

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ TEIXEIRA BRAGA NETO

**AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE READEQUAÇÃO DA ROTATÓRIA
AV. AGUANAMBI x BR-116 UTILIZANDO A MICROSSIMULAÇÃO**

FORTALEZA
2013

JOSÉ TEIXEIRA BRAGA NETO

AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE READEQUAÇÃO DA ROTATÓRIA
AV. AGUANAMBI x BR-116 UTILIZANDO A MICROSSIMULAÇÃO

Monografia submetida à Coordenação do
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial
para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof.º Flávio José Craveiro
Cunto, Doutor.

FORTALEZA
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B794a Braga Neto, José Teixeira.

Avaliação da proposta de readequação da rotatória da Av. Aguanambi x BR-116 utilizando a
microsimulação / José Teixeira Braga Neto. – 2013.
79 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2013.

Orientação: Prof. Dr. Flávio José Craveiro Cunto.

1. Microsimulação. 2. Rotatória. 3. Calibração. 4. Simulação de tráfego. I. Título.

CDD 620

JOSÉ TEIXEIRA BRAGA NETO

AVIALIAÇÃO DA PROPOSTA DE READEQUAÇÃO DA ROTATÓRIA DA
AV. AGUANAMBI x BR 116 UTILIZANDO A MICROSSIMULAÇÃO

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.º Flávio José Craveiro Cunto, Dr. (Orientador)

Prof.º Manuel Mendonça de Castro Neto, Dr. (Examinador)

Eng. Francisco Suliano Mesquita Paula, Mestre. (Examinador)

Dedico este trabalho aos familiares e amigos que contribuíram na minha formação pessoal e profissional.

“Uma vida sem desafios não
vale a pena ser vivida.”

Sócrates

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter escolhido e iluminado meu caminho.

Aos meus pais, Antônio de Pádua e Hila, e aos meus avôs Braga, Rosa e Lecy, pelo apoio, pelo amor e dedicação em todos os momentos, sendo sempre um porto seguro nas horas mais difíceis, mostrando sempre o melhor caminho a se seguir, sendo a fundação dessa difícil caminhada.

Aos meus irmãos, Yuri e Nayra, e aos primos, pelos momentos de brincadeiras, pela compreensão sempre que foi preciso, e por mostrar com amor que estaremos unidos até o final das nossas vidas.

À minha namorada Priscilla Paiva, por compartilhar momentos de amor e paixão, por fazer com que eu dê sempre o melhor de mim, para ser o melhor para ela. Agradeço também a sua família, por ter me recebido de braços abertos, através de pessoas que posso contar para quaisquer assuntos de agora em diante.

Ao professor/amigo Flávio, pelo companheirismo, paciência e constante bom-humor.

Aos professores do curso que com o seus conhecimentos contribuíram para enriquecer a minha formação e fizeram com que admirasse cada vez mais o curso de Engenharia Civil.

Aos amigos do colégio Antares, que acompanharam todo o meu crescimento pessoal e profissional, e que, quando juntos, me fazem rejuvenescer e lembrar o passado como se ainda estivesse na época da escola, me dando sempre a alegria e a certeza de que amizade verdadeira ultrapassa qualquer barreira.

Ao CTAFOR, pela contribuição com os dados e pela boa receptividade. Ao TRANSFOR, por ceder a proposta que está sendo estudada para solucionar o problema da rotatória. Ao Elievam Bessa Jr., pela atenção e por ser sempre tão solícito quando preciso para a realização do trabalho. Aos colegas Bruno Carvalho e Abraham, que me auxiliaram a executar o trabalho no programa VISSIM.

Aos colegas de curso, em especial aos amigos que tive o prazer de estudar juntos: Eugênio, João André, Reuber, Matheus, Leonardo, Túlio, Ibsen, Bruno Teixeira, Emidio, Victor França, Catrib, Rayanne, Guilherme, Lucas, André, Paulo, Marlon, PH, entre outros não menos importantes.

Aos demais familiares e amigos especiais que contribuíram para a minha formação.

RESUMO

O desenvolvimento urbano aliado a evolução dos transportes motorizados tem gerado graves consequências, como poluição, acidentes de trânsito e congestionamentos. Parte das dificuldades advém das interseções, que normalmente apresentam problemas de desempenho operacional (fluidez) e de segurança pelos fluxos com justaposição. Um dos desafios dos profissionais ligados ao projeto e operação do tráfego rodoviário em áreas urbanas é a escolha da melhor configuração das áreas de interseção, dependendo, dentre outras fatores, da demanda veicular e sua interação com opções de infraestrutura a serem ofertadas. O uso de técnicas de simulação tem possibilitado o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a otimização do desempenho operacional dos sistemas de transportes. Essa Monografia contribui para a disseminação do uso da simulação microscópica como ferramenta de modelagem do desempenho operacional dos sistemas de transportes em interseções urbanas. No caso desse estudo, foi modelada a rotatória da Aguanambi x BR-116 como está atualmente e como ficará se a proposta enviada pelo TRANSFOR for executada. A rotatória se encontra hoje com um alto nível de atraso e tem alto grau de entrelaçamento, resultando em acidentes. Portanto o trabalho tem o intuito de avaliar as diferenças nos tempo das rotas das modelagens, atual e proposta, utilizando o microssimulador VISSIM. A área de interesse foi codificada através de imagens do Google Maps. As informações referentes à demanda de tráfego e escolha de rota foram obtidas respectivamente, pela Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (através do SCOOT) e pelo programa QUEENSOD. Foram utilizados algoritmos genéticos para a calibração do programa, utilizando atraso médio em 3 interseções como medida de desempenho. Os resultados da calibração conseguiram reduzir o erro RMSE (raiz quadrada do erro médio) do atraso médio de 19,5 para 17 segundos por interseção. Como alternativa à configuração existente, avaliou-se a implantação de uma interconexão no local seguindo projeto proposto pela Secretaria de Infraestrutura do Município de Fortaleza – SEINF. A análise dos cenários ocorreu com o tempo de viagem médio sendo utilizado como medida de desempenho, obtendo uma melhoria de 35% no tempo de viagem por interseção.

Palavras-chave: Microssimulação, rotatória, calibração, simulação de tráfego.

ABSTRACT

Urban development combined with evolution of motorized transportation has led serious consequences, such as pollution, traffic accidents and traffic jams. Part of difficulty is due to the intersections, which usually present some operating performance problems and security problems by flows with juxtapositions. One of the challenges for professionals involved to the design and operation of road traffic in urban areas is to choose the best configuration of intersecting areas, mainly depending on the demand and its interaction with available infrastructure options. The use of simulation techniques has enabled the development of new technologies for optimizing operational performance of transportation systems. This work contributes to the widespread use of microscopic simulation as a modeling tool of operational performance transportation systems in urban intersections. This study modeled the roundabout Aguanambi x BR-116 as it is currently and after the proposed changes by TRANSFOR. The roundabout currently has a high level of delay and has a high degree of entanglement, resulting in accidents. Thus, this work aims to evaluate the modeled travel times, current and proposed, by the use of the microsimulator VISSIM. The area of interest was coded using images from Google Maps. The information concerning the traffic demand and route choice were obtained respectively by Traffic Control Area in Fortaleza (through SCOOT) and the program QUEENSOD. Genetic algorithms have been used to the calibration of the program, including an average delay in three intersections as a measure of performance. Calibration results could reduce the RMSE error (root mean square error) of the average delay of 19,5 to 17 seconds per intersection. As an alternative to the current configuration, it was evaluated the implementation of an interconnection at the site according to the project proposed by the Department of Infrastructure in the city of Fortaleza - SEINF. The analysis of scenarios considered the average travel time as a measure of performance, achieving a 35% improvement in travel time per intersection.

Keywords: Microsimulation, roundabout, calibration, traffic simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1. Interseção de três ramos em T.....	06
Figura 2.2. Interseção de três ramos em Y.....	06
Figura 2.3. Reta.....	06
Figura 2.4. Obliqua.....	06
Figura 2.5. Assimétrica.....	06
Figura 2.6. Interseção de ramos múltiplos.....	07
Figura 2.7. Rotatória.....	08
Figura 2.8. Trevo completo.....	09
Figura 2.9. Diamante.....	09
Figura 2.10. Trevo Parcial.....	10
Figura 2.11. Direcional.....	10
Figura 2.12. Canalização utilizada em cruzamento de vias a interseções de três ramos em Y.....	11
Figura 2.13. Canalização utilizada em regiões com a presença de semáforos.....	12
Figura 2.14. Exemplos de sinalizações horizontais.....	13
Figura 2.15. Exemplo de sinalização regulamentadora.....	14
Figura 2.16. Semáforo com elemento de sustentação braço projetado.....	15
Figura 3.1. Parâmetros para mudança de faixa - VISSIM.....	23
Figura 3.2. Fluxograma de método de calibração AG quando se utiliza dados de sensor.....	30
Figura 4.1. Delimitação da região de estudo.....	32
Figura 4.2. Codificação da rede utilizando imagens do Google Maps.....	40
Figura 4.3. O conector da rotatória para a BR-116 e a colisão gerada.....	41
Figura 4.4. Localização dos laços no programa.....	44
Figura 4.5. <i>Layout</i> do programa utilizado para calibração.....	45
Figura 4.6. Desenho em CAD da proposta para solução do problema da rotatória.....	51
Figura 4.7. Aproximação dando ênfase na rotatória.....	51
Figura 4.8. Codificação da rede proposta.....	53
Figura 4.9. Rota de origem na Av. Aguanambi Norte e destino Av. Eduardo Girão.....	53
Figura 4.10. Rota de origem na Av. Aguanambi Norte e destino até a Av. Borges de Melo.....	54

Figura 4.11. Rota de origem na Av. Aguanambi Norte e destino BR-116.....	54
Figura 4.12. Rota de origem na Av. Eduardo Girão e destino BR-116.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Comparação de rotatória com os outros tipos de interseções em nível.....	07
Tabela 3.1. Comparação dos níveis de simulação.....	17
Tabela 3.2. Formulação matemática do indicador de desempenho atraso médio veicular do CTAFOR.....	27
Tabela 4.1. Análise volumétrica da Av. Eduardo Girão comparado ao trabalho de BESSA JR. et al. (2006).....	36
Tabela 4.2. Comparação de porcentagem de rotas totais.....	38
Tabela 4.3. Diferenças de porcentagem de rota totais para o trabalho de BESSA JR. et al. (2006).....	38
Tabela 4.4. Matriz OD utilizada no trabalho.....	39
Tabela 4.5. Simulações realizada com os parâmetros Default (Calibração).....	42
Tabela 4.6. Parâmetros selecionados para calibração de acordo com CUNTO (2008).....	46
Tabela 4.7. Parâmetros do AG.....	47
Tabela 4.8. Simulações realizada com os parâmetros otimizados pelo AG (Calibração).....	49
Tabela 4.9. Simulações realizada com os parâmetros <i>default</i> (Validação).....	50
Tabela 4.10. Simulações realizada com os parâmetros otimizados pelo AG (Validação).....	50
Tabela 4.11. Tempo de viagem do cenário atual e proposto.....	55
Tabela 4.12. Percentual de melhoria de tempo de viagem em cada rota estudada.....	55
Tabela 4.13. Redução no tempo de viagem por rota em 1 hora.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Análise volumétrica (veículos por hora) da aproximação Aguanambi (norte) x rotatória.....	34
Gráfico 4.2. Atraso (segundos) da aproximação Aguanambi (norte) x rotatória.....	34
Gráfico 4.3. Tempo de verde (segundos) Aguanambi (norte).....	35
Gráfico 4.4. Melhor evolução AG.....	47
Gráfico 4.5. Diferença entre parâmetros <i>default</i> e otimizados pelo AG.....	48

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa e contextualização do problema.....	1
1.2 Questões motivadoras.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo Geral.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Estrutura do trabalho.....	3
CAPÍTULO 2.....	5
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Interseções.....	5
2.3 Aspectos físicos ou geométricos.....	5
2.4 Aspectos operacionais.....	11
CAPÍTULO 3.....	16
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA OPERAÇÃO DE TRANSPORTES.....	16
3.1 Introdução.....	16
3.2 Níveis de simulação.....	16
3.3 Microsimulação de tráfego.....	19
3.4 Microsimulador VISSIM.....	20
3.4.1 <i>Car-following no VISSIM</i>	21
3.4.2 <i>Mudança de faixa e aceitação de brecha no VISSIM</i>	22
3.5 Etapas para estudo com a simulação microscópica.....	24
3.5.1 <i>Organização do estudo de microsimulação</i>	24
3.5.2 <i>Coleta de dados</i>	25
3.5.3 <i>Verificação de erros</i>	26
3.5.4 <i>Calibração do modelo</i>	26
CAPÍTULO 4.....	31
ESTUDO DE CASO – ROTATÓRIA DA AVENIDA AGUANEMBI X BR-116, FORTALEZA.....	31
4.1 Introdução.....	31
4.2 Caracterização da área de estudo.....	31
4.3 Escolha do aplicativo.....	32
4.4 Coleta de dados.....	33

4.5	Codificação da rede	39
4.6	Verificação de inconsistências	40
4.7	Realizações de simulações com os parâmetros <i>default</i>	41
4.8	Calibração	42
4.8.1	Escolha dos parâmetros do simulador	45
4.8.2	Determinação dos parâmetros AG e da função fitness	46
4.8.3	Execução do AG	47
4.8.4	Análise do melhor indivíduo	48
4.9	Validação.....	49
4.10	Codificação da intervenção analisada e avaliação da alternativa	50
CAPÍTULO 5.....		57
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		60
ANEXOS.....		62

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa e contextualização do tema

A maioria das cidades brasileiras foi desenvolvida com um ineficiente planejamento urbano, com raras exceções, como Brasília. Aliado a isso, atualmente o crescimento da frota veicular e da população nas grandes metrópoles vem causando diversos transtornos no trânsito, gerando problemas, como aumento nos tempos de viagem, poluição sonora e atmosférica e acidentes de trânsito.

Em especial as interseções normalmente apresentam problemas de desempenho operacional (fluidez) e de segurança pelos fluxos com justaposição, ou seja, diversas correntes veiculares convergindo para uma região comum. As rotatórias são soluções implantadas em todo o Brasil e têm como principais vantagens: aumentar a segurança do tráfego, pois os motoristas reduzem a sua velocidade ao entrar nas rotatórias; comparada às interconexões apresenta uma menor ocupação de espaço, sendo ainda mais econômica; é indicada para equilibrar o tráfego de interseções onde se encontram quatro ou mais vias. Entretanto as rotatórias apresentam também desvantagens: exigem uma ilha central muito grande e podem não ser apropriadas para acomodar elevados volumes de pedestres.

Os profissionais ligados ao projeto e operação do tráfego rodoviário em áreas urbanas procuram escolher a melhor configuração das áreas de interseção em função da demanda de tráfego (fluxo veicular, composição do tráfego, linhas de ônibus, etc) e sua interação com opções de infraestrutura a serem ofertadas (tipo de controle, número de faixas, interseções em nível ou desnível, etc). Em virtude da complexidade das interações mencionadas, a avaliação comparativa entre possíveis soluções não é uma tarefa trivial, além de estar frequentemente sujeita a questionamentos e problemas relacionados às especificidades locais.

O uso de técnicas de simulação tem possibilitado o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a otimização do desempenho operacional dos sistemas de transportes. Um dos maiores atrativos deste tipo de abordagem é o fato de ser possível planejar experimentos em um ambiente virtual, evitando exposição dos usuários situações de risco e também interrupções no tráfego existente. Apesar de seu potencial, as técnicas

de simulação do tráfego em nível microscópico precisam ser cuidadosamente empregadas, desde a fase de codificação da área de interesse até a calibração e validação dos parâmetros do simulador. No estudo dos microsimuladores são necessárias precauções, pois o modelo tem que representar adequadamente o sistema real que se deseja estudar. A fase de calibração dos parâmetros do simulador é fundamental para a confiabilidade da pesquisa, pois nela os parâmetros do programa são alterados para condizer com a realidade do estudo. Porém a possibilidade de uma amostragem grande de indivíduos e a quantidade de parâmetros existentes no programa, tornam o processo duradouro.

De forma mais específica, neste trabalho procura-se investigar a aplicabilidade da simulação microscópica através de um estudo de caso em uma rotatória localizada nas interseções da Av. Aguanambi x BR-116, na cidade de Fortaleza, estado do Ceará, Brasil. A rotatória acomoda a maior parte do fluxo de entrada e saída no sentido norte-sul da cidade e encontra-se saturada nos horários de pico. A escolha da rotatória se deve ao intenso tráfego de veículos, que tem causado congestionamentos e um grande número de acidentes.

1.2. Questões Motivadoras

Com base na contextualização da problemática apresentada estabeleceram-se as seguintes questões motivadoras para essa Monografia:

- Como avaliar o impacto de propostas de intervenções geométricas e operacionais em interseções viárias urbanas com o uso da simulação microscópica?
- Quais as principais atividades necessárias à utilização de ferramentas de simulação microscópica de forma a otimizar os resultados obtidos com tal ferramenta?
- Quais são os principais componentes funcionais dos aplicativos de simulação microscópica?
- Como calibrar e validar os parâmetros do microsimulador VISSIM para sua utilização em análises de desempenho operacional da fluidez de forma prática e com nível de precisão adequado?
- Qual o impacto, na fluidez do tráfego, da implantação de uma interseção em desnível (interconexão) na atual rotatória da Av. Aguanambi?

1.3.Objetivos

A partir das questões acima e ainda com base na contextualização da problemática apresentada, relacionam-se os objetivos gerais e específicos a seguir:

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto da proposta de intervenção geométrica e operacional na rotatória Av. Aguanambi x BR-116 com o uso da simulação microscópica.

1.3.2 Objetivos específicos

a) Identificar as principais atividades necessárias à utilização de ferramentas de simulação microscópica de forma a otimizar os resultados obtidos com tal ferramenta;

b) Identificar os principais componentes funcionais como modelos de representação da rede, modelos de movimentação veiculares e estrutura de entrada e saída de dados dos aplicativos de simulação microscópica;

c) Caracterizar o estado atual de fluidez da rotatória Av. Aguanambi x BR-116 e avaliar estratégia de alteração geométrica e operacionais propostas para o local;

d) Calibrar e validar de modo prático os parâmetros dos diversos algoritmos de modelos de microssimulação tendo em vista a obtenção de indicador de fluidez.

e) Aplicar uma plataforma de microssimulação (VISSIM) para avaliar o impacto da implantação de uma interconexão (interseção em desnível) na rotatória Av. Aguanambi x BR-116 em seu desempenho de fluidez.

1.4.Estrutura do trabalho

Esta monografia está apresentada ao longo de cinco capítulos. No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica sobre interseções, o que tornou possível o embasamento teórico para a realização do trabalho.

O terceiro capítulo apresenta uma introdução sobre modelagem de tráfego, níveis de simulações, microssimuladores, o microssimulador VISSIM e é apresentada a metodologia utilizada para realização do trabalho, mostrando as etapas necessárias para estudos com a simulação microscópica.

O quarto capítulo apresenta um estudo de caso, no qual foram implementados os procedimentos utilizados para realização dessa monografia. No capítulo é mostrado numa sequência desde a escolha do simulador até a análise de resultados, conforme indicado no capítulo 3. O capítulo finaliza com uma análise dos resultados fornecidos pela simulação nessa fase.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido, comparando os resultados obtidos, apresentando as dificuldades encontradas para realização do trabalho. Além disso, são feitas recomendações para possíveis trabalhos, aperfeiçoando e otimizando a rede de modelagem exposta nesse trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Neste capítulo são inicialmente discutidas as principais categorias operacionais que se enquadram na concepção do projeto geométrico das interseções viárias com ênfase nos movimentos veiculares normalmente encontrados nestes locais. Em seguida, são detalhados os principais dispositivos de controle veicular, como a sinalização horizontal, dispositivos de canalização e a sinalização semafórica.

2.2 Interseções

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2005), interseção é definida como a área em que duas ou mais vias se unem ou se cruzam, abrangendo todo o espaço destinado a facilitar os movimentos dos veículos que por ela circulam. De maneira geral, pode-se analisar o projeto e o desempenho operacional dos veículos em interseções de acordo com dois grupos de atributos: os físicos ou geométricos e os atributos operacionais relativos ao controle do fluxo veicular.

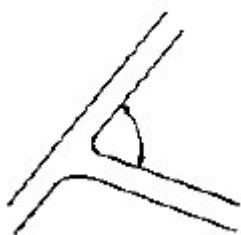
2.3 Aspectos físicos ou geométricos

Com relação aos aspectos geométricos, as interseções podem ser divididas em duas categorias, em nível ou em desnível (interconexões), o que diferem elas são o greide em que os cruzamentos ocorrem.

Nas interseções em nível os cruzamentos ocorrem no mesmo greide das vias, podendo ser classificadas em: interseções em três ramos, interseções em quatro ramos, interseções de ramos múltiplos ou rotatórias. (Pontes Filho, 1998)

- Interseções em três ramos: São consideradas em T ou em Y, diferenciando pelo ângulo de intercepção da via; quando o ângulo formado entre as vias está variando de 70° a 110° as interseções são consideradas em T, os outros casos são interseções em Y, como mostradas na figura 2.1 e na figura 2.2.

Figura 2.1 Interseção de três ramos em T



(Fonte: Departamento de Transportes da UFPR - DTT)

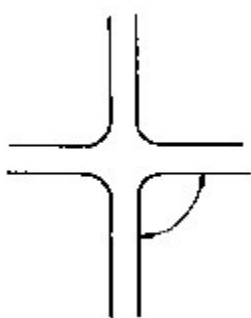
Figura 2.2 Interseção de três ramos em Y



(Fonte: Departamento de Transportes da UFPR - DTT)

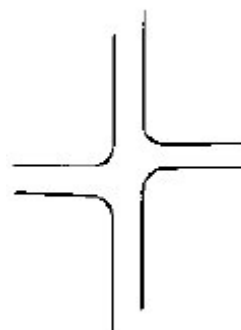
- Interseções de quatro ramos: São divididas em três tipos. Quando possui os ramos na mesma área de interseção, para ser reta deve possuir o ângulo formado entre as vias no valor de 70° à 110° e oblíqua nos outros casos. Outra denominação é assimétrica ou defasada que é quando as vias não possuem a mesma área de interseção. As figuras 2.3, 2.4 e 2.5 a seguir mostram as interseções de 4 ramos.

Figura 2.3 Reta



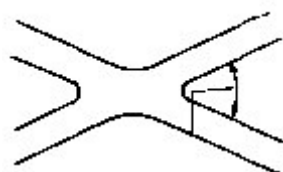
(Fonte: Departamento de Transportes da UFPR - DTT)

Figura 2.4 Oblíqua



(Fonte: Departamento de Transportes da UFPR - DTT)

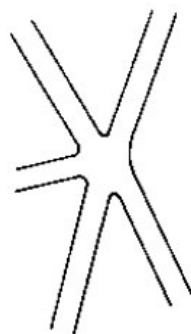
Figura 2.5 Assimétrica



(Fonte: Departamento de Transportes da UFPR - DTT)

- Interseções de ramos múltiplos: São formadas pelos cruzamentos de 5 ou mais vias (figura 2.6).

Figura 2.6 Interseção de ramos múltiplos



(Fonte: Departamento de Transportes da UFPR - DTT)

- Rotatórias: O movimento ocorre no sentido anti-horário ao redor de uma ilha central. Sendo mais adequado a sua utilização em interseções com mais de 5 aproximações e com intensidade de tráfego aproximadamente iguais, áreas extensas e planas.

Quando a rotária é comparada a outros tipos de interseções em nível, já citadas anteriormente, apresenta algumas vantagens e desvantagens, conforme mostrado na tabela 2.1.

Tabela 2.1 Comparação de rotatória com os outros tipos de interseções em nível

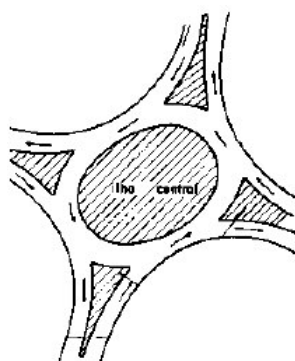
VANTAGENS	DESVANTAGENS
quando e bem projetada e se aplica aos casos em que seja indicado, faz com que ao trânsito circule de forma ordenada e contínua, com poucas demoras e grande segurança;	Posse menor capacidade que as interseções diretas, quando bem projetadas e reguladas;
	não é apropriada quando o volume de pedestres é elevado, pois o fluxo em seu interior deve circular sem interrupções;
como se substitui os cruzamentos por entrecruzamentos, os conflitos não são tão agudos e os acidentes que possam ocorrer não resultam tão graves; e	exige ilha central grande ou velocidade de operação muito baixa, quando o volume de tráfego ultrapassa 1500 vph;
	necessita de mais espaço e são, geralmente, mais onerosa que as interseções diretas com funções equivalentes;
os giros à esquerda são feitos em facilidade, por meio de movimentos de convergência e separação, embora as distâncias a percorrer sejam maiores.	Aumenta a distância percorrida pelos veículos, embora possam diminuir seu tempo de percurso;
	Não se pode ampliar com facilidade, portanto, não se adapta à construção em etapas
	Cria a subordinação dos movimentos do tráfego individual em favor do tráfego total

(Fonte: Adaptado KOHLSDORF, 1986)

Conforme o manual do planejamento de acessibilidades e transportes, a capacidade nas rotatórias não tem um significado prático, já que não existe uma correspondência unívoca entre a geometria de uma rotunda e a sua capacidade, sendo o desempenho geral da intersecção uma função da repartição direcional do tráfego. Naturalmente, uma rotunda onde a totalidade dos veículos sai na saída imediatamente consecutiva, garante maiores níveis de escoamento do que uma rotunda onde todos os veículos a abandonem na última saída. Assim a capacidade de uma rotatória ficou em função de dois fatores, a capacidade oferecida por cada uma das entradas e a capacidade referente à geometria (raio, número de faixa, etc.).

A figura 2.7 tem o intuito de ilustrar a forma de uma rotatória e o sentido anti-horário do fluxo veicular ao redor da ilha central.

Figura 2.7 Rotatória

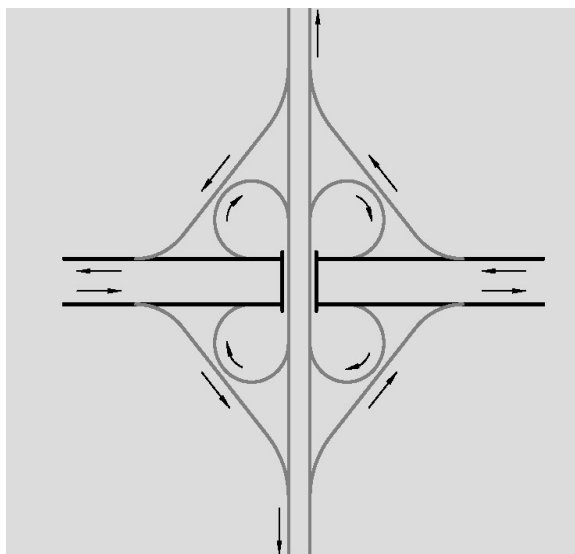


(Fonte: Departamento de Transportes da UFPR - DTT)

Por sua vez, as interseções em desnível ou interconexão são aquelas em que o cruzamento ocorre em greides diferentes, com uma ou mais rampas para auxiliar os movimentos entre as vias, podendo ser classificadas nos seguintes tipos: trevo completo, diamante, trevo parcial e direcional. (Pontes Filho, 1998).

- Trevo completo: Possui rampas direcionais para todos os movimentos de conversão a direitas e laços para os movimentos à esquerda. Podem surgir sérios problemas na operação do tráfego nos trechos localizados entre laços quando os volumes de tráfego são elevados, como observado na figura 2.8.

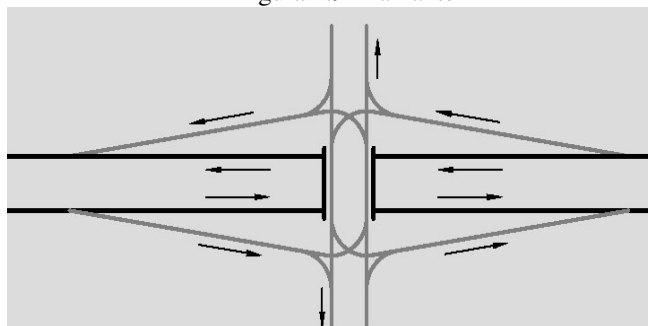
Figura 2.8 Trevo completo



(Fonte: Manual de projeto de interseções DNIT, 2005)

- Diamante: Têm uma única saída antes da via de cruzamento e uma entrada simples após a via de cruzamento, como exposto na figura 2.9.

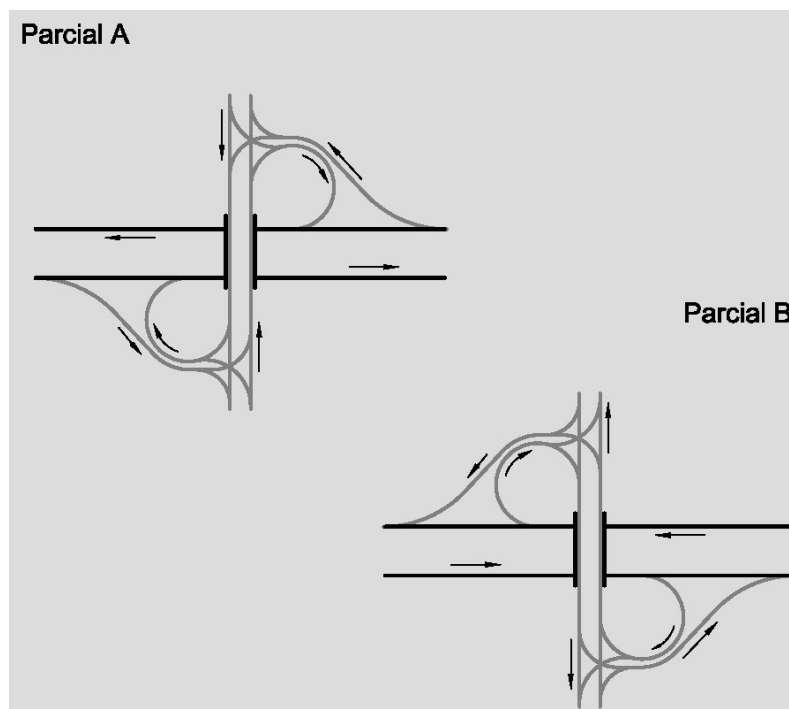
Figura 2.9 Diamante



(Fonte: Manual de projeto de interseções DNIT, 2005)

-Trevo Parcial: Possuem dois laços de uma interconexão no formato trevo substituídos pelos movimentos de conversão à esquerda no cruzamento, e as rampas ocupam somente dois quadrantes da interconexão, conforme figura 2.10.

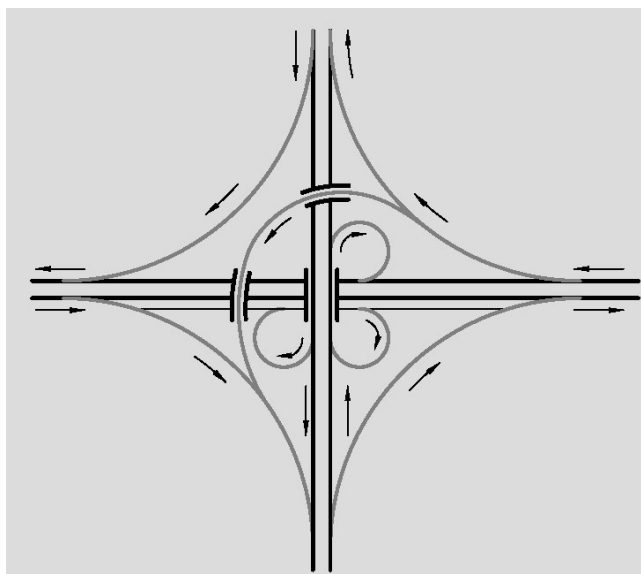
Figura 2.10 Trevo parcial



(Fonte: Manual de projeto de interseções DNIT, 2005)

- Direcionais: um dos laços de conversão à esquerda na via de cruzamento é substituído por uma direta. No caso de todas as conexões à esquerda feitas por rampas de acesso direto, a interconexão é chamada de “totalmente direcional”, indicado na figura 2.11.

Figura 2.11 Direcional



(Fonte: Manual de projeto de interseções DNIT, 2005)

2.4 Aspectos Operacionais

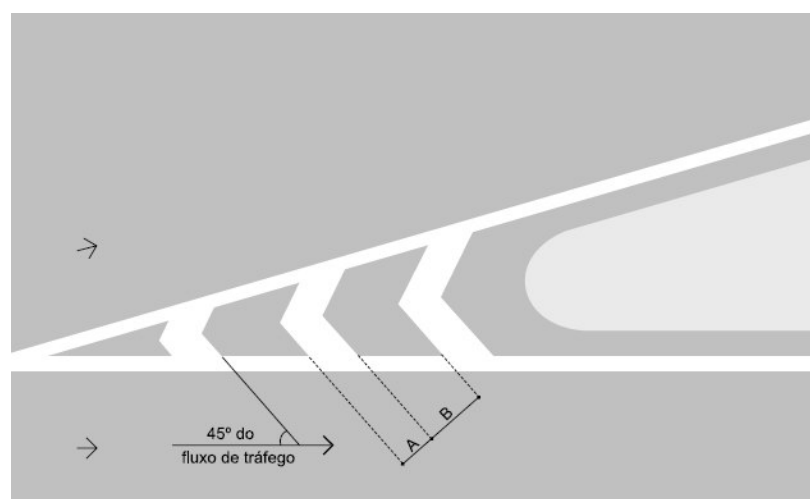
O controle de fluxo veicular é necessário para facilitar, informar e, se necessário, reduzir a velocidade dos condutores de veículos. Pode ser através de canalizações, sinalizações horizontais, sinalizações verticais e sinalizações semafóricas.

As canalizações surgiram com os objetivos de:

- i. Separar as áreas de manobras, fazendo com que os conflitos sejam isolados;
- ii. Reduzir utilização de áreas pavimentadas, no caso de ruas muito largas com poucos movimentos de tráfego;
- iii. Ordenar o fluxo de tráfego por meio de marcas no pavimento (sinalização horizontal);
- iv. Favorecer os movimentos de tráfego com espaço para espera;
- v. Proteger pedestres, colocando ilhas de refúgio no caso de ruas muito largas; e
- vi. Controlar a velocidade, normalmente através de diminuição da largura da via.

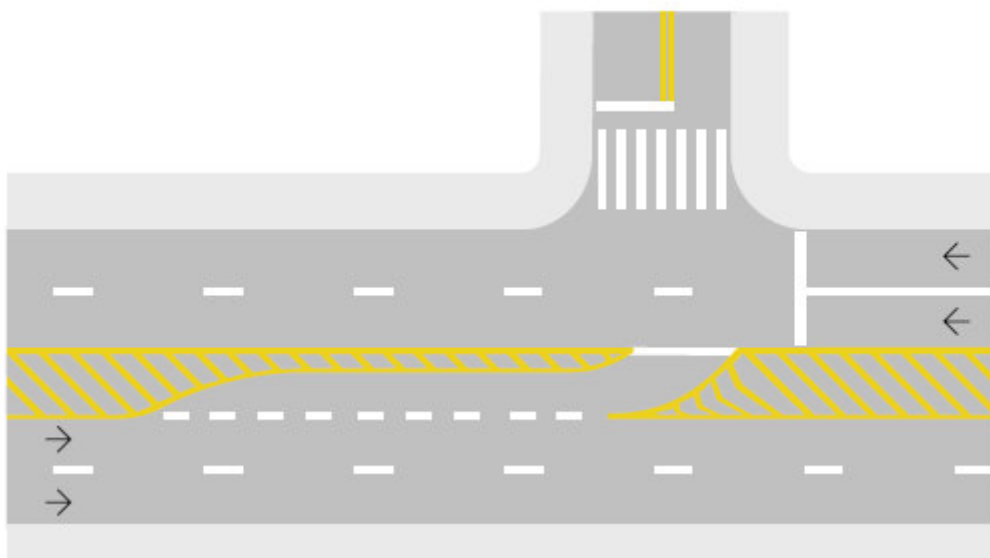
Com a canalização da via espera-se obter uma movimentação veicular mais ordenada, aumente a segurança da via e assegure uma maior conveniência ao tráfego em geral. A seguir serão ilustrados alguns exemplos de canalizações nas figuras 2.12 e 2.13

Figura 2.12 Canalização utilizada em cruzamento de vias a interseções de três ramos em Y.



(Fonte: volume IV Sinalização horizonte, CONATRAN, 2007)

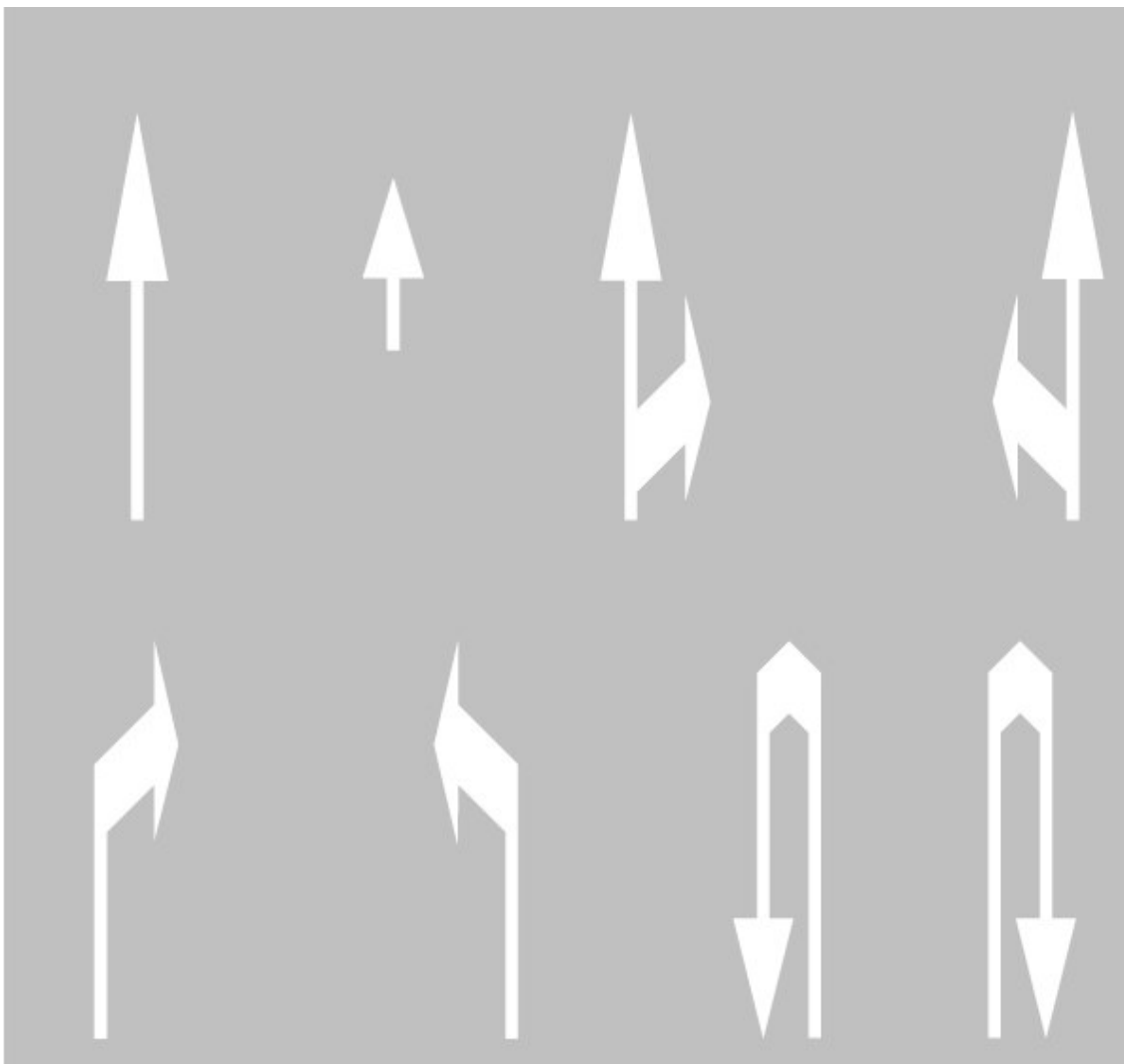
Figura 2.13 Canalização utilizada em regiões com a presença de semáforos.



(Fonte: volume IV Sinalização horizonte, CONATRAM, 2007)

De acordo com CONTRAN (2007), a sinalização horizontal é um subsistema da sinalização viária composta de marcas, símbolos e legendas, apostos sobre o pavimento da pista de rolamento. A sua principal finalidade é fornecer informações que permitam aos usuários das vias adotarem comportamentos adequados, de modo a contribuir para o aumento da segurança e da fluidez. Na figura 2.14, tem exemplos de sinalizações horizontais.

Figura 2.14 Exemplos de sinalizações horizontais.



(Fonte: volume IV Sinalização horizonte, CONATRAN, 2007)

Segundo CONTRAN (2007), a sinalização vertical é um subsistema da sinalização viária, que se utiliza de sinais apostos sobre placas fixadas na posição vertical, ao lado ou suspensas sobre a pista, transmitindo mensagens de caráter permanente ou, eventualmente, variável, mediante símbolos e/ou legendas preestabelecidas e legalmente instituídas.

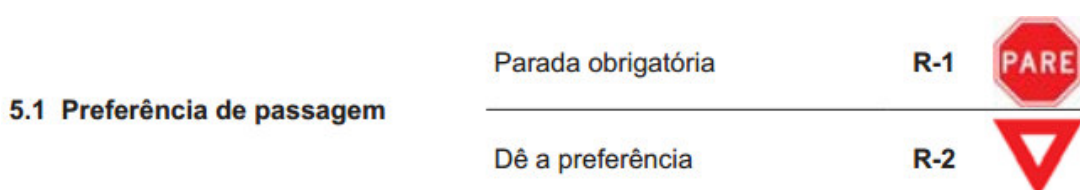
Ainda de acordo com CONTRAN (2007), a sinalização vertical tem a finalidade de fornecer informações que permitam aos usuários das vias adotar comportamentos adequados, de modo a aumentar a segurança, ordenar os fluxos de tráfego e orientar os usuários da via.

A sinalização vertical é classificada segundo sua função, que pode ser de:

- Regulamentar as obrigações, limitações, proibições ou restrições que governam o uso da via (figura 2.15);

- Advertir os condutores sobre condições com potencial risco existentes na via ou nas suas proximidades, tais como escola, passagens de pedestres e obras;
- Indicar direções, localizações, pontos de interesse turístico ou de serviços e transmitir mensagens educativas, dentre outras, de maneira a ajudar o condutor em seu deslocamento.

Figura 2.15 Exemplo de sinalização regulamentadora.



(Fonte: volume I Sinalização vertical de regulamentação, CONTRAN, 2007)

As sinalições semaforizadas servem para organizar o trânsito, alternando o direito de passagem entre os fluxos que se cruzam. O semáforo é dividido em três cores, cada qual com a sua defida função: o verde é prossiga, o vermelho é pare e o amarelo por sua vez, é a indicação que vem depois do verde para alertar os motorista sobre a iminente surgimento da indicação do vermelho.

O semáforo, segundo SETTI (2002), tem que ser bem instalado, projetado e conservado, para poder gerar:

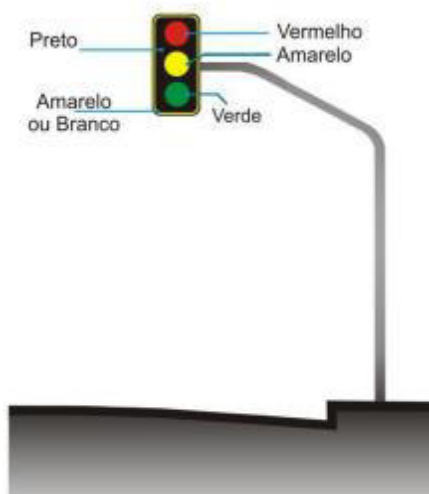
- Redução na frequência de determinados tipos de acidentes, especialmente as colisões transversais;
- Fluência e ordem ao tráfego de veículos;
- Permite o fluxo contínuo de pelotões ao longo de uma via arterial, através da operação coordenada de sinais luminosos;
- Permite que veículos e pedestres cruzem com segurança uma corrente de tráfego pesado; e
- Controlar o trânsito de forma mais econômica e eficiente

De acordo com o manual de brasileiro de sinalização de trânsito do CONTRAN (2012), a sinalização semafórica no controle de tráfego deve ser precedida de uma avaliação da eficácia de outras formas de controle, tais como:

- ✓ controle a partir da obediência às normas gerais de circulação estabelecidas no Código de Trânsito Brasileiro (CTB);
- ✓ controle com o uso de sinalização vertical de regulamentação (placas R-1 ou R-2) e/ou de sinalização horizontal (faixa de travessia de pedestres tipo zebra);
- ✓ implantação de rotatórias ou outras formas de canalização do tráfego em interseções.

Somente depois dessa avaliação será decidido a implantação do semáforo. A seguir está exposta uma figura para ilustrar o semáforo, com as suas cores devidamente mostradas e o tipo de sustentação escolhido é uma bastante usual em Fortaleza, inclusive na região do estudo, sustentação por braço projetado.

Figura 2.16 Semáforo com elemento de sustentação braço projetado.



(Fonte: volume V Sinalização Semaforica, CONATRAM, 2007)

CAPÍTULO 3

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA OPERAÇÃO DE TRANSPORTES

3.1 Introdução

Segundo PORTUGAL (2005) atualmente existem diversos pacotes computacionais disponíveis no mercado que permitem a representação de redes de grande porte, modelando a alocação do tráfego de pessoas e bens, utilizando diversos meios de transportes, em diferentes níveis de representação do fluxo veicular. Dessa maneira, é possível realizar estudos de planejamento estratégico, avaliando impactos de medidas como a implementação ou duplicação de vias; estudos táticos, analisando alterações na circulação viária ou definição de rotas preferenciais; como também, análises mais pontuais de cunho operacional, avaliando impactos de intervenções como alterações em planos semaforicos.

Esse capítulo discute as principais ferramentas de simulação computacional que podem ser utilizadas na modelagem do tráfego urbano. Apresenta-se uma breve história sobre a utilização da simulação, principais vantagens e desvantagens da aplicação da técnica e a caracterização de cada um dos níveis de modelagem existente. Finalmente, as principais atividades para a utilização da modelagem microscópica como ferramenta de análise de estratégias do planejamento tático (projeto) e operacional são discutidas em detalhes. De forma mais específica, serão apresentados os componentes estruturais do aplicativo de microsimulação VISSIM bem como os principais procedimentos para a calibração e validação de seus parâmetros, etapa fundamental para a sua utilização.

3.2 Níveis de simulação

A grande maioria dos estudos de simulação de tráfego costuma classificar os níveis de agregação e detalhamento de acordo com os níveis macroscópicos, mesoscópicos e microscópicos (VILARINHO, 2008; BAZZAN & KLUGL, 2007). Segundo MEDEIROS (2012), o nível de agregação com que a representação do tráfego será modelada é uma

característica fundamental para as propriedades dos modelos. MAIA (2007) compara os níveis de simulação em diversos aspectos, entre eles: Agregação da simulação, consideração da variabilidade, detalhamento da simulação, agregação dos resultados, intervalos de atualização e principais aplicações, como mostrado na tabela 3.1.

Tabela 3.1. Comparação dos níveis de simulação.

Tipo de Modelo	Microscópico	Mesoscópico	Macroscópico
Agregação da simulação?	Menor nível de agregação, considera os veículos individualmente (partículas)	nível de agregação médio, pode considerar o veículo individualmente, pelotões (grupos) ou na corrente de tráfego (fluxo não interrompido)	Totalmente agregado, não considera interrupções nas correntes de tráfego
Considera a variabilidade?	Considera a variabilidade - Estocástico	Geralmente não considera a variabilidade, mas pode considerar variações no tráfego ao longo da simulação - Determinístico ou Estocástico	Não considera a variabilidade - Determinístico
Detalhamento da simulação?	Simulação que captura a maioria dos detalhes - GRANDE DETALHAMENTO	Pode considerar os veículos individualmente - Mas não considera as suas interações - MÉDIO DETALHAMENTO	BAIXO DETALHAMENTO
Escolha de rotas?	Modela a escolha de rotas pelos veículos	Pode modelar a escolha de rotas pelos condutores / Pode modelar incidentes / Veículos podem alterar a rota devido a estímulos	Não modela a escolha de rotas pelos condutores / Impossível a simulação de incidentes / Não simula semáforos nem vias secundárias
Agregação dos resultados?	Exibe resultados bastante desagregados e precisos	Exibe resultados medianamente agregados (Taxas médias para arcos ou categoria veicular)	Exibe resultados totalmente agregados (taxas médias para a rede)
Intervalos de atualização?	Modelam os veículos individualmente em intervalos da ordem de segundos	Podem simular o tráfego com agregação do intervalo tanto de segundos quanto de minutos	Modelam o fluxo de tráfego com incrementos de 15 minutos no volume
Principais aplicações?	Redes pequenas Alteração na operação semafórica Merging / diverging (entrada e saída de rampas) Análise de entrada e saída de PGT's Implementação de novas vias Análise de esquemas alternativos de controle de tráfego Definição de rotas de veículos	Redes médias / grandes Definição de rotas de veículos Implementação de novas vias Duplicação de vias Análises Estratégicas Análise de esquemas alternativos de controle de tráfego	Redes médias / grandes Implementação de novas vias Duplicação de vias Análises Estratégicas Modelagem transporte coletivo urbano

(Fonte: Maia, 2007)

ARIOTTI *et al.* (2004), afirma que a modelagem mais tradicional no processo de planejamento de transportes faz uso de uma abordagem macroscópica, onde o desempenho do sistema é descrito através de relações analíticas entre velocidade, densidade e fluxo. As

hipóteses simplificadas da abordagem macroscópica conduzem a previsões de fluxos satisfatórias para fins de planejamento estratégico de transportes e algumas avaliações de gerenciamento de tráfego. Exemplos de macrossimuladores são EMME 2, TRANSCAD e o AIMSUN

ARIOTTI *et al.* (2004), diz de forma sucinta que os modelos mesoscópicos apresentam características mistas, preservando níveis significativos de agregação e detalhamento, simultaneamente. Assim, caracterizam um nível intermediário de agregação. MAIA (2007) afirma que os modelos mesoscópicos são bastante utilizados na representação da formação e dispersão de filas em interseções semaforizadas, o que torna algum desses modelos aptos a simularem a escolha de rota por parte dos condutores, podendo ser da ordem de alguns segundos. Alguns dos mesossimuladores são SATURN, TRANSYT, SCOOT, AIMSUN e TRANSCAD.

ARIOTTI *et al.* (2004) cita que modelos microscópicos de tráfego, por outro lado, são ferramentas apropriadas para estudos que exigem um elevado nível de detalhamento na representação do tráfego viário. Esses modelos representam cada veículo individualmente, avaliando explicitamente as interações entre as entidades que interagem no sistema. Assim, o uso de modelos microscópicos é adequado para avaliar situações onde os efeitos das interações individuais entre veículos são importantes, como por exemplo: a circulação no entorno dos portões de acesso a pólos geradores de tráfego, e efeitos de uma composição heterogênea de tráfego. Entre os microssimuladores estão o INTEGRATION, PARAMICS, AIMSUN, VISSIM e CORSIM.

De modo mais específico, a utilização da simulação em nível microscópico para a presente monografia é mais adequado sendo justificada pelos seguintes fatores :

- Área de estudo : área no entorno de uma rotatória com possíveis alterações geométricas específicas ;
- Presença de dispositivos de controle de tráfego que influenciam diretamente as medidas de desempenho a serem utilizadas na análise ;
- Necessidade de avaliar o comportamento dos veículos em movimentos de mudança de faixa para entrada e saída nas alternativas propostas ;

- Presença de linhas de ônibus que podem influenciar significativamente os resultados da simulação

3.3 Microsimulação de tráfego

Segundo MAIA (2007), na microsimulação do tráfego os veículos são tratados de forma inteiramente individualizada, sendo o modelo tão detalhado quanto for o propósito da análise. Todas as variáveis importantes para o cálculo das medidas de desempenho da rede simulada são gravadas separadamente para cada veículo, sendo estes acompanhados, individualmente em toda a sua trajetória, caracterizando o aspecto estocástico da modelagem do tráfego. Desta forma, os resultados de saída dos modelos microscópicos são bem mais detalhados, sendo possível obter valores de diversas variáveis de forma totalmente desagregada, para qualquer momento ou intervalo de tempo desejado da simulação.

Segundo CUNTO e LOUREIRO (2011), os principais elementos inerentes às plataformas de microsimulação, com ênfase na sua aplicação em estudos de segurança viária, agrupados de acordo com três aspectos: entrada e saída dos dados, além dos seus algoritmos de modelagem das interações condutor/veículo.

As entradas necessárias de dados para originar uma microsimulação são topologia da rede, geometria dos arcos da rede, dispositivos de controle de tráfego, volumes de tráfego e conversões (ou matriz O/D) e características operacionais dos arcos da rede.

Já as saídas dos dados podem ser volume, atraso, número de paradas, tempo de viagem, velocidade, emissão de poluentes, consumo de combustível e tamanho da fila, dependendo do que se deseja analisar.

Os três algoritmos que formam o núcleo dos sistemas de microsimulação, são eles: algoritmos de *car-following* ou perseguição veicular, aceitação de brecha e mudança de faixa.

CUNTO e LOUREIRO (2011) definem que os modelos de *car-following* (CFM) procuram representar o processo pelo qual condutores determinam sua velocidade e espaçamento em relação aos veículos à sua frente. Estes algoritmos são responsáveis diretos pela modelagem de interações/conflitos longitudinais que podem levar a ocorrência de colisões traseiras. CUNHA E SILVA (2010) afirma que os modelos de *car-following* incorporam um

atraso de reação na simulação, para representar resposta do motorista ao tráfego. Normalmente, esse atraso representa os tempos de percepção e reação do motorista, podendo levar em conta alguma possível demora mecânica na resposta do veículo. Esse tempo de resposta é padrão para todos os motoristas e deve ser definido pelo programador da simulação, bem como valores de velocidade permitida, *headway* mínimo, taxa de aceleração e de desaceleração.

Para CUNTO e LOUREIRO (2011) os modelos de aceitação de brecha são usados para representar o processo decisório dos condutores em vias secundárias com o desejo de cruzar ou se inserir na corrente de tráfego principal, ou ainda de efetuar mudança de faixa de tráfego na via principal. Os eventos modelados por esse tipo de algoritmo podem resultar em interações/conflitos transversais de alta severidade pela diferença de velocidade entre os veículos envolvidos.

CUNTO e LOUREIRO (2011) afirmam que as mudanças de faixas de tráfego na microssimulação são representadas por meio de um processo de decisão hierárquico que considera que o desejo de mudar de faixa pode ocorrer em virtude de obstruções ou veículos lentos na faixa atual ou pela necessidade de ajustes na trajetória para acessar um determinado arco da rede. Uma vez que existe a motivação para a mudança, o processo passa a ser modelado de maneira similar aos algoritmos de aceitação de brecha.

3.4 Microssimulador VISSIM

VISSIM é a sigla do termo alemão *Verkehr In Städten SIMulation* que, traduzido para o português, significa simulação de tráfego em cidades. Este software, desenvolvido e comercializado pela empresa alemã PTV AG, consiste num microssimulador capaz analisar operações de transporte público e privado sob-restrições, como a configuração de pista, composição do tráfego, sinal de trânsito, paradas PT, ect., tornando-se uma ferramenta útil para a avaliação de várias alternativas (PTV, 2010).

O VISSIM é um microssimulador, com algoritmos de representação do tráfego baseados nos trabalhos de Wiedemann (1974) e Wiedemann (1991), os quais combinam um modelo de percepção de motoristas com modelos de desempenho de veículos.

Algumas qualidades do modelo VISSIM são apontadas por OLIVEIRA e CYBIS (2008):

- Superioridade para a representação dos movimentos de veículos pelo algoritmo car-following psicofísico
- Praticidade no desenvolvimento de modelar redes
- Flexibilidade na definição dos parâmetros de troca de faixas e following por área ou link de tráfego
- Praticidade e flexibilidade na forma de apresentação de relatórios com os resultados da simulação

3.4.1 *Car-Following no VISSIM*

Segundo MEDEIROS (2012), o VISSIM permite ao usuário optar por dois modelos de car-following, que são modelos psicofísicos: o modelo de WIEDEMANN 74 ou o modelo de WIEDEMANN 99, este último sendo um modelo mais abrangente e conseqüentemente, contendo um número maior de parâmetros.

De acordo com a PTV (2010) o modelo de WIEDEMANN 74 é mais utilizado nos tráfegos urbanos, necessita que o usuário calibre três parâmetros: a distância média desejada entre dois veículos parados, a distância de segurança desejada e um multiplicador da distância desejada de segurança. Já o modelo de WIEDEMANN 99, é adequado para o tráfego de veículos em trechos rodoviários interurbanos, podendo ser calibrado através de dez parâmetros comportamentais, são eles:

- CC0 (distância de parada) - define a distância desejada entre veículos parados em metros;
- CC1 (tempo de *Headway*) - é o espaço de tempo (em segundos) que o motorista deseja manter do veículo líder. Quanto maior o valor, mais prudente é o condutor;
- CC2 (variação de *Following*) - restringe a oscilação longitudinal, ou seja, determina o maior valor do espaçamento acima da distância de segurança desejada quando um veículo se aproxima do carro à frente;

- CC3 (espaçamento para entrar em *'Following'*) - controla o início do processo de desaceleração, ou seja, o momento que o condutor reconhece um veículo mais lento à frente. Em outras palavras, ele define quantos segundos antes de atingir a distância de segurança o condutor começa a desacelerar;
- CC4 e CC5 (limites de *'Following'*) - controla as diferenças de velocidade durante o estado de *following*. Menores valores resultam em uma reação mais sensível dos motoristas, para acelerações ou desacelerações do carro à frente. O CC4 é usado para as diferenças de velocidade negativas (aproximação entre os carros) e o CC5 para positivas (afastamento entre os carros);
- CC6 (velocidade dependendo da oscilação) - influência da distância na velocidade de oscilação quando no processo de *following*. Se definido como zero, as oscilações de velocidade independem da distância do veículo à frente. Valores maiores levam a uma maior oscilação da velocidade com uma distância cada vez maior;
- CC7 (oscilação da aceleração) - é aceleração real durante o processo de oscilação;
- CC8 (Aceleração quando parado) - é a aceleração desejada que se inicia a partir do repouso (limitada pela aceleração máxima definida pelas curvas de aceleração);
- CC9 (Aceleração a 80 km/h) - é a aceleração desejada a 80 km/h (limitada pela aceleração máxima definida pelas curvas de aceleração).

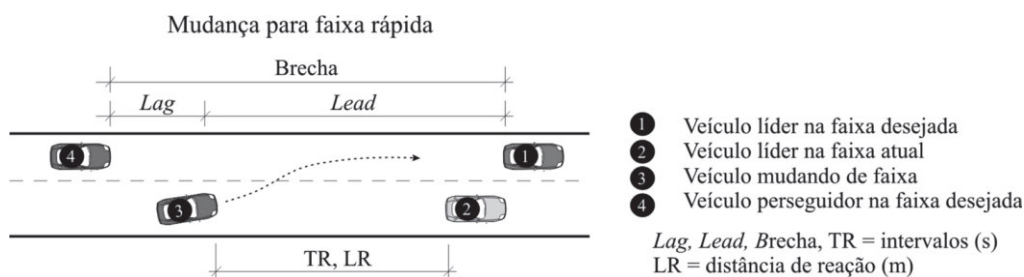
3.4.2 Mudança de faixa e aceitação de brecha no VISSIM

Segundo PTV(2010), o aplicativo VISSIM têm dois tipos de comportamento em relação às mudanças de faixas: Mudança de faixa necessária e mudança de faixa livre. No caso da mudança de faixa necessária, os parâmetros do comportamento de condução devem conter a desaceleração máxima aceitável entre o veículo que deseja fazer a mudança de faixa e o veículo que trafega na via que se deseja fazer a mudança de faixa. Já no caso de mudança de

faixa livre, o VISSIM verifica uma distância de segurança desejada em relação ao veículo que viaja na faixa para a qual o condutor pretende mudar. Essa distância de segurança depende, tanto da velocidade do veículo que trafega na faixa desejada quanto do veículo que deseja efetuar a mudança de faixa.

Nos dois comportamentos, quando o condutor tenta realizar a mudança de faixa, primeiramente deve encontrar um espaço de tempo adequado, chamado de tempo de *headway*, na faixa onde deseja trafegar. O espaço está diretamente ligado à velocidade de ambos os condutores envolvidos na mudança de faixa e dos veículos próximos que seguem na faixa desejada. Esse processo é mostrado na figura 3.1.

Figura 3.1 Parâmetros para mudança de faixa - VISSIM.



(Fonte: CUNTO e LOUREIRO, 2011)

Abaixo são descritos alguns parâmetros que influenciam o processo de mudança de faixas no VISSIM:

- *Minimum Headway (MH)* – define a distância mínima ao veículo da frente na qual se possa realizar a mudança de faixa estando parado;
- *Safety distance reduction factor (SD)* – esse fator é considerado durante qualquer mudança de faixa. Ele afeta diretamente na decisão de realizar ou não a mudança de faixa em relação à distância a que se encontra do veículo que está na faixa desejada. Durante a mudança de faixa, a distância de segurança diminui, sendo o produto da distância de segurança multiplicada pelo fator de redução. Um fator de redução igual 0,6 (*default*) reduz a distância de segurança em 40%, voltando ao valor normal após a realização da mudança desejada.

- *Maximum deceleration for cooperative braking (MD)* – define se o veículo que está na faixa desejada inicia uma frenagem cooperativa de modo a permitir que o veículo líder consiga realizar a mudança para a sua faixa. Um valor mais elevado desse parâmetro, aumenta a probabilidade de mudança de faixa. Para dar início a realização da mudança de faixa, o veículo líder ainda levará em consideração o fator de redução da distância de segurança, bem como, os parâmetros de *car-following*.

3.5 Etapas para estudos com a simulação microscópica

Segundo FHWA (2004), para modelar uma rede viária microscópica é necessário uma sequência de atividades: organização do estudo de microsimulação, coleta de dados, verificação de erros, calibração e validação do modelo, análise de alternativas e relatório final.

3.5.1 Organização do estudo de microsimulação

Na organização do estudo de microsimulação, FHWA (2004) afirma que para realização do trabalho é necessário:

- Possuir conhecimento suficiente para codificar e/ou avaliar o modelo;
- Disponibilizar tempo e ter recursos suficientes para desenvolver, calibrar e validar o microsimulador; e
- Desenvolver um trabalho adequado para o processo de execução do modelo e dos resultados de calibração.

FHWA (2004) afirma que a microsimulação pode fornecer uma riqueza de informações, porém, a sua execução pode consumir muito tempo e um esforço enorme. Para atingir os objetivos do estudo com eficácia, é sugerido elaborar um plano de gestão, onde este deve conter: objetivos da pesquisa, abrangência da simulação, escolha do simulador, dados disponíveis e cronograma do trabalho.

3.5.2 *Coleta de dados*

Segundo FHWA (2004), a coleta de dados é fundamental, pois um microsimulador necessita de diversos dados de entrada, tais como: geometria (comprimentos das vias, número de faixas), controles (sinalizações, tempo de semáforo), demandas existentes (volumes de tráfego, matriz origem-destino) e dados para calibração (capacidades, tempos de viagem, filas, atraso).

Para estimar os dados de origem-destino, uma forma de ser obtida é através da utilização da estimativa de demanda sintética utilizando o aplicativo QUEENSOD.

De acordo com BERTONCINNI (2002), as estimativas de demanda podem ser calculadas por dois métodos: tradicional ou sintético. O primeiro consiste nas estimativas de viagens através de correlações com o tipo e densidade de ocupação do solo, já o segundo método consiste na estimativa de demandas sintéticas a partir de contagens volumétricas de veículos circulando por seções de controle definidas nas vias ou em interseções. Como a calibração de simuladores de tráfego exige, em alguns casos, o conhecimento da variação de demanda de uma forma bem detalhada, a estimativa de demanda sintética é o procedimento mais adequado na calibração de simuladores de tráfego.

A estimativa de demanda sintética é determinada a partir de contagens volumétricas obtidas em seções de vias ou interseções. Além dos dados de contagens volumétricas, também é necessário determinar a árvore de caminhos mínimos, o que define a escolha da rota. (Bertoncinni, 2002)

Para utilizar o aplicativo QUEENSOD para estimar demandas, alguns arquivos são necessários: escolha da região, dados da geometria viária e dados de contagem volumétrica. Para assim estimar uma matriz O/D mais próxima da realidade.

Maiores detalhes sobre a obtenção de matriz OD utilizando o QUEENSOD, consultar trabalho de BERTONCINNI (2002).

3.5.3 Verificação de erros

De acordo com FHWA (2004), a verificação de erros é necessária para identificar e corrigir os erros no modelo, de modo que não interferem na calibração do modelo. Os erros de codificação alteram o modelo e influenciam no processo de calibração, fazendo com que o analista adote valores incorretos para a calibração dos parâmetros. Sendo assim fundamental, pois um trabalho indevidamente calibrado faz com que o modelo não reflita a realidade, não podendo haver nenhum estudo utilizando o modelo.

FHWA (2004) diz que a verificação de erros envolve revisões das codificações realizadas no modelo, demandas codificadas, e execuções do programa com parâmetros *default*. Assim o processo de verificação de erros foi dividido em três etapas básicas:

- (1) a verificação de erros no software
- (2) a verificação de erro na codificação do modelo
- (3) avaliação da animação (erros visuais)

Os erros são verificados e corrigidos, sendo que ainda assim pode existir erros remanescentes, esses erros segundo FHWA (2004) são denominados limitações no software. Se as limitações do software são um problema, o analista terá que trabalhar em torno das limitações para "enganar" ou "forçar" o modelo a produzir o desempenho desejado.

3.5.4 Calibração do modelo

FHWA (2004) afirma que na calibração temos o seguinte passo a passo: identificar as medidas de desempenho que serão utilizadas para calibração/validação do modelo, alocar tempo e recursos suficientes para atingir as metas de calibração, selecionar o parâmetro de calibração apropriado indicando o melhor correspondente localmente medido na rua, estrada, auto-estrada, e as capacidades de interseção, Selecionar os valores dos parâmetros de calibração que melhor reproduzem escolha rota atual padrões e a calibração do modelo geral contra as medidas gerais do sistema de desempenho, tais como tempo de viagem, demora, e filas.

Em estudos anteriores realizados, os parâmetros escolhidos para calibração foram diversos, contudo AQUINO (2012), conclui que a medida de desempenho mais utilizada para análise de interseções é o atraso veicular, em segundos.

O SCOOT (programa Split, Cycle and Offset Optimisation Technique), programa utilizado nos controles semafóricos de Fortaleza, obtém através de laços indutivos, implantados abaixo do revestimento do asfalto, informações do fluxo veicular que passam pela região, tais como: volume médio horário, atraso médio veicular, velocidade, paradas veicular, dentre outras. A formulação utilizada para o cálculo do atraso médio veicular é:

Tabela 3.2 Formulação matemática do indicador de desempenho atraso médio veicular do CTAFOR.

Formulação	Descrição de parâmetros	Espacial	Temporal
$AVM_i = \frac{\sum_{t=1}^n a_{i,t}}{n}$	<p>AVM_i: atraso veicular médio (s) num <i>link</i> "i" para um mesmo período "t" (15 min.), ao longo de um período de dias;</p> <p>$a_{i,t}$: atraso veicular (s) num <i>link</i> "i" num período "t" de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT;</p> <p>n: número de períodos de 15 minutos usados.</p>	<i>link</i>	15 minutos

(Fonte: Meneses *et al.*, 2004)

Os modelos de microssimuladores têm uma quantidade enorme de parâmetros independentes que são usados para descrever características do fluxo de tráfego, do comportamento do condutor e das operações de controle de tráfego, representando a realidade do local onde o programa foi produzido pelos valores *default*, para adequar o programa a sua realidade de estudo, se faz necessária a calibração e validação. (TOLEDO e KOUTSOPOULOS, 2004)

MEDEIROS (2012) nos diz que com o avanço dos modelos de microssimulação de tráfego, a validação e a calibração se tornam cada vez mais complexa, pois aumenta os detalhes e um número de parâmetros maior. Hoje, o VISSIM, possui apenas para o caso do submodelo de car-following WIEDEMANN 99, temos dez parâmetros que podem ser calibrados.

Segundo MEDEIROS (2012), uma grande quantidade de trabalhos recentes tem adotado a calibração por algoritmos genéticos (AG), comparando os resultados de parâmetros

otimizados após a calibração com os valores *default*, o algoritmo genético se mostrou bastante eficaz.

IKEDA(2009), afirma que os algoritmos genéticos são uma técnica utilizada para encontrar soluções aproximadas em problemas de otimização e busca. Sua inspiração foi a seleção natural proposto por Chales Darwin, onde os animais mais adequados ao ambiente sobreviveriam e posteriormente procriavam, já os que não eram adequados ao ambiente naturalmente seriam extintos. Para IKEDA (2009), os termos chaves dos AG:

- Indivíduo: Qualquer solução possível;
- Cromossomo: Codificação das características de um indivíduo;
- População: grupo de todos os indivíduos;
- Espaço de busca: todas as soluções possíveis para o problema e
- Genoma: Coleção de todos os cromossomos de um individual.

Para MEDEIROS (2012), os parâmetros de controle e dos operadores genéticos utilizados estão diretamente ligados ao desempenho dos algoritmos genéticos. Os principais parâmetros a serem considerados são: tamanho da população, número de gerações, elitismo, cruzamento ou *crossover*, predação e mutação.

O erro do algoritmo genético pode ser escolhido, SPIEGELMAN *et al.* (2010) afirma que as medidas agregadas mais utilizadas são o erro médio absoluto (MAE), o erro médio absoluto proporcional (MAPE ou MAER) e a raiz quadrada do erro médio (RMSE). As equações dessas medidas estão descritas adiante:

- $MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - E_i|$
- $MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|O_i - E_i|}{O_i}$
- $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}$

Onde:

- O_i representa a medida de desempenho observada no campo;

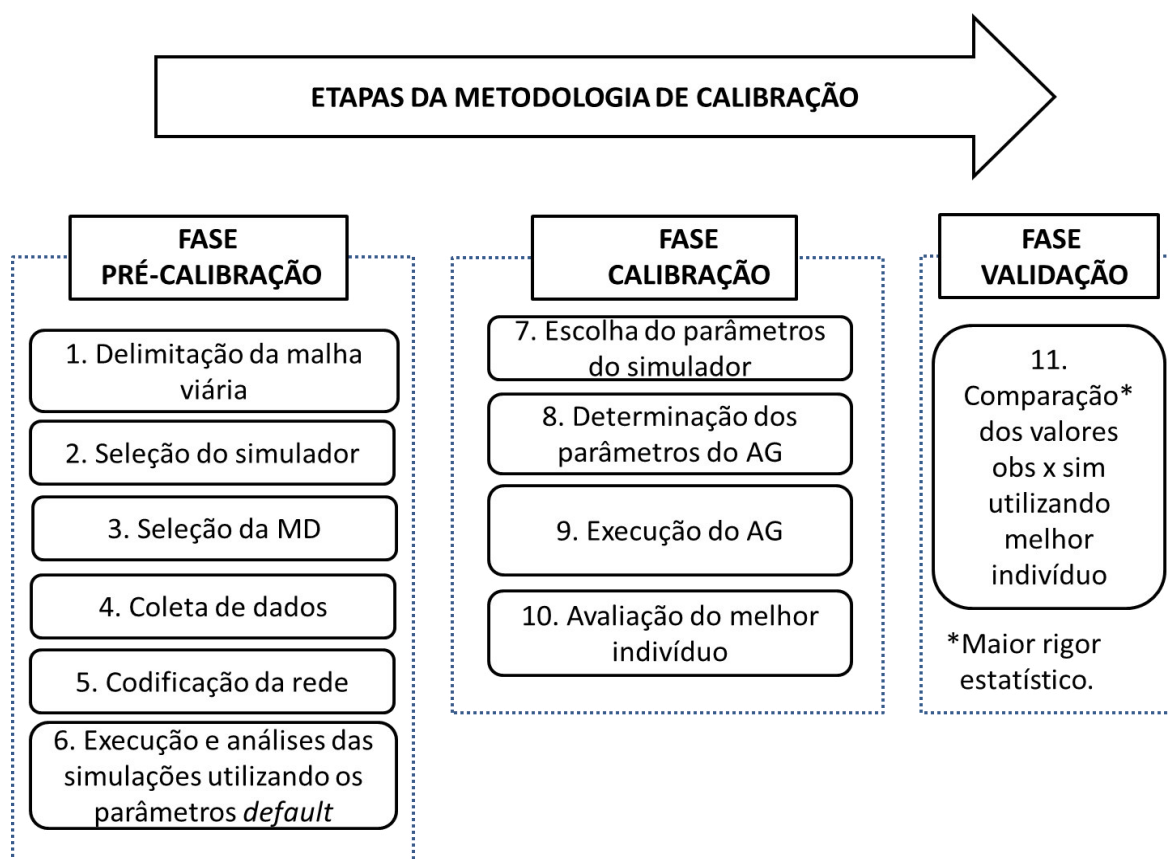
- E_i representa a medida de desempenho estimada pelo modelo e ;
- N representa o número de observações.

VILARINHO (2008) utilizou em seu trabalho o RMSE, afirmando ser possivelmente a maneira mais usada de estimar o erro em simulação de tráfego. Notou também que quanto menor é o valor do RMSE, melhor é o modelo.

VILARINHO (2008) afirma que a estimativa de erro, denominadas por RMSE, constitui uma boa maneira de medir o desempenho do modelo, sendo calculado em termos absolutos. O índice é calculado em termos médios, para isso são executadas uma série de replicações do modelo de simulação. Associado a cada grupo de repetições existe um único conjunto de valores dos parâmetros do modelo e para cada uma das repetições que compõem o agrupado existe um número aleatório (semente aleatória). Nos modelos microscópicos estocásticos as características dos veículos seguem uma distribuição estatística e o seu valor específico é determinado precisamente pela semente aleatória. Se o número aleatório for diferente é gerado um conjunto de resultados distinto apesar de as características do veículo serem as mesmas.

Para compreender o processo de calibração com a utilização de AG, o fluxograma, da figura 3.2, detalha o processo mostrando a sequência das atividades a ser executada pelo programa.

Figura 3.2 Etapas de metodologia de calibração.



(Fonte :Medeiros, 2012)

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO - ROTATÓRIA DA AVENIDA AGUANAMBI X BR-116, FORTALEZA

4.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso mostrando de forma sucinta os objetivos da simulação, a justificativa da escolha do aplicativo utilizado, a coleta dos dados, a codificação da rede, a verificação de inconsistências na aplicação, a calibração/validação e é apresentado o plano de simulação proposto.

Na continuação do capítulo é realizada uma comparação da medida de desempenho tempo de viagem do cenário proposto e do atual, sequencialmente é feito uma análise dos resultados obtidos.

4.2 Caracterização da área de estudo

A rotatória em análise foi construída em 2005 no encontro entre uma rodovia (BR-116), duas vias arteriais urbanas (Av. Aguanambi e Av. Eduardo Girão) e três vias locais, com um total de seis aproximações. Segundo BESSA JR. et al. (2006), a ideia inicial consistia no controle dos conflitos principais (entre a BR-116 e Av. Aguanambi) por um semáforo e os outros conflitos por sinais de “Dê a Preferência”. Contudo, após a implementação desta alternativa, o número de acidentes aumentou no local, resultados dos conflitos de entrelaçamento. Em 2008 foi proposta uma nova solução, que foi a implantação de três semáforos veiculares nas chegadas sul e norte (Aguanambi) e leste (BR-116) da rotatória. Segundo a Autarquia Municipal e Cidadania, AMC, a instalação dos semáforos gerou muita polêmica entre os motoristas. Contudo, o órgão informa que houve uma redução de 35% no número de acidentes, pois o trânsito ficou mais disciplinado e todos têm sua vez de acessar a rotatória. Ainda assim apesar da melhoria, a interseção continua problemática causando diversos transtornos a população, principalmente com relação aos índices de fluidez e à

segurança viária, sendo o horário mais crítico o do pico da tarde (entre 17 e 19h). Os problemas mencionados foram estudados considerando a geometria concebida para a rotatória, bem como pela predominância do volume de veículos, no período da tarde, vindos da Av. Aguanambi e da Av. Eduardo Girão para seguirem pela BR-116. A área de estudo foi delimitada de acordo com a figura 4.1.

Figura 4.1 Delimitação da região de estudo.



(Fonte: Google Maps)

4.3 Escolha do microssimulador

Conforme especificado no capítulo 3, a utilização de um simulador de nível microscópico se deve ao fato da região se tratar de uma rotatória. Sua grande precisão na codificação de interseção e como estuda os veículos de maneira individual se torna vantajoso seu uso na realização do trabalho.

A utilização pelo aplicativo VISSIM foi devido à:

- Facilidade de codificar a rede, podendo utilizar imagens digitais;

- Elevado nível de detalhamento, podendo ser possível especificar o controle semafórico e retratar com precisão a codificação dos movimentos de entrelaçamento;
- Representa as mais complexas interações veiculares durante a simulação, devido aos algoritmos de *car-following* e mudança de faixa;
- A saída de dados apresenta uma grande variedade de opções, podendo se adequar para a realidade do estudo e o nível de agregação que se quer (individual, ao longo de tempo e ao longo de espaço).
- Facilmente encontrado nos computadores do Departamento de Engenharia de Transportes(DET).

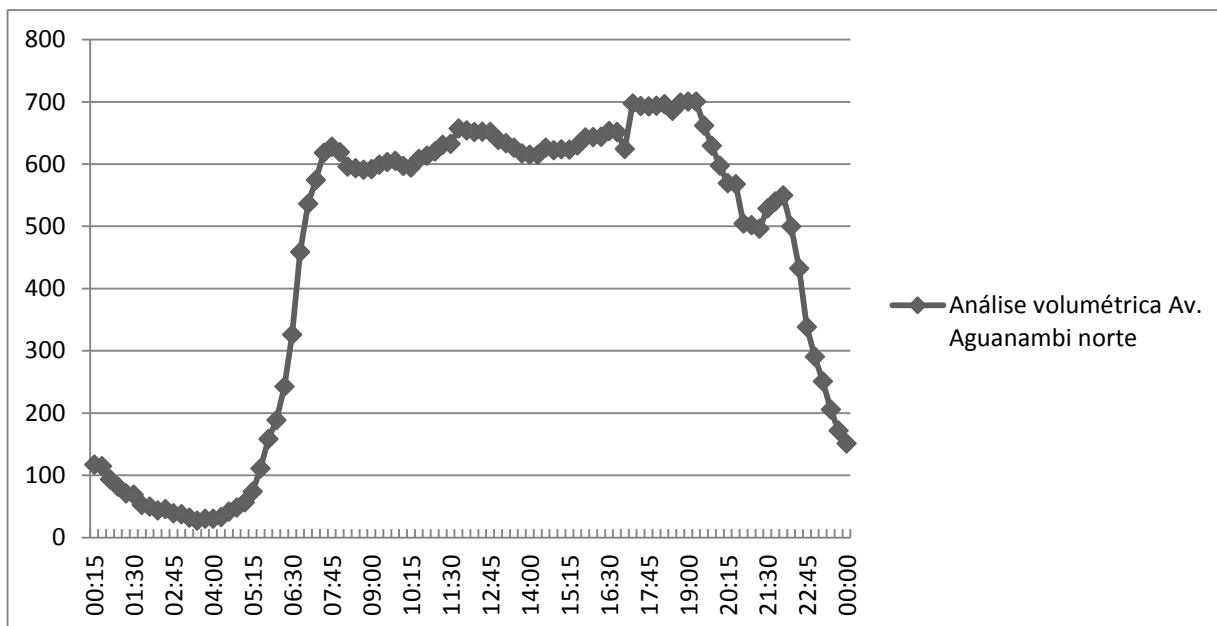
4.4 Coleta de dados

Os dados que caracterizam a rotatória estudada foram coletados no Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR) através de laços indutivos localizados nas interseções semaforizadas, utilizando o banco de dados do programa Split, Cycle and Offset Optimisation Technique (SCOOT).

A rotatória, controlada em tempo real pelo SCOOT, foi caracterizada quanto aos aspectos operacionais, sendo coletados junto ao CTAFOR dados de volume médio horário, atraso médio e tempo de viagem.

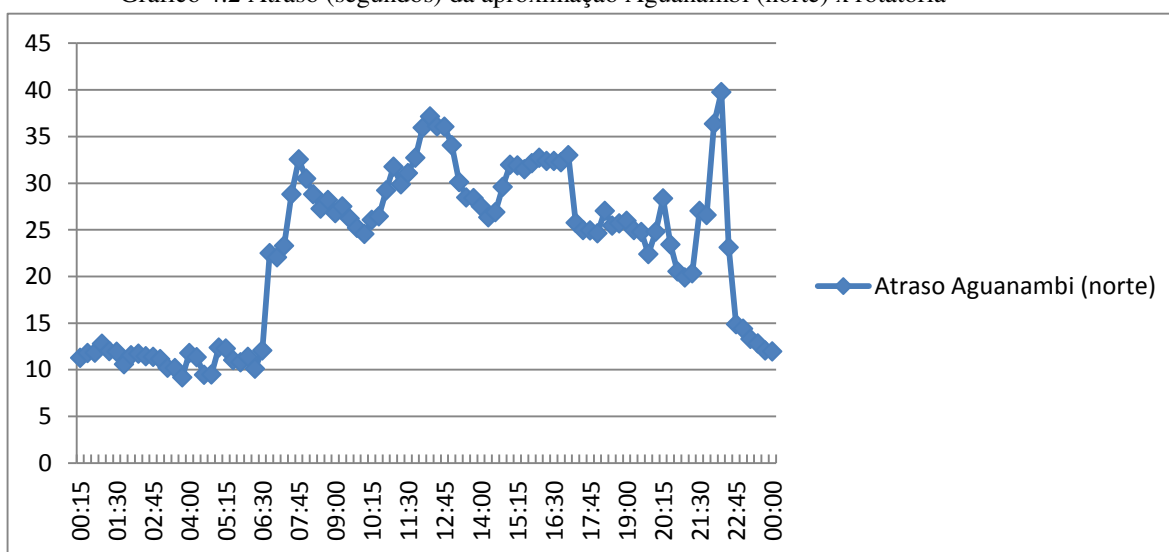
O horário escolhido para a pesquisa foi o de maior fluxo, de 18 às 19 horas, estimando-se a demanda do mês de Abril, considerando os dias de terça à quinta, pois são os dias mais representativos do fluxo semanal. Para exemplificar os dados coletados no CTAFOR, os dados do semáforo da Av. Aguanambi Norte x rotatória são expostos no gráfico 4.1 à 4.3, os demais dados para o restante das interseções semaforizadas estão em Anexo A.

Gráfico 4.1 Análise volumétrica (veículos por hora) da aproximação Aguanambi (norte) x rotatória



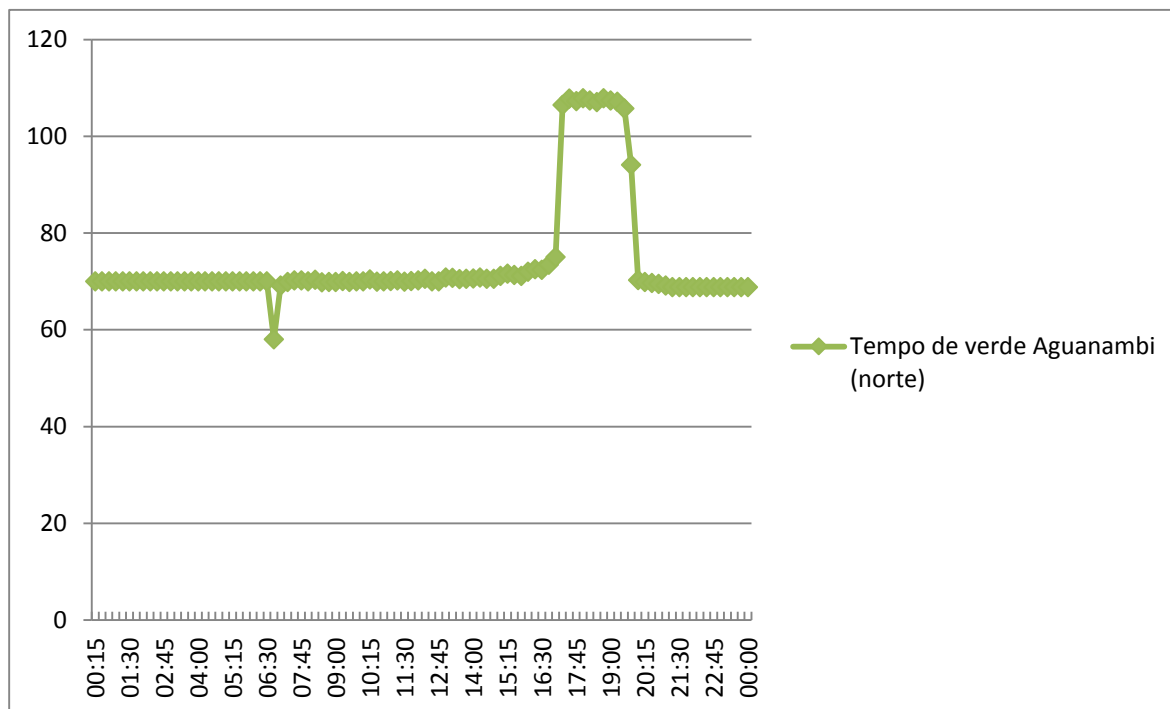
(Fonte: Autor)

Gráfico 4.2 Atraso (segundos) da aproximação Aguanambi (norte) x rotatória



(Fonte: Autor)

Gráfico 4.3 Tempo de verde (segundos) Aguanambi (norte)



(Fonte: Autor)

Já no caso da Av. Eduardo Girão a sua análise volumétrica foi feita através de uma progressão geométrica do trabalho de BESSA JR. *et al.* (2006), conforme tabela mostrada a seguir. O valor do volume para a rua Eduardo Girão foi calculado de acordo com a média de taxa de crescimento anual (valores na tabela 4.1) o valor de 0,04. Como os dados do trabalho forma coletados no ano de 2006 e o do trabalho atual em 2012, a formula da progressão geométrica fica a seguinte:

$$V_{2012} = V_{2006} \times (1 + i_{méd})^6$$

Onde:

- V_{2012} representa o volume de veículos do ano de 2012;
- V_{2006} representa o volume de veículos do ano de 2006 e;
- $i_{méd}$ representa a média da taxa de crescimento anual.

Desta forma o volume atual da Eduardo Girão foi obtido multiplicado-se o valor do volume do trabalho de BESSA JR. et al. (2006) por 1,24. Os valores estimados para o fluxo da Avenida Eduardo Girão estão apresentados, na cor verde, na Tabela 4,1.

Tabela 4.1. Análise volumétrica da Av. Eduardo Girão comparado ao trabalho de BESSA JR. et al. (2006).

		TRABALHO BESSA JR.	ATUAL TRABALHO	Taxa de crescimento Anual
15-16 hs	AGUANAMBI NORTE	2167	2539	0,0267
	BR-116	524	910	0,0963
	AGUANAMBI SUL	427	350	-0,0328
	EDUARDO GIRÃO	659	815	
16-17 hs	AGUANAMBI NORTE	2323	2572	0,0171
	BR-116	483	968	0,1228
	AGUANAMBI SUL	317	352	0,0178
	EDUARDO GIRÃO	672	831	
17-18 hs	AGUANAMBI NORTE	2471	2777	0,0196
	BR-116	648	1179	0,1050
	AGUANAMBI SUL	459	452	-0,0025
	EDUARDO GIRÃO	835	1033	
18-19 hs	AGUANAMBI NORTE	2423	2781	0,0232
	BR-116	783	1065	0,0525
	AGUANAMBI SUL	380	350	-0,0135
	EDUARDO GIRÃO	901	1114	

(Fonte: Autor)

O volume estimado para a rua Eduardo Girão no horário do estudo foi de 1114 veículos por hora.

Para obter a matriz O/D, o CTAFOR só tinha os dados de demanda das interseções semaforizadas, sendo que no trabalho de BESSA JR. et al. (2006) já tinha estimado a matriz O/D para a rotatória da Aguanambi, na época a distribuição de viagens do tráfego foi estimada utilizando a rotina QUEENSOD, para gerar, com base nos fluxos coletados em campo, quatro matrizes O/D, correspondendo aos quatro intervalos horários da pesquisa volumétrica (15-16h; 16-17h; 17-18h e 18-19h). Essa opção de usar a rotina, sem a coleta de matrizes sementes em campo (por meio de pesquisas de placas, por exemplo), foi motivada pelo fato de existirem

poucas opções de rotas na rede estudada, sendo possível a estimação de matrizes muito próximas das situações reais.

Para o presente trabalho, a matriz O/D do trabalho de BESSA JR. *et al.* (2006) foi adotada como matriz semente, pois na época que foi produzida foi validada em campo com o intuito de avaliar os impactos da implantação de semáforos, além de que na época as câmeras do CTAFOR estavam funcionando, auxiliando para uma estimativa mais adequada da matriz OD, o que mostra a confiabilidade para usá-la como semente para a matriz O/D atual.

Para calcular a matriz OD foi executado o seguinte procedimento, foram feitas 3 matrizes OD utilizando o QUEENSOD com os dados seguintes:

- Apenas com dados coletados (CTAFOR) das interseções com semáforos, zerando os fluxos nas interseções internas da rotatória. (Teste 1)
- Com os dados coletados CTAFOR, acrescidos nas regiões interna da rotatória uma taxa de crescimento geométrico, $n = (1+i)^t$, com base no trabalho de BESSA JR. *et al.* (2006) (Teste 2)
- Na interseção da Avenida Eduardo Girão x Avenida Deputado Oswaldo Studart havia uma pesquisa de campo na data de 21/08/2007, considerando o fluxo que tinha como rota a Avenida Eduardo Girão com sentido para a rotatória como a totalidade que chegavam no cruzamento, adotando a taxa de crescimento em todas as interseções. (Teste 3).

Cada um dos três testes realizado obteve a sua matriz OD, para escolher qual se adequaria mais a realidade, foi então realizada uma comparação com o trabalho realizado pelo BESSA JR. *et al.* (2006) na qual pela tabela 4.2 a comparação é de acordo com o porcentagem total de rotas e a 4.3 mostra as diferenças de cada um dos testes para o trabalho do BESSA JR. *et al* (206)

Tabela 4.2 Comparação de porcentagem de rotas totais

%ROTAS TOTAIS	TESTE 3	TESTE 2	TESTE 1	BESSA JR.
Aguanambi Norte x Eduardo Girão	4,71%	0,25%	4,93%	0,25%
Aguanambi Norte x Aguanambi Sul	12,41%	13,41%	13,00%	11,49%
Aguanambi Norte x BR 116	28,61%	33,82%	33,14%	38,39%
Eduardo Girão x BR 116	6,52%	3,21%	4,53%	6,31%
Eduardo Girão x Aguanambi Norte	12,66%	13,55%	14,40%	9,98%
Aguanambi Sul x Aguanambi Norte	8,07%	8,38%	8,31%	8,61%
Aguanambi Sul x Eduardo Girão	0,00%	0,00%	0,00%	0,15%
BR 116 x Eduardo Girão	14,27%	13,83%	21,69%	12,51%
BR 116 x Aguanambi Norte	12,77%	13,56%	0,00%	12,31%

(Fonte: Autor)

Tabela 4.3 Diferenças de porcentagem de rota totais para o trabalho de Bessa Jr. *et al.* (2006).

DIFERENÇAS PARA O TRABALHO DO BESSA JR.	TESTE 3	TESTE 2	TESTE 1
Aguanambi Norte x Eduardo Girão	4,5%	0,0%	4,7%
Aguanambi Norte x Aguanambi Sul	0,9%	1,9%	1,5%
Aguanambi Norte x BR 116	-9,8%	-4,6%	-5,3%
Eduardo Girão x BR 116	0,2%	-3,1%	-1,8%
Eduardo Girão x Aguanambi Norte	2,7%	3,6%	4,4%
Aguanambi Sul x Aguanambi Norte	-0,5%	-0,2%	-0,3%
Aguanambi Sul x Eduardo Girão	-0,2%	-0,2%	-0,2%
BR 116 x Eduardo Girão	1,8%	1,3%	9,2%
BR 116 x Aguanambi Norte	0,5%	1,3%	-12,3%
Maior Diferença Positiva	4,5%	3,6%	9,2%
Maior diferença Negativa	-9,8%	-4,6%	-12,3%

(Fonte: Autor)

O teste que ficou mais próximo dos valores utilizados pelo BESSA JR. *et al* (2006), foi o TESTE 2. A origem e destino do teste 2 está detalhada na tabela 4.4, com a rota executada, volume e porcentagem do tráfego de cada origem.

Tabela 4.4 Matriz OD utilizada no trabalho

Origem	Destino	Volume	Percentual
Aguanambi Norte	Eduardo Girão	15	0,53%
Aguanambi Norte	Aguanambi Sul	785	28,23%
Aguanambi Norte	BR 116	1981	71,24%
Eduardo Girão	BR 116	213	19,14%
Eduardo Girão	Aguanambi Norte	901	80,86%
Aguanambi Sul	Aguanambi Norte	350	100,00%
BR 116	Eduardo Girão	538	50,48%
BR 116	Aguanambi Norte	527	49,52%

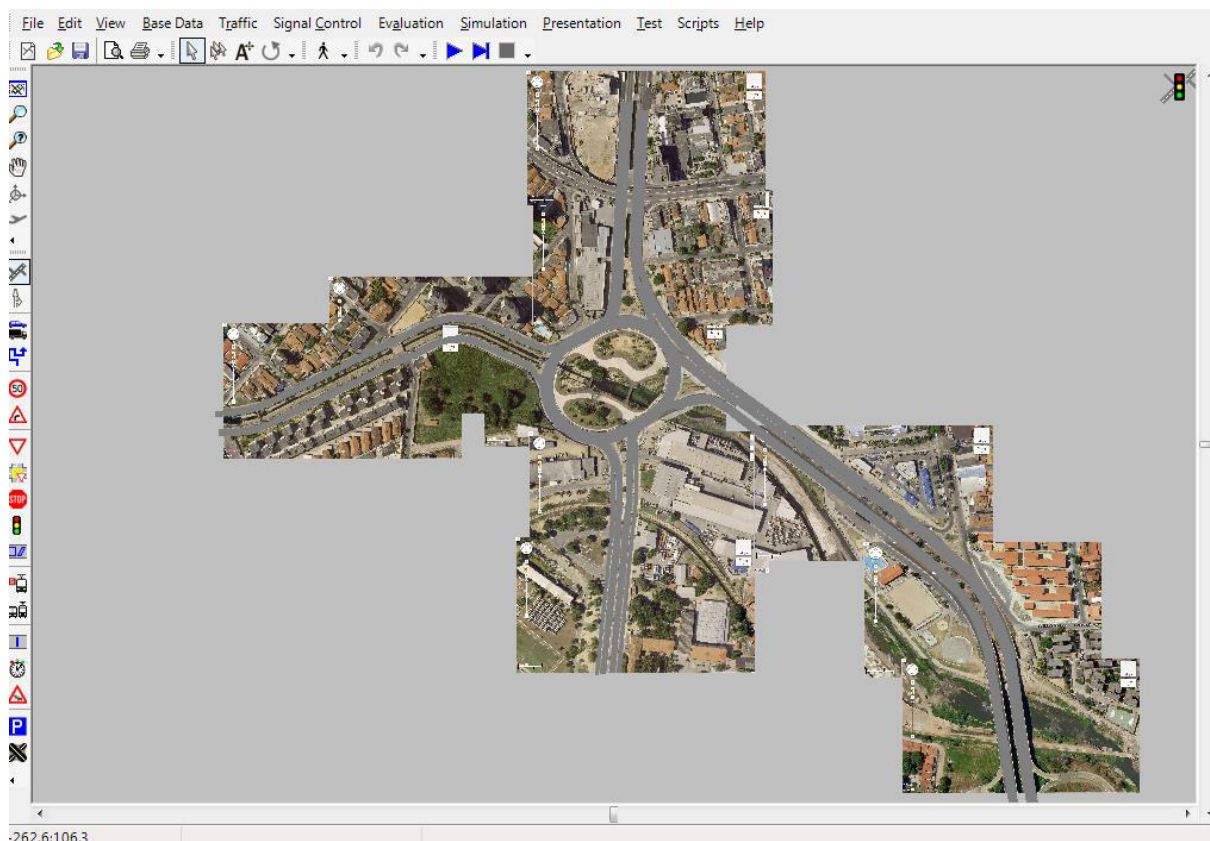
(Fonte: Autor)

Com os dados operacionais obtidos, a próxima etapa para a realização do trabalho está detalhada a seguir.

4.5 Codificação da rede

Coletados os dados operacionais, será analisada a rotatória geometricamente, para criar no VISSIM a plataforma para o cenário atual. Algumas informações foram adotadas e algumas retiradas através de imagens de satélite, Google Maps (na escala de 1:20), são elas: número de faixas em cada Rodovia, largura da faixa de rolamento, localização precisa de semáforos e sinais de “Dê a Preferência”, conforme mostrado na figura 4.2.

Figura 4.2 Codificação da rede utilizando imagens do Google Maps.



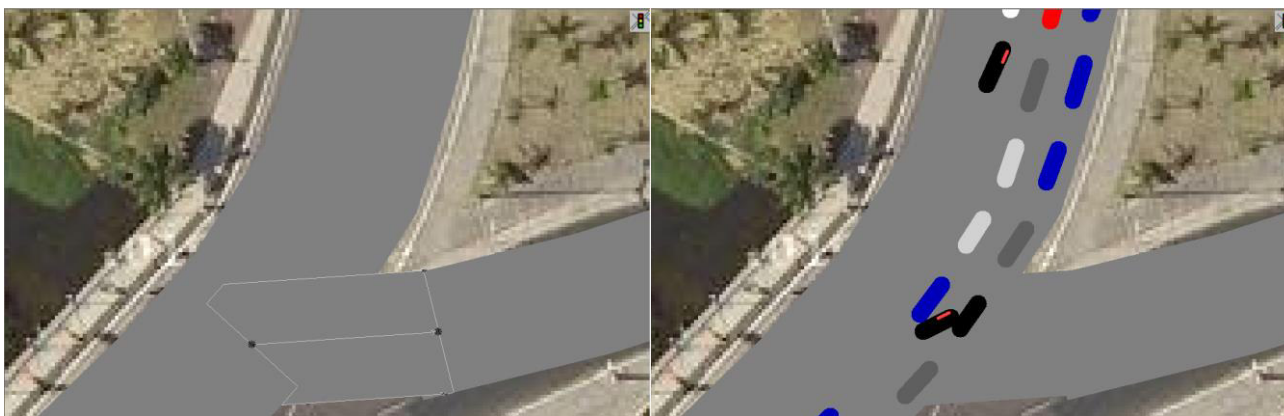
(Fonte: Autor)

4.6 Verificação de inconsistências

A verificação de inconsistências no programa foi realizada de forma visual com a análise das trajetórias veiculares de entrelaçamento (entradas e saídas) e ocupação das faixas internas da rotatória.

Os veículos em algumas ocasiões se interceptavam, gerando colisões, porém, na realidade, observa-se que os veículos não param nos cruzamentos da via. Para solucionar o problema foi testada a possibilidade de aplicar uma sinalização de “dê a preferência”, a alternativa não obteve sucesso, pois ocasionava um atraso incomum no local. O problema ocorre por que o programa, quando necessita conectar dois links, chamado de connector, não consegue diferenciar o cruzamento de uma via em nível ou cruzamento de uma via em desnível, ocasionando assim as colisões indevidas, a figura 4.3 mostrada a seguir vem com intuito de esclarecer o problema.

Figura 4.3 O conector da rotatória para a BR-116 e a colisão gerada.



(Fonte: Autor)

Para minimizar o problema duas decisões foram estabelecidas:

- Colocar conectores de menor tamanho, diminuindo assim a área de interseção do *link* com o *connector*.
- Fazer com que os veículos que estão trafegando na rotatória tenham um *Lane change* que permitam trafegar o máximo de tempo que seja possível utilizando as 4 faixas da rotatória, sem diferenciar do que acontece no real. O *Lane change* adotado foi de 120 m.

O problema encontrado foi devido à complexa geometria de uma rotatória, onde a sua codificação gerou diversos conflitos entre *connector* e *links*. Essa inconsistência faz com que a impedância do sistema diminua, dando maior fluidez ao tráfego, o que pode subestimar o real tempo de atraso na rotatória.

4.7 Realizações de simulações com os parâmetros *default*

Foram realizadas 15 execuções do programa com os parâmetros *default* para obtenção do atraso médio veicular nas interseções de estudo e comparadas ao de campo encontrada no SCOOT, o horário adotado foi o de 18 às 19 horas, as simulações estão na tabela 4.5.

Tabela 4.5 Simulações realizadas com os parâmetros Default (Calibração)

Links	Atraso (s)	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação
		1	2	3	4	5	6	7	8
Av. Aguanambi NORTE x Rotatória		22,3	29,2	21,2	25,6	20,3	23,6	22,0	23,6
BR-116 x Rotatória		18,2	16,8	19,0	17,4	17,6	18,7	17,5	17,6
Av. Aguanambi SUL x Rotatória (1)		58,2	59,5	57,9	57,2	60,4	56,6	55,8	57,2
Av. Aguanambi SUL x Rotatória (2)		92,4	57,0	78,0	73,0	61,8	57,4	58,3	58,9
Links	Atraso (s)	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação	Simulação
		9	10	11	12	13	14	15	
Av. Aguanambi NORTE x Rotatória		24,9	23,5	22,2	20,8	23,1	21,4	20,7	
BR-116 x Rotatória		18,4	17,1	16,1	16,7	17,3	17,6	17,9	
Av. Aguanambi SUL x Rotatória (1)		65,3	59,7	61,4	62,4	55,3	58,8	57,5	
Av. Aguanambi SUL x Rotatória (2)		96,9	70,8	59,7	81,5	71,1	63,5	72,8	

(Fonte: Autor)

Com os tempos de atraso das 15 simulações foi realizada uma estimativa do erro RMSE, conforme fórmula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}$$

O valor encontrado para o erro RMSE foi de 19,42 segundos por interseção estudada. Na tentativa de minimizar o erro e gerar um modelo mais próximo da realidade, foi utilizada a calibração do microssimulador por Algoritmos Genéticos.

4.8 Calibração

Para a realização da calibração dessa pesquisa, utilizou-se algoritmos genéticos como método de otimização. MEDEIROS (2012) justifica a escolha pela aplicação deste tipo de ferramenta por duas vantagens:

1. Os algoritmos genéticos, por serem um processo de automação computacional, permitem que sejam calibrados uma quantidade maior de parâmetros;

2. Celeridade na obtenção dos melhores valores para os parâmetros selecionados para a calibração.

O algoritmo genético utilizado nessa pesquisa para a calibração dos parâmetros do simulador VISSIM foi desenvolvido em linguagem LUA, no laboratório de engenharia da Universidade de São Carlos/USP cedido pelo Msc. José Elievam Bessa Júnior. Esse AG tem a capacidade de calibrar todos os submodelos do simulador VISSIM voltados para o tráfego de veículos: o modelo de *car-following* (WIEDEMANN 74 e WIEDEMANN 99), de *lane-changing* e de reação ao sinal amarelo de semáforos.

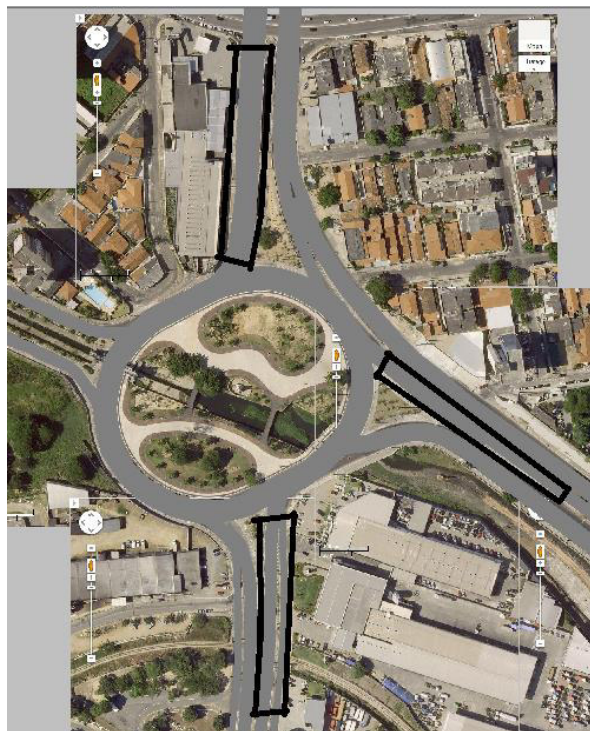
A execução do AG só se inicia depois de definições de parâmetros do simulador a serem calibrados e de parâmetros do próprio AG. No caso do simulador deve haver a definição de todos os parâmetros que serão calibrados e seus limites máximo e mínimo, já no caso do AG deve haver a definição, dentre outros, os valores de número de indivíduos, replicações e gerações.

O algoritmo ao ser executado necessita dos critérios de parada, podendo ser um ou mais, em geral são utilizados dois, o número máximo de gerações e um valor satisfatório para a função de ajuste utilizada como função *fitness*, assim, quando o AG atingir a situação pré-definida, as simulações são interrompidas e o resultado gerado pelo AG (melhor indivíduo) deve ser avaliado. Nessa pesquisa o AG, em linguagem LUA, utilizava apenas o número máximo de gerações como critério de parada. Averiguando o melhor indivíduo e considerando-o aceitável para a finalidade do estudo, deve-se partir para a etapa de validação.

O parâmetro que desejou fazer a calibração foi o atraso médio veicular (s) que, conforme AQUINO (2012), é a medida de desempenho mais usada para avaliar interseções.

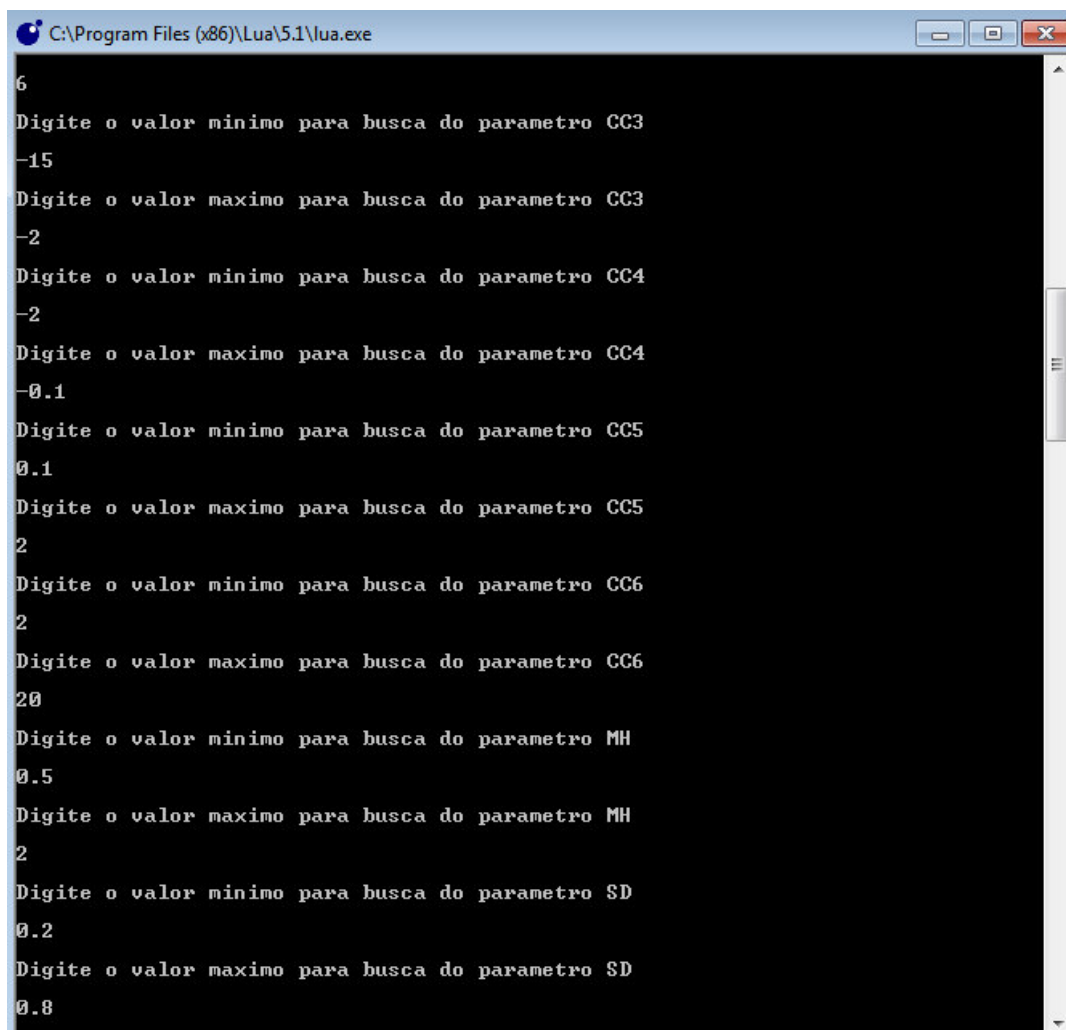
No caso do atraso médio veicular de campo foram utilizados os dados fornecidos no programa SCOOT que abrangia a região nos dias de terça à quinta do mês de Abril. O atraso médio veicular do programa utilizado deve ser condizente com a realidade, então foi necessário fazer uma visita ao CTAFOR, aonde através de planta baixa de cada semáforo foi possível localizar com precisão a localização dos laços detectores. No programa foi codificado um nó onde foi possível coletar dados de *Delay time* (atraso médio), a figura 3.3 mostra a localização dos laços.

Figura 4.4 Localização dos laços no programa.



(Fonte: Autor)

A calibração no AG linguagem LUA perguntava: o erro que vai ser calculado era: atraso por link que chegava na interseção ou atraso por nó? O escolhido foi por link chegando na interseção. Então foram 4 links escolhidos, o da Aguanambi Norte, dois na Aguanambi sul e o da BR-116. Assim o erro encontrado seria de 4 interseções estudadas separadamente, o que causa uma grande dificuldade no processo de calibração. A seguir na figura 4.5 mostra o layout do AG linguagem LUA, com o questionamento do valores máximos e mínimos dos parâmetros escolhidos para calibração.

Figura 4.5 *Layout* do programa utilizado na calibraçãoA screenshot of a Windows-style application window titled "C:\Program Files (x86)\Lua\5.1\lua.exe". The window contains a black terminal with white text. The text is a Lua script for parameter calibration, showing prompts for minimum and maximum values for parameters CC3, CC4, CC5, CC6, MH, and SD. The values entered are: CC3 (min: -15, max: -2), CC4 (min: -2, max: 0.1), CC5 (min: 0.1, max: 2), CC6 (min: 2, max: 20), MH (min: 0.5, max: 2), and SD (min: 0.2, max: 0.8).

```
6
Digite o valor minimo para busca do parametro CC3
-15
Digite o valor maximo para busca do parametro CC3
-2
Digite o valor minimo para busca do parametro CC4
-2
Digite o valor maximo para busca do parametro CC4
0.1
Digite o valor minimo para busca do parametro CC5
0.1
Digite o valor maximo para busca do parametro CC5
2
Digite o valor minimo para busca do parametro CC6
2
Digite o valor maximo para busca do parametro CC6
20
Digite o valor minimo para busca do parametro MH
0.5
Digite o valor maximo para busca do parametro MH
2
Digite o valor minimo para busca do parametro SD
0.2
Digite o valor maximo para busca do parametro SD
0.8
```

(Fonte: Autor)

4.8.1 Escolha dos parâmetros do simulador

O algoritmo escolhido foi o WIEDEMANN 99, após ser realizada uma análise para conhecer cada parâmetro individualmente, foram selecionados os parâmetros que seriam calibrados e definiu-se os intervalos aceitáveis para cada um, segundo trabalho realizado por CUNTO (2008). Os parâmetros de *car-following* e *lane-change* escolhidos são mostrados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 Parâmetros selecionados para calibração de acordo com CUNTO (2008)

Parâmetro	Descrição	Categoria	Valor default	Inferior	Superior
CC0	CC0 - standstill distance (m)	Car following model (99)	1,50	0,50	3,00
CC1	CC1 - headway time (s)	Car following model (99)	0,90	0,20	1,50
CC2	CC2 - following variation (m)	Car following model (99)	4,00	1,50	6,00
CC3	CC3 - threshold for entering following	Car following model (99)	-8,00	-15,00	-2,00
CC4(5)	CC4(5) - negative (positive) following threshold	Car following model (99)	-0,35	-2,00	-0,10
CC6	CC6 - speed dependency of oscillation	Car following model (99)	11,44	2,00	20,00
MH	Min. headway - front/rear (m)	Lane change	0,50	0,50	2,00
SD	Safety distance reduction factor	Lane change	0,60	0,10	0,60
MD	Max. deceleration for cooperative braking (m/s ²)	Lane change	-3,00	-9,00	-5,00

(Fonte: Autor)

Os parâmetros restantes de *car-following* WIEDAMANN 99, CC7, CC8 e CC9 disponíveis para calibração, já explicados anteriormente, estão diretamente ligados à aceleração dos veículos e seus valores não foram calibrados pelo fato de não apresentarem influência na medida de desempenho.

4.8.2 Determinação dos parâmetros do AG e da função fitness

O AG utiliza uma função de ajuste (fitness) para avaliar a qualidade dos resultados obtidos através das execuções. A função selecionada foi raiz quadrada do erro médio (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}$$

Onde:

O_i representa a medida de desempenho observada no campo;

E_i representa a medida de desempenho estimada pelo modelo e;

N representa o número de observações.

Para o presente trabalho resolveu adotar os seguintes valores dos parâmetros de controle e dos operadores genéticos do algoritmo do AG, em linguagem LUA:

Tabela 4.7 - Parâmetros do AG

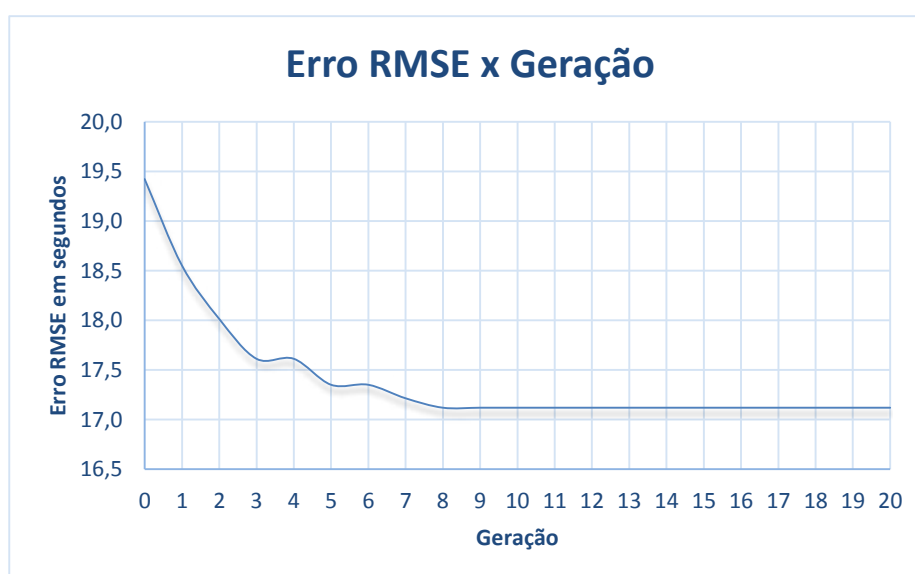
PARÂMETROS DO AG	
Número de indivíduos	10
Número de gerações	20
Replicações	10
Diversidade	2
Taxa de mutação	30%
Taxa de predação	20%

(Fonte: Autor)

4.8.3 Execução do AG

Na execução do algoritmo genético, encontrou-se o seguinte comportamento mostrado no gráfico 4.4, o valor adotado para a geração 0 foi o encontrado anteriormente no *default* de 19,42 segundos.

Gráfico 4.4 – Melhor evolução AG



(Fonte: Autor)

Notou-se que o algoritmo continuou apresentando um erro considerável apesar da melhora de aproximadamente 15 %, convergindo na oitava geração. O valor mínimo do erro RMSE foi de 17,12 segundos.

4.8.4 Análise do melhor indivíduo

Ao término de todas as simulações realizadas pelo AG, foi possível identificar o melhor indivíduo do melhor cenário, ou seja, a melhor combinação de parâmetros escolhidos no intervalo pré-determinado. A diferença entre os valores dos parâmetros default e os valores otimizados pelo algoritmo, é mostrada no gráfico 4.5.

Gráfico 4.5 – Diferença entre parâmetros *default* e otimizados pelo AG



	CC0	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	MH	SD	MD
Default	1,50	0,90	4,00	-8,00	-0,35	0,35	11,44	0,50	0,60	-3,00
Otimizado	1,95	1,47	5,18	-12,62	-1,41	0,61	12,49	0,91	0,52	-6,60

(Fonte: Autor)

Cada parâmetro alterado pelo AG significa uma mudança no comportamento do motorista, os parâmetros mais divergentes do *default* foram o CC3 e o MD. MEDEIROS (2012) define que a modificação do parâmetro CC3 controla o início do processo de desaceleração, ou

seja, o momento que o condutor reconhece um veículo mais lento à frente. Como os veículos trafegam a pequenas distâncias, a percepção de quando se deve iniciar o processo de frenagem acontece de forma mais eficaz, justificando o baixo valor obtido na calibração.

MEDEIROS (2012) informa que a modificação no parâmetro MD significa que quanto mais elevado o valor desse parâmetro, aumenta a probabilidade de mudança de faixa. O valor otimizado foi bem abaixo do valor *default*, mostrando que realmente a cooperação por parte dos condutores no processo de mudança de faixa é menor, ou seja, realizar a mudança de faixa na área simulada não é tão fácil, sendo isso compreensível, tendo em vista que o horário simulado foi o do pico da tarde.

Foram realizadas 15 execuções do programa com os parâmetros otimizados pelo AG para obtenção do atraso nas interseções de estudo e comparadas ao real encontrada no SCOOT, o resultado encontra-se abaixo.

Tabela 4.8 Simulações realizadas com os parâmetros otimizados pelo AG (Calibração)

		Atraso (s)							
Links		Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4	Simulação 5	Simulação 6	Simulação 7	Simulação 8
Av. Aguanambi NORTE x Rotatória		34,1	29,3	30,3	31,6	28,5	29,8	30,6	29,5
BR-116 x Rotatória		30,9	19,1	19,8	21,1	17,8	19,0	22,0	20,2
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		62,6	62,5	58,7	56,8	60,3	62,6	60,3	55,7
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		79,6	54,0	69,2	61,7	64,6	62,5	68,9	65,8
		Atraso (s)							
Links		Simulação 9	Simulação 10	Simulação 11	Simulação 12	Simulação 13	Simulação 14	Simulação 15	
Av. Aguanambi NORTE x Rotatória		33,9	31,7	30,2	26,7	28,1	27,8	35,0	
BR-116 x Rotatória		20,4	21,8	20,4	18,7	19,5	19,8	20,8	
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		62,0	59,1	56,3	56,5	59,0	62,8	66,3	
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		57,1	61,7	62,7	62,9	58,8	69,2	69,8	

(Fonte: Autor)

Com o resultado da tabela 4.8 foi calculado o erro RMSE e o valor encontrado foi de 17,17 segundos, bem próximo do encontrado do processo de calibração e exalta a redução do erro quando comparado as simulações feitas com os parâmetros do *default*.

4.9 Validação

Na tentativa de comprovar a validade do modelo, foram realizadas simulações com a mesma medida de desempenho da calibração, atraso médio veicular, sendo que em horário distinto, das 17 às 18 horas, alterando assim o volume de veículos (conforme tabela 4.1) e consequentemente o atraso médio veicular, foram realizadas 15 simulações com os parâmetros *default* e 15 simulações com os parâmetros otimizados, conforme expostos nas tabelas 4.9 e 4.10.

Tabela 4.9 Simulações realizadas com os parâmetros *default* (Validação)

		Atraso (s)							
Links		Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4	Simulação 5	Simulação 6	Simulação 7	Simulação 8
Av. Aguanambi NORTE x Rotatória		21,6	20,8	20,2	23,5	22,0	19,6	22,3	19,8
BR-116 x Rotatória		18,8	17,8	19,5	18,1	17,0	18,1	19,5	19,0
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		58,0	59,2	57,3	59,4	56,8	59,5	59,2	65,4
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		72,9	65,2	65,9	59,9	60,6	77,1	69,0	62,0
		Atraso (s)							
Links		Simulação 9	Simulação 10	Simulação 11	Simulação 12	Simulação 13	Simulação 14	Simulação 15	
Av. Aguanambi NORTE x Rotatória		20,8	22,1	21,7	27,7	20,4	20,1	22,7	
BR-116 x Rotatória		16,5	18,1	18,9	18,1	18,1	17,6	17,3	
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		63,5	59,5	61,5	59,0	60,0	57,8	60,8	
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		81,3	67,4	79,9	70,1	67,8	62,2	75,9	

(Fonte: Autor)

Tabela 4.10 Simulações realizadas com os parâmetros otimizados pelo AG (Validação)

		Atraso (s)							
Links		Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4	Simulação 5	Simulação 6	Simulação 7	Simulação 8
Av. Aguanambi NORTE x Rotatória		30,9	29,9	28,8	27,5	31,2	29,0	34,2	35,2
BR-116 x Rotatória		20,8	19,4	21,8	19,1	20,9	19,9	20,6	20,4
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		60,5	61,4	61,5	66,2	60,5	60,5	59,1	66,3
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		62,6	64,9	73,6	69,7	62,5	67,3	60,8	61,4
		Atraso (s)							
Links		Simulação 9	Simulação 10	Simulação 11	Simulação 12	Simulação 13	Simulação 14	Simulação 15	
Av. Aguanambi NORTE x Rotatória		32,3	30,8	30,2	36,1	27,0	25,3	27,0	
BR-116 x Rotatória		19,9	20,6	20,4	20,1	21,0	20,4	20,7	
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		62,3	60,5	56,3	60,5	61,5	58,8	63,5	
Av. Aguanambi SUL x Rotatória		62,3	70,1	62,7	62,3	71,5	63,9	63,8	

(Fonte: Autor)

Calculando o erro RMSE para as simulações com os parâmetros *default* e com os parâmetros otimizados, os valores encontrados foram respectivamente, 16,76 s e 15,41s. Quando comparado ao erro médio observado por interseção, de aproximadamente 50 s, o valor de validação apresentou uma redução de 30% no tempo de atraso, próxima da encontrada na calibração, indicando a confiabilidade dos parâmetros otimizados.

4.10 Codificação da intervenção analisada e avaliação da alternativa

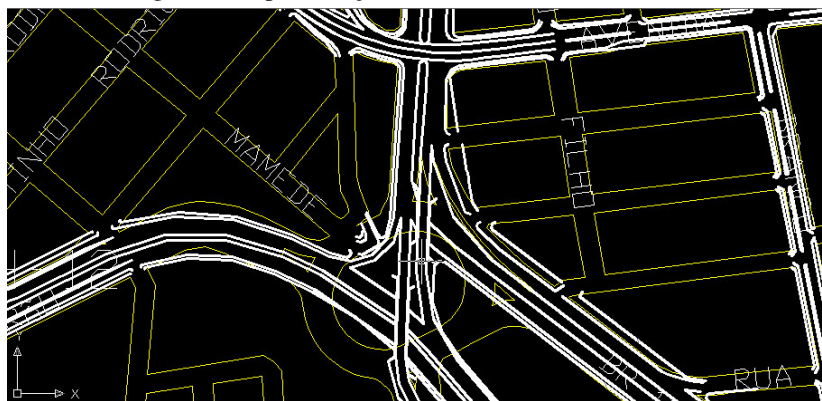
Para solucionar o problema encontrado na rotatória, o Governo Municipal, na representação do TRANSFOR, cedeu uma figura em CAD do que se pretende construir. O projeto contém a ampliação de vias, criação de interseções em desníveis, continuação da rua Eduardo Girão, fim da rua Aguanambi sul, dentre outras modificações. No trabalho não será levado em consideração a viabilidade do projeto. A figura 3.5 e 3.6 mostra a figura em CAD e uma aproximação do que ocorrerá na rotatória.

Figura 4.6 Desenho em CAD da proposta para solução do problema da rotatória.



(Fonte: TRANSFOR)

Figura 4.7 Aproximação dando ênfase na rotatória.



(Fonte: TRANSFOR)

Para codificação da rede adotou-se as mesmas imagens do *Google Maps* utilizadas anteriormente para codificar o cenário atual, fazendo as devidas alterações para condizer com o que foi proposto. Para a realização do trabalho só foi cedida a planta em CAD, devido à insuficiência de dados e à mudança de governo na Prefeitura Municipal de Fortaleza, dificultando o contato com o órgão TRANSFOR, surgiram dúvidas com relação a interpretação da imagem, infelizmente ficando sem respostas, tais como:

- A rota de origem na BR-116 e destino na rua Eduardo Girão, os veículos que faziam essa rota, qual será o novo trajeto?
- A rota de origem na rua Eduardo Girão e destino na BR-116, os veículos que faziam essa rota, qual será o novo trajeto?

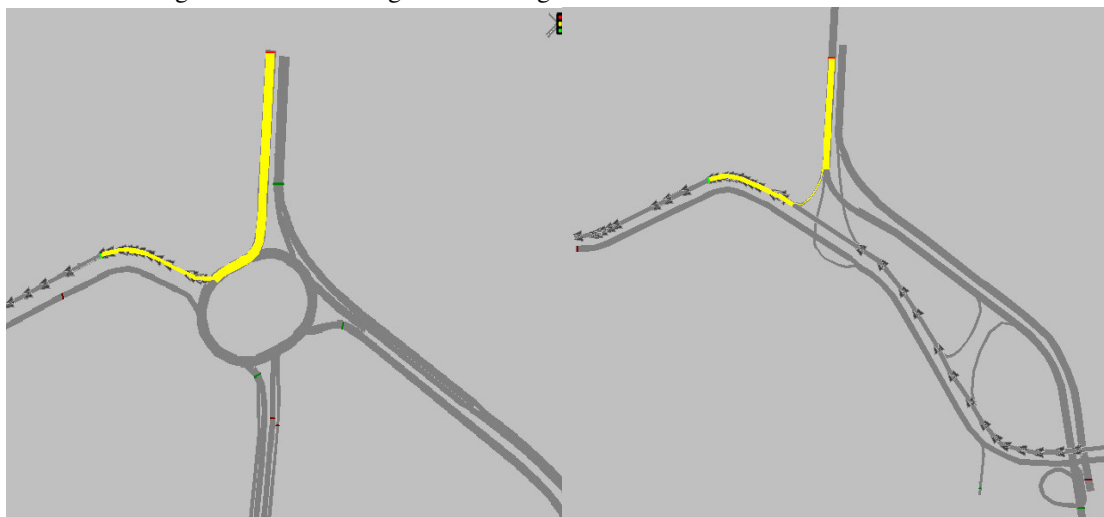
A codificação da rede foi realizada sem levar em consideração as dúvidas. As rotas que não foram identificadas foram colocadas o seu fluxo continuando na rua de origem. A figura 4.8 mostra a codificação da rede proposta. A seguir é exposto as comparações de rotas que foi extraído os valores de tempo de viagem para fazer a comparação.

Figura 4.8 Codificação da rede proposta.



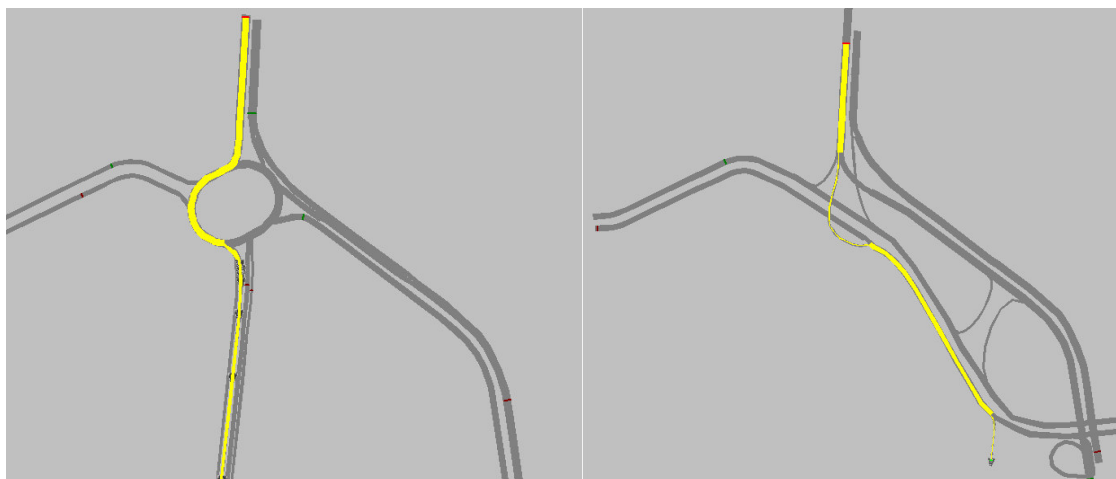
(Fonte: Autor)

Figura 4.9 Rota de origem na Av. Aguanambi Norte e destino na Av Eduardo Girão.



(Fonte: Autor)

Figura 4.10 Rota de origem na Av. Aguanambi Norte e destino até à Av. Borges de Melo.



(Fonte: Autor)

Figura 4.11 Rota de origem na Av. Aguanambi Norte e destino BR-116.



(Fonte: Autor)

Figura 4.12 Rota de origem na Av. Eduardo Girão e destino BR-116.



(Fonte: Autor)

Para realizar a avaliação da alternativa, foi utilizada a medida de desempenho tempo de viagem das rotas expostas da figura 4.9 à 4.11. Foram realizadas 10 simulações em cada um dos cenários, conforme mostrados em anexo B, a comparação da média e do desvio padrão das simulações no cenário atual e proposto estão na tabela 4.11, já o intervalo de confiança foi obtido utilizando a distribuição probabilística t-student.

Tabela 4.11 Tempo de viagem do cenário atual e proposto

ROTAS	TEMPO DE VIAGEM CENÁRIO ATUAL (s)				
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	ERRO (T - Student)	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)	
				MENOR VALOR	MAIOR VALOR
AGUANAMBI NORTE x AGUANAMBI SUL	120,46	3,01	2,15	118,30	122,61
AGUANAMBI NORTE BR-116	147,62	2,55	1,82	145,80	149,44
AGUANAMBI NORTE x EDUARDO GIRÃO	70,64	1,91	1,37	69,27	72,01
EDUARDO GIRÃO x BR-116	183,67	10,01	7,16	176,51	190,83
ROTAS	TEMPO DE VIAGEM CENÁRIO PROPOSTO (s)				
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	ERRO (T - Student)	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)	
				MENOR VALOR	MAIOR VALOR
AGUANAMBI NORTE x AGUANAMBI SUL	75,62	0,33	0,23	75,38	75,85
AGUANAMBI NORTE BR-116	80,58	0,21	0,15	80,43	80,73
AGUANAMBI NORTE x EDUARDO GIRÃO	58,30	0,85	0,61	57,69	58,91
EDUARDO GIRÃO x BR-116	110,76	0,36	0,26	110,50	111,01

(Fonte: Autor)

Foi realizada o percentual de melhoria que a intervenção ocasionará com a comparação dos tempos de viagens médios da atual e proposta, a tabela 4.12 mostra o resultado encontrado.

Tabela 4.12 Porcentual de melhoria de tempo de viagem em cada rota estudada

ROTAS	
AGUANAMBI NORTE x AGUANAMBI SUL	-37,22%
AGUANAMBI NORTE BR-116	-45,41%
AGUANAMBI NORTE x EDUARDO GIRÃO	-17,47%
EDUARDO GIRÃO x BR-116	-39,70%
Média	-34,95%

(Fonte: Autor)

Outra forma de analisar a melhoria que a intervenção estudada pode acarretar, é a redução dos tempos de viagem global. Em um caso hipotético de se ter apenas uma rota X, o cálculo seria simples, multiplicar o número de veículos que fazem uma rota X pela diferença entre tempo de viagem atual e proposto. Já no caso do estudo, o cálculo foi o mesmo, sendo que são quatro rotas estudadas, devendo assim se repetir quatro vezes, conforme tabela 4.13.

Tabela 4.13 Redução no tempo de viagem por rota em 1 hora

ROTAS	Redução no tempo de viagem (s/veic)	Volume(Veic/h)	Redução no tempo de viagem por rota em 1 h (s)
AGUANAMBI NORTE x EDUARDO GIRÃO	12,34	15	185,1
AGUANAMBI NORTE x AGUANAMBI SUL	44,84	785	35199,4
AGUANAMBI NORTE x BR-116	67,03	1981	132786,43
EDUARDO GIRÃO x BR-116	72,92	213	15531,23

(Fonte: Autor)

A redução global então é o somatório do valores de redução no tempo de viagem, que obteve assim 183702,89 segundos, transformando para horas, encontramos então um expressivo valor de 51,03 horas a menos de tempo de viagem global em apenas um dia. O cenário atual se encontra com aproximadamente 118,66 horas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho explorou a utilização de ferramentas de simulação de tráfego na avaliação do impacto de propostas de intervenções geométricas e operacionais em interseções viárias urbanas. No desenvolvimento dessa pesquisa realizou-se uma revisão bibliográfica acerca das principais categorias operacionais que se enquadram a concepção do projeto geométrico das interseções viárias e dos principais dispositivos de controle veicular. Essa revisão permitiu identificar as principais vantagens e desvantagens da construção de rotatórias e interseções em desnível, ou interconexões.

Em seguida, foi discorrido sobre a aplicação de ferramentas de simulação computacional na operação e planejamento de transportes. Pode-se concluir que a simulação surge com o intuito de estimar o comportamento provável do tráfego sem gerar riscos aos usuários “reais” e sem interrupções no tráfego existente. Além disso, nesta etapa foi possível a identificação das principais atividades necessárias à utilização da microssimulação microscópica de forma a aperfeiçoar os resultados obtidos com sua utilização. A revisão bibliográfica sobre os modelos de microssimulação permitiu, por fim, identificar os principais componentes funcionais como modelos de representação da rede, modelos de movimentação veicular e estrutura de entrada e saída de dados.

Com intuito de avaliar a aplicabilidade da microssimulação no ambiente urbano da cidade de Fortaleza, esse trabalho apresentou ainda um estudo de caso no qual foram avaliados os impactos da implantação de uma interconexão na rotatória da Avenida Aguanambi com a BR-116 e 1º anel viário. A metodologia utilizada nesse estudo utilizou as seguintes atividades: codificação dos cenários (atual e proposto), realizações de simulações com o parâmetro *default*, verificação de inconsistências, calibração e validação e análise dos cenários.

Na atividade codificação dos cenários, foram utilizadas imagens de satélite para o cenário atual, Google Maps, para criar os *links* correspondentes à localização real no local de estudo, já o cenário proposto, o auxílio utilizado foi a planta em CAD. Essa atividade ocorreu com sucesso, os modelos encontrados ficaram bem próximos da realidade.

Na realização de simulações, foram realizadas 15 simulações extraído do programa o atraso veicular médio, em segundos, dos laços pré-estabelecidos. Podendo assim encontrar a raiz quadrada do erro médio, utilizado posteriormente na calibração como o erro “inicial” da geração 0.

Na etapa de verificação de inconsistências foi encontrado um erro visual que não conseguiu ser solucionado, tratava-se de uma limitação do programa, pois o problema tratado, a rotatória, é um geometria bem complexa, onde o programa não consegue evitar colisões na área conflitante do *conector*.

Na calibração do programa utilizou-se o método dos algoritmos genético com a medida de desempenho atraso veicular médio, sendo capaz de reduzir raiz quadrada do erro médio de 19,5 segundos, no default, para 17 segundos, cerca de 15% de melhoria, sendo que quando comparada ao erro médio encontrado nas interseções, de aproximadamente 53 segundos, os 17 segundos se tornam um erro relativamente alto, erro esse devido à principalmente uma das vias, a BR-116, o VISSIM não conseguiu representar bem o que ocorre na localização, gerando atrasos bem abaixo do que realmente ocorre na aproximação.

Na etapa de validação, utilizou-se a mesma medida de desempenho utilizada na calibração, atraso médio veicular, sendo que o horário analisado foi outro, de 17 às 18 horas. O resultado encontrado foi satisfatório, os parâmetros otimizados anteriormente conseguiram reduzir o raiz quadrada do erro médio 16,76 s no default para 15,41s com os parâmetros otimizados encontrados na fase de calibração. Comparando à média do atraso nas interseções com o erro encontrado, observou-se que se encontra bem próximo do encontrado na calibração, mostrando a confiabilidade da calibração executada.

Por fim, comparou-se o tempo de viagem da situação atual da rotatória com a que foi enviada pelo TRANSFOR, o resultado encontrado mostra o quão importante será se a proposta for executada, pois houve uma redução considerável no tempo de viagem de rotas críticas, sem citar que diminuiria o número de entrelaçamentos, o que acarretaria uma possibilidade menor de acidentes. O tempo de viagem das rotas estudadas sofreram uma redução média de 35%, já se for analisada pelo tempo de viagem global, o valor encontrado foi de uma redução de aproximadamente 51 horas nos tempos de viagem.

O desenvolvimento dessa monografia e os resultados obtidos permitiram a identificação de algumas áreas com potencial para trabalhos complementares. Dentre elas ressaltam-se:

- Avaliar a capacidade de outros aplicativos de microsimulação na representação o comportamento veicular em rotatórias, em especial as manobras de entrelaçamento ocorridas em rotatórias com três ou mais faixas de tráfego ;
- Aperfeiçoar metodologias de coleta de dados relativos ao fluxo veicular e outras medidas de desempenho que possam ser empregadas em metodologias de calibração e validação dos algoritmos de microsimulação ;
- Ampliar a rede modelada até a Avenida Borges de Melo e estudar os impactos provenientes da implantação da proposta
- Propor e avaliar soluções diferentes da exposta no presente trabalho utilizando critérios de fluidez e de segurança viária ;
- Estudar a viabilidade financeira para a proposta enviada pelo TRANSFOR.

REFERÊNCIAS

ARIOTTI, P.; ARAÚJO, D. R. C.; MOSCARELLI F. C. e CYBIS, H. B. B. (2004) Associação de Modelos Macroscópicos e Microscópicos de Tráfego para Estudo de Circulação. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Florianópolis, SC.

AQUINO, E. A. (2012) Validação do Modelo Mesoscópico de Tráfego do Scoot para o Desenvolvimento de Redes Viárias Urbanas Microssimuladas. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 89 fl.

BAZZAN, ANA L. C.; KLUGL, FRANZISKA. (2007) - Sistemas Inteligentes de Transporte e Tráfego: uma Abordagem de Tecnologia da Informação. Annals of Jornadas de Atualização em Informática, Rio de Janeiro, v. 1. p. 2296-2337.

BERTONCINNI, B. V. (2002) Calibração do Simulador INTEGRATION para a Rede Viária da Região Central de Maringá. Relatório de projeto de iniciação científica (PIC). Departamento de Engenharia Civil, UEM, Maringá, PR.

BESSA JÚNIOR, J. E., OLIVEIRA NETO, F. M., PAULA, F. S. M., LOUREIRO, C. F. G. (2006) Avaliação de intervenções em interseção do tipo rotatória usando o simulador INTEGRATION. In: XX ANPET. Brasília. Disponível em: <http://redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/ANPET2006.pdf>

CONTRAN (2007a) Conselho Nacional de Trânsito (Brasil). Sinalização horizontal / Contran-Denatran. 1ª edição – Brasília: Contran. 128 p.: il. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito ;4)

CONTRAN (2007b) - Conselho Nacional de Trânsito (Brasil). Sinalização vertical de regulamentação / Contran-Denatran. 2ª edição – Brasília : Contran. 220 p. : il. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito ; 1)

(CONTRAN) (2012) - Conselho Nacional de Trânsito (Brasil). Sinalização semafórica / Contran-Denatran. Versão preliminar – Brasília: Contran. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito ;5)

CUNHA E SILVA, T. C. (2010) A confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus. 97 f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia.

CUNTO, F. J. C. (2008) Assessing Safety Performance of Transportation Systems using Microscopic Simulation Tese de Doutorado, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Ontário, Canadá.

CUNTO, F. J. C. e C. F. G LOUREIRO (2011) O Uso da Microssimulação na Avaliação do Desempenho da Segurança Viária. Transporte em transformação XV: trabalhos vencedores do prêmio CNT de Produção Acadêmica 2010, Confederação Nacional do Transporte, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte, Brasília, p. 216.

DNIT (2005) - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de projeto de interseções. 2. ed. Rio de Janeiro. 528 p.

FHWA (2004) Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. Federal Highway Administration.

IKEDA, P. A. (2009) Introdução aos Algoritmos Genéticos, 14 pg.

MAIA, F. V. B. (2007) Calibração e Validação de Modelos de Meso e Microsimulação do Tráfego para a Avaliação de Intervenções Tático-Operacionais na Malha Viária Urbana. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 104 fl.

MEDEIROS, A. L. (2012) Aplicabilidade de Algoritmos Genéticos para Calibração de Redes Viárias Urbanas Microsimuladas. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 89 fl.

OLIVEIRA, M. L. e H. B. B. CYBIS (2008) Revisão da Experiência de Calibração do Software Vissim Aplicado a um Estudo de Caso de Autoestrada Brasileira. VIII SEPROSUL – Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana. Bento Gonçalves, Brasil.

PONTES FILHO, Glauco. Estradas de Rodagem: projeto geométrico. São Carlos, SP, 1998.

PORTUGAL, L. S. (2005) Simulação de Tráfego: Conceitos e Técnicas de Modelagem, Ed. Interciência, Rio de Janeiro.

PTV VISSIM (2010) User Manual. PTV – Planung Transport Verkehr AG, v.5.30.

SETTI, J. R. A. (2002) Tecnologia de Transportes. EESC-USP. Capítulo 3

SPIEGELMAN H. C.; E. S. Park e L. R. Rilett (2010) Transportation Statistics and Microsimulation. Ed. Chapman & Hall/CRC. USA.

TOLEDO, T. e KOUTSOPOULOS, H. N. (2004) Statistical Validation of Traffic Simulation Models. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1876, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 142-150.

TRB (2000) HIGHWAY CAPACITY MANUAL. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A.

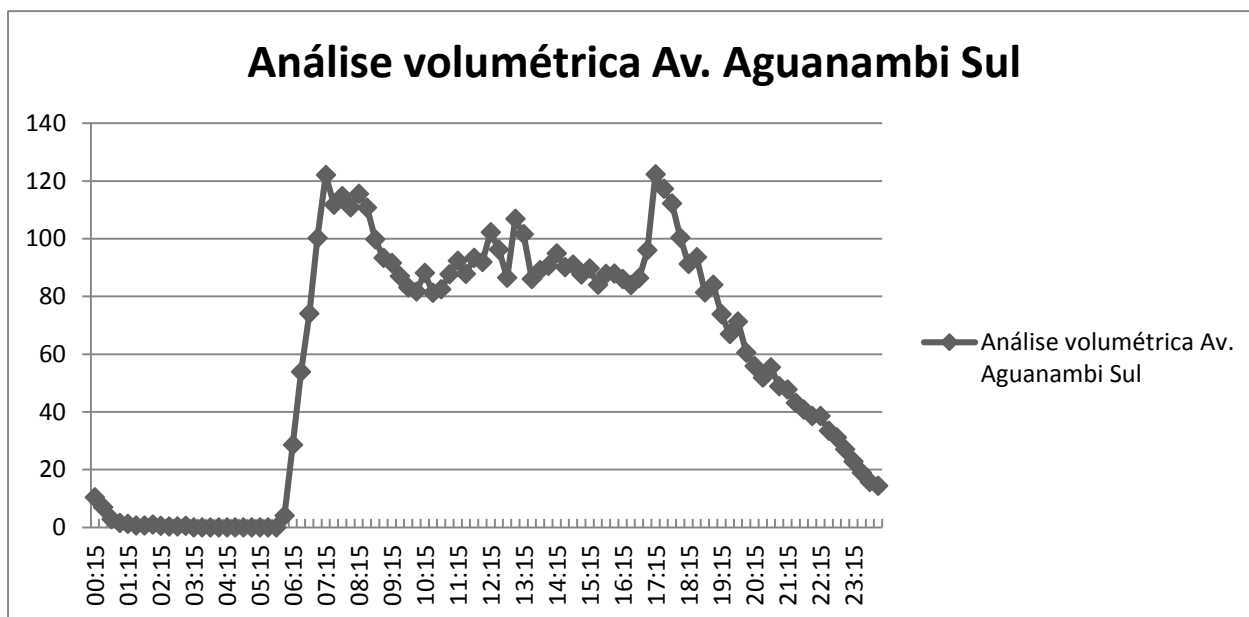
VILARINHO, C. A. T. (2008) Calibração de Modelos Microscópicos de Simulação de tráfego em redes urbanas. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

ANEXOS

ANEXO A- Dados obtidos pelo SCOOT

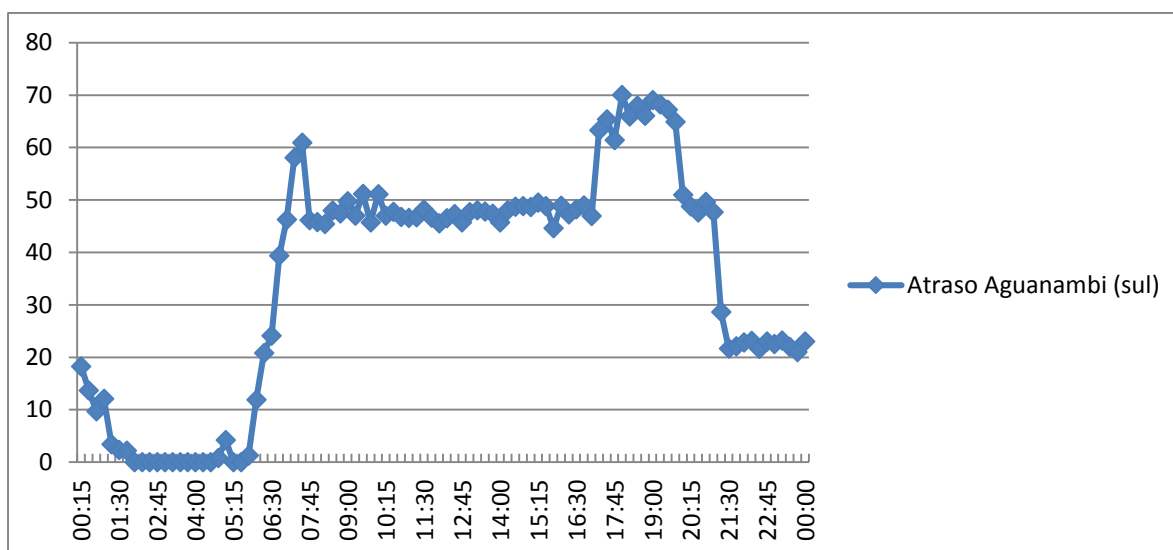
Avenida Aguanambi sul:

Análise volumétrica da aproximação Aguanambi (sul) x rotatória



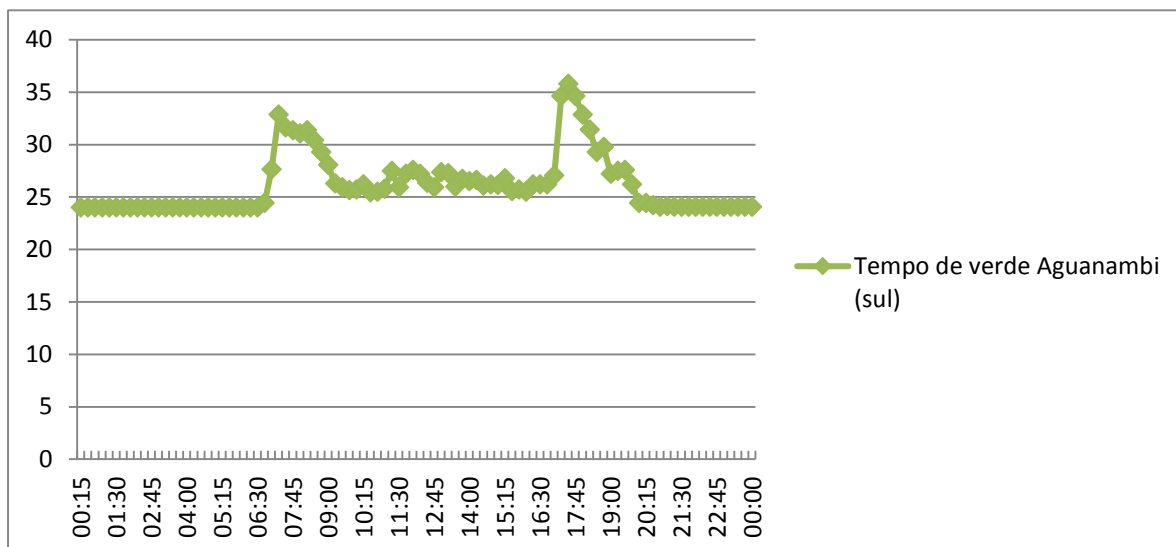
(Fonte: Autor)

Atraso da aproximação Aguanambi (sul) x rotatória



(Fonte: Autor)

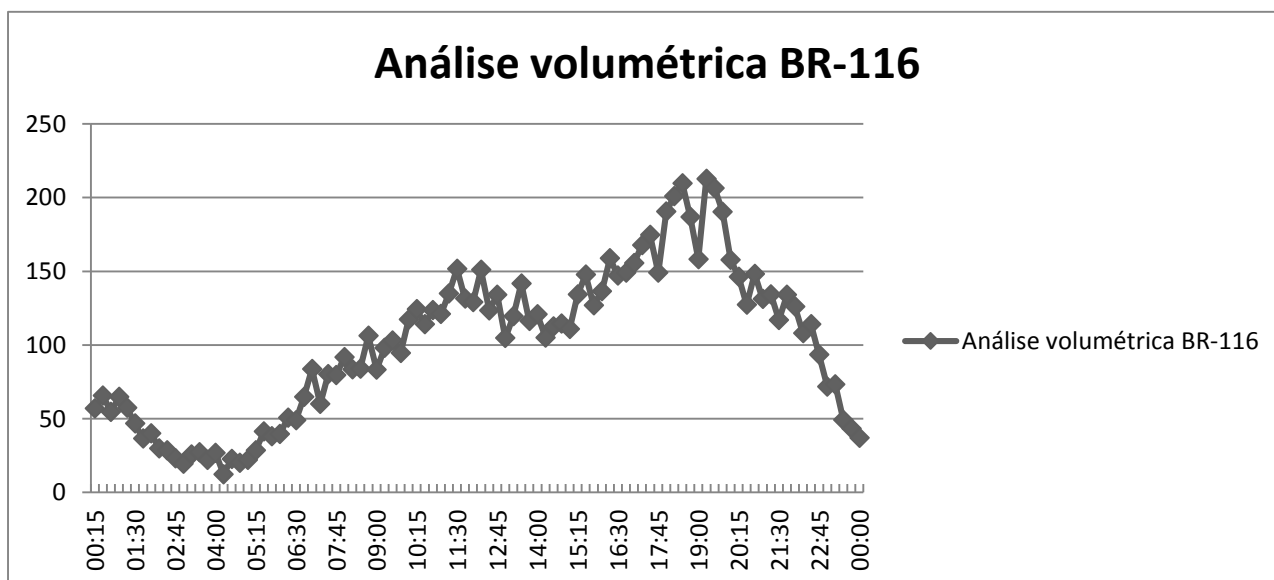
Tempo de verde Aguanambi (sul)



(Fonte: Autor)

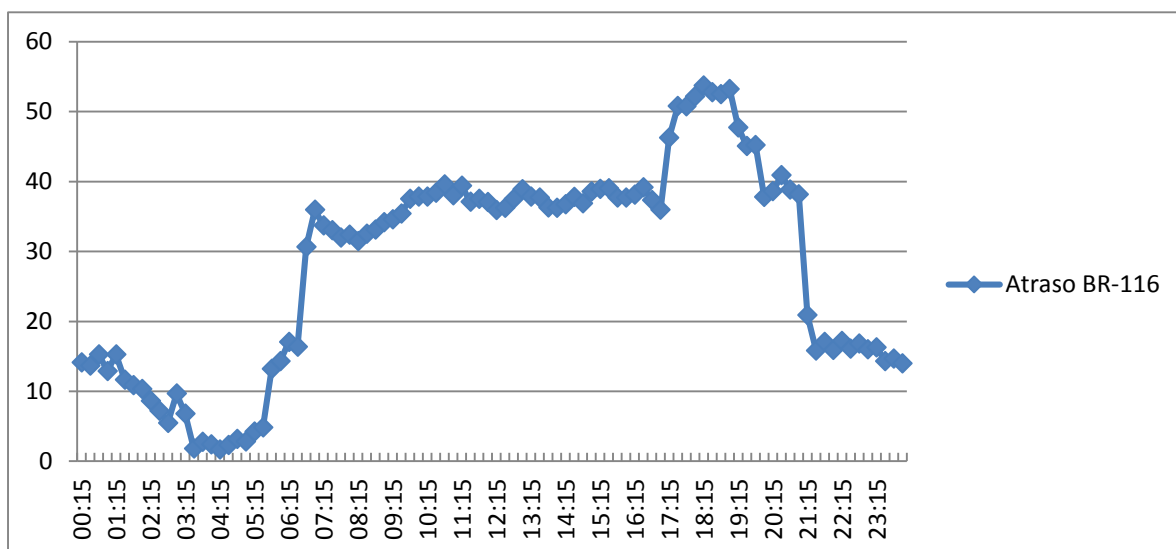
BR-116:

Análise volumétrica da aproximação BR-116 x rotatória



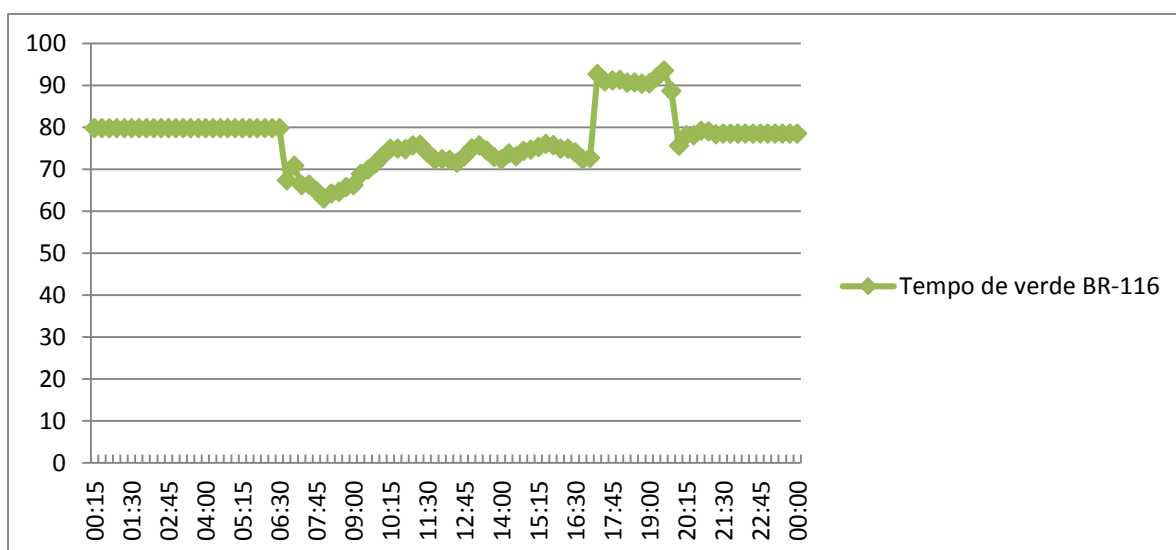
(Fonte: Autor)

Atraso da aproximação BR-116 x rotatória



(Fonte: Autor)

Tempo de verde BR-116



(Fonte: Autor)

ANEXO B- Tempos de viagem das simulações realizadas para encontrar o tempo de viagem médio por interseção, os desvios padrões e o intervalo de confiança.

Rotas:

Origem→Aguanambi Norte / Destino→Aguanambi Sul

	<u>AGUANAMBI NORTE x AGUANAMBI SUL</u>	
SIMULAÇÕES	TEMPO DE VIAGEM ROTATÓRIA ATUAL (s)	TEMPO DE VIAGEM PROPOSTA(s)
SIMULAÇÃO 1	120,91	75,27
SIMULAÇÃO 2	125,74	75,75
SIMULAÇÃO 3	118,81	75,57
SIMULAÇÃO 4	118,48	75,78
SIMULAÇÃO 5	115,60	75,80
SIMULAÇÃO 6	123,37	75,88
SIMULAÇÃO 7	119,52	76,05
SIMULAÇÃO 8	123,54	75,05
SIMULAÇÃO 9	118,35	75,23
SIMULAÇÃO 10	120,28	75,81
MÉDIA	120,46	75,62

Origem→Aguanambi Norte / Destino→Aguanambi Sul

	<u>AGUANAMBI NORTE x BR-116</u>	
SIMULAÇÕES	TEMPO DE VIAGEM ROTATÓRIA ATUAL (s)	TEMPO DE VIAGEM PROPOSTA(s)
SIMULAÇÃO 1	147,94	80,64
SIMULAÇÃO 2	151,05	80,49
SIMULAÇÃO 3	144,62	80,56
SIMULAÇÃO 4	150,49	80,57
SIMULAÇÃO 5	143,60	80,48
SIMULAÇÃO 6	150,11	80,69
SIMULAÇÃO 7	146,34	81,08
SIMULAÇÃO 8	149,11	80,27
SIMULAÇÃO 9	146,06	80,45
SIMULAÇÃO 10	146,87	80,63
MÉDIA	147,62	80,58

Origem→Aguanambi Norte / Destino→Eduardo Girão

	<u>AGUANAMBI NORTE x EDUARDO GIRÃO</u>	
SIMULAÇÕES	TEMPO DE VIAGEM ROTATÓRIA ATUAL (s)	TEMPO DE VIAGEM PROPOSTA(s)
SIMULAÇÃO 1	71,43	59,45
SIMULAÇÃO 2	73,64	57,25
SIMULAÇÃO 3	69,30	58,23
SIMULAÇÃO 4	68,02	57,84
SIMULAÇÃO 5	70,76	57,50
SIMULAÇÃO 6	71,70	57,95
SIMULAÇÃO 7	68,11	57,87
SIMULAÇÃO 8	72,99	57,96
SIMULAÇÃO 9	69,45	59,27
SIMULAÇÃO 10	71,00	59,67
MÉDIA	70,64	58,30

Origem→Eduardo Girão / Destino→BR-116

	<u>EDUARDO GIRÃO x BR-116</u>	
SIMULAÇÕES	TEMPO DE VIAGEM ROTATÓRIA ATUAL (s)	TEMPO DE VIAGEM PROPOSTA(s)
SIMULAÇÃO 1	186,56	111,09
SIMULAÇÃO 2	205,63	111,02
SIMULAÇÃO 3	189,38	110,86
SIMULAÇÃO 4	179,94	110,67
SIMULAÇÃO 5	177,28	111,31
SIMULAÇÃO 6	183,11	110,23
SIMULAÇÃO 7	179,32	110,51
SIMULAÇÃO 8	190,37	110,21
SIMULAÇÃO 9	175,16	110,78
SIMULAÇÃO 10	169,98	110,90
MÉDIA	183,67	110,76