

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

Arthur Junges Schmidt

**Estágio Exclusivo Para Pedestres: aplicação em uma interseção
em Porto Alegre**

Porto Alegre
julho 2016

ARTHUR JUNGES SCHMIDT

**Estágio Exclusivo Para Pedestres: aplicação em uma interseção
em Porto Alegre**

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

Orientadora: Helena Beatriz Bettella Cybis

Coorientador: Felipe Caleffi

Porto Alegre

julho 2016

Estágio Exclusivo Para Pedestres: aplicação em uma interseção em Porto Alegre

ARTHUR JUNGES SCHMIDT

**Estágio Exclusivo Para Pedestres: aplicação em uma interseção
em Porto Alegre**

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

Porto Alegre, julho de 2016

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis
Doutora pela University of Leeds
Orientadora

Prof. Felipe Caleffi
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Coorientador

BANCA EXAMINADORA

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis
Doutora pela University of Leeds

Prof. Felipe Caleffi
Mestre pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Prof Ana Margarita Larrañaga Uriarte.
Doutora pela Universidade Federa do Rio
Grande do Sul

Beatriz Berti da Costa

Dedico este trabalho aos meus pais, Ane e Jorge. Sem eles,
tudo até aqui não teria sido possível.

Estágio Exclusivo Para Pedestres: aplicação em uma interseção em Porto Alegre

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Helena, que além de orientar meu trabalho, me deu oportunidade de realizar pesquisa e aprender muito sobre a área de transportes abrindo as portas do LASTRAN.

Ao Felipe Caleffi por me ensinar grande parte do que hoje sei sobre simulação e também em outras áreas nos transportes.

Aos demais professores do LASTRAN: Fernando Michel, Luiz Afonso Senna, Luis Lindau, Ana Larrañaga e João Albano pelas contribuições e conhecimentos compartilhados.

A Veronica, pela amizade e ajuda que me prestou no meu período no LASTRAN.

Aos familiares e amigos que estiveram ao meu lado.

Aos demais, não mencionados, pela ajuda direta e indiretamente que me permitiram chegar ao fim da graduação.

Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de
gigantes.
Isaac Newton

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas da pesquisa	15
Figura 2: Exemplo de diagrama de estágios.....	19
Figura 3: Exemplo de diagrama de barras	20
Figura 4: Passos para a Etapa 1	23
Figura 5: Atividades da etapa 4	25
Figura 6: Travessia do tipo A.....	30
Figura 7: Travessia do tipo B.....	30
Figura 8: Travessia do tipo C.....	31
Figura 2: Exemplo de diagrama de estágios.....	32
Figura 9: Localização da interseção e local da filmagem.....	41
Figura 10: Visada principal da filmagem	42
Figura 11: Disposição das visadas da câmera nas filmagens	43
Figura 12: Esquema dos movimentos utilizados para contagem.....	44
Figura 13: Esquema dos movimentos de pedestres para contagem.....	46
Figura 14: Programação semafórica para estágio de livre movimentação de pedestres	48
Figura 15: Histograma de atrasos de pedestres no cenário atual.....	50
Figura 16: Histograma de atraso de veículos no cenário atual	50
Figura 17: Histograma de atrasos de pedestres no cenário com estágio exclusivo	51
Figura 18: Histograma de atraso de veículos no cenário com estágio exclusivo	52
Figura 19: Histograma de tempos de viagem de pedestres no cenário com estágio exclusivo	52
Figura 20: Histogramas de atrasos para cenário com 20% de aumento em movimentos diagonais.....	54
Figura 21: Histograma de tempos de viagem de pedestres com aumento de 20% em movimentos diagonais	55
Figura 22: Comparação entre histogramas entre atrasos de veículos.....	58
Figura 23: Comparação entre histogramas entre atrasos de pedestres	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	12
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA.....	12
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA.....	12
2.2.1 Objetivo Principal.....	12
2.2.2 Objetivos Secundários.....	12
2.3 PRESSUPOSTO.....	13
2.4 LIMITAÇÕES.....	13
2.5 DELINEAMENTO.....	13
3 SEMÁFOROS.....	16
3.1 ELEMENTOS BÁSICOS DO CONTROLE SEMAFÓRICO.....	17
3.1.1 Movimentos.....	17
3.1.2 Grupo Semafórico.....	17
3.1.3 Estágio.....	18
3.1.4 Entreverdes.....	18
3.1.5 Vermelho Geral.....	18
3.1.6 Ciclo.....	18
3.1.7 Plano Semafórico.....	18
3.1.8 Diagrama de Estágios.....	19
3.1.9 Intervalo Luminoso.....	19
3.1.10 Diagrama de Barras.....	19
3.2 OPERAÇÃO E CONTROLE DO SEMÁFORO.....	20
3.3 ELEMENTOS DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA.....	21
3.3.1 Volume de Tráfego.....	21
3.3.2 Fluxo de Saturação.....	21
3.3.3 Tempo Perdido de Ciclo.....	22
3.4 PROGRAMAÇÃO DE SEMÁFORO ISOLADO DE TEMPO FIXO.....	22
4 COLETA DE DADOS.....	26
4.1 PESQUISAS DE VOLUME E TEMPO MÉDIO DE ESPERA DE PEDESTRES.....	26
4.1.1 Volume de Pedestres.....	26
4.1.2 Tempo Médio de Espera de Pedestres na Travessia Crítica.....	27
4.2 COLETA DE VOLUMES DE VEÍCULOS E TEMPO TOTAL DE ESPERA NA VISECUNDÁRIA.....	27

	9
4.2.1 Pesquisa Direcional.....	28
4.2.2 Pesquisa Classificatória.....	28
5 ESTÁGIO DE LIVRE MOVIMENTAÇÃO DE PEDESTRES.....	29
5.1 TIPOS DE ESTÁGIO DE MOVIMENTAÇÃO LIVRE DE PEDESTRES.....	29
5.2 CRITÉRIOS PARA ADOÇÃO DE ESTÁGIO DE LIVRE MOVIMENTAÇÃO DE PEDESTRES.....	32
5.3 RESULTADOS OBTIDOS.....	33
6 SIMULAÇÃO.....	37
6.1 SIMULÃO DE PEDESTRES.....	37
6.2 MODELOS DE TRÁFEGO.....	38
6.3 VISSIM.....	39
7 ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SEMÁFORO COM ESTÁGIO EXCLUSIVO PARA PEDESTRES.....	40
7.1 ESCOLHA DA INTERSEÇÃO.....	40
7.2 COLETA DE DADOS.....	42
7.3 SIMULAÇÃO DA INTERSEÇÃO ANALISADA.....	46
7.4 SIMULAÇÃO DA INTERSEÇÃO ANALISADA COM O ESTÁGIO LIVRE PARA PEDESTRES.....	47
7.5 CENÁRIOS SIMULADOS.....	48
7.6 RESULTADOS OBTIDOS.....	49
7.6.1 CENÁRIO ATUAL.....	49
7.6.2 CENÁRIO COM ESTÁGIO EXCLUSIVO.....	51
7.6.3 CENÁRIO CM AUMENTO NAS MOVIMENTAÇÕES DIAGONAIS.....	53
7.6.4 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS.....	55
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Com os crescentes congestionamentos verificados nas cidades, críticas tem sido feitas ao modelo de sistemas de transportes urbanos que tem o carro como seu centro. Uma das soluções apontadas para a redução deste problema é o estímulo ao transporte não motorizado, como bicicletas e pedestres, e transporte coletivo.

Segurança de pedestres e caminhabilidade são conceitos que estão recebendo maior atenção nos últimos anos, após inúmeros dados de mortes de pedestres registrados no Brasil. Várias cidades estão mudando a visão atual, fixada somente em facilitar os movimentos de veículos nas vias urbanas, para uma visão que visa um maior compartilhamento do espaço urbano e vias. Um exemplo destas ações são as várias iniciativas ao redor do mundo conhecidas como *Vision Zero* que visam nenhuma fatalidade ou acidentes graves no tráfego rodoviário. Seguidas experimentações e novas ideias nessas áreas no globo também evocam e incluem a melhora de condições de viagem para pedestres, como também retornos em qualidade de vida da população e aumento da segurança.

Uma das ações para que haja um aprimoramento nas áreas citadas, é a implementação de sistemas diferenciados para a travessia de pedestres. Um deles é a faixa de pedestres diagonal. Neste tipo de travessia, todo o trânsito de veículos recebe o sinal de “pare” e os pedestres da interseção podem trafegar em qualquer direção. Embora não seja uma ideia nova, vinda originalmente dos anos 1940 nos Estados Unidos, esta medida não é muito utilizada por ter requisitos específicos necessários, como o alto fluxo de pedestres em todas as travessias de um cruzamento. Contudo, no Japão tais faixas obtiveram maior holofote midiático pois, efetivamente, serviam para acomodar e melhorar o trânsito de um fluxo elevado de pedestres. Atualmente, algumas faixas diagonais estão em fase de acompanhamento na cidade de São Paulo.

De todo modo, é uma opção que necessita de relativamente poucos recursos, porque usa basicamente os mesmos equipamentos necessários para o funcionamento de um semáforo sem o estágio exclusivo de pedestres e também não carece de muito tempo de coleta de dados nem de profunda pesquisa para sua implementação. Esta é uma razão para estudar tal medida pois

caso se prove útil, é com mais facilidade e, talvez, com maior probabilidade, que ela seja efetivamente usada nas vias de nossas cidades.

Contudo, como qualquer alteração na operação de tráfego que, por si só, mexe com a rotina de milhares de pessoas, tal mudança deve ter seus impactos investigados antes de sua implementação na realidade. É comum e cômodo que estes estudos ocorram em ambientes de simulação para que não sejam feitos os testes na própria via. Softwares como VISSIM ou TRANSYT são corriqueiros na avaliação de projetos rodoviários, sendo usados e aceitos em larga escala por profissionais de todo mundo.

Porém, para que a simulação forneça resultados confiáveis, muito cuidado deve ser tomado com a construção do modelo para que este se comporte como a realidade. Para isto, uma considerável quantidade de parâmetros geométricos da via e contagem de volumes de pedestres e veículos deve ser obtido.

Por se tratar de semáforos, um assunto largamente baseado em legislação e manuais de trânsito, este trabalho cita largamente o trabalho de órgãos governamentais responsáveis pela elaboração de manuais e normas de projetos de sinalização, como o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) e o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). O uso majoritário destes manuais como base deste trabalho se dá para que o mesmo se adeque o melhor possível à corrente legislação e recomendações dos órgãos pertinentes.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

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

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: seria indicada a implementação de um estágio exclusivo para pedestres na interseção da Rua Alberto Bins e Rua Pinto Bandeira em Porto Alegre?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

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

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação da adequação do uso de um estágio de semáforo exclusivo de pedestres na interseção estudada em Porto Alegre.

2.2.2 Objetivos secundários

O objetivo secundário do trabalho é:

- a) Quantificar as diferenças entre dois tipos de sinalização para interseções viárias urbanas, a faixa diagonal de pedestres, com o estágio de livre movimentação de pedestres e o padrão atualmente adotado na grande maioria de interseções, com dois estágios e sem rotas diagonais para pedestres, por meio de simulação computacional. Dados como tempo total de atraso, tempo médio de atraso, número de conflitos (entre pedestres e veículos), velocidade média, entre outros serão utilizados nesta comparação.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho de pesquisa está sujeito à premissa: o resultado obtido a partir de um modelo computacional é considerado como se representasse a realidade.

2.4 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) A simulação será realizada tendo por base os dados obtidos em campo, coletados pelo autor. Por consequência, a quantidade de dados poderá ser limitada;
- b) A pesquisa se focará em analisar o comportamento de somente uma interseção, não considerando o impacto na rede.

2.5 DELINEAMENTO

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

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) escolha da interseção;
- c) plano de coleta de dados;
- d) coleta de dados;
- e) simulação da interseção;
- f) validação da simulação;
- g) implementação do novo tipo de sinalização na simulação;
- h) análise dos resultados;
- i) conclusões.

Primeiramente a **pesquisa bibliográfica** foi realizada de modo a se aprofundar, não só no tema proposto, como na teoria por trás dos cálculos semafóricos. Embora tenha ênfase nos meses iniciais de pesquisa, ela ocorreu também em todo decorrer do trabalho de modo a embasar várias das etapas seguintes, como aperfeiçoar a coleta de dados e as simulações que

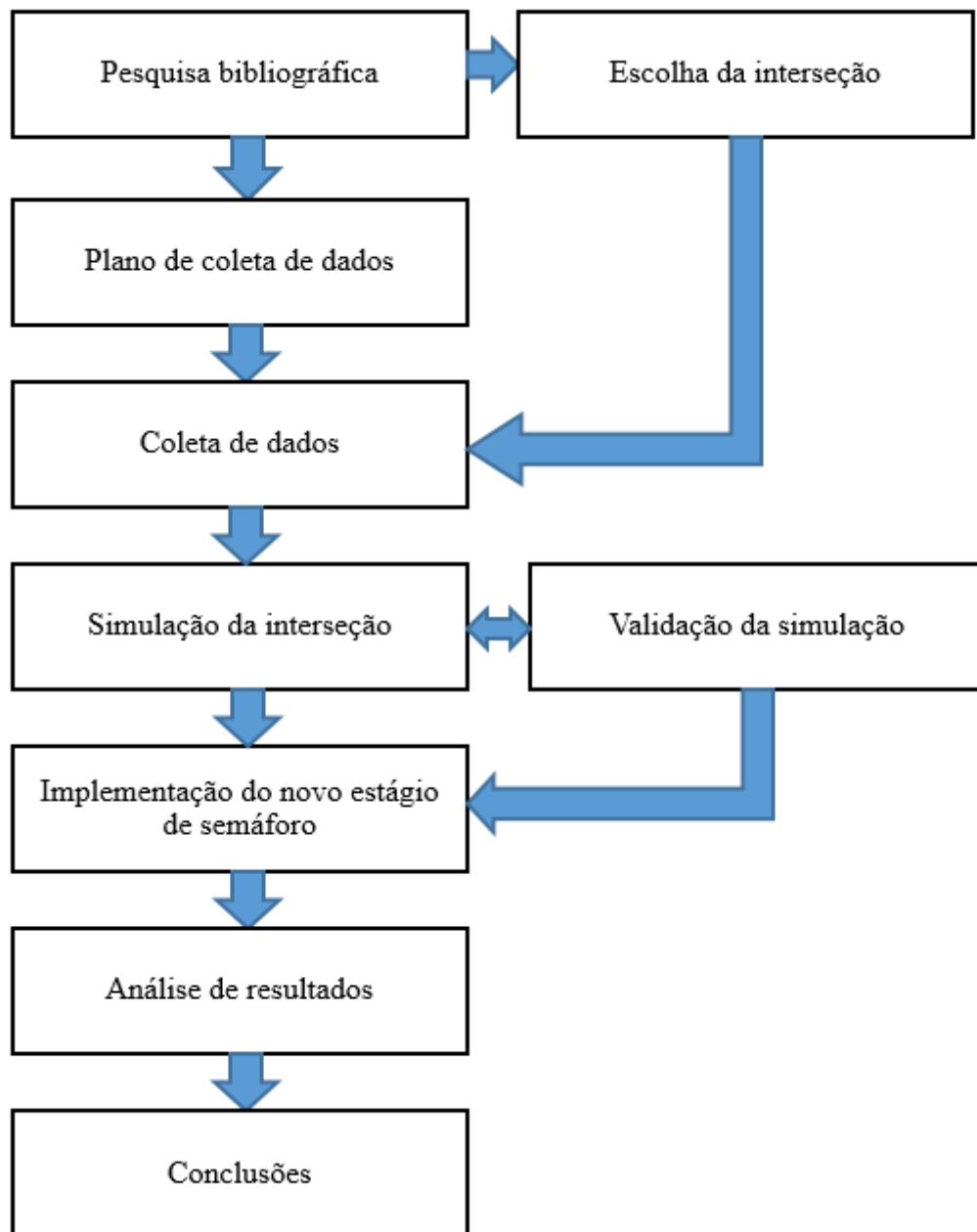
foram realizadas, bem como ter em mente os cuidados necessários para que se obtenham resultados relevantes.

Para a **definição do local de estudos**, levaram-se em conta as considerações da literatura. A escolha de uma interseção é importante para o desenvolvimento do trabalho, pois interfere diretamente na dificuldade de coleta de dados, na simulação e nas conclusões do trabalho, uma vez que pode apresentar dimensões e volumes que afetem sensivelmente os passos seguintes da pesquisa.

Na terceira etapa, **plano de coleta de dados**, de acordo com a interseção escolhida e com os materiais disponíveis, fez-se o plano de coleta para que o método de coleta de dados no local da interseção seja definido. Nesta etapa foram definidas as informações a serem coletadas e as tecnologias de coleta (manualmente ou com auxílio de câmeras).

Na quarta etapa, **coleta de dados**, fez-se uma visita na interseção escolhida e se realizou a coleta de dados com base nas diretrizes decididas na etapa anterior. Após, a **simulação da interseção** foi realizada, codificando-a com os dados geométricos da interseção e de tráfego coletados em campo. De modo que o modelo se comportasse similarmente à real interseção, a **validação da simulação** é necessária, comparando os resultados obtidos através da simulação computacional com outro grupo de dados obtidos da mesma interseção. Após, **programou-se o novo tipo de sinalização na simulação**. Com isto feito, os resultados, dados de saída do simulador, de ambas as simulações, com e sem o estágio exclusivo de pedestres foram analisados. Na última etapa, com os resultados das simulações, buscou-se identificar se a implementação do novo tipo de sinalização para a interseção em questão é indicada, concluindo a pesquisa.

Figura 1: Etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

3 SEMÁFOROS

De acordo com o Departamento Nacional de Transportes (2014, p. 16), “O semáforo, ou grupo focal, é o conjunto obtido pela montagem de um ou mais focos luminosos com suas faces voltadas para o sentido do movimento.”. Ainda, com relação a finalidade dos semáforos, o Departamento Nacional de Transportes (2014, p. 13) escreve:

A sinalização semafórica tem por finalidade transmitir aos usuários a informação sobre o direito de passagem em interseções e/ou seções de via onde o espaço viário é disputado por dois ou mais movimentos conflitantes, ou advertir sobre a presença de situações na via que possam comprometer a segurança dos usuários.

O Departamento Nacional de Transportes ainda classifica os semáforos segundo sua função, em:

- a) **sinalização semafórica de regulamentação** – tem a função de efetuar o controle do trânsito numa interseção ou seção de via, através de indicações luminosas, alternando o direito de passagem dos vários fluxos de veículos e/ou pedestres;
- b) **sinalização semafórica de advertência** – tem a função de advertir sobre a existência de obstáculo ou situação perigosa, devendo o condutor reduzir a velocidade e adotar as medidas de precaução compatíveis com a segurança para seguir adiante.

No que tange ao relacionamento dos semáforos com outras sinalizações, o Departamento Nacional de Transportes (2014, p. 19) define que deverá acompanhar a sinalização semafórica uma faixa de pedestre caso haja semáforos (ou grupos focais) para pedestres.

O DENATRAN ainda lista os tipos de semáforos que, dentre outros, destacam-se os:

- a) Veicular;
- b) Veicular direcional;
- c) Veicular direção livre;
- d) Veicular controle de acesso específico;
- e) Veicular controle de faixa reversível;
- f) Pedestre.

O semáforo veicular “possui três indicações luminosas: vermelha, amarela e verde, dispostas nesta ordem” e o semáforo de pedestres “é são compostos por focos vermelho e verde, com os pictogramas respectivos”.

3.1 ELEMENTOS BÁSICOS DO CONTROLE SEMAFÓRICO

No estudo de semáforos, a definição de termos usados é importante para que o trabalho cumpra com as indicações feitas por meio de manuais de órgãos competentes, no caso brasileiro, o DENATRAN. Deste modo, consultou-se o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Sinalização Semafórica (Departamento Nacional de Trânsito, 2014) a fim de que os termos e definições fossem adequados à legislação.

3.1.1 Movimentos

O DENATRAN (2014) define o termo movimento como “[...] o fluxo de veículos que têm a mesma origem e mesmo destino, e/ou o fluxo de pedestres que se deslocam na mesma direção, mas não necessariamente no mesmo sentido.” e geralmente o mesmo é identificado em figuras ou *softwares* por traços e setas.

Aproximações são as vias por aonde os veículos chegam a uma interseção. Áreas onde os movimentos veiculares ou de pedestres se cruzam, ou se afetam, são chamadas de áreas de conflito.

A definição das rotas em conflito, onde se analisam as rotas em um esquema com as aproximações e os movimentos de uma interseção, é parte importante no cálculo semafórico, pois esta informação é usada para a definição dos tempos do semáforo. O semáforo, por si, é uma das alternativas de ferramentas para se gerenciar estes conflitos nas rotas de pedestres e veículos.

3.1.2 Grupo Semafórico

Conforme o DENATRAN (2014), “é o conjunto de semáforos (grupos focais) com indicações luminosas idênticas que controlam grupos de movimentos que recebem simultaneamente o direito de passagem.”.

3.1.3 Estágio

O DENATRAN (2014) define o estágio como o tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebe o direito de passagem simultaneamente. O DENATRAN ainda diz que “O estágio compreende o tempo de verde e o tempo de entreverdes que o segue.”.

3.1.4 Entreverdes

Entreverde é o período de tempo compreendido entre dois estágios consecutivos, medido a partir do final do período de verde do semáforo (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 63). Entretanto, existem diferenças nos entreverdes para veículos e para pedestres. Para semáforos veiculares, o entreverdes é composto pelo tempo de amarelo acrescido de um eventual tempo de vermelho geral. Para pedestres, o entreverdes é formado pelo tempo de vermelho intermitente (sinal que avisa ao pedestre que o sinal vermelho aos veículos está perto do fim) e, também, de um eventual tempo de vermelho geral.

3.1.5 Vermelho Geral

É o período onde todos os semáforos, veiculares ou de pedestres, mostram a cor vermelha. Corresponde ao tempo entre o final do amarelo (ou vermelho intermitente, para o caso de semáforo de pedestres) de um estágio e o início do verde do próximo estágio.

3.1.6 Ciclo

Conforme o DENATRAN (2014), ciclo é “[...] a sequência completa dos estágios de uma sinalização semafórica.”. A duração do ciclo (chamada de tempo de ciclo) é a soma de todos os estágios programados para o semáforo.

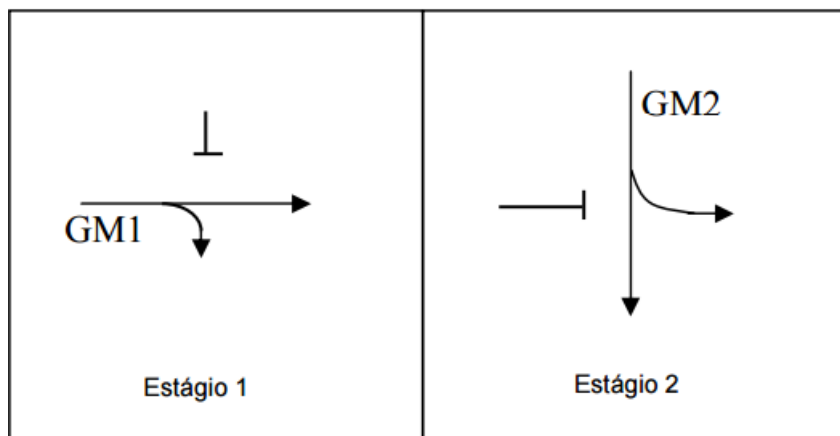
3.1.7 Plano Semafórico

Denomina-se plano semafórico o conjunto de programações para uma sinalização semafórica num período do dia. O diagrama de estágios, esquema que reproduz os tempos de verde, vermelho e de ciclo, faz parte do plano semafórico (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 63).

3.1.8 Diagrama de Estágios

Conforme o DENATRAN (2014), o diagrama de estágios é uma esquematização gráfica dos movimentos permitidos, tanto para pedestres como para veículos, em cada estágio. Contudo, só deve haver representação dos movimentos de pedestres e/ou ciclistas caso haja um semáforo específico para tais movimentos.

Figura 2: Exemplo de diagrama de estágios



(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2014)

3.1.9 Intervalo Luminoso

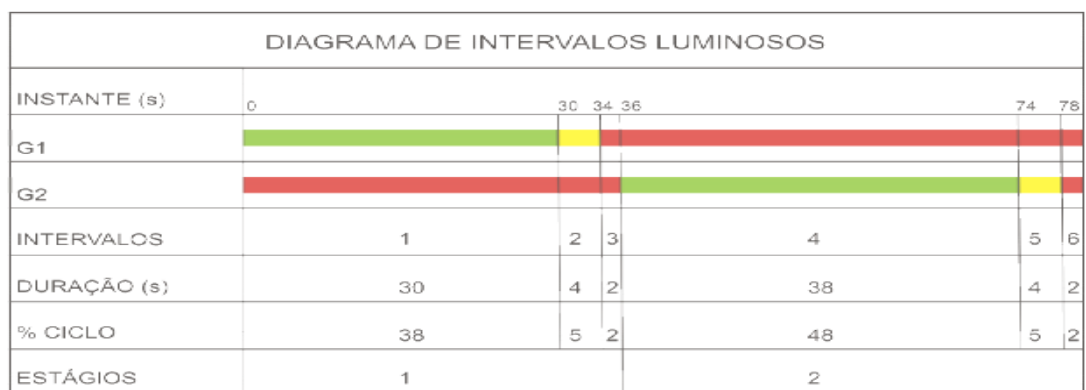
É o período de tempo que a cor do semáforo permanece inalterada, ou seja, o período de verde ou período de vermelho do semáforo (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 63).

3.1.10 Diagrama de Intervalos Luminosos

Este diagrama representa graficamente, por meio de barras horizontais, a duração dos intervalos luminosos e seus respectivos grupos semafóricos (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 64) como se pode ver na Figura 3.

Na Figura 3 podem-se notar os tempos de dois grupos semafóricos, chamados de G1 e G2. As barras em verde representam as durações dos tempos de verde para cada grupo. O mesmo é válido para as barras vermelhas e amarelas, representando, por sua vez, os tempos de vermelho e amarelo respectivamente. Ainda é possível ver a duração em segundos e a proporção do tamanho de cada período de verde em relação ciclo do semáforo.

Figura 3: Exemplo de diagrama de barras



(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2014, p. 64)

3.2 OPERAÇÃO E CONTROLE DO SEMÁFORO

Quanto ao controle do semáforo, existem duas opções: ou semáforo com tempo fixo ou semáforo atuado. A diferença entre ambos é, basicamente, na disponibilidade de dados de detectores de tráfego nas aproximações. Um semáforo com tempo fixo se baseia em dados de tráfego disponíveis a partir de contagens ou outros levantamentos de campo. Um semáforo atuado conta com detectores de modo que os intervalos luminosos sejam alterados de acordo com a demanda de tráfego nas vias do semáforo (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 66).

Similarmente, existem duas opções para a estratégia de controle:

- a) Controle isolado;
- b) Controle em rede.

Um semáforo com controle isolado é aquele onde “cada interseção é controlada independentemente das demais, ou seja, não ocorre nenhum tipo de coordenação semafórica.”, de acordo com o DENATRAN. Neste caso, a demanda considerada é somente a demanda nas aproximações do semáforo (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 66).

Em um semáforo com controle em rede, o controle visa melhorar as condições de tráfego não só da interseção onde o semáforo está situado, mas em todo um conjunto de vias e semáforos, seja a rede considerada sendo uma via ou em uma rede fechada (Departamento Nacional de Transportes, 2014, p. 66).

3.3 ELEMENTOS DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA

Na programação semafórica existem vários elementos que são importantes e que compõe os cálculos necessários. A seguir uma breve descrição de alguns itens importantes para o trabalho.

3.3.1 Volume de Tráfego

O Transportation Research Board (TRB) define o volume de tráfego como a contagem de veículos chegando a uma interseção durante o período de análise dividido pela duração do período de análise. Este volume é expresso em uma taxa de volume por hora mas também pode representar um período de análise menor que uma hora (Transportation Research Board, 2010, p. 18-9, tradução nossa).

O DENATRAN define volume de tráfego como:

Denomina-se volume de tráfego (ou fluxo de tráfego) ao número de veículos ou pedestres que passa por uma dada seção de via durante o período de realização de uma contagem. No caso da programação semafórica, o volume de tráfego veicular é sempre determinado por sentido de circulação do tráfego, e é geralmente formado por diferentes tipos de veículos.

O volume de tráfego, seja veicular ou de pedestres, é uma das informações mais importantes na obtenção de uma boa programação semafórica. Este volume também varia no tempo, sendo dependente da hora, dia, semana e mês onde foram feitas as observações. Embora invariavelmente o volume varie conforme o tempo, a medida desta variação depende muito da localidade (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 71).

Para efeito de simplificação, o volume de tráfego veicular normalmente é expresso em volume de tráfego equivalente em unidades de carro de passeio (ucp).

3.3.2 Fluxo de Saturação

De acordo com o TRB, o fluxo de saturação representa o fluxo máximo de veículos para uma faixa de tráfego medido na linha de parada durante o período de verde e é medido em

unidades de carro de passeio por hora por faixa (cp/h/faixa) (Transportation Research Board, 2010, p. 18-14, tradução nossa).

Já o DENATRAN define o fluxo de saturação como o “número máximo de veículos que poderia passar em uma aproximação controlada por sinalização semafórica no caso dessa aproximação receber indicação verde durante uma hora inteira.” (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 75). O DENATRAN ainda aponta que este fluxo de saturação é dependente das condições da via, do tráfego e do ambiente ao redor do semáforo, sendo comum obter valores de 1600 a 2000 unidades de carro de passeio por hora por faixa.

3.3.3 Tempo Perdido de Ciclo

O tempo perdido de ciclo, ou somente tempo perdido é a quantidade de tempo em um ciclo semafórico que não é utilizada pelos veículos. Pode haver duas causas para que haja tempo perdido (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 75):

- a) Existência de estágio exclusivo para pedestres;
- b) Tempo que os veículos que ganharam o direito de passagem atinjam o valor de fluxo de saturação devido a alternância de passagem entre correntes de tráfego veicular.

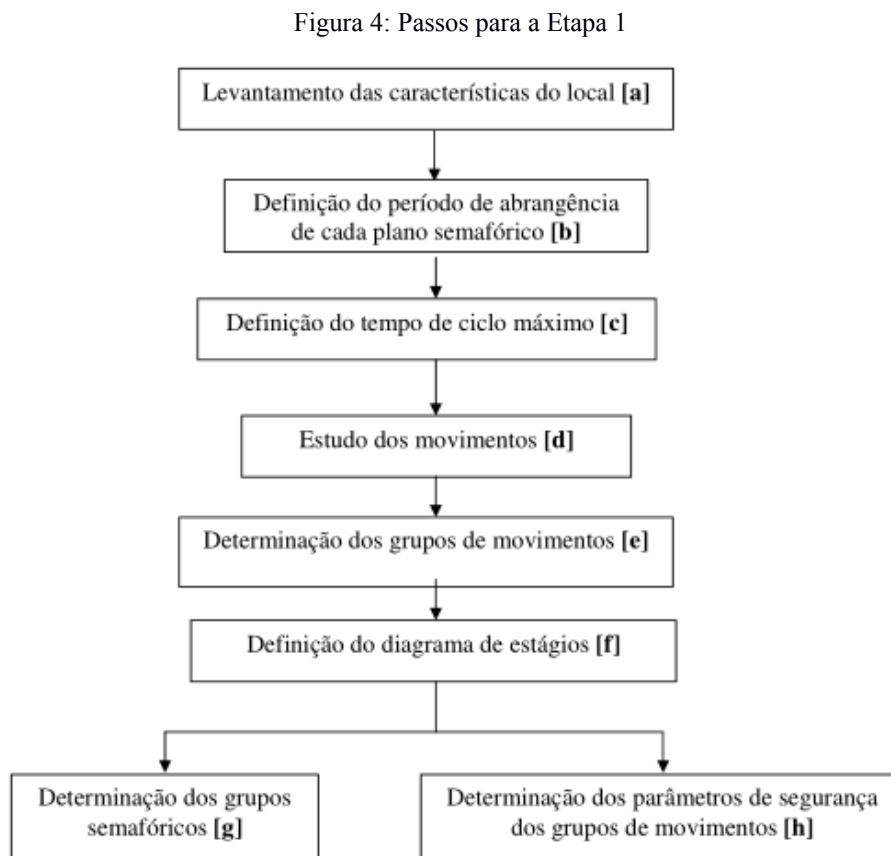
3.4 PROGRAMAÇÃO DE SEMÁFORO ISOLADO DE TEMPO FIXO

De acordo com o volume 5 do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, o DENATRAN é muito preciso na listagem de etapas para a elaboração da programação semafórica. As etapas são as seguintes (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 96):

- a) Etapa 1: Definições das condições de operação do semáforo. Caso a sinalização já exista, esta etapa pode ser pulada;
- b) Etapa 2: Caracterização do tráfego;
- c) Etapa 3: Cálculo da programação semafórica;
- d) Etapa 4: Implementação e avaliação da sinalização.

O DENATRAN lista vários passos para a realização da primeira etapa da elaboração da programação semafórica, de modo que este trabalho pôde aproveitá-los de modo a melhor

organizar o processo de levantamento dos dados a serem obtidos. Estes passos são apresentados na Figura 4:



(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2014, p. 97)

Para o levantamento das características do local o DENATRAN recomenda a obtenção de alguns parâmetros, sendo alguns deles (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 97):

- a) Geometria e topografia;
- b) Medição do tempo de percepção e reação dos pedestres;
- c) Medição da distância de travessia dos pedestres;
- d) Medição da velocidade dos pedestres;
- e) Velocidade regulamentada;
- f) Movimentos permitidos e movimentos proibidos;
- g) Regulamentação de estacionamento;
- h) Localização de ponto de ônibus;
- i) Localização de pólos geradores próximos;
- j) Observação de risco de acidentes no local;
- k) Histórico de acidentes;

Estágio Exclusivo Para Pedestres: aplicação em uma interseção em Porto Alegre

- 1) Programação semafórica, no caso de semáforo já existente, contendo:
 - a) Sequência de estágios;
 - b) Tempo de verde ocioso;
 - c) Tempo de verde insuficiente para veículos e pedestres;
 - d) Análise dos tempos de entreverdes para veículos e pedestres.

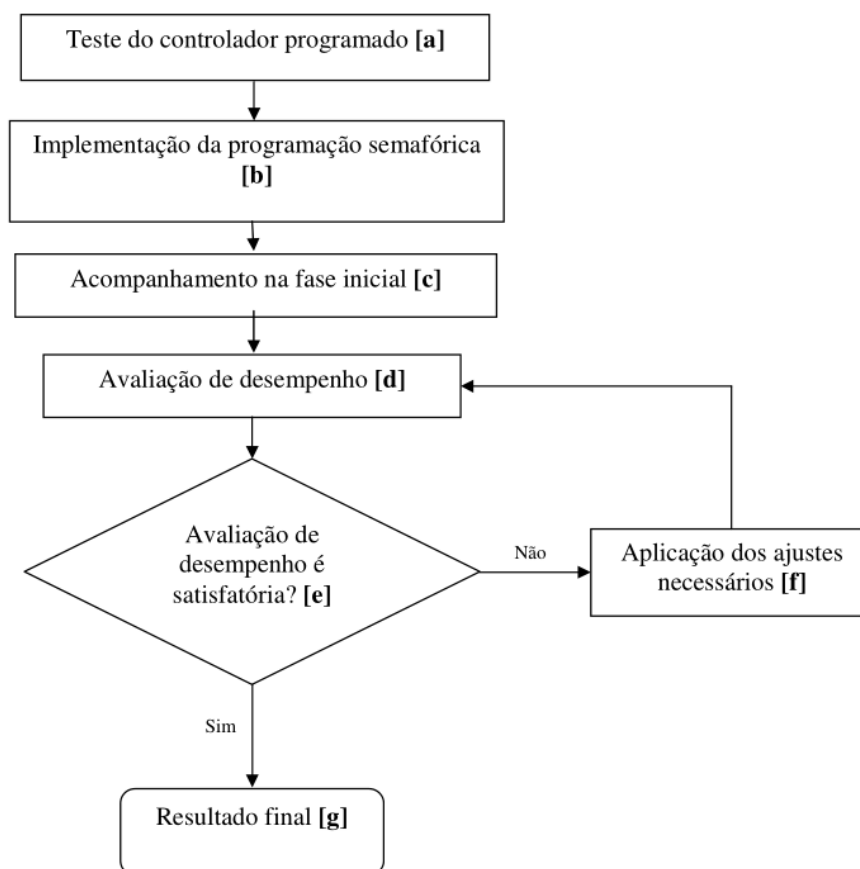
Na segunda etapa, para a definição do período de abrangência, o DENATRAN especifica a necessidade da coleta de volumes de tráfego ao longo do dia, para, também, definir os horários de entrada e saída de cada plano (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 98).

Para o andamento da Etapa 2, caracterização do tráfego, o mesmo manual recomenda (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 99):

- a) Determinação do volume de cada grupo de movimentos para o período de abrangência do plano considerado;
- b) Determinação do valor do fluxo de saturação de cada grupo de movimentos durante o período de abrangência do plano;
- c) Determinação dos tempos perdidos inicial e final de cada grupo de movimentos durante o período de abrangência do plano.

A etapa 3 é referente aos passos para o cálculo da programação semafórica que não foi utilizado neste trabalho. Na última etapa, que trata da implementação da programação e da avaliação dos resultados, o manual apresenta este fluxograma, Figura 5:

Figura 5: Atividades da etapa 4



(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2014, p. 101)

Neste trabalho, as etapas 3 e 4 foram realizadas dentro do ambiente de simulação pois ainda se trata de uma análise inicial, antes da aplicação efetiva na cidade. O semáforo será avaliado de acordo com os passos descritos no manual do DENATRAN, entre eles (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 103):

- a) Aspectos de segurança;
- b) Tamanho de filas;
- c) Atrasos de veículos e pedestres;
- d) Número de paradas;
- e) Grau de saturação.

4 COLETA DE DADOS

A etapa de coletar dados será muito importante neste estudo para que se possa simular corretamente a interseção escolhida. O DENATRAN (2014), nos apêndices do seu manual de sinalização semafórica exhibe algumas recomendações para a realização da coleta de dados.

4.1 PESQUISAS DE VOLUME E TEMPO MÉDIO DE ESPERA DE PEDESTRES

Os dados de volumes são muito importantes na elaboração de modelos de tráfego. Deste modo, alguns cuidados são necessários para que haja uma correta coleta de dados e bom aproveitamento de recursos.

4.1.1 Volume de Pedestres

No manual de sinalização semafórica, o DENATRAN começa definindo travessia crítica de pedestres como “[a travessia] que ocorre na seção onde os pedestres têm mais dificuldade para atravessar ou o número de pedestres cruzando a via é maior.” (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 240). Ainda acrescenta que todas as travessias numa interseção devem ser levadas em conta para que haja a correta identificação de qual delas é a crítica.

Ainda de acordo com o mesmo manual, quando não se puder definir *a priori* a posição da travessia crítica, dados devem ser coletados em todas os possíveis segmentos onde a mesma pode estar localizada.

A contagem deve ser feita em intervalos de 15 minutos, com duração mínima de duas horas, considerando-se o número total de pedestres que realizam a travessia em ambos sentidos. Tal coleta deve ser planejada de modo a ser realizada no período do dia em que há o maior número de travessia de pedestres (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 240).

4.1.2 Tempo Médio de Espera de Pedestres na Travessia Crítica

De acordo com o DENATRAN, o tempo médio de espera é definido como (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 243):

O intervalo entre o momento em que o pedestre se posiciona para realizar a travessia e o instante em que ele efetivamente a inicia. A pesquisa de tempo de espera é realizada na travessia crítica, determinada de acordo com os critérios definidos anteriormente.

No coleta de dados, a seleção de pedestres que farão parte da amostra deve ser realizada de modo aleatório, para que haja uma garantia de sua representividade, ainda de acordo com o mesmo manual do DENATRAN. Para que isto seja possível, o órgão recomenda que a pesquisa seja realizada de forma contínua, e que, sempre que possível, durante o horário crítico, o número total de pedestres deve ser recontado ao mesmo tempo em que a pesquisa do tempo médio de espera é feita. Faz-se isto de modo que os volumes não sejam diferentes na obtenção do tempo de espera médio e a determinação do movimento crítico. O manual ainda apresenta um método para a obtenção do tamanho mínimo da amostra de pedestres para a coleta de dados (Departamento Nacional de Trânsito, 2014).

4.2 COLETA DE VOLUMES DE VEÍCULOS E TEMPO TOTAL DE ESPERA NA VIA SECUNDÁRIA

As informações referentes aos volumes de veículos em uma interseção também são de grande importância para que a programação semafórica atenda seus objetivos. Como infelizmente no Brasil os contadores automáticos de tráfego ainda não são largamente utilizados, grande parte das coletas de dados são feitas pelo método manual. Com a contagem manual, não se pode obter um grande volume de dados sem um gasto considerável de tempo e recursos, por isso deve-se escolher dias para que esta coleta seja representativa da situação a qual se quer que o semáforo atue (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 252).

Existem dois tipos de contagem de volumes: a contagem direcional e a contagem classificatória.

4.2.1 Pesquisa Direcional

Esta pesquisa tem como objetivo a simples contagem de veículos em cada aproximação da interseção, separando-as pelo movimento. Sua unidade é veículos por hora e se recomenda que a contagem seja feita em intervalos de 15 minutos. Deve-se também reportar qualquer caso onde possa ter havido influência nos resultados das contagens, como acidentes ou condições de tempo adversas (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 252).

4.2.2 Pesquisa Classificatória

A pesquisa classificatória é normalmente realizada juntamente a pesquisa direcional, de modo que não haja desperdício de recursos na coleta de dados. Esta pesquisa se propõe a identificar a composição de tráfego no cruzamento, ou seja, a proporção de cada tipo de veículo (carros, motocicletas, ônibus, caminhões) que passam na interseção. Com isso, é possível a obtenção do volume de tráfego equivalente, em unidades de veículos de passeio por hora (Departamento Nacional de Trânsito, 2014, p. 253).

5 ESTÁGIO EXCLUSIVO PARA PEDESTRES

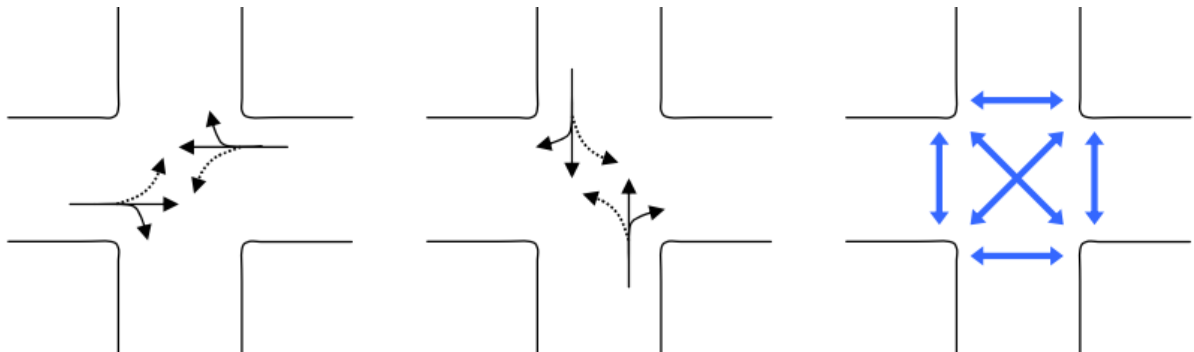
De acordo com Bissessar e Tonder ([2009?], p. 2, tradução nossa), um estágio exclusivo de pedestres é aquele que forcene aos pedestres acesso exclusivo a uma interseção semaforizada enquanto o tráfego veicular é parado em todas as direções. Esta forma de estagiamento de semáforos é útil em interseções com altos volumes de pedestres e altas taxas de conversão de veículos pois esta tecnologia funciona de modo a reduzir os conflitos entre pedestres e veículos pois, como o nome explica, provém um estágio exclusivo para o modo de viagens a pé. Para esta sinalização, o vermelho é exibido nos semáforos para veículos e o verde (caminhe) é mostrado nos semáforos para pedestres.

Os mesmos autores ainda relatam que o estágio exclusivo para pedestres pode falhar em algumas tentativas pois há uma severa redução na capacidade para o tráfego de veículos por causa do aumento do tamanho de ciclo de semáforo necessário. Ainda, outro agravante é a relutância da parte de pedestres em obedecer a sinalização e esperar para que seu estágio se inicie para então atravessar a interseção, o que provoca grande atrito entre o tráfego de veículos, reduzindo ainda mais a capacidade de escoamento dos mesmos na interseção. Uma vez que neste tipo de semaforização não há nenhum conflito entre veículos e pedestres, o número de colisões é significativamente menor, especialmente em localidades com volumes consideráveis de pedestres.

5.1 TIPOS DE ESTÁGIO EXCLUSIVOS DE PEDESTRES

Bissessar e Tonder ([2009?], p. 3, tradução nossa) determinaram que existem 3 tipos de interseção com estágio exclusivo para pedestres.

Figura 6: Travessia do tipo A

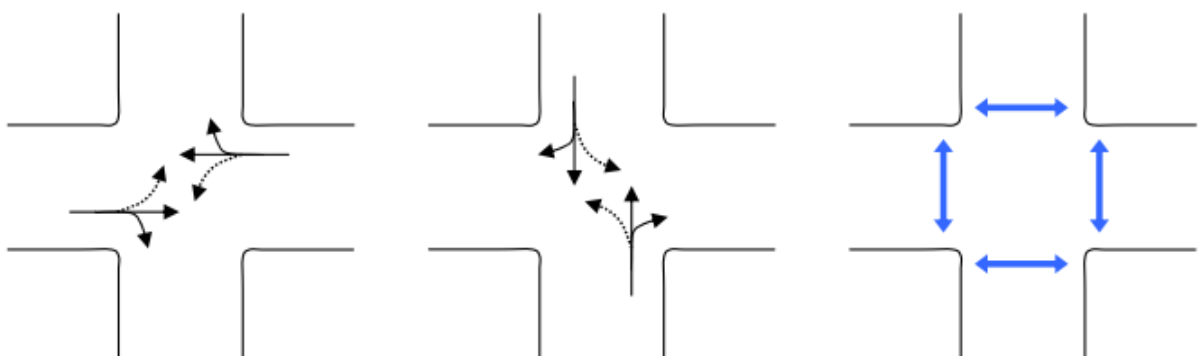


(fonte: BISSESSAR; TONDER, [2009?], p. 3)

O primeiro tipo, chamado de tipo A, que pode ser visto na Figura 6, dão oportunidade aos pedestres atravessarem uma interseção do modo convencional, entre as esquinas mais próximas, e na diagonal, quando todos os grupos semafóricos de veículos recebem sinal vermelho de pare. Após a travessia dos pedestres, veículos de uma direção recebem sinal verde e todos os sinais de pedestres mostram vermelho. Depois deste estágio acontece um terceiro estágio, o qual dá permissão de movimento aos veículos da outra direção, que ainda não receberam sinal verde, enquanto os pedestres continuam com sinal vermelho, proibindo a travessia da interseção.

O segundo tipo, chamado de tipo B, é similar ao tipo A quanto aos estágios, contudo a travessia diagonal não é permitida aos pedestres. A travessia do tipo B pode ser observada na Figura 7:

Figura 7: Travessia do tipo B

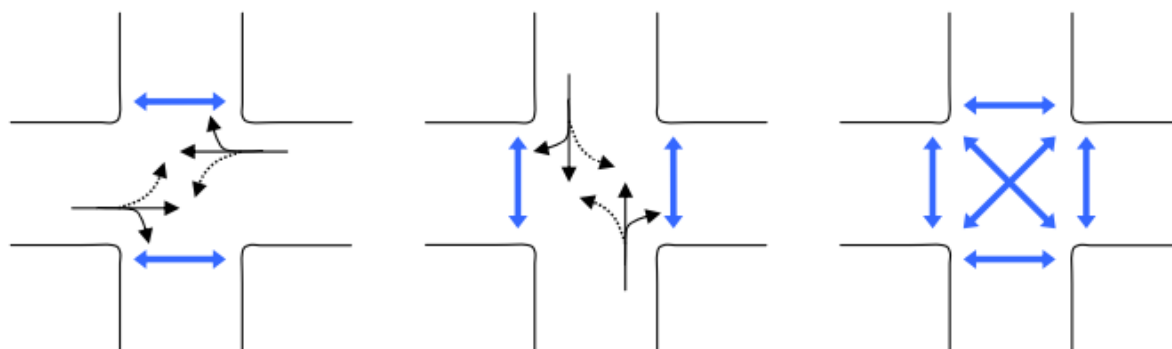


(fonte: BISSESSAR; TONDER, [2009?], p. 3)

O último tipo de travessia apresentado por Bissessar e Tonder (2009?), chamado de tipo C, é também similar à travessia tipo A quanto aos estágios, mas, além disso, os pedestres tem a

permissão de atravessar simultaneamente com o tráfego paralelo de veículos. A Figura 8 explica a travessia tipo C graficamente:

Figura 8: Travessia do tipo C



(fonte: BISSESSAR; TONDER, [2009?], p. 4)

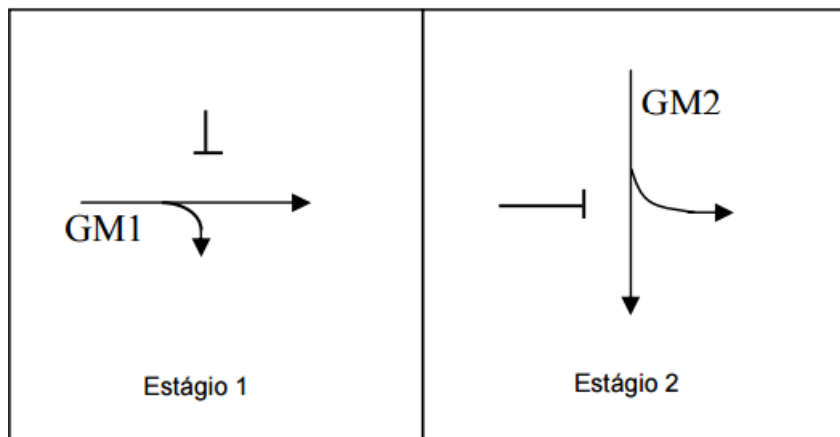
A travessia do tipo A é mais indicada quando se tem como objetivo maior a segurança de pedestres, de acordo com os mesmos autores. Há a necessidade, também, que haja espaço suficiente nas calçadas para que seja possível o movimento de pedestres e também espaço para que os mesmos possam esperar para que seu respectivo sinal abra (Bissessar; Tonder, [2009?], p. 4, tradução nossa).

A travessia do tipo B é usada em interseções onde há a necessidade de operação com tamanhos pequenos de ciclo ou para que se mantenham os tamanhos de ciclos já usados (Bissessar; Tonder, [2009?], p. 4, tradução nossa).

Já a travessia tipo C é mais indicada quando existe um grande número de pedestres e não há espaço suficiente para acomodá-los nas calçadas, tornando mais comum o não cumprimento da sinalização por parte dos pedestres (Bissessar; Tonder, [2009?], p. 4, tradução nossa).

No Brasil, ao contrário dos exemplos citados por Bissessar e Tonder, normalmente são vistos semáforos com dois estágios são usados. Um exemplo de diagrama de estágios para estes semáforos é visto na Figura 2.

Figura 9: Exemplo de diagrama de estágios



(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2014)

5.2 CRITÉRIOS PARA ADOÇÃO DE ESTÁGIO EXCLUSIVO DE PEDESTRES

De acordo com Bissessar e Tonder ([2009?], p. 4, tradução nossa), Toronto adotou certos critérios necessários para que houvesse uma justificativa para a instalação de um semáforo com estágio exclusivo para travessia de pedestres. Alguns destes critérios sozinhos não justificam, contudo, a instalação, havendo necessidade da combinação de alguns destes critérios. Pelo fato de Toronto possuir muitas interseções com alto volume de pedestres, a quantidade de pedestres e seu comportamento foram escolhidos como fatores determinantes para a determinação do tipo de travessia a ser implantada. Toronto estabeleceu tais critérios (Bissessar; Tonder, [2009?], p. 4, tradução nossa):

- a) Condição 1: Média de volume de pedestres maior que 3000 pedestres por hora para um período de 8 horas;
- b) Condição 2: Média de volume de pedestres maior que 2000 pedestres por hora para um período de 8 horas;
- c) Condição 3: Taxa de conversão de veículos maior que 35% do total em uma certa aproximação;
- d) Condição 4: 3 colisões pedestres-veículos em conversão a esquerda ou conversão a direita nos últimos 3 anos;
- e) Condição 5: Desejo de 15% ou mais para travessia em diagonal por parte dos pedestres;

- f) Condição 6: Interseção com geometria não usual (5 ou mais aproximações, por exemplo) de modo que estas impossibilitam um semáforo normal para pedestres.

Como as condições acima não tem o mesmo peso, os autores definiram combinações para que houvesse a necessidade de semáforo com estágio exclusivo. Somente as condições únicas ou combinações mostradas a seguir que justificavam a instalação deste tipo de semáforo na cidade de Toronto, conforme Bissessar e Tonder ([2009?], p. 4, tradução nossa).

- a) Condição 1;
- b) Condições 2 e 3;
- c) Condições 2 e 4;
- d) Condições 2 e 5;
- e) Condição 6.

5.3 RESULTADOS DE EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Alguns trabalhos realizados em outros países, tanto com resultados obtidos em campo, após implementação do estágio exclusivo de pedestres, tanto em simuladores, investigam o comportamento de tal medida.

Tu e Sano (2014, p. 12, tradução nossa) concluem que o estágio exclusivo tem um comportamento mais estável, com relação ao nível de serviço, quando deparado com uma mudança no volume de pedestres quando comparado com um semáforo comum sem estágio exclusivo. Por esta razão, os autores afirmam que este resultado confirma o importante papel da demanda de pedestres nas decisões sobre a escolha ou não de um semáforo utilizando esta medida. Ainda, os autores afirmam que “quanto maior a demanda de pedestres, mais vantajoso é o semáforo com estágio exclusivo para pedestres” e obtiveram uma redução de 34,74% nos atrasos de veículos. Contudo, tal estudo foi realizado somente em ambiente computacional, de modo que os autores afirmam que há a necessidade de dados reais para uma avaliação mais realista.

Gårder (1989, p. 7, tradução nossa) analisa as consequências da implementação de um semáforo com estágio exclusivo em três localidades na Suécia. Embora os conflitos graves de motoristas ou ciclistas não tenha mudado, estes conflitos foram reduzidos para pedestres. Em uma das cidades onde os testes foram realizados, a medida teve maior êxito na diminuição de

conflitos pois, de acordo com o autor, um menor número de pedestres fazendo a travessia enquanto recebia sinal vermelho poderia explicar esta redução. Contudo, os atrasos e os tempos de travessia dos veículos aumentaram consideravelmente. O autor conclui que a medida pode ser eficiente quanto à melhora de segurança para pedestres caso haja uma baixa taxa de pedestres não obedecendo a sinalização.

Em outro estudo Bissessar e Tonder ([2009?], p. 20, tradução nossa) avaliam que um estágio exclusivo para pedestres não é apropriado para todas as interseções. A medida deve ser preservada para uso em situações onde há um fluxo intenso de pedestres na interseção durante todo o dia. Localidades onde não existe este alto volume durante todo dia podem apresentar problemas com motoristas que desrespeitam a sinalização devido à frustração pelo aumento dos atrasos mesmo que não haja nenhum pedestre atravessando a interseção. Um exemplo disto é a cidade de Calgary que apresentou estes problemas em horários fora de pico. Entretanto, quando os volumes de pedestres são altos, como no período de almoço, ambos pedestres e motoristas respeitam a sinalização.

O mesmo mediu vários indicadores antes e depois da implementação da sinalização com estágio exclusivo. Com relação ao atraso provocado ao transporte público, os autores descobriram que houve um aumento substancial em todos os períodos analisados (BISSESSAR; TONDER, [2009?], p. 13, tradução nossa).

A utilização do estágio exclusivo por parte dos pedestres também obteve aumentos razoáveis. Em uma das interseções analisadas, a travessia diagonal passou de 19% de todos os movimentos (eram antes feitas utilizando 2 estágios de pedestres) para 21%. Em outra interseção analisada, a travessia na diagonal correspondeu a 22% de todos os movimentos de pedestres, sendo o movimento com maior uso nos picos da manhã e da tarde. Os autores do estudo apontam razões para explicar este crescimento na proporção de movimentos na diagonal (BISSESSAR; TONDER, [2009?], p. 13, tradução nossa):

- a) A travessia em diagonal de uma interseção é mais eficiente do que cruzar duas aproximações de uma interseção em dois estágios distintos. Isto pode explicar o aumento nos movimentos em diagonal nos picos da manhã e da tarde onde os pedestres buscam minimizar seus tempos de viagem nos deslocamentos para e do trabalho;
- b) Por ser uma iniciativa que tinha sido instalada recentemente, alguns pedestres ainda poderiam estar testando a nova tecnologia.

A obediência dos pedestres à sinalização não teve um comportamento único nas interseções analisadas por Bissessar e Tonder. Em algumas das interseções o número de violações se manteve constante, mas em outras houve um aumento significativo. Os autores tentam explicar alguns dos motivos por trás da mudança de comportamento nestas interseções. A maioria das violações reportadas no estudo são referentes aos pedestres que começaram a travessia quando o semáforo exibia vermelho piscante, quando ainda os veículos não tem permissão de passagem. Isto pode ser explicado pois algumas das aproximações das interseções eram estreitas, permitindo ao pedestres que atravessassem em uma brecha no tráfego de veículos.

Toronto e Calgary realizaram pequenas pesquisa de público depois da implementação do novo estágio. Em Toronto, onde foram entrevistados 462 pedestres, os resultados obtidos mostraram que 89% dos entrevistados acharam uma boa ideia ter uma operação do tipo na interseção estudada. Em Calgary, com uma amostra de 140 pedestres, 79% dos entrevistados aprovaram o estágio exclusivo para pedestres e aproximadamente 70% comentaram que tal sinalização melhorará a segurança na interseção (BISSESSAR; TONDER, [2009?], p. 18, tradução nossa);

Bissessar e Tonder afirmam que deve haver consistência quanto as operações deste tipo de sinalização, não mudando os estágios do semáforo durante alguns períodos do dia ou operando com outra programação semaforica em um dia específico da semana. Tais ações poderiam confundir pedestres e motoristas. Por este tipo de sinalização ser atípico, esta medida deve ser discutida com as partes afetadas pela mudança, como polícia, agentes de trânsito, organizações de defensores de cegos e deficientes físicos e estabelecimentos comerciais próximos. Sinais e placas devem mostrar as mudanças para pedestres, especialmente cegos e deficientes, e motoristas.

Estes autores terminam reconhecendo que houve um aumento significativo nos atrasos no tráfego nas interseções em Toronto. Porém, houve uma troca favorável do ponto de vista de toda população visto que na interseção de Toronto que recebeu o estágio exclusivo, 50 mil pedestres atravessam-na diariamente, comparados com 36 mil veículos. Todavia, existe a preocupação com o deterioramento do nível de serviço do transporte público devido ao aumento no tempo de espera nas interseções. Similarmente em Calgary, o tipo de semáforo demonstrou aumento nos tempos de espera, embora este tenha sido considerado aceitável tendo em vista os benefícios operacionais e de segurança. No fim, reconhecem que,

observando o alto número de pedestres atravessando a interseção diagonalmente, o estágio exclusivo para travessia de pedestres pode ser dito que está sendo bem usado em Toronto e Calgary.

6 SIMULAÇÃO

6.1 SIMULAÇÃO DE PEDESTRES

De acordo com Jacobsen (2011, p. 19), as simulações de pedestres têm dois focos:

- a) Avaliação dos atrasos dos modos [de transporte] simulados;
- b) Avaliação da segurança nas travessias.

Recentemente, ainda de acordo com Jacobsen, modelos de pedestres foram incorporados em softwares como AIMSUN, PARAMICS e VISSIM em razão de uma crescente demanda de modelos de pedestres no ambiente urbano.

Nos modelos desenvolvidos para lidar com o primeiro foco, o comportamento médio dos pedestres é tido como alvo, permitindo resultados satisfatórios mesmo com simplificações nestes comportamentos. Contudo, para analisar o segundo foco das simulações de pedestres, os modelos tentam reproduzir todos os processos de decisão de motoristas e pedestres, tornando a simulação mais complexa e realista.

Ainda de acordo com o mesmo autor, motoristas e pedestres possuem comportamentos diferentes, os quais dependem não só das características do indivíduo, mas também de variáveis do entorno, como o tipo de travessia ou o número de pedestres aguardando para realizar a travessia.

De acordo Liu et al (2000, p. 4, tradução nossa), qualquer modelo que visa representar as interações entre veículos e pedestres e analisar sinalizações semafóricas deveria incorporar um modelo de oferta da rede e um modelo para motoristas e pedestres. O modelo de oferta da rede deve representar a rede de vias, interseções, estrutura das calçadas e travessias e as configurações dos semáforos. Já a simulação de tráfego de veículos e de pedestres deve representar os padrões de fluxo do tráfego, os movimentos dos pedestres, bem como a resposta dada aos sinais semafórico por parte dos motoristas e pedestres.

O autor ainda cita requisitos chave para os modelos (LIU et al, 2000, p. 4):

- a) Estrutura física das instalações de caminhada e travessia dos pedestres como refúgio central, caminho no pavimento e calçadas;
- b) Demanda de pedestres e padrões de chegada dos mesmos;
- c) Características dos pedestres e comportamentos referentes à travessia, incluindo ações que respeitam e que desrespeitam as sinalizações;
- d) Brecha crítica para pedestres;
- e) Padrões de chegada dos veículos;
- f) Semáforos atuados por veículos;
- g) Semáforos atuados por pedestres;
- h) Interações entre acionamentos de semáforo por parte dos pedestres e veículos;
- i) Indicadores de desempenho de pedestres e veículos.

Jacobsen ainda lista 4 modelos de comportamento de pedestres usados na representação de travessias, os quais serão importantes neste trabalho. São eles (JACOBSEN, 2011, p. 24):

- a) Movimentação de pedestres;
- b) Aceitação de brechas de pedestres;
- c) Aceitação de brechas de veículos;
- d) Escolha do local de travessia;
- e) Decisão sobre ignorar o semáforo.

6.2 MODELOS DE TRÁFEGO

Ariotti (2010, p. 36) afirma que “modelos de tráfego podem ser classificados sob diversos aspectos, como por exemplo, em escala espacial ou temporal, ou em relação ao nível de agregação das variáveis”.

Com relação ao nível de agregação de variáveis nos modelos de tráfego, a mesma autora escreve (ARIOTTI, 2010, p. 36).

[...] os modelos classificam-se em macroscópicos, mesoscópicos e microscópicos. Modelos macroscópicos descrevem o tráfego com alto nível de agregação do fluxo, por exemplo, através do volume por hora que passa por um determinado ponto. Os modelos microscópicos descrevem o comportamento dos veículos que compõem a corrente de tráfego, bem como suas interações com o ambiente viário e com outros veículos. Modelos mesoscópicos estão em um nível intermediário de detalhes, descrevendo os veículos individualmente, mas sem considerar suas interações.

Modelos microscópicos tendem a apresentar uma visão mais detalhada do ambiente de tráfego, tornando possível uma avaliação mais complexa envolvendo gerenciamento de tráfego e segurança viária. Nestes modelos o tráfego é mostrado em nível individual tanto de veículos, tanto de pedestres (ARIOTTI, 2010, p. 43).

6.3 VISSIM

O software VISSIM foi escolhido para a realização da simulação desta pesquisa. O VISSIM, produzido pela PTV, é um simulador de modelos microscópicos, com abordagem dinâmico discreta e estocástica. Com isto, é possível a modelagem de tráfego de veículos e pedestres e a análise e otimização de interseções (PTV, 2014). Além disto, o VISSIM é um simulador de tráfego conhecido e utilizado em estudos científicos em vários países do mundo.

Para o tráfego, o VISSIM utiliza algoritmos baseados nos trabalhos de Wiedemann (1974, 1991), junto como um modelo de aceitação de brechas para pedestres em travessias não sinalizadas.

7 ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SEMÁFORO COM ESTÁGIO EXCLUSIVO PARA PEDESTRES

7.1 ESCOLHA DA INTERSEÇÃO

De acordo com autores citados anteriormente, como Bissessar e Tonder ([2009?], p. 20, tradução nossa) e Tu e Sano (2014, p. 12, tradução nossa), é necessário um fluxo de tamanho razoável e constante de pedestres nas travessias de uma interseção para que um esquema semaforico com estágio exclusivo para pedestres seja adotado. Tal recomendação é geralmente necessária pois a implementação do estágio exclusivo para pedestres resulta em um maior tempo de espera para os carros envolvidos na interseção. Outra recomendação pertinente é a de um volume também não muito baixo de veículos para que não haja o encorajamento do não cumprimento da sinalização por parte dos pedestres pois ao ver pouco tráfego de veículos na travessia, não existiria motivação para a espera de seu respectivo sinal.

A maior dificuldade na escolha da interseção para o estudo foi a de inexistência de dados disponíveis para consulta para que houvesse uma fácil comparação entre travessias avaliadas e, com isso, uma escolha mais objetiva, baseada em dados de tráfego de veículos e pedestres e taxas de conversão. Por este motivo, contudo, foi necessária a escolha da interseção com base em critérios subjetivos.

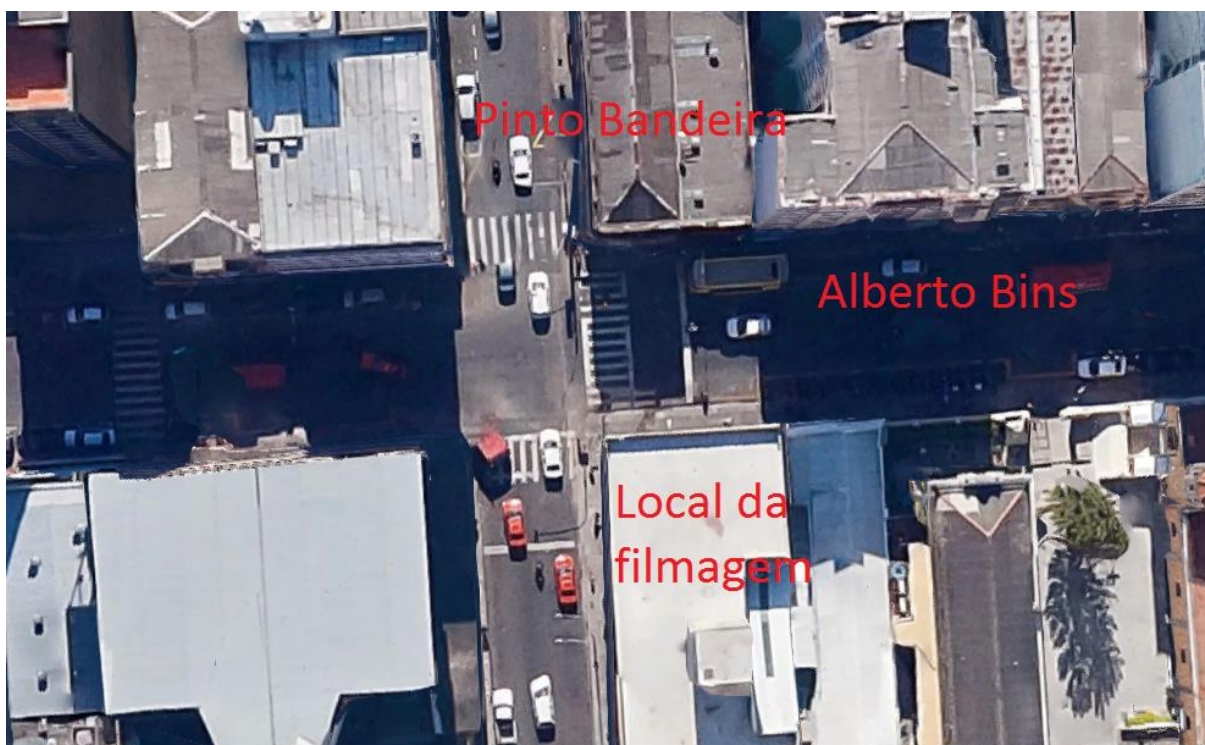
Primeiramente, foi feita uma análise subjetiva visual de várias interseções do centro de Porto Alegre para viabilizar que um estudo mais elaborado, com contagens de tráfego, fosse feito. A análise se baseava nos critérios mencionados na literatura:

- a) Volume de pedestres;
- b) Volume de veículos;
- c) Taxa de conversão de veículos;
- d) Possibilidade de filmagem em local próximo;
- e) Obediência à sinalização por pedestres e veículos;
- f) Geometria da via;
- g) Baixo número ou nenhuma linha de transporte coletivo utilizando a interseção.

Para o volume de pedestres, procurou-se uma interseção onde houvesse um fluxo constante e de razoável volume entre mais de uma esquina. A taxa de fluxo de veículos também é igualmente importante e buscou-se uma interseção com um volume constante e razoável mas que não fosse muito superior ao volume avaliado de pedestres. Buscou-se também uma interseção sem um número elevado de linhas de transporte público para que não houvesse um aumento sensível no tempo de viagem deste sistema. Por fim, quanto à geometria, buscou-se uma interseção com duas aproximações, preferencialmente de mão única. Outro critério importante não relacionado ao tráfego foi a disponibilidade de local para que fossem feitas filmagens do tráfego de veículos e pedestres para posterior contagem.

Após a análise subjetiva das interseções existentes, o cruzamento entre as ruas Alberto Bins e Pinto Bandeira foi escolhida para a realização dos estudos. Embora abrigue duas linhas de transporte coletivo (ônibus e lotações), a interseção possui um elevado número de travessia de pedestres em várias direções, fluxo de veículos razoável em ambas as aproximações e a possibilidade de filmagem em um edifício-garagem situado em uma de suas esquinas.

Figura 10: Localização da interseção e local da filmagem

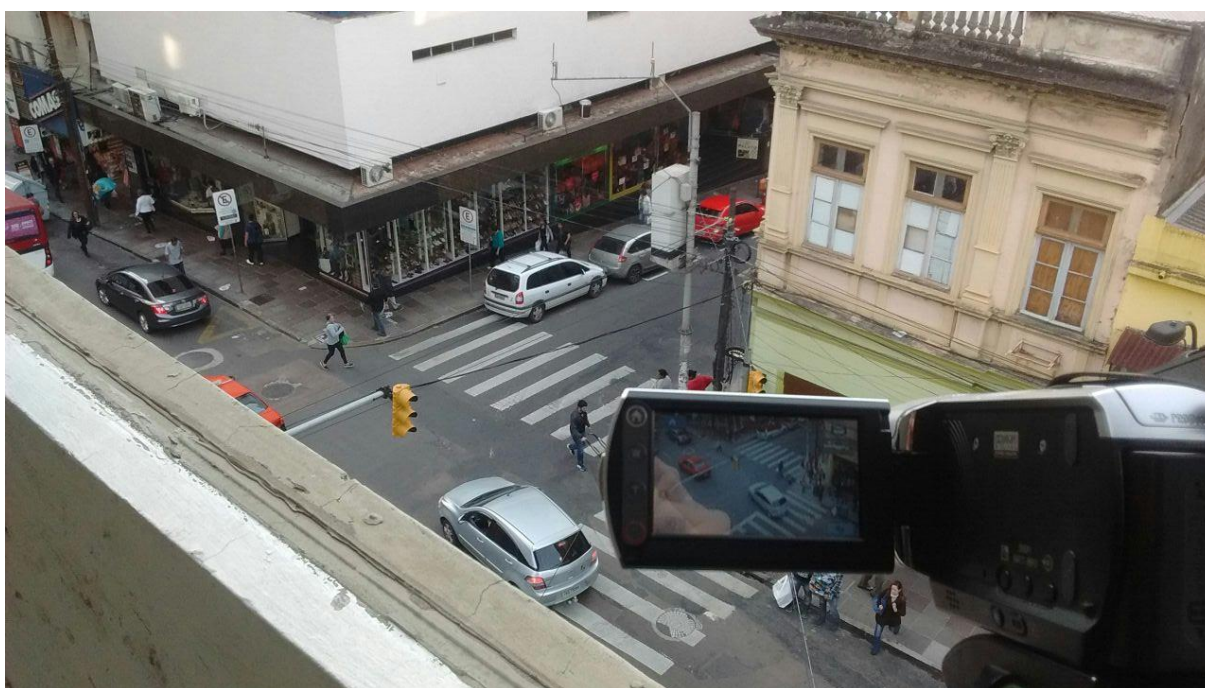


(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, 2015)

7.2 COLETA DE DADOS

Em razão da não disponibilidade de contadores automáticos nas vias do cruzamento, a solução usada foi a de contagem manual. Optou-se pelo uso de uma câmera para o auxílio da contagem, de modo que o tráfego contado fosse referente ao mesmo período de tempo e, também, diminuir a ocorrência de erros de contagem devido ao alto número de pedestres fazendo travessia na interseção. A filmagem totalizou uma hora de vídeo da visada principal e quinze minutos da visada auxiliar.

Figura 11: Visada principal da filmagem

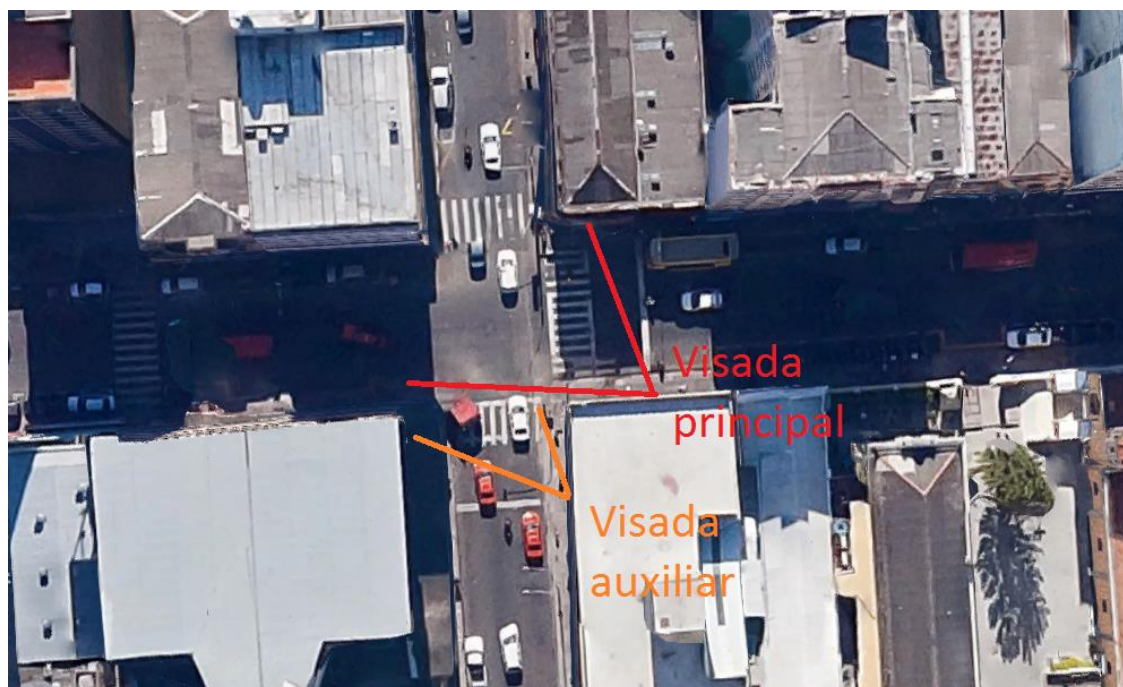


(fonte: elaborado pelo autor)

Como citado nos critérios para a escolha da interseção, havia a necessidade de que houvesse um local de filmagem em algum prédio próximo. Tal interseção possui dois prédios-garagem em sua esquina, um dos quais aceitou que fosse feita a filmagem por um período de cerca de uma hora. Embora fosse desejável que a filmagem fosse perpendicular ao solo, de modo a ter visão desobstruída de todos os movimentos de pedestres e veículos, em razão da estrutura do prédio, só foi possível uma filmagem que mostrasse as duas travessias de pedestres mais movimentadas. No tráfego de veículos, é possível distinguir as proporções de conversão de ambas as aproximações, Pinto Bandeira e Alberto Bins. Esta visada explicada anteriormente será chamada de visada principal uma vez que, com ela, foi possível obter a maioria dos dados coletados. Para os movimentos de pedestres não captados pela câmera na visada

principal, filmou-se outros quinze minutos em outra visada, chamada visada auxiliar, apontada para os pedestres que faziam a travessia da Rua Pinto Bandeira onde havia semáforo.

Figura 12: Disposição das visadas da câmera nas filmagens



(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, 2015)

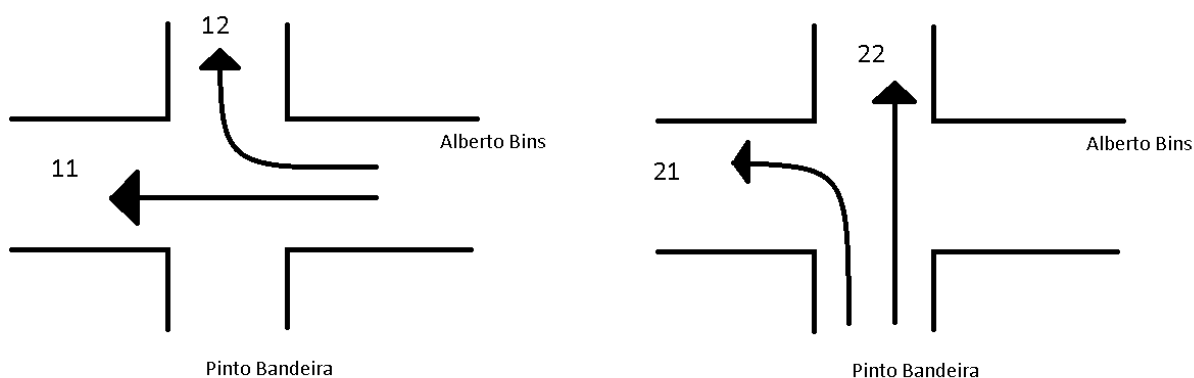
A contagem de volumes de veículos foi organizada de modo a separar ambas as aproximações sem distinguir a faixa a qual os veículos ingressavam na caixa da interseção pois, como observado nas filmagens, os veículos geralmente não respeitavam as marcações de faixas. Ainda do fluxo de veículos, contou-se o número de veículos que converteram para a outra rua da interseção e os que se mantiveram na mesma rua que ingressaram. Os dados coletados na contagem de veículos são apresentados na Tabela 1. Cada linha representa cinco minutos de contagem em cada movimento de cada aproximação.

Tabela 1: Volumes de veículos obtidos na contagem

Origem:	Alberto Bins			Pinto Bandeira		
Destino:	Alberto Bins (11)	Pinto Bandeira (21)	Soma	Pinto Bandeira (21)	Alberto Bins (22)	Soma
16:20:00	81	20	101	29	14	43
16:25:00	93	27	120	38	12	50
16:30:00	83	28	111	31	17	48
16:35:00	81	13	94	36	17	53
16:40:00	78	34	112	44	13	57
16:45:00	64	34	98	30	16	46
16:55:00	58	34	92	44	20	64
17:00:00	80	32	112	18	10	28
17:05:00	91	34	125	21	8	29
17:10:00	62	17	79	26	14	40
Média	77,10	27,30	104,4	31,70	14,10	45,8
Desvio	11,95	7,93		8,86	3,57	

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 13: Esquema dos movimentos utilizados para contagem



(fonte: elaborado pelo autor)

Em relação à composição de veículos, foi feita uma amostragem em 15 minutos de vídeo em cada aproximação da interseção. A aproximação Alberto Bins possui uma proporção grande de motocicletas, contudo, para simplificação no uso do simulador, cada motocicleta é computada como carro. Notou-se também que a aproximação da Pinto Bandeira possui uma relevante proporção de ônibus na composição do tráfego. A contagem de veículos foi agrupada em períodos de cinco minutos para que houvesse uma flutuação de demanda no tempo na simulação.

Para a coleta de dados envolvendo pedestres, contaram-se quantos pedestres faziam a travessia entre duas esquinas, separando-os por sentido. Não se buscou diferenciar os pedestres quanto à composição, como, por exemplo, sexo, idade ou pedestres carregando

malas ou pacotes. Notou-se que havia travessias com um volume muito maior que outras e pedestres atravessando a interseção mesmo onde não existia faixa de pedestre, embora o número reduzido. Para a taxa de pedestres que faziam duas travessias na interseção (em “L”), buscando a diagonal de sua esquina de origem, foi feita uma amostragem num período de 10 minutos. Como na contagem dos volumes de veículos, os fluxos de pedestres foram agrupados em períodos de cinco minutos. A contagem de pedestres é apresentada na Tabela 2.

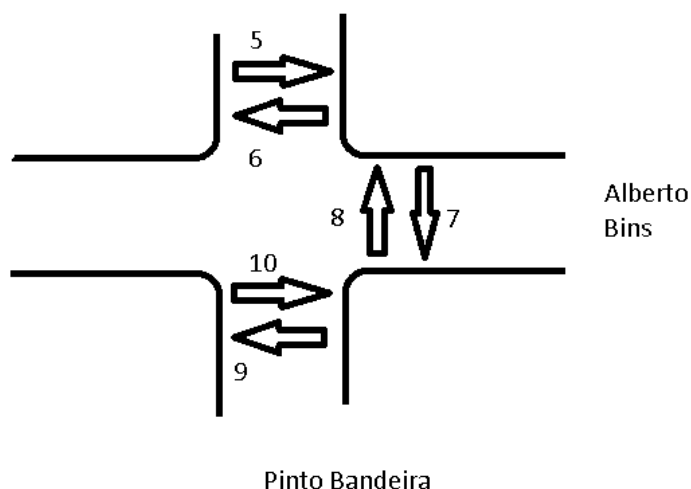
Tabela 2: Volumes de pedestres obtidos na contagem

	5	6	7	8	9	10
16:20:00	70	85	33	38		
16:25:00	75	70	20	24		
16:30:00	61	55	15	26		
16:35:00	59	48	25	29		
16:40:00	61	46	38	10		
16:45:00	61	48	12	14		
16:55:00	65	39	22	26		
17:00:00	83	51	30	14	17	27
17:05:00	92	52	25	24	15	30
17:10:00	77	47	13	40	26	28
Média	70,40	54,10	23,30	24,50	19,33	28,33
Desvio	11,13	13,50	8,67	9,88	5,86	1,53

(fonte: elaborado pelo autor)

Os movimentos de pedestres são apresentados na Figura 14. As movimentações na Rua Alberto Bins após a caixa da interseção, não representadas na figura 13, não possuíam faixa de pedestres, de modo que havia um volume irrisório e infrequente, e por isso não foram contabilizados na contagem.

Figura 14: Esquema dos movimentos de pedestres para contagem



(fonte: elaborado pelo autor)

Para a medição da geometria da interseção, foi usada uma trena de roda. Foi medida a largura das calçadas próximas às esquinas, a largura total das aproximações e a largura de cada faixa de tráfego de veículos, inclusas as zonas de estacionamento para melhor representação na simulação.

A duração dos sinais semafóricos e tamanho dos ciclos foi anotada para que fosse reproduzida no simulador.

7.3 SIMULAÇÃO DA INTERSEÇÃO ANALISADA

A simulação foi realizada no software de microssimulação PTV VISSIM devido a boa representação da interação entre pedestres e veículos no simulador.

Montou-se a estrutura da simulação com os dados geométricos coletados com a trena de roda, os volumes de veículos e pedestres e os tempos semafóricos. Após isso, tentou-se replicar o comportamento geral da interseção quanto a dinâmica veículo-pedestre na travessia que não é semaforizada (atravessando a Pinto Bandeira, após a caixa da interseção). Tal travessia possui comportamento diferenciado pelo alto volume de pedestres que desejam atravessar mas que precisam esperar por brechas no tráfego de veículos de duas aproximações.

Os pedestres foram inseridos diretamente nas regiões das esquinas da interseção, deste modo, só se vê na simulação os pedestres prestes a fazer uma travessia, sem exibir pedestres

caminhando em calçadas. Esta simplificação foi feita de modo a se manter fiel com os dados coletados, que, por serem adquiridos, manualmente, foram restringidos quanto a seu local de origem.

Outra simplificação feita no modelo é a não inclusão da interferência dos lotes lindeiros no tráfego, como acesso e saídas dos edifícios-garagem, bem como as perturbações causadas pelas faixas na rua utilizadas para estacionamento de veículos. Pedestres também foram modelados de forma a só realizar travessias nas zonas próximas da interseção e a sempre cumprir o semáforo que esperam.

Como não houve dados de contagem automática para a comparação com o modelo, a validação da simulação se deu por critérios subjetivos, onde se procurou comparar visualmente os comportamentos percebidos nas filmagens com o observado no modelo de simulação. O comportamento dos pedestres na interseção dependia da existência ou não de sinalização para pedestres no seu respectivo movimento. Caso houvesse semáforo para a sua travessia, tal pedestre aguardava até um novo período de verde para atravessar a interseção. De modo contrário, nos movimentos onde não havia sinalização, o pedestre era obrigado a aguardar brechas no fluxo de veículos para atravessar. Muitas vezes foi possível perceber que tal brecha não era extensa, de modo que em várias ocasiões os veículos que realizavam conversão para a Rua Pinto Bandeira precisavam diminuir consideravelmente a velocidade para não atingir nenhum pedestre. Em outras vezes, normalmente após a mudança de sinal para um dos movimentos de veículos, a situação se invertia e os primeiros veículos a chegar à travessia de pedestres precisavam esperar para que todos os pedestres completassem o trajeto.

7.4 SIMULAÇÃO DA INTERSEÇÃO ANALISADA COM O ESTÁGIO EXCLUSIVO PARA PEDESTRES

Com o modelo (tido como calibrado), partiu-se para a implementação de um estágio exclusivo para pedestres. Como observado nas filmagens, os pedestres na interseção tendem a não cumprir o sinal vermelho caso não haja veículos próximos. Por esta razão, e pelo design da interseção, sem conversões à esquerda de veículos, escolheu-se o modelo de travessia tipo C determinado por Bissessar e Tonder ([2009?], p. 4, tradução nossa) para que houvesse tráfego concorrente de pedestres quando não houvesse veículos em conflito. Deste modo, um estágio comportaria o tráfego de veículos na Alberto Bins junto com tráfego de pedestres na travessia

da Pinto Bandeira antes da interseção; outro estágio comportando o inverso, com tráfego de veículos na Pinto Bandeira e fluxo de pedestres na Alberto Bins antes da interseção e, por último, um estágio com vermelho para ambas aproximações de veículos e verde para todos os movimentos de pedestres.

Quanto à programação semafórica utilizada para a simulação com estágio exclusivo para pedestres, não foi usado nenhum método de cálculo. Adaptou-se a programação atual, diminuindo o tempo de verde para os veículos na Alberto Bins arbitrando um período de verde de doze segundos para todos os pedestres. O tamanho do ciclo foi mantido nos mesmos noventa segundos atuais.

Figura 15: Programação semafórica para o estágio de exclusiva movimentação de pedestres

No	Signal group	Signal sequence	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90								
1	Alberto Bins Carro	Red-green-amber				30				66			30	66						2
2	Pinto Bandeira Carro	Red-green-amber	2	23									2	23						3
3	Pedestres geral	Red-Green-Flashing Red								70	83		70	83						5
4	Pedestres parcial AB	Red-Green-Flashing Red			21					70			70	21						2
5	Pedestres parcial PB	Red-Green-Flashing Red				30							30	86						2

(fonte: elaborado pelo autor)

7.5 CENÁRIOS SIMULADOS

Com o modelo da interseção com a sinalização atual e o modelo com a sinalização com estágio exclusivo de pedestres, alguns cenários envolvendo os dois ambientes foram testados para se poder avaliar o desempenho da interseção com diferenças de volumes de pedestres e com aumento da procura de pedestres pela rota em diagonal. Os cenários escolhidos foram:

- Cenário atual;
- Volume atual com estágio exclusivo para pedestres;
- Cenário atual com aumento em 20% do volume de pedestres nas rotas diagonais;
- Aumento em 20% do volume de pedestres nas rotas diagonais com estágio exclusivo para pedestres;
- Aumento em 100% do volume de pedestres nas rotas diagonais com estágio exclusivo para pedestres.

Cada cenário foi simulado três vezes a fim de, segundo Caleffi (2013, p. 37), obter uma melhor variabilidade nos valores dos parâmetros do simulador e, com isso, melhor representar

o comportamento dos veículos e pedestres no modelo, uma vez que o VISSIM gera modelos estocásticos.

7.6 RESULTADOS OBTIDOS

O resultado obtido do simulador de cada uma das três repetições de simulação de cada cenário é um arquivo de texto contabilizando os critérios de avaliação para cada veículo e pedestre que entraram na simulação. Todo veículo e todo pedestre possui os valores de tempo de viagem e tempo de atraso neste arquivo. Com todos estes valores organizados em uma planilha, alguns dados estatísticos foram obtidos. Fizeram-se, também, histogramas de estas medidas obtidas de modo a mostrar a mudança dos resultados conforme os cenários eram mudados.

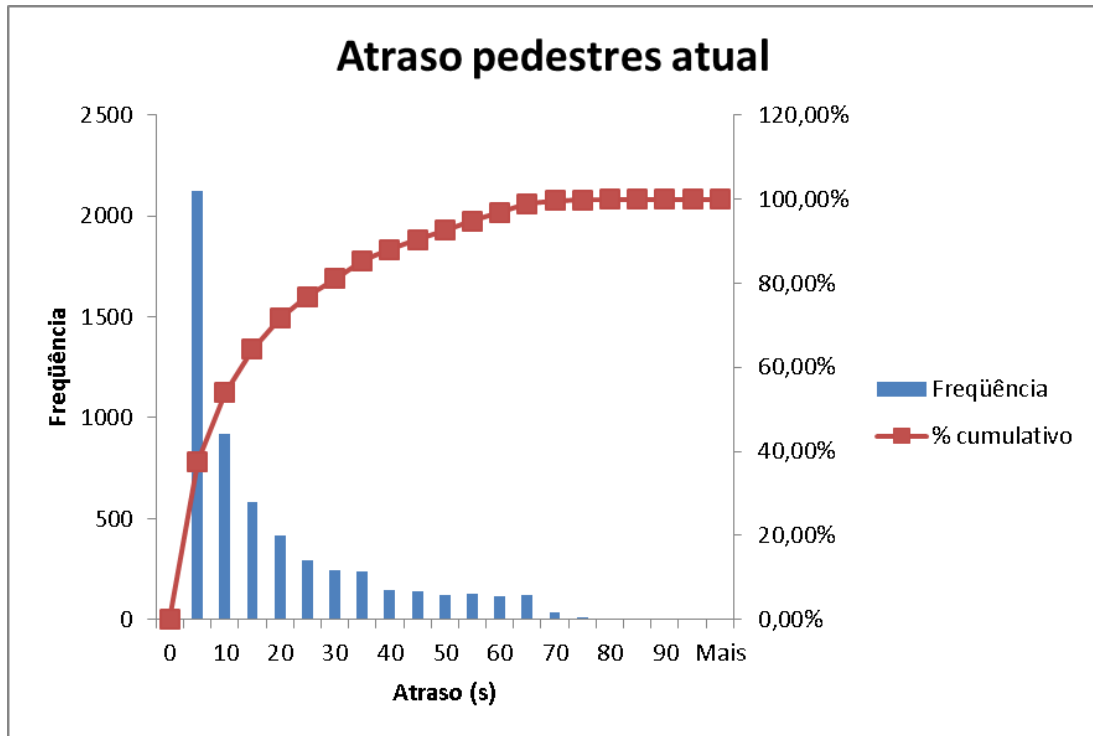
De acordo com a PTV (2014, p. 658, tradução nossa), o atraso de pedestres é computado pelo “tempo perdido” a cada passo de tempo, que, por sua vez, é determinado da diferença entre a velocidade atual e a velocidade que o pedestre gostaria de estar reproduzindo. Para veículos, a PTV (2014, p. 648, tradução nossa) define que o atraso é determinado pela diferença entre o tempo que o veículo efetivamente precisou para realizar seu caminho no modelo em comparação com o tempo ótimo (ideal). O tempo ótimo, por sua vez, é o tempo necessário para que um veículo faça seu percurso na velocidade máxima permitida, sem reduzi-la por aproximação de outros veículos, pedestres ou geometria da via.

7.6.1 CENÁRIO ATUAL

A simulação do cenário atual foi realizada com base nos dados obtidos nas contagens feitas, de modo a tentar representar a interseção no presente, como explicado na seção 7.3.

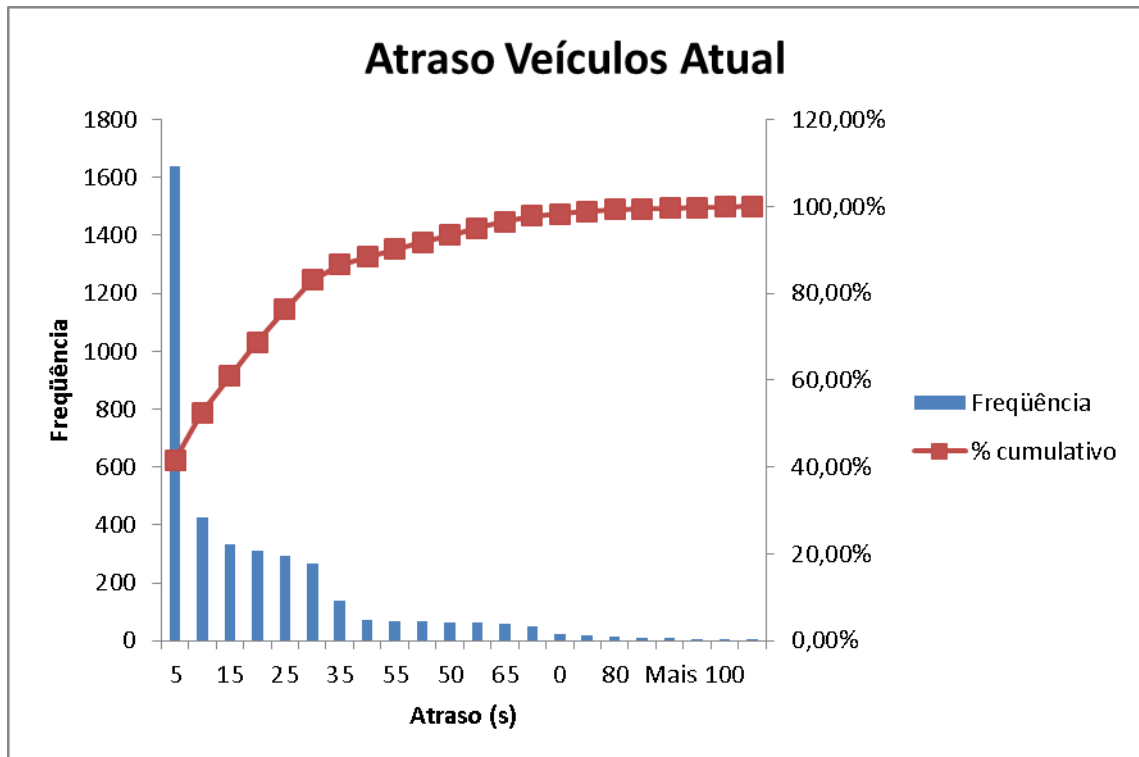
As figuras 15 e 16 apresentam os histogramas dos atrasos sofridos por pedestres e veículos, respectivamente, no modelo.

Figura 16: Histograma de atrasos de pedestres no cenário atual



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 17: Histograma de atraso de veículos no cenário atual

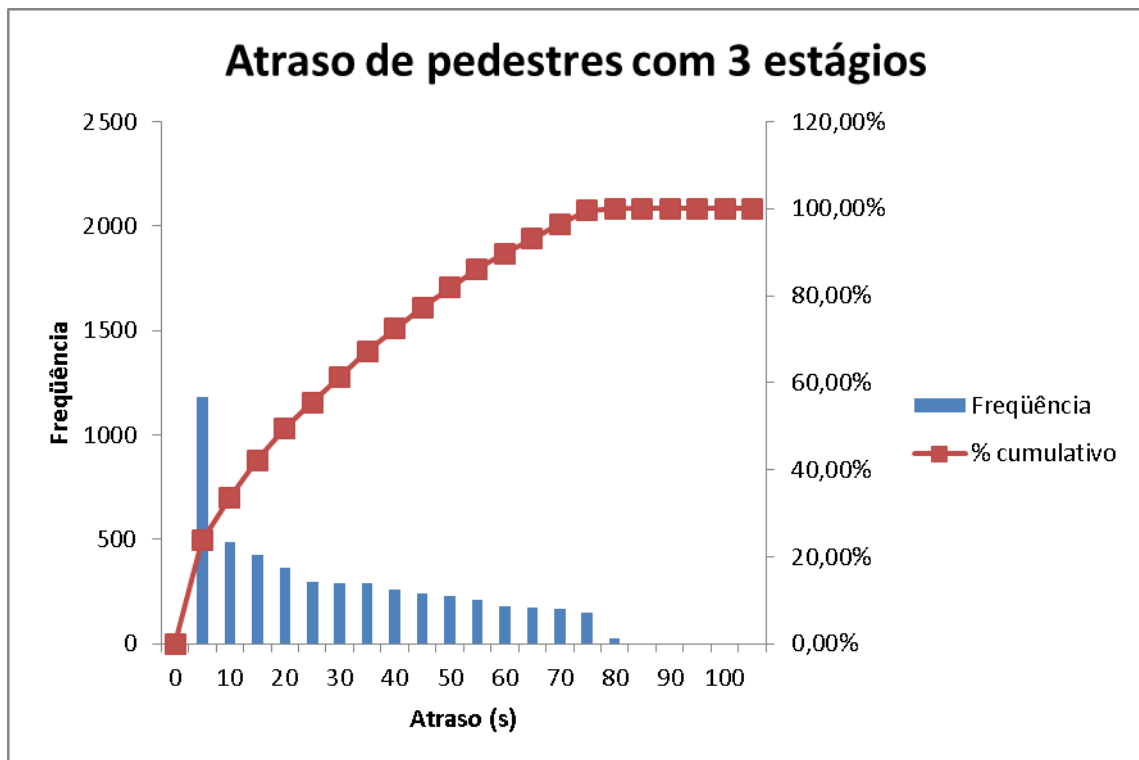


(fonte: elaborado pelo autor)

7.6.2 CENÁRIO COM ESTÁGIO EXCLUSIVO

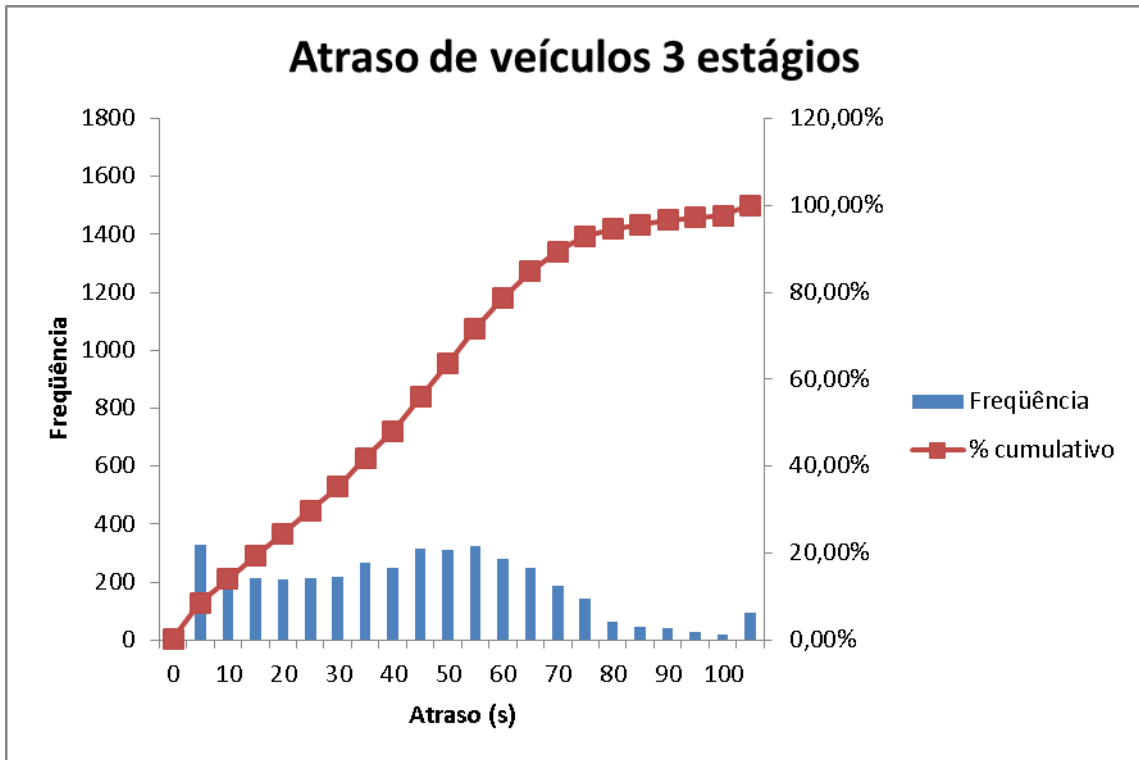
Depois de realizada a simulação do cenário com dados atuais, partiu-se para a simulação de um cenário com um estágio exclusivo para pedestres, como visto na seção 7.4. As figuras 17 e 18 apresentam os histogramas de atrasos para pedestres e veículos e do tempo de viagem de pedestres neste cenário.

Figura 18: Histograma de atrasos de pedestres no cenário com estágio exclusivo



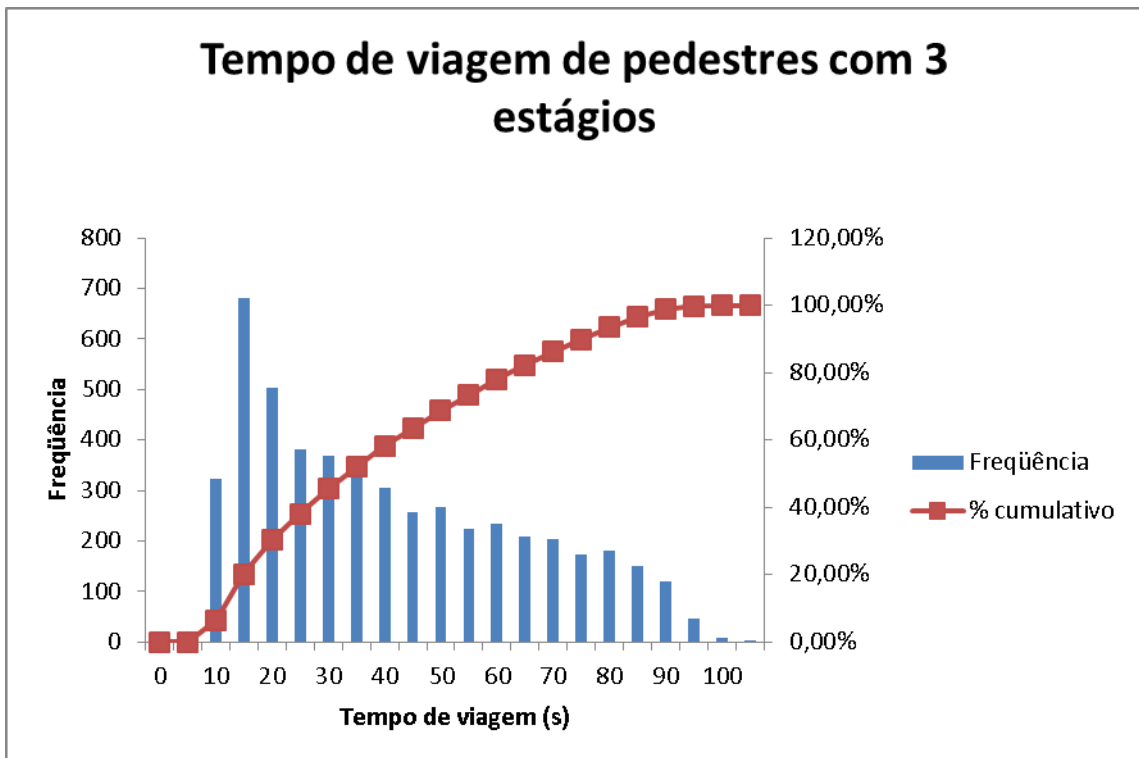
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 19: Histograma de atraso de veículos no cenário com estágio exclusivo



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 20: Histograma de tempos de viagem de pedestres no cenário com estágio exclusivo

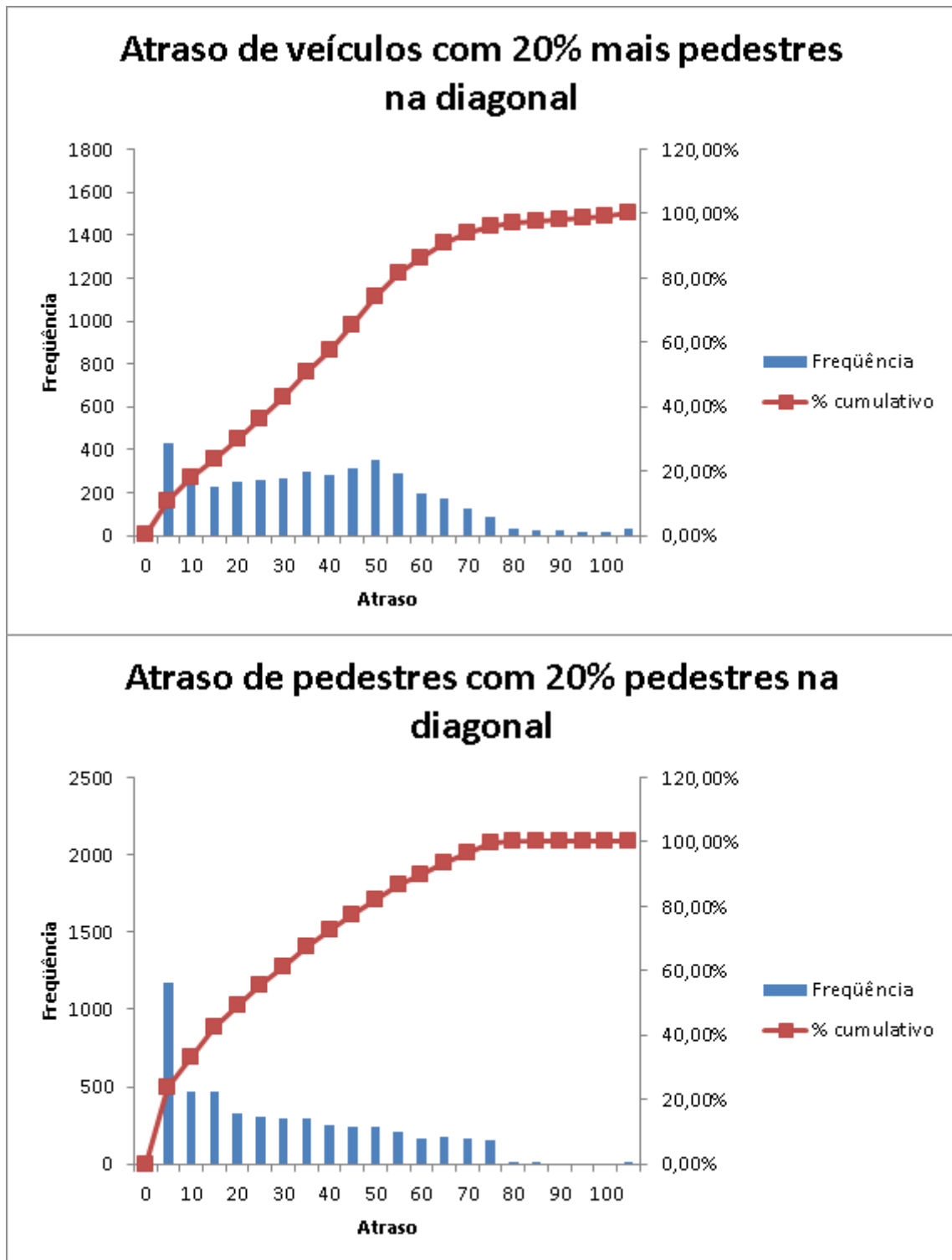


(fonte: elaborado pelo autor)

7.6.3 CENÁRIO COM AUMENTO NAS MOVIMENTAÇÕES DIAGONAIS

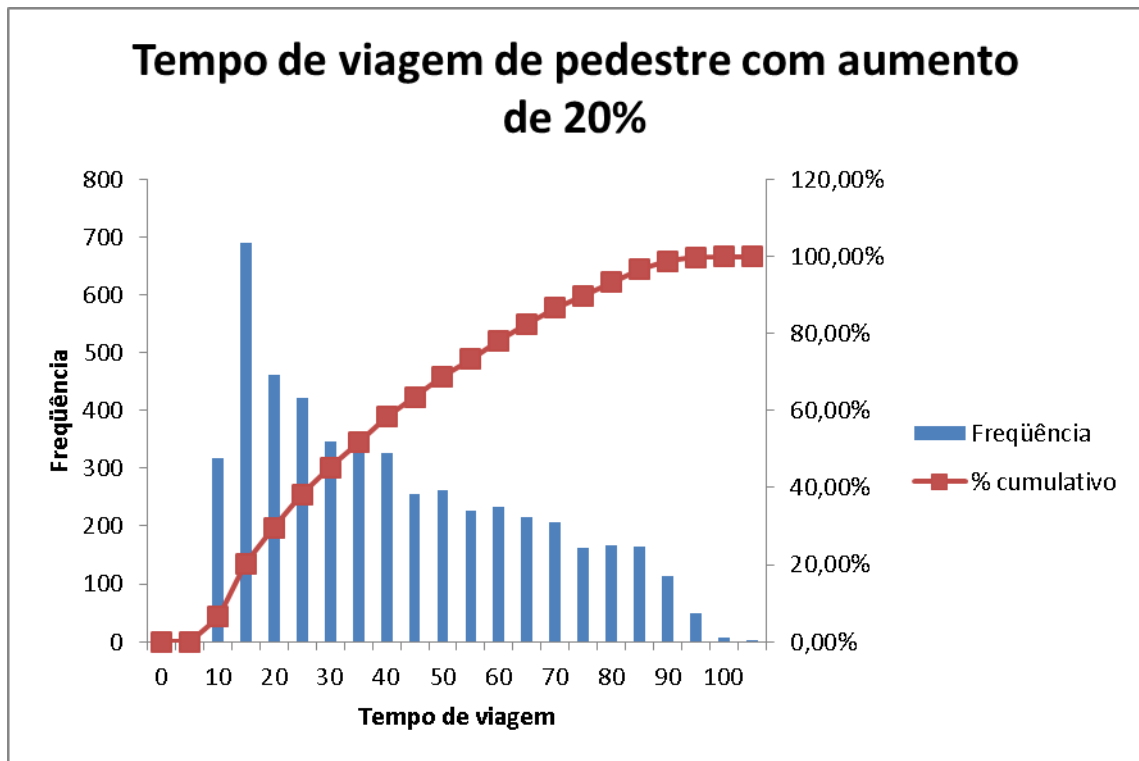
De modo a analisar a sensibilidade do modelo quanto à demanda, fizeram-se simulações com crescentes volumes nas movimentações diagonais de travessia de pedestres. Primeiramente se aumentou as taxas de movimentos na diagonal em 20% para testar uma variação tida como razoável e então, após se notar que não houve mudanças significativas nos resultados, aumentou-se em 100%, em referência aos valores originais coletados em campo. As figuras 20 e 21 mostram os histogramas de atrasos para veículos e pedestres e tempos de viagem para pedestres.

Figura 21: Histogramas de atrasos para cenário com 20% de aumento em movimentos diagonais



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 22: Histograma de tempos de viagem de pedestres com aumento de 20% em movimentos diagonais



(fonte: elaborado pelo autor)

7.6.4 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS

As tabelas 3 e 4 mostram as médias, desvios padrões, mínimos e máximos dos cinco cenários simulados. Em razão da grande diferença do funcionamento da interseção conforme o número de estágios, agruparam-se os cenários conforme o número de estágios. Nota-se em todos os cenários a obtenção de uma distribuição binomial negativa, facilmente vista ao observar os histogramas.

Tabela 3: Comparação de resultados obtidos para simulações com 2 estágios

Cenários com 2 estágios					
Atraso de veículos (segundos)	Média	Desvio	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
Cenário atual	15,79	18,83	1,19	0,00	126,30
Cenário atual + 20% diagonal	15,96	18,64	1,17	0,00	108,00
Atraso de pedestres (segundos)	Média	Desvio	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
Cenário atual	15,70	17,41	1,11	0,00	91,70
Cenário atual + 20% diagonal	16,79	18,23	1,09	0,00	100,00
Tempo de viagem de pedestres (segundos)	Média	Desvio	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
Cenário atual	28,64	20,87	0,73	6,00	132,30
Cenário atual + 20% diagonal	29,84	21,83	0,73	5,90	137,00

(fonte: elaborado pelo autor)

Com o resultado obtido nos primeiros cenários simulados com dois estágios, percebe-se que, embora pequeno, há um aumento nas médias nos três dados de medida. Do mesmo modo, o desvio padrão e coeficiente de variação se mantêm próximos do cenário atual.

A Tabela 4, abaixo, apresenta os resultados para cenários onde o estágio exclusivo para pedestres foi introduzido.

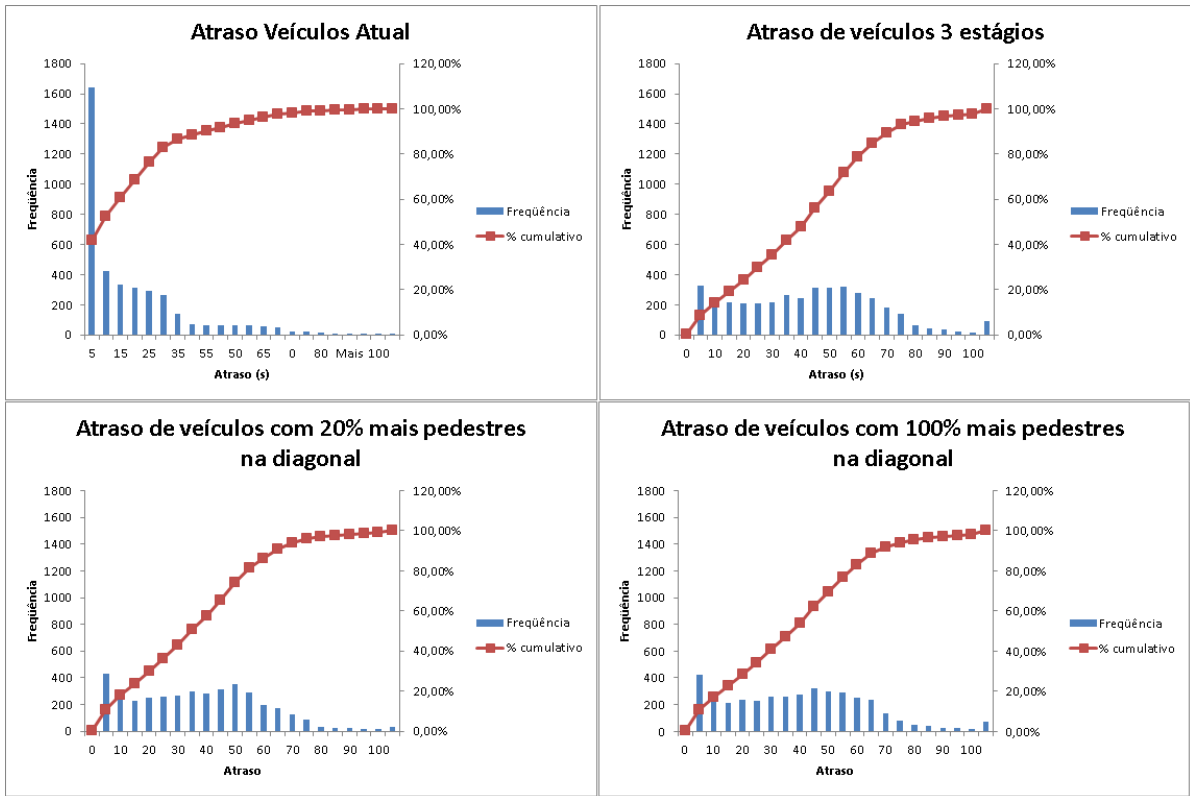
Tabela 4: Comparação de resultados obtidos para simulações com estágio exclusivo para pedestres

Atraso de veículos (segundos)					
Cenários	Média	Desvio	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
3 estágios	40,84	25,69	0,63	0,00	138,80
3 estágios +20% diagonal	35,02	22,98	0,66	0,00	125,50
3 estágios + 100% diagonal	37,32	24,78	0,66	-0,30	127,70
Atraso de pedestres (segundos)					
Cenários	Média	Desvio	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
3 estágios	25,80	22,08	0,86	0,00	79,00
3 estágios +20% diagonal	25,76	22,05	0,86	0,00	115,80
3 estágios + 100% diagonal	26,40	23,19	0,88	0,40	137,50
Tempo de viagem de pedestres (segundos)					
Cenários	Média	Desvio	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
3 estágios	38,49	23,77	0,62	6,20	103,80
3 estágios +20% diagonal	38,52	23,75	0,62	6,10	137,80
3 estágios + 100% diagonal	39,40	25,02	0,64	6,10	160,60

(fonte: elaborado pelo autor)

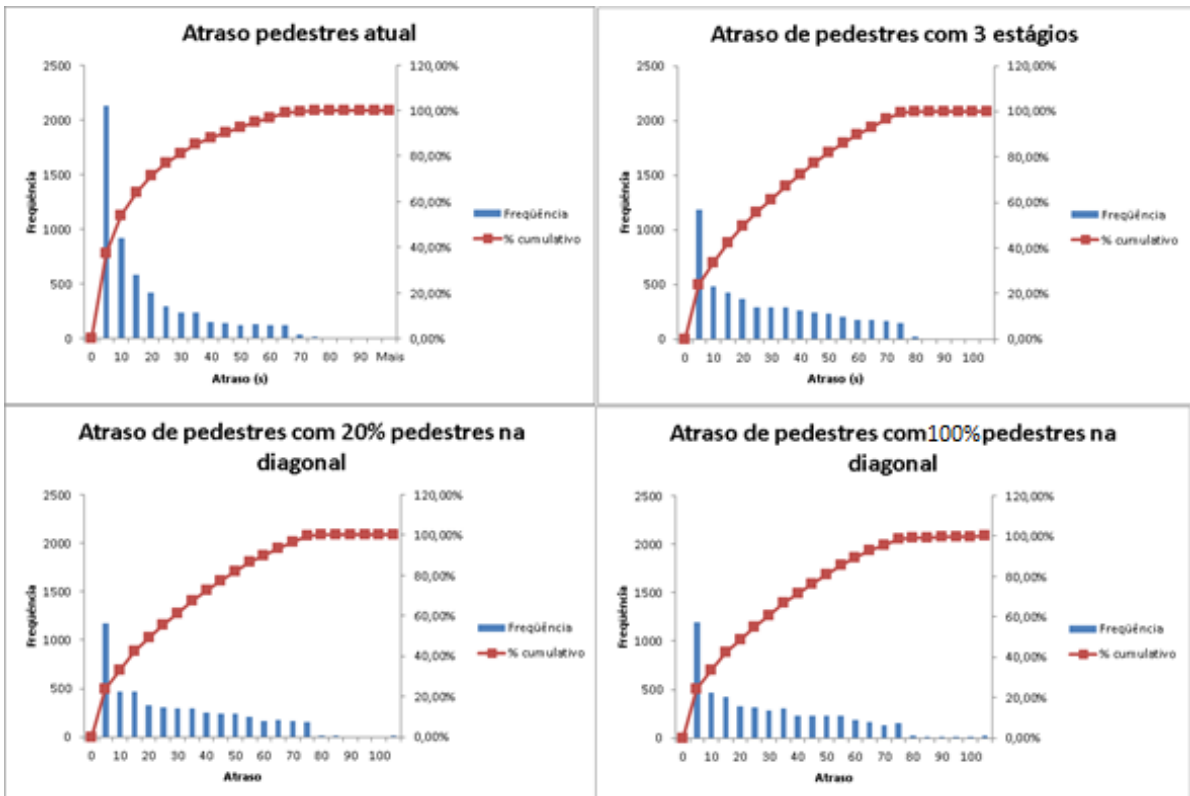
A partir da Tabela 4, pode-se notar que, em todos cenários diferentes do atual, houve um aumento significativo nos tempos de atraso, com estes passando de quinze segundos para quarenta segundos no caso de veículos, e de quinze segundos para vinte e cinco segundos para pedestres. Nota-se também que além dos aumentos nas médias, o coeficiente de variação diminuiu nos cenários com três estágios, mostrando uma menor dispersão dos dados. Conseqüentemente, os histogramas de atrasos (figuras 22 e 23) mudam consideravelmente para ambos os tráfegos (pedestres e veículos) de modo que mais veículos e pedestres sofrem com atrasos maiores. Pode-se notar nos histogramas de tempos de atraso de veículos, houve um aumento nas faixas de 35 a 85 segundos. Tal aumento pode ser explicado pois com três estágios de pedestres, a travessia com maior fluxo de pessoas (movimentos 5 e 6 de pedestres) tornou-se semaforizada, de modo que os pedestres precisam esperar o sinal verde para atravessar. Atualmente, esta travessia não possui semáforo e, com isso, os pedestres atravessam nas brechas entre veículos.

Figura 23: Comparação entre histogramas entre atrasos de veículos



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 24: Comparação entre histogramas entre atrasos de pedestres



(fonte: elaborado pelo autor)

Ao contrário do esperado, contudo, mesmo com o aumento do número de travessias em diagonal em 20% e depois 100%, não houve uma diminuição nos tempos de atraso e tempos de viagem dos pedestres. Existe, contudo, uma semelhança nos resultados obtidos em ambos últimos cenários, demonstrando que existe uma resiliência do modelo quanto ao aumento de volumes nas travessias diagonais.

Existe, ainda, uma semelhança de valores na Tabela 3 com os resultados obtidos para cenários sem este aumento nas travessias diagonais. Mesmo com este aumento nesta rota em particular, o número de pedestres ainda seria muito baixo se comparado com a totalidade e isto poderia explicar os resultados inexpressivos da nova sinalização do terceiro estágio para pedestres.

Por outro lado, observando a simulação, houve visualmente uma melhora na segurança dos pedestres realizando a travessia na agora semaforizada interseção. Antes onde muitos esperavam brechas no tráfego de veículos e se arriscavam ao manter-se perto dos veículos em movimento, agora estes pedestres atravessam amparados por sinalização.

Outra observação digna de nota é que existe a possibilidade destes movimentos em diagonal aumentarem uma vez introduzido um semáforo com estas características, como visto por Bissessar e Tonder ([2009?], p. 13, tradução nossa). No estudo realizado por estes autores, houve um aumento de travessias em diagonal após a inclusão de um estágio para pedestres. Os mesmos tentam explicar o aumento concluindo que a travessia em um estágio exclusivo é mais eficiente ao se comparar a travessia de duas ruas em dois estágios. Com isto, pode-se argumentar que a implementação de tal sinalização pode causar uma mudança de comportamento de pedestres que transitam na região, de modo que alguns pedestres poderão escolher realizar travessias nesta interseção específica.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a crescente preocupação com pedestres no trânsito, tanto no escopo segurança viária, tanto em uma visão que tem por objetivo tornar as cidades mais confortáveis e agradáveis de caminhar, maiores estudos e iniciativas são realizadas para sanar esta preocupação. Contudo, é preciso levar em conta, a viabilidade do projeto, levando em conta a economia (ou o gasto) de tempo com estas mudanças. Por isso, nem sempre as mudanças podem ser justificáveis.

Muitas ações podem ser tomadas para que haja uma melhora na segurança de pedestres, e dentre estas estão os semáforos que possuem três estágios, sendo o terceiro responsável por acomodar a travessia segura de todos os pedestres em qualquer direção. Esta estratégia tem sido resgatada, após um forte uso nos anos 1960 nos Estados Unidos, e tem se tornado mais popular recentemente. Muitas grandes cidades tem utilizado a medida em travessias que possuem um grande movimento de pedestres. Tal medida é preferida nestes cenários de grandes volumes pois não há conflito com o tráfego de veículos e existe uma melhora nos tempos de espera para os pedestres.

A pesquisa buscou introduzir esta medida em uma interseção do centro de Porto Alegre, entre as ruas Alberto Bins e Pinto Bandeira, que demonstraram altos volumes de pedestre e certa insegurança pelo fato de nem todas as travessias da interseção possuírem semáforo.

Ao utilizar um simulador computacional, alimentado por dados colhidos em campo, os resultados não demonstraram melhora quando comparados ao cenário atual da interseção. Pode-se ver um aumento nas médias de tempos de atraso para pedestres e veículos nos cenários onde se programou esta mudança. Observando os histogramas de atrasos também foi observada uma piora quando comparando ao cenário atual. Do mesmo modo, os tempos de viagem dos pedestres obtiveram resultados piores após a mudança.

Estes resultados insatisfatórios podem ser explicados por uma ainda baixa taxa de travessias pela diagonal. Mesmo após o aumento de 100% dos volumes nestas movimentações, ainda assim estas travessias correspondiam em cerca de 12% do total. Outro ponto importante a ser citado é a introdução de semaforização na travessia mais movimentada da interseção, que

atualmente não possui semáforo. Deste modo os pedestres precisariam esperar seu sinal verde para realizar a travessia, gerando, assim, um aumento nos valores dos tempos de atraso.

Embora não obtendo resultados positivos quanto aos dados utilizados nas comparações, pode-se perceber uma melhora visual ao se observar a simulação. Onde antes, nas visitas à interseção estudada, podia se ver um alto nível de proximidade de pedestres e veículos, ambos tentando realizar seus movimentos, na simulação com estágio exclusivo estas movimentações se realizavam de modo mais organizado e sem necessidade de espera por brechas no tráfego.

Para estudos futuros, é aconselhável que haja uma maior abundância de dados, principalmente se obtidos por contadores automáticos, de modo que haja uma melhor calibração e validação do modelo. Outra possível recomendação para futuras pesquisas seria a modelagem de uma interseção com um já elevado número de travessias de pedestres na diagonal, conseguindo-se, assim, uma maior confiabilidade nos dados e podendo recriar cenários mais próximos ao atual.

REFERÊNCIAS

Departamento Nacional de Trânsito. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume V - Sinalização Semafórica**. Brasília, DF, 2014. Disponível em:

<http://www.denatran.gov.br/download/resolucoes/resolucao4832014_anexo.pdf>. Acesso em: 30 novembro 2015.

Transportation Research Board. **Highway Capacity Manual 2010**. Washington, DC, 2010.

Bissessar, R; Tonder, C. **Pedestrian Scramble Crossings – A tale of Two Cities**. Toronto, [2009?]. Disponível

em:<https://www1.toronto.ca/City%20Of%20Toronto/Transportation%20Services/Walking/Files/pdf/pedestrian_scramble_crossings.pdf>. Acesso em 01 Nov. 2015.

Tu, T.; Sano, K. Simulation Based Analysis of Scramble Crossings at Signalized Intersections.

International Journal of Transportation, Niigata, v. 2, n. 2, p. 1-14, 2014. Disponível em:<http://www.sersc.org/journals/IJT/vol2_no2/1.pdf>. Acesso em 01 Nov. 2015.

Gårder, P. Pedestrian safety at traffic signals: A study carried out with the help of a traffic conflicts technique. **Accident Analysis and Prevention**, Estocolmo, v. 21. n. 5, p. 435-444, Mar. 1989. Disponível em:<http://www.ictct.org/wp-content/uploads/Gaarder_1989.pdf>. Acesso em 01 Nov. 2015.

Jacobsen, A. **Microssimulação da Travessia de Pedestres**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Liu, R.; Silva, J. P.; Seco, A. J. A Bi-Modal Microsimulation Tool for the Assessment of Pedestrian Delays and Traffic Management. **9th International Association of Travel Behavior Research Conference**, Gold Coast, Australia, 2000.

Ariotti, P. **Método Para Aprimorar a Estimativa de Emissões Veiculares em Áreas Urbanas Através de Modelagem Híbrida em Redes**. 2010. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PTV. **Vissim 7 Usar Manual**. Karlsruhe, Alemanha, 2014.

Caleffi, F. **Gerenciamento ativo de tráfego: estudo de caso de uma autoestrada brasileira**. 2013. 65 f. Tese (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

WIEDEMANN, R. **Simulation des Straßenverkehrsflusses**. Karlsruhe: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, 1974. Heft 8.

WIEDEMANN, R. Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads. In: COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITY (Ed.). **Advanced Telematics in Road Transport**. Brussels, 1991. DG XIII.