

Validação de um Modelo Computacional para o Controle de Tráfego Urbano

Luis Tadeu Mendes Raunheitte, Takato Kurihara, Rubens de Camargo, Arnaldo R. de Aguiar Vallim Filho, Júlio C. G. Petroni

Faculdade de Computação e Informática, Universidade Presbiteriana Mackenzie
raunheitte@mackenzie.br, takato@mackenzie.br, rcamargo@mackenzie.br,
arnaldo.aguiar@mackenzie.br, juliopetroni@yahoo.com.br

Abstract: *The purpose of this work is to present a computer model for the study of the urban car traffic jam. The model is a computer simulation using Matlab/Simulink to anticipate situations of a traffic jam. Several simulations were carried out and the model was considerably stable and reliable.*

Resumo. *O objetivo do trabalho é apresentar um modelo computacional para estudo do tráfego urbano de veículos. O modelo é simulado computacionalmente utilizando Matlab/Simulink para antecipar situações que levem a congestionamentos. Foram realizadas várias simulações e o modelo praticamente apresentou-se bastante estável e confiável.*

1. Introdução

A simulação computacional é a execução de um programa em computador com o objetivo de reproduzir um modelo abstrato de um sistema em particular, permitindo que sejam realizados estudos sobre estes sistemas de forma a tornar possível a avaliação do comportamento dos mesmos frente a variações no ambiente de estudo. De acordo com Freitas Filho [2008], o principal apelo ao uso da ferramenta de simulação computacional é a capacidade de responder questões sem que os sistemas investigados sofram qualquer perturbação.

Este trabalho apresenta um modelo computacional para o estudo do tráfego urbano, visando otimizar o fluxo de tráfego, reduzindo os congestionamentos, por meio de redução do tempo médio de espera dos veículos em filas de semáforos.

Apesar das potencialidades do uso da simulação no suporte à tomada de decisão, nas diversas áreas socioeconômicas, este trabalho emprega esta técnica na concepção de um modelo computacional para o estudo dos problemas relacionados ao tráfego urbano rodoviário, destacando-se nesse universo os problemas de fluidez.

Segundo Licínio da Silva Portugal [2005, p.105], diante da complexidade do sistema de tráfego, em particular o urbano, à medida que envolve inúmeras variáveis relacionadas tanto com a oferta quanto com a demanda viária, a técnica de simulação,

entre as diversas técnicas utilizadas, tem-se constituído uma importante ferramenta para auxiliar o trabalho do Engenheiro de Tráfego, permitindo apontar soluções para os vários problemas ligados ao trânsito. Problemas ligados ao tráfego urbano atingem milhões de pessoas todos os dias.

Considerando-se períodos críticos de congestionamento, pela manhã, a tarde e a noite, o custo relativo ao tempo ocioso despendido pelas pessoas no trânsito, o chamado “custo de oportunidade” [CAVALCANTI, 2008].

Além disso, pesquisas revelam que os congestionamentos acarretam também num maior consumo de combustível pelos automóveis, aumento da emissão de gases poluentes, como o CO₂. Outro fator que passou a ser considerado é o efeito psicológico que o tempo perdido acarreta no indivíduo e o que isso influencia na saúde e na qualidade de vida da população.

2. Modelagem e Simulação Computacional de Sistemas

Modelagem é a elaboração de um modelo para a representação de alguma coisa. Modelo é a representação de um sistema real ou imaginário usando uma linguagem.

Neste trabalho, a ferramenta utilizada para simulação é o *Simulink*, aplicativo para o ambiente *Matlab*, que fornece um ambiente interativo baseado em diagramas de blocos, voltado para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos contínuos, discretos ou híbridos [MATSUMOTO, 2003].

Os modelos são classificados, segundo Portugal [2005], em: estáticos e dinâmicos. Os dinâmicos, por sua vez, em determinístico e aleatórios. Os modelos aleatórios adotados neste trabalho são divididos em mudança discreta e contínua, conforme Figura 1.

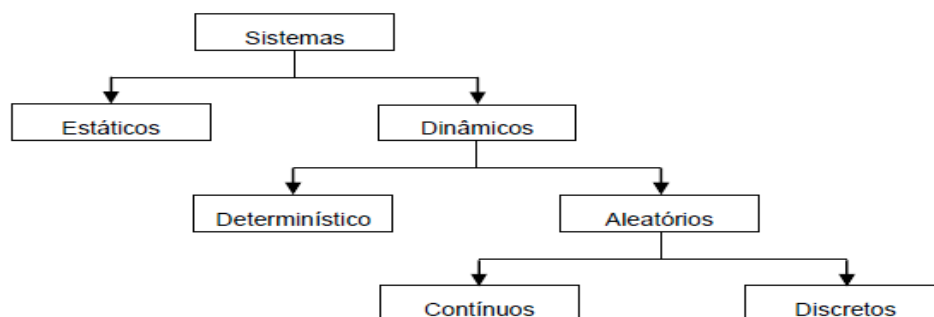


Figura 1 – Classificação dos modelos de simulação. Fonte: Portugal [2005].

3. Tráfego Urbano

Na medida em que a aleatoriedade está intrínseca aos sistemas reais, especificamente na geração dos eventos desses sistemas que ocorrem ao acaso, a aplicação do método de Monte Carlo se faz necessária. A utilização dessa técnica consiste na geração artificial dos dados empregando-se um gerador de números aleatórios (GNA) e uma distribuição

de frequências da variável de interesse. O GNA é um programa computacional capaz de gerar valores aleatórios independentes e uniformemente distribuídos no intervalo de zero a um [FREITAS Filho, 2008].

O trabalho utiliza a nomenclatura proposta por Gucci [1996]. O termo trânsito é utilizado para tratar de deslocamentos de pessoas ou veículos e tráfego é aplicado quando se fizer relação com o estudo desses deslocamentos. O conceito de congestionamento está vinculado aos conceitos de capacidade da via e de nível de serviço. Enquanto a capacidade da via representa a quantidade máxima de veículos que pode se movimentar em um trecho em um intervalo de tempo, sob um conjunto especificado de condições de composição de demanda de tráfego e ambiente; o nível de serviço é uma medida de qualidade do serviço para o usuário da via.

Essa qualidade de serviço pode ser analisada sobre aspectos como frequência de paradas, velocidade de operação, tempo de viagem, densidade de tráfego e os custos operacionais do veículo. Ainda de acordo com o Gucci [1996], o nível de serviço é um parâmetro que retrata as condições de fluidez, segurança e conforto em um determinado espaço ocupado.

O volume de tráfego por hora em uma pista varia com a demanda e com a velocidade, que por sua vez, varia em função, por exemplo, do tipo de coordenação semafórica, da eficiência da fiscalização sobre o estacionamento proibido, ou ainda das condições topográficas. Além disso, ao longo do dia a demanda varia de acordo com os horários de maior movimento, e o congestionamento se apresenta quando o volume de tráfego supera a capacidade das vias [IPEA. 1997].

A fim de tornar o modelo mais próximo da realidade, quanto à demanda de utilização do sistema, tempos dos ciclos semafóricos e outros aspectos, este trabalho utiliza-se das definições do *Manual de Semáforos* do DENATRAN [1984]. Além disso, o cálculo dos tempos semafóricos é baseado no método de *Webster*, cujo algoritmo está descrito e definido em [DENATRAN, 1984].

4. Elaboração do Modelo Computacional

Este trabalho desenvolve um modelo de estudo de tráfego macroscópico, que visa à coordenação semafórica através de um controle isolado do cruzamento, utilizando-se uma programação de tempos fixos, e automática para o tempo de ciclo, duração e instantes de mudança [DENATRAN, 1984].

A figura 2, próxima página, ilustra o cruzamento que foi utilizado para o estudo, caracterizado por uma interseção entre duas vias de dupla mão de direção e cujo movimento é conflitante. A via A apresenta três faixas para tráfego e é composta pelas aproximações I e III, enquanto a via B apresenta apenas duas faixas e é composta pelas aproximações II e IV. Devido ao movimento conflitante entre as vias, os semáforos veiculares numerados de I a IV realizam o controle do tráfego alternando o direito de passagem no cruzamento.

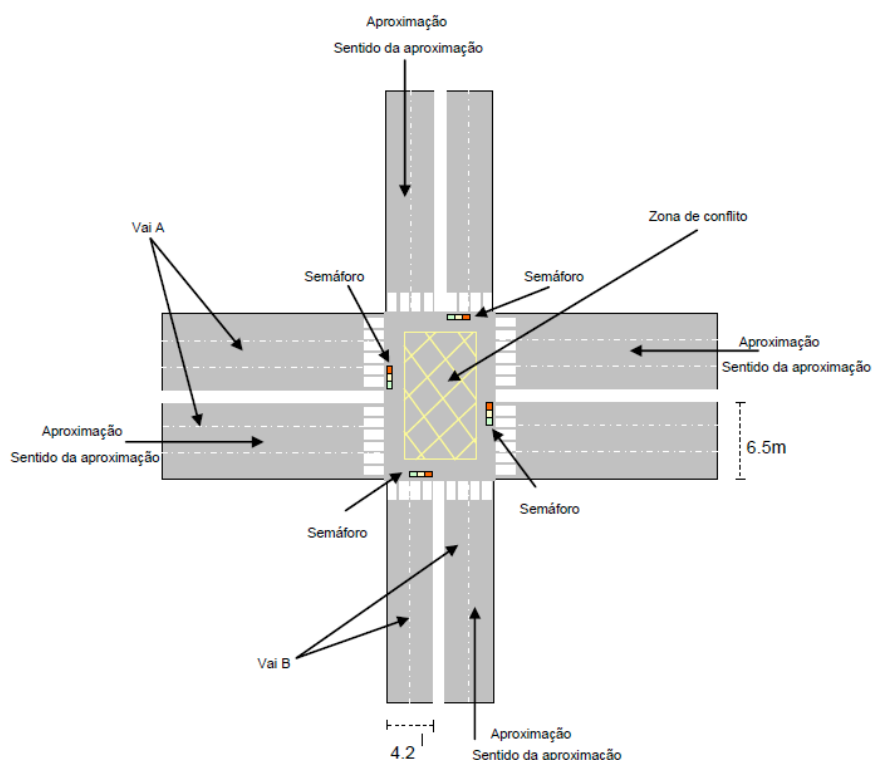


Figura 2 – Esquema do cruzamento estudado

O diagrama de estágios Denatran [1984] da Figura 3 representa esquematicamente a sequência de movimentos permitidos e proibidos para cada intervalo do ciclo em cada um dos estágios.

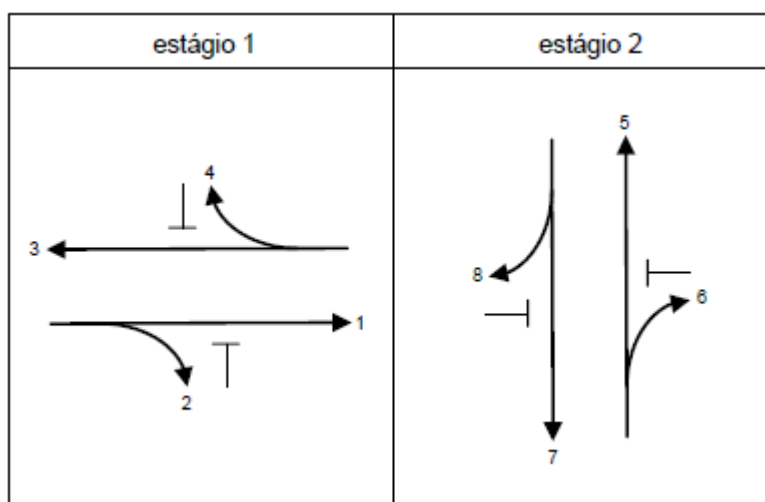


Figura 3 – Diagrama de estágios do cruzamento estudado.

5. Geração do sinal de controle do semáforo

A seguir apresenta-se o subsistema desenvolvido no Simulink para fornecer o sinal de controle da sequência de sinalização para os semáforos do modelo. Cada estágio do ciclo de sinalização (ou seja, cada cor sinalizada: verde, amarelo e vermelho, nesta ordem) possui um valor de sinal discreto que será gerado de acordo com sua respectiva duração, a ser parametrizada no subsistema, conforme será descrito a seguir.

A Figura 4 apresenta um panorama geral do subsistema. Cada bloco foi numerado para facilitar a sua descrição:

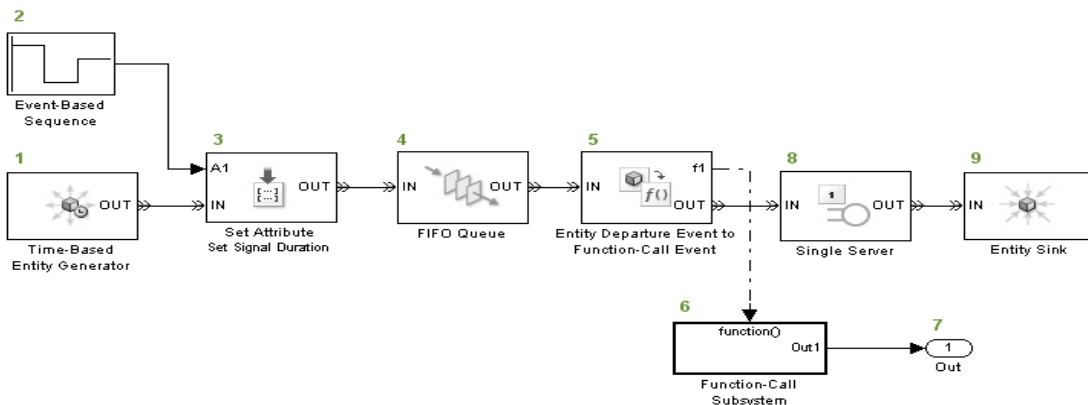


Figura 4 – Subsistema para geração do sinal de controle do semáforo.

1. Gera de forma sequencial o sinal de controle para cada estágio do semáforo no modelo. Cada estágio é representado como uma entidade gerada a um intervalo constante de um segundo. A rigor, este tempo de geração não importa, pois o controle da duração do sinal será realizado através do bloco sete, que será descrito adiante.
2. Gera um sinal cíclico com os valores que representam a duração dos estágios do semáforo. Este sinal cíclico é definido nas propriedades do bloco através de um vetor unidimensional formado pelos parâmetros do subsistema e que representam os valores para cada estágio do semáforo, conforme Figura 5:

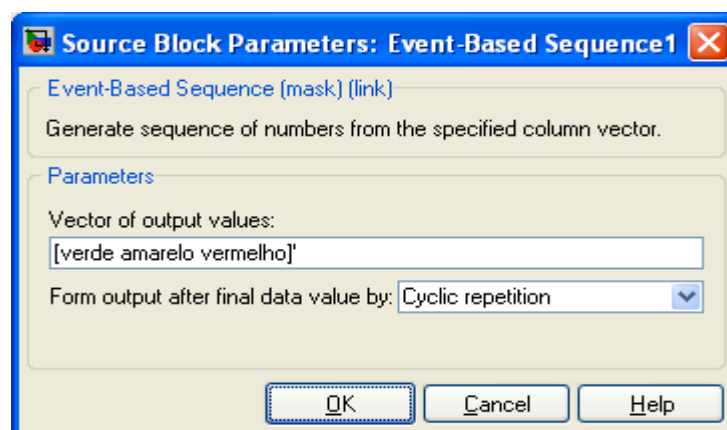


Figura 5 – Janela de propriedades do bloco Event-based Sequence.

3. Realiza a leitura do sinal gerado no bloco dois, referente à duração do estágio do semáforo, e gera com seu valor um atributo para a entidade gerada no bloco um. Como resultado, a entidade passara a transportar a duração do respectivo estágio que ao qual representa.
4. Representa uma fila do tipo *first-in-first-out* (primeiro a entrar é o primeiro a sair) necessária para uniformizar a geração do sinal. O controle de fila neste ponto faz-se necessário porque o bloco sete, que será explicado adiante, retém as entidades por determinado intervalo de tempo, travando sua porta de entrada e, por consequência, travando toda a troca de sinal dos blocos antecessores. Com a existência do bloco de fila, as entidades geradas serão armazenadas e a geração do sinal para sua geração poderá continuar a ocorrer a intervalos constantes, sem interrupção.
5. Transforma a entidade que chega ao bloco no instante de execução em uma chamada de função, cujo objetivo final é gerar o sinal discreto para o controle do semáforo, e que será descrito a seguir. Após a chamada da função, a entidade segue o fluxo a partir da porta *OUT* em destino ao bloco oito.
6. Função cujo objetivo é gerar o sinal discreto para cada estágio do semáforo. O bloco de função é um subsistema, uma vez executado, gera um sinal sequencial definido nas propriedades do bloco através de um vetor unidimensional.
7. Fornece uma porta de saída para o sinal discreto de controle do semáforo gerado, para ser consumido externamente.
8. Responsável por controlar a duração do sinal (estágio). Atua como um servidor de entidades que serve cada entidade, individualmente, durante certo intervalo de tempo. A duração do serviço é definida através do atributo que cada entidade carrega (duração do estágio). Dessa forma, tem-se a geração de cada sinal do estágio do semáforo a intervalos de tempo individuais, pois cada entidade gerada (estágio) é convertida num sinal discreto através do bloco seis e este sinal é externado do subsistema através da porta sete, sendo a duração do sinal controlada pelo servidor que, enquanto serve uma entidade, não permite que outra seja processada. Portanto, enquanto uma entidade é servida, o subsistema trava e nenhum outro sinal é gerado, permanecendo o sinal gerado anteriormente inalterado.
9. Fornece um mecanismo para encerrar o caminho de uma entidade ao longo do modelo. Entidades que atingem este bloco cumpriram seu objetivo e são descartadas do sistema.

6. Simulação

A Figura 6 mostra um sinal gerado pelo subsistema num intervalo de dois minutos, considerando os tempos de cada estágio, definidos para o modelo.

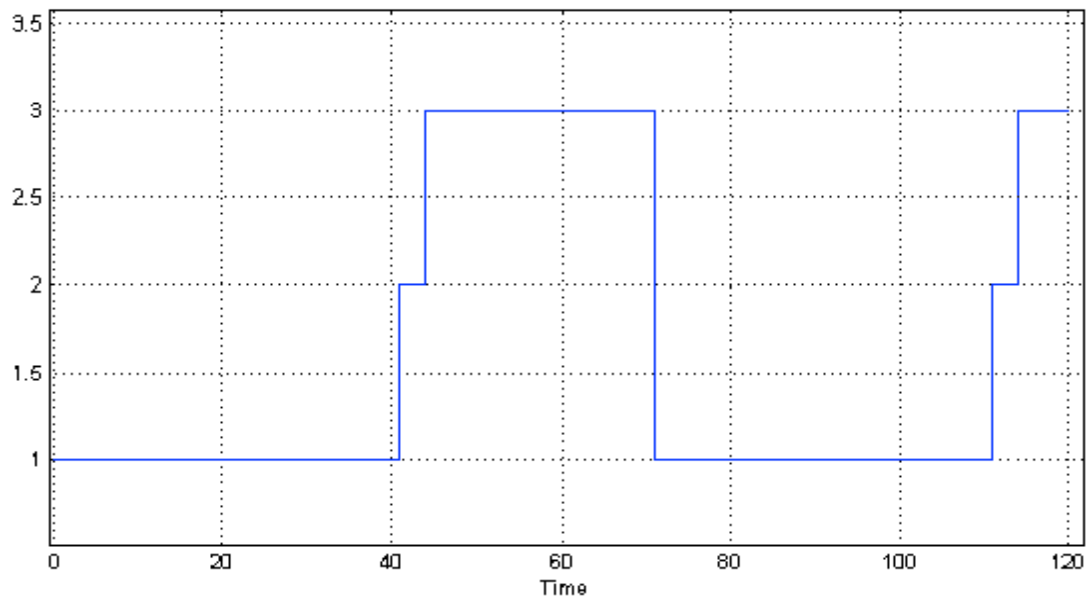


Figura 6 - Exemplo de sinal para controle dos estágios do semáforo

O período de simulação foi de quatro horas. A escolha do período foi arbitrária. O volume dos resultados colhidos não permite uma demonstração adequada para realização de análises; no entanto, o objetivo era avaliar a estabilidade do modelo durante a simulação. A Figura 7 mostra os sinais para simulação da demanda de veículos nas aproximações:

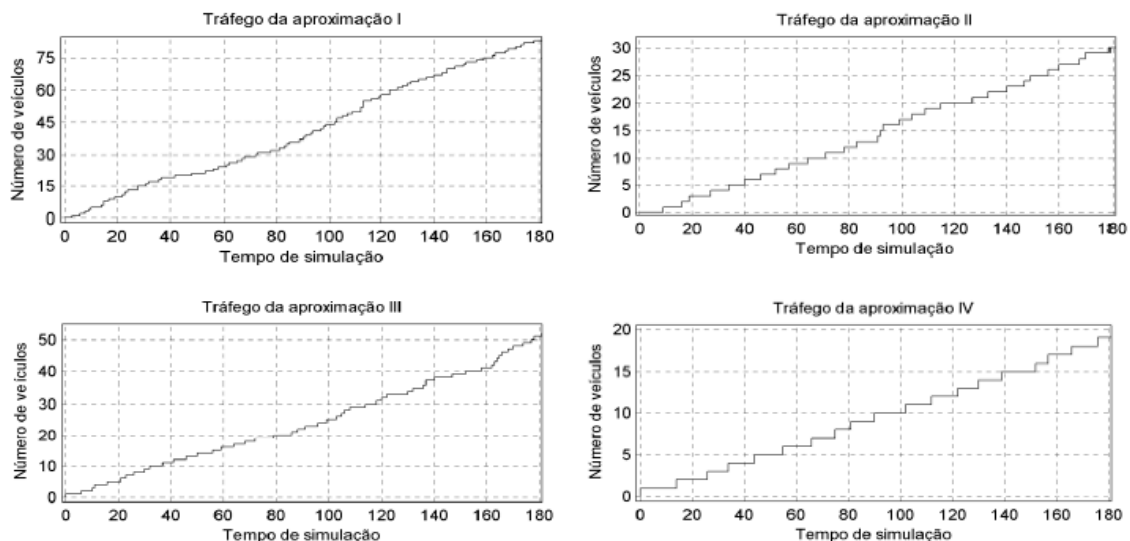


Figura 7 – Sinais para simulação da demanda de veículos nas aproximações

A Figura 8 apresenta sinais colhidos na simulação da demanda de veículos:

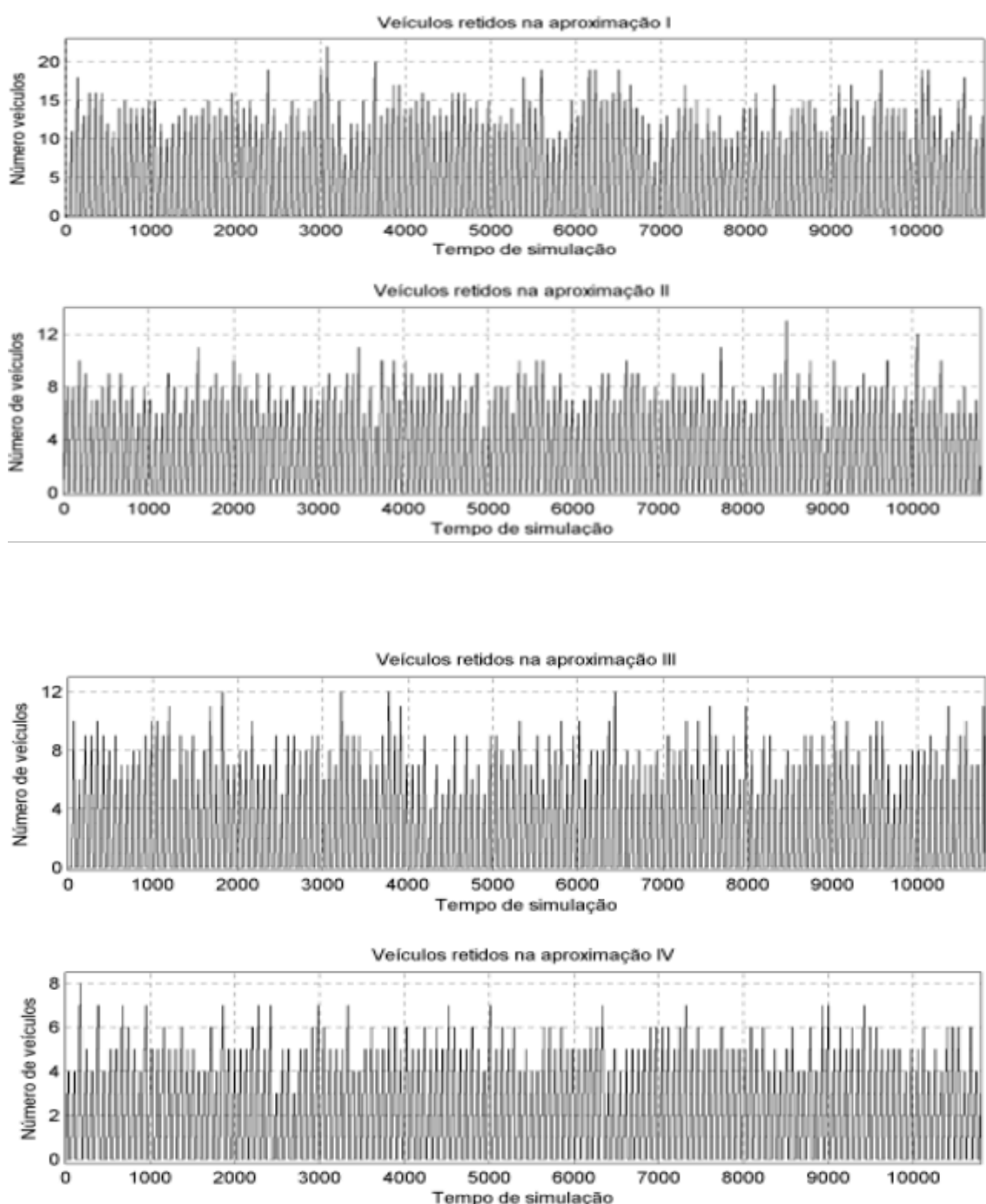


Figura 8 – Sinais para simulação da demanda de veículos colhidos na simulação.

Através do gráfico é possível concluir que o mecanismo de retenção de veículos do controle semafórico se manteve estável ao longo de toda a simulação. Nos gráficos obtidos no tempo de travessia nas aproximações colhidos na simulação, também não foram observadas distorções. A inexistência de picos e deformações permitem concluir que o sistema apresentou um padrão consistente de operação. E por fim, a estabilidade

do sistema foi possível de ser evidenciada com o último teste realizado com a vazão dos semáforos colhidos na simulação.

7. Considerações Finais

O trabalho apresentou resultados bastante satisfatórios na utilização de técnicas de modelagem e simulação computacional para estudos de sistemas dinâmicos. A ferramenta Matlab/Simulink também contribuiu para o desenvolvimento e execução do trabalho. Acredita-se que o modelo gerado e testado neste trabalho possa ser utilizado como base para o desenvolvimento de modelos mais abrangentes que visam o estudo do tráfego urbano de veículos.

Referências Bibliográficas

- Denatran. (1984). *Manual de Semáforos*, 2º edição. Brasília.
- Freitas Filho, P. J. (2008). *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas – Com Aplicações em Arena*. Florianópolis. Editora Visual Books.
- Gucci, J. Neto. (1996) *Aplicações da engenharia de tráfego na segurança dos pedestres*. São Paulo. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Ipea. (1997). *Redução das Deseconomias Urbanas pela Melhoria do Transporte Público*. [s.l.] 1997. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/pub/livros/l_avul.html. Acesso em: 10 nov. 2009.
- Matsumoto, E. Y. (2003). *Simulink 5: fundamentos*. São Paulo. Editora Érica.
- Portugal, L. da S. (2005). *Simulação de Tráfego – Conceitos e Técnicas de Modelagem*. Rio de Janeiro. Editora Interciência.