grupo de movimentos crítico, deve ser analisado duas situações, já que o MV3 estará em verde nos estágios 1 e 2. A primeira situação envolve a soma das taxas de ocupação de todos os movimentos com exceção do MV3, e a segunda é a soma das taxas de ocupação do MV3, MV5 e MV6, sendo utilizado o maior valor obtido entre as situação, que para esta interseção foi a situação 1. O Quadro 6 demonstra os resultados obtidos.

Quadro 6: Dimensionamento do grupo de movimentos críticos.

Grupo de movimentos	Movimentos	Taxa do fluxo de saturação (upc/h)	Fluxo de saturação (upc/h)	Taxa de ocupação (y)	Somatório das taxas de ocupação (Σy)
GM1	MV1	740	2000	0,37	0,65
	MV2				
GM2	MV3	436	2000	0,22	
GM3	MV4	134	2000	0,07	
GM4	MV5	348	1600	0,22	
	MV6				

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O dimensionamento exposto no Quadro 7, serve para determinar o tempo de entreverdes, utilizando as formulas de número (Equação 3(Equação 4 e(Equação 5. O tempo de amarelo mínimo é obtido de acordo com a velocidade da via, conforme o Quadro 2. A distância entre a linha de retenção e termino da área de conflito (d_2) trata-se a soma das parciais $d_{2,1}$ e $d_{2,2}$, presentes no Quadro 5.

Quadro 7: Dimensionamento do entreverdes.

Estágio	t_{am} (s)	$t_{am\ mín}$ (s)	$t_{am\ adot}$ (s)	d_2 (m)	t_{vg} (s)	t_{ent} (s)	$t_{ent\ adot}$ (s)
Estágio 1	3,5	4,0	4,0	12,3	1,0	5,0	5
Estágio 2	4,1	4,0	5,0	12,3	1,0	6,0	6
Estágio 3	3,3	3,0	4,0	15,9	1,9	5,9	6

Legenda: t_{am} - Tempo de amarelo, $t_{am\ mín}$ - Tempo de amarelo mínimo, $t_{am\ adot}$ - Tempo de amarelo adotado, d_2 - Comprimento da área de conflito, t_{vg} - Tempo de vermelho geral, t_{ent} - Tempo de entreverdes, $t_{ent\ adot}$ - Tempo de entreverdes adotado.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No dimensionamento do tempo perdido (t_p) considerou-se sendo igual ao tempo de entreverdes, já que interseção não conta com semáforos para obter o dado em campo. Os resultados são apresentados no Quadro 8, onde demonstra os tempos perdido, ciclo ótimo, verde efetivo, verde real e o verde se segurança, obtendo no final um tempo de ciclo (t_c) de 90s, sendo inferior ao máximo recomendado de 120s. Entretanto, para o estágio 2, o tempo de verde real foi inferior ao tempo de verde de segurança, o que implica recalcular os tempos de verde em cada estágio.

Quadro 8: Dimensionamento do tempo de ciclo.

Estágio	Tempo perdido (t_p) (s)	Tempo de ciclo ótimo (t_{co}) (s)	Tempo de verde efetivo ($t_{v,efet,i}$) (s)	Tempo de verde real (tv real) (s)	Tempo de verde de segurança (tv seg) (s)	Tempo de ciclo (t_c) (s)
Estágio 1	17	89	41	41	10	90
Estágio 2		89	8	8	10	90
Estágio 3		89	24	24	10	90

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A reprogramação incluiu em fixar o tempo de verde no estágio 2 para 10s, e determinar o grau de saturação máximo (xm), que segundo CONTRAN (2014) é usualmente adotado valores entre 0,75 e 0,90, sendo que superiores a 0,90 podem levar a uma reserva de capacidade insuficiente e menores que 0,75 pode gerar tempos de ciclos elevados. Desta forma, foi adotado o valor de 0,80 para o estágio 2, já que é compreende os movimentos com maior número de veículos, e o valor de 0,85 para o estágio 3. Outro fator que levou a escolha destes valores, foi pelo fato de apresentarem diferença de ±1s em relação ao tempo de verde real calculado anteriormente. O Quadro 9 apresenta o recálculo dos tempos de verdes reais.

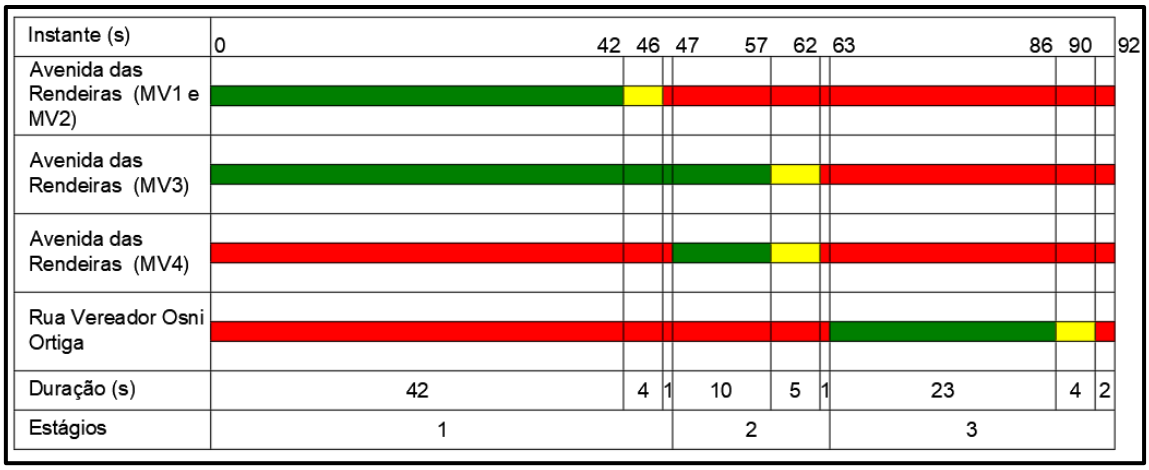
Quadro 9: Reprogramação dos semáforos.

Estágio	Grau de saturação máximo (xm)	Fração de verde (pi)	Tempo de ciclo (t_c)	Tempo de verde real ($t_{v\ real}$) (s)
Estágio 1	0,80	46%	92,00	42
Estágio 2	-	-		10
Estágio 3	0,85	26%		23

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após o dimensionamento dos semáforos, foi elaborado o diagrama de barras presentes na Figura 12. Neste diagrama consta os tempos de verde amarelo e vermelho de cada um dos estágios, e mostra como funcionará na pratica os semáforos.

Figura 12: Diagrama de barras.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com a obtenção do diagrama de barras, o tópico 4.4 apresentará a programação de dois cenários para então analisar a efetividade da implementação dos semáforos.

4.4 MODELAGEM

Antes de modelar, é necessário definir o *software* utilizado, dentre as opções existentes no mercado, optou-se por utilizar o Infraworks pertencente a Autodesk ®, que através do *Traffic Analyst Panel* (TAP) realiza as simulações de tráfego. A escolha do Infraworks se baseou devido a facilidade de manuseio, disponibilizar uma versão de testes, além permitir optar pela língua portuguesa. Outro fator, que é menos importante, mas é pertinente é próprio

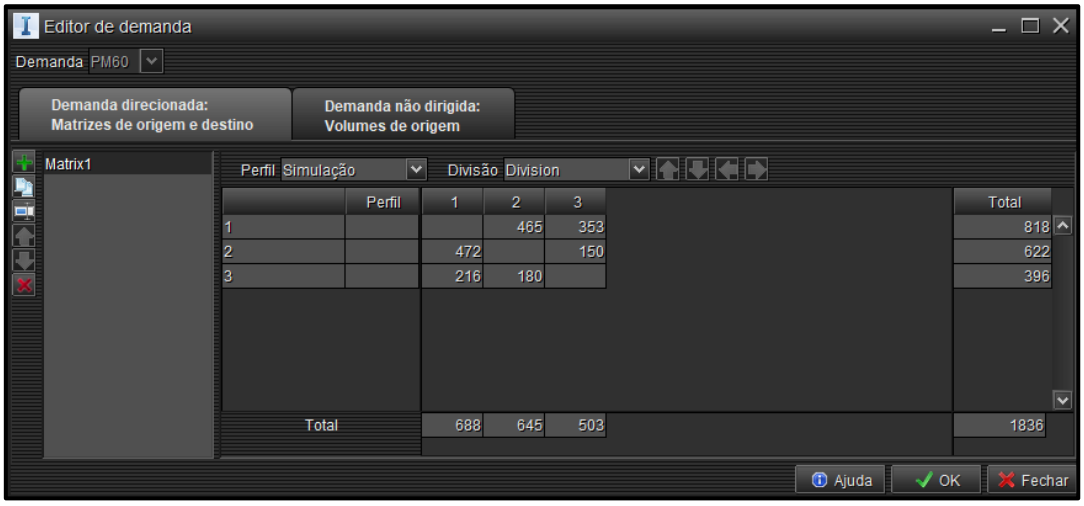
nome da empresa, que é conhecida por outros softwares utilizados na engenharia como o REVIT e o AutoCAD.

A modelagem foi feita para dois cenários, o primeiro consiste na solução atual, a qual não apresenta semáforos. O segundo foi implementado semáforo conforme dimensionado no tópico 4.3, além de adicionar uma faixa de retenção para os veículos que forem acessar a Rua Vereador Osni Ortiga, vindo da Avenida das Rendeiras sentido centro (MV4).

A seguir será descrito as etapas que envolveram a modelagem para os dois cenários:

1. Inicialmente foi necessário importar o mapa da região de estudo para o software. Então utilizou o site Earth Explorer para obter esse arquivo, que após ser importado, necessitou adicionar uma camada para visualizar o terreno.
2. O próximo passo envolveu a delimitação da área de estudo e a modelagem das vias que são estudadas, inserindo informações como velocidade máxima da via, largura e inclinação.
3. Ao delimitar a área de estudo, o *software* gerou três polos geradores de tráfego, sendo definidos como zonas. A zona 1 corresponde a Avenida das Rendeiras sentido Joaquina, zona 2 a Avenida das Rendeiras sentido Centro e a zona 3 que representa a Rua Vereador Osni Ortiga.
4. Desta etapa em diante, foi acessado o TAP para inserir as informações coletadas de frota e demanda. Sendo assim, a frota foi configurada para três tipos de veículos, representados por carro médio, caminhão e motocicletas.
5. Na sequência, foi inserido a porcentagem total de todos os movimentos de cada um dos veículos que passam na interseção, totalizando 81,5% automóveis, 17,0% motocicletas e 1,5% caminhões.
6. A última etapa do processo comum para os dois cenários consiste em montar a matriz de demandas, onde foi inserido a quantidade total de veículos destinada a cada uma das zonas, conforme Figura 13.

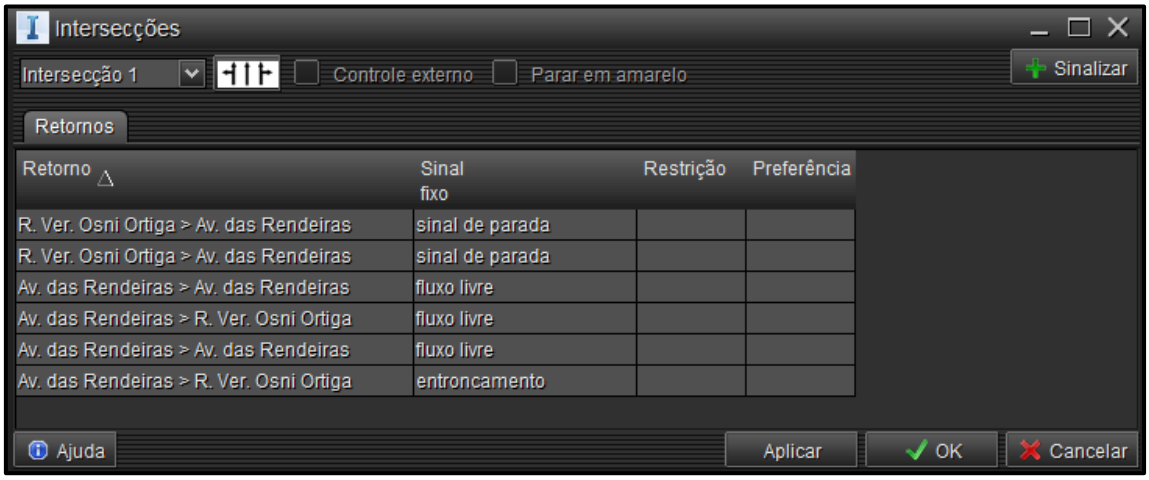
Figura 13: Editor de demanda.



Fonte: Infraworks, adaptado pelo autor (2021).

Além das etapas anteriores, para o cenário 1, necessitou-se apenas definir os direitos de passagem para cada um dos movimentos. Conforme consta a Figura 14. Segundo o próprio manual do usuário o entroncamento é destinado aonde o tráfego principal é na estrada principal, mas deve atravessar o fluxo oposto. (AUTODESK, 2014)

Figura 14: Configuração da interseção.



Fonte: Infraworks, adaptado pelo autor (2021).

Após rodar a simulação, o software entregou os resultados presentes na Figura 15 e na Figura 16.

Figura 15: Resultado do cenário 1 nas vias.

Nome	Pessoas	Veículos	Tempo médio	Fluxo médio	Velocidade média	Densidade média	Densidade
W1	0	308	00:00:38.603	615,9	52,2	6,7	10,7
E1	0	320	00:00:34.896	639,9	55,8	6,4	7,4
N1	0	324	00:00:19.928	647,9	55,0	3,7	9,8
S1	0	409	00:00:20.514	817,9	56,6	4,7	18,6
N2	0	184	00:02:58.240	367,9	8,0	20,9	65,9
S2	0	242	00:00:36.239	483,9	37,3	5,1	21,3

Fonte: Infraworks, adaptado pelo autor (2021).

Onde:

- W1 – Origem zona 2;
- E1 – Destino Zona 2;
- N1 – Destino Zona 1;
- S1 – Origem zona 1;
- N2 – Origem Zona 3;
- S2 – Destino Zona 3;

Figura 16: Resultado do cenário 1 na interseção.

Intersecção	Entry	Lo S	Atraso	Fila máxima ▽
0	W1	C	23,88	51,21
0	N2	F	147,86	212,75
0	S1	A	3,14	0,00

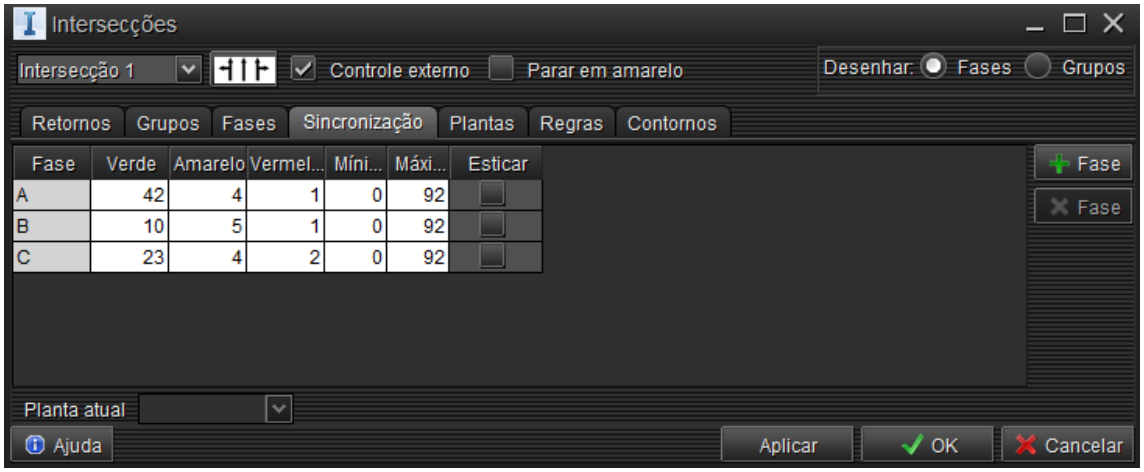
Fonte: Infraworks, adaptado pelo autor (2021).

Em que, W1 representa o MV5, N2 o MV6 e S1 os movimentos MV2 e MV4.

Atualmente a Avenida das Rendeiras possui uma faixa de rolamento de 9,20m, para o cenário 2, foi adicionado uma faixa de retenção na região da interseção com o objetivo de separar os movimentos MV3 e MV4. Segundo DNIT (2010), em vias arteriais a largura desejável da faixa varia entre 3,50m e 3,60m, porém, em algumas circunstancias como o uso do solo adjacente, pode-se adotar 3,30m. Desta forma, visando reduzir o avanço da avenida para a Lagoa da Conceição, foi adotado largura de 3,30m, totalizando uma faixa de rodagem de 9,90m, resultando num avanço de 0,70m.

A configuração do semáforo é dividida em três partes, a sincronização, os grupos e as divisões dos grupos. A sincronização é baseada no dimensionamento, conforme resume a Figura 12. A Figura 17 mostra como foi inserido estas informações, ressaltando que o *software* considera o “vermelho” sendo o vermelho geral.

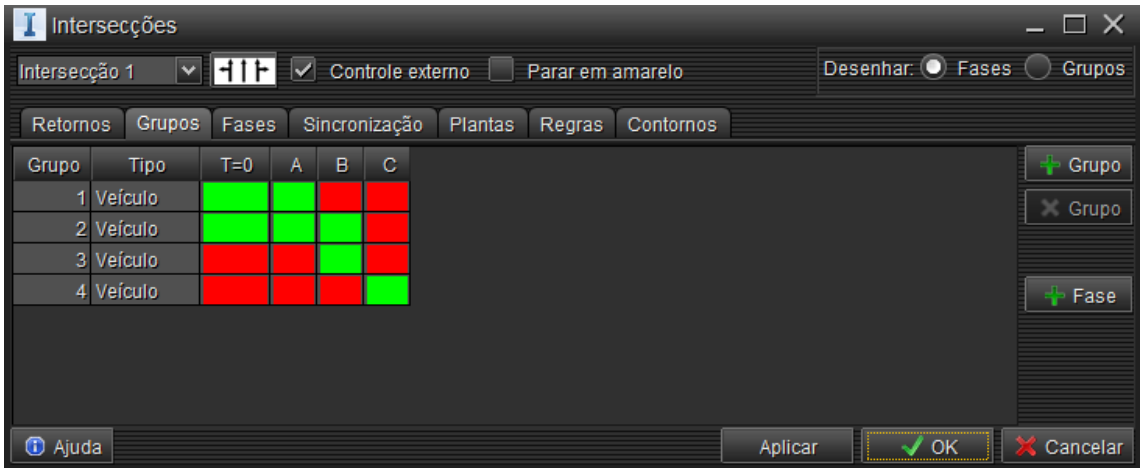
Figura 17: Sincronização do semáforo.



Fonte: Infraworks, adaptado pelo autor (2021).

A configuração dos grupos é para determinar quais grupos tem o direito de passagem em cada uma das fases, começando pelo tempo igual a 0s, conforme Figura 18.

Figura 18: Configuração dos grupos.



Fonte: Infraworks, adaptado pelo autor (2021).

E por fim, determina-se os grupos de direções para cada um dos movimentos, a divisão foi feita conforme o Quadro 6. As informações inseridas estão presentes na Figura 19.

Figura 19: Determinação do grupo de movimentos.

Fonte: Infraworks, adaptado pelo autor (2021).

Após a simulação com o semáforo, o software entregou os resultados presentes na Figura 20 e Figura 21. Cabe ressaltar que o software criou duas novas interseções, devido a faixa de retenção, que consequentemente gerou novas vias.

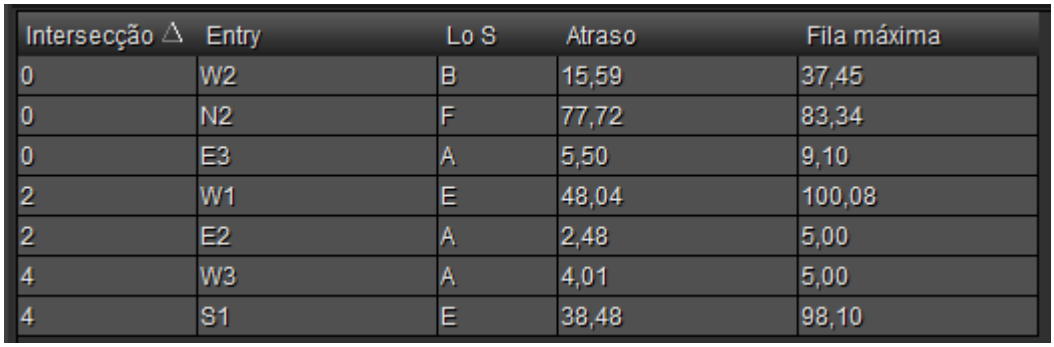
Figura 20: Resultado do cenário 2 nas vias.

Nome	Pessoas	Veículos	Tempo médio	Fluxo médio	Velocidade média	Densidade média	Densidade
N2	0	202	00:01:11.802	403,9	19,8	8,4	20,2
W1	0	308	00:00:45.269	615,9	42,0	7,9	11,4
S2	0	238	00:00:36.908	475,9	36,8	5,1	23,9
S1	0	409	00:00:34.908	817,9	31,5	8,1	19,7
E1	0	326	00:00:33.127	651,9	55,9	6,2	11,7
N1	0	336	00:00:19.469	671,9	53,8	3,8	
W2	0	305	00:00:15.012	609,9	7,0	2,6	102,1
E3	0	408	00:00:03.593	815,9	16,6	0,8	60,3
E2	0	332	00:00:02.324	663,9	41,8	0,4	
W3	0	336	00:00:01.552	671,9	33,7	0,3	

Fonte: Infraworks, adaptado pelo autor (2021).

Em que:

- N2 – Origem zona 3
- W1 – Origem zona 2
- S2 – Destino Zona 3
- S1 – Origem zona 1
- E1 – Destino Zona 2
- N1 – Destino Zona 1
- W2 – Origem zona 2 próximo a interseção
- E3 – Origem zona 1 próximo a interseção
- E2 – Destino zona 2 próximo a interseção
- W3 – Destino zona 1 próximo a interseção

Figura 21: Resultado do cenário 2 na interseção.

Intersecção △	Entry	Lo S	Atraso	Fila máxima
0	W2	B	15,59	37,45
0	N2	F	77,72	83,34
0	E3	A	5,50	9,10
2	W1	E	48,04	100,08
2	E2	A	2,48	5,00
4	W3	A	4,01	5,00
4	S1	E	38,48	98,10

Fonte: Infraworks, adaptado pelo autor (2021).

Em que,

- E3 e S1 – Origem zona 1
- W1 e W2 – Origem zona 2
- N2 – Origem zona 3

Para a avaliação dos resultados, foi tomado como base os valores sem semáforo, e considerou-se três indicadores, dois na interseção que é o atraso e a fila máxima, presentes no Quadro 10, e o terceiro é medido nas vias, conforme o Quadro 11, que foi o tempo médio para realizar o percurso em cada via. Devido ao aumento de vias e interseções resultantes da faixa de retenção, os resultados com semáforo foram somados uma ou mais vias/interseções que afetam o objeto de estudo.

Quadro 10: Resultados na interseção.

Atraso e fila máxima na interseção							
Origem		Atraso (s)			Fila máxima (m)		
		Sem semáforo	Com semáforo	Diferença	Sem semáforo	Com semáforo	Diferença
W1	Rendeiras - Centro	23,9	63,6	166%	51,2	137,5	169%
N2	Osni Ortiga	147,9	77,72	-47%	212,8	83,3	-61%
S1	Rendeiras - Joaquina	3,1	43,98	1301%	0,0	107,2	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tomando como base o Quadro 10, houve um aumento já esperado no atraso e na fila máxima das origens W1 e S1, por serem as vias principais. A diferença em S1 se deve pela prioridade de passagem para quaisquer destinos e com o semáforo, retirou este direito, o que justifica os aumentos,

principalmente do atraso com 1301%. A origem N2, houve reduções de 47% para o atraso e 61% para a fila máxima.

Quadro 11: Resultados nas vias.

Tempo médio na via				
Via		Sem semáforo	Com semáforo	Diferença
W1	Joaquina - Interseção	00:38,1	01:00,3	58%
E1	Interseção - Joaquina	00:34,9	00:35,5	2%
N1	Interseção - Centro	00:19,9	00:21,0	5%
S1	Centro - Interseção	00:20,5	00:38,5	88%
N2	Osni Ortiga - Rendeiras	02:58,2	01:11,8	-60%
S2	Osni Ortiga - Campeche	00:36,2	00:36,9	2%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No Quadro 11, as vias E1, N1 e S2, houve um aumento insignificante, na variando entre 0,6s e 1,1s, isto se deve pois estas vias são posteriores aos semáforos. Já os demais movimentos os resultados foram mais significativos, apresentando um aumento de 58% para a via W1 e 88% para a via S1, que corresponde a 22,2s e 18s respectivamente. Entretanto, a redução na Rua Vereador Osni Ortiga (N2) foi de 60%, resultando 1m e 46,4s, a qual é 4,8 vezes maior que o aumento apresentado na via W1.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos as frotas de veículos vêm aumentando significativamente, colaborando para a formação de congestionamentos. Diante desta situação, as autoridades públicas precisam adotar medidas para a solução deste problema tão importante para a qualidade de vida da população.

Neste artigo foi possível compreender como os elementos e soluções que compõem uma interseção, o que possibilitou classificar a Avenida das Rendeiras com a Rua Vereador Osni Ortiga em uma interseção em nível, com solução mínima e sem o controle de sinalização.

O Volume V do Manual de Sinalização de Trânsito do CONTRAN (2014), demonstra dois métodos e suas formulas para realizar o dimensionamento do semáforo, além de apresentar alguns exemplos com situações diferentes, facilitando a compreensão do dimensionamento.

Através do estudo realizado, foi observado que o *software* deveria possibilitar o modelo microscópico, já que o mesmo trata do deslocamento dos indivíduos e suas interações, sendo esta condicionante um filtro para a escolha. Desta forma, entre os modelos disponíveis no mercado, foi selecionado o Infraworks da Autodesk ®, pela facilidade de modelagem, permitir a instalação em língua portuguesa, apresentar versão de testes e pelo renome que a empresa possuí. Devido a estas características, a construção do modelo foi simples e fácil, podendo ser indicado para iniciantes na modelagem.

A análise do artigo partiu da avaliação de dois cenários, o Cenário 1 é a situação atual, o qual os resultados apresentaram elevadas filas e tempo médio para acessar a Avenida das Rendeiras. O Cenário 2, tratou de controlar a interseção por meio de semáforos os quais foram dimensionados conforme os dados coletados e formulas apresentadas pelo CONTRAN (2014), também foi observado a necessidade de criar uma faixa de retenção para os veículos vindos da Joaquina pudessem realizar a conversão. Nesse cenário, como era esperado, os indicadores tempo médio, atraso e fila máxima aumentaram na Avenida das Rendeiras, porém na Rua Vereador Osni Ortiga, houve reduções.

Ao comparar os dois cenários, observou que a implementação do semáforo pode ser uma solução a ser adotada, já que a implementação não é tão prejudicial para a Avenida das Rendeiras, e traz bons benefícios para a Rua Vereador Osni Ortiga. Entretanto, é valido analisar a interseção com os dados sendo coletados no verão, pois o fluxo de veículos é aumentado, já que a Avenida permite acesso as praias do Leste da ilha, como Joaquina e Barra da Lagoa.

Como recomendações para trabalhos futuros, é sugerido que seja feita a calibração dos modelos, prever o aumento de frota para os próximos anos, além de analisar a interseção no verão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Evelyn Cortez; RODRIGUES, Eunice Horácio de Souza de Barros Teixeira; MUSSI, José Artur D'Oliveira; MIRANDA, Rosana Dischinger. Utilização de Ferramentas de Microssimulação em projetos de Mobilidade Urbana. **Tecnologia & Cultura**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 31, p. 65-76, 01 jan. 2018.

APROXIMAÇÃO. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2021. Disponível em: https://www.dicio.com.br/aproximacao/. Acesso em: 17/04/2021.

AUTODESK. **Infraworks Traffic Analyst**: user manual. 2014.

BÉRTOLI, Maria Júlia de Paula. **Avaliação do desempenho de soluções alternativas em intersecções por recurso a técnicas de microssimulação de tráfego.** 2019. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2019.

CAROLINA BAHIA. Nsc Total (ed.). **Florianópolis é a pior capital do país em termos de mobilidade**. 2019. Disponível em: https://www.nsctotal.com.br/colunistas/carolina-bahia/florianopolis-e-a-pior-capital-do-pais-em-termos-de-mobilidade. Acesso em: 01 dez. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Volume V:** Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Brasília: 2014.

_____. **MANUAL DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO:** Sinalização Horizontal - Volume IV. 1 ed. Brasília, 2007. 128 p.

_____. **MANUAL DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO:** Sinalização vertical de regulamentação - Volume I. 1 ed. Brasília, 2006. 214 p.

COSTA, Marcela da Silva. **Um Índice de Mobilidade Urbana Sustentável.** 2008. 274 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **IPR-718:** Manual de Projeto de Interseções. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 528 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **IPR-740**: Manual de projeto geométrico de travessias urbanas. Rio de Janeiro, 2010.

FERT, Luiza. **Análise comparativa do uso de diferentes softwares para modelagem de tráfego em interseções urbanas.** 2017. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

Florianópolis, SC. (jul/2017). **Google Maps. Google**. Disponível em https://www.google.com.br/maps/@-27.5931606,-48.4962859,3a,75y,207.59h,78.82t/data=!3m6!1e1!3m4!1sgNtGKHs-urysAXj-sg1e-A!2e0!7i13312!8i6656. Acesso em: 01 dez. 2020

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama. Acesso em: 11 out. 2020.

LACERDA, Victor Macêdo; CASTRO NETO, Manoel Mendonça de. **Considerações sobre a calibração do modelo de car-following do vissim para vias arteriais urbanas.** Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2020.

MAGAGNIN, Renata Cardoso; SILVA, Antônio Nélson Rodrigues da. **A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana.** Transportes, n. 1, p. 25-35, 01 jun. 2008.

NIBON, Isabel Cristina *et al*. **Modelagem Microscópica para Avaliação e Proposição de Intervenções na Av. Humberto Monte.** Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, Balneário Camburiú, v. 33, 10 nov. 2019.

OLIVEIRA, Marcelo Leismann de; CYBIS, Helena Beatriz Bettella. **Revisão da experiência de calibração do software vissim aplicado a um estudo de caso de autoestrada brasileira.** In: SEMANA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO SUL-AMERICANA, VIII, 2008, Bento Gonçalves. Disponível em: 281239870_Revisao_da_Experiencia_de_Calibracao_do_Software_Vissim Aplicado_a_um_Estudo_de_Caso_de_Autoestrada_Brasileira. Acesso em: 31 out. 2020.

PARAVISI, Marcelo; MUSSE, Soraia R.; BICHO, Alessandro de L. **Modelagem e simulação do tráfego de veículos e controle semafórico em um ambiente virtual.** Vetor, Rio Grande, v. 16, n. 2, p. 16-37, jan. 2006.

PECKER, Caroline Cavagni *et al*. STIRO: Simulação Microscópica do Desempenho de Veículos em Trechos em Aclive com Implantação de Faixas Adicionais. In: **Anais do XII Congresso Panamericano de Ingeniaria de Transportes y Transito**. 2002.

PRADO, Darci Santos do; YAMAGUCHI, Magno. **Usando o ARENA em simulação.** 6. ed. Nova Lima: Falconi, 2019. (Pesquisa operacional). Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=7SbwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT56&dq=conceito+de+simula%C3%A7%C3%A3o+de+transito&ots=xwlvtzWblj&sig=sFepwSF4Ffk7t-LtVQ2RnXnPZjE#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 31 out. 2020.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico:** métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: https://www.feevale.br/institucional/editora-feevale/metodologia-do-trabalho-cientifico---2-edicao. Acesso em: 14 maio 2020.

Programa das Nações Unidades para o Desenvolvimento (org.). **Ranking IDHM Municípios 2010**. Disponível em: https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html. Acesso em: 01 dez. 2020.

RIBEIRO, C. E.; CAUS, A. L.; CRUZ, M. M. C.; LEITÃO; L. J. S. Análise da capacidade de tráfego e nível de serviço operacional de diferentes arranjos geométricos para interseções urbanas utilizando microsimulação. *In*: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. **Anais** […]. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de; CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de; PEREIRA, Rafael Henrique Moraes (ed.). **Textos para Discussão:** transporte e mobilidade urbana. 34. ed. Brasília: CEPAL/IPEA, 2011.