

# Uso de SMA para avaliar estratégias de decisão no controle de tráfego urbano

**Marcelo Schmitz (FURB/BCC)**  
trouble@terra.com.br

**Jomi Fred Hübner (FURB/DSC/GIA)**  
jomi@inf.furb.br

**Resumo.** O trabalho descrito neste artigo tem como principal objetivo verificar a utilização de técnicas e conceitos de *Sistema Multi-Agentes* (SMA) na avaliação de estratégias de decisão em um sistema de controle de tráfego urbano. Este sistema é composto por um conjunto de agentes que fazem o papel dos semáforos e de um simulador de malha viária, no qual simulações das situações do mundo real podem ser realizadas. A arquitetura do SMA desenvolvido para esta finalidade mostrou-se adequado e flexível para a avaliação de sistemas de controle de tráfego.

**Palavras-chave:** Sistema Multi-Agentes, SACI, KQML, Trânsito.

## 1 Introdução

O desenvolvimento econômico e os transportes estão fortemente ligados. O constante desenvolvimento econômico necessário para que uma sociedade tenha condições de conforto, segurança e bem estar, depende de um sistema de transporte que permita o rápido e eficiente transporte de pessoas e materiais. Entretanto, já em 1969, Stern relata que o ritmo da indústria automobilística nacional acarreta uma rápida saturação das ruas e avenidas dos centros urbanos mal projetados e de capacidade já bastante limitada pelo número de novos veículos que entram em circulação. Em função deste crescimento, graves problemas afligem o trânsito como: congestionamentos constantes, falta de coordenação dos semáforos entre cruzamentos, desvios de tráfego, segurança do motorista, entre outros que repercutem seriamente na economia como um todo.

Para tentar resolver estes problemas, muitas vezes se faz uso de sinais de trânsito (semáforos) automatizados que sincronizam mudanças de estado tentando assim reduzir engarrafamentos e congestionamentos. Sincronizações de sinais de trânsito são, na maioria das vezes, realizadas sem qualquer estudo prévio, ou quando são realizados tais estudos, apenas em alguns trechos são considerados. Conseqüentemente, o problema é solucionado somente em uma região e eventualmente comprometendo a qualidade do trânsito em outras regiões. Verifica-se ainda que na maioria dos centros urbanos o trânsito não possui um fluxo uniforme em todo o seu período de tempo, existem períodos onde o tráfego exige maior fluidez e em outros, menor fluidez, dificultando assim a gerência dos tempos necessários na configuração dos semáforos. Enfim, a dúvida que normalmente

surge para um gerente de tráfego é: dadas as várias estratégias de sincronização de semáforo, qual utilizar na minha cidade?

O sistema proposto neste trabalho tem como objetivo auxiliar o gerente a responder esta pergunta. Para isso, será desenvolvido um simulador de malha viária, no qual simulações das situações do mundo real poderão ser realizadas, visando a obtenção de informações importantes para a gerência e controle do tráfego urbano e, mais precisamente, dos semáforos nos cruzamentos.

Considerando que as principais características do problema levantado são a *distribuição* e a constante alteração das informações necessárias à gerência e controle de trânsito, o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio centralizada é de difícil realização. Portanto, tem-se como hipótese que este problema pode ser simplificado por meio de uma modelagem segundo o paradigma de *Sistema Multi-Agentes* (SMA). Em um SMA, um problema é resolvido dividindo-se o trabalho entre muitos agentes autônomos que cooperam interagindo e trocando conhecimentos sobre o problema e a sua solução (Weiss (1999) e Bordini (2001)).

Dados os objetivos deste artigo, na Seção 2 será brevemente descrito os principais conceitos de tráfego urbano necessários para um melhor entendimento de gerência de trânsito, bem como definições sobre sinalização semafórica e tempos semafóricos. Na Seção 3 é apresentada a ferramenta para criação e comunicação entre agentes no um SMA proposto. Na Seção 4 é descrita a proposta do ambiente simulado abordando mais profundamente o funcionamento dos componentes deste ambiente. Na Seção 5, faz-se uma análise dos resultados obtidos avaliando as estratégias de decisão utilizadas no ambiente simulado e relatando sobre os objetivos alcançados. Por fim, na Seção 6 encontram-se as conclusões obtidas através dos estudos realizados com o trabalho desenvolvido.

## 2 Tráfego Urbano

Segundo Lopes (1998), é considerado trânsito a utilização das vias por pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga ou descarga.

Algumas características iniciais devem ser observadas antes do estudo sobre gerência de tráfego, como a classificação do fluxo de tráfego (interrompido e ininterrupto), tipos de cruzamento (cruzamentos em nível e cruzamentos em desnível), circulação nas vias (circulação de sentido único e circulação de sentido duplo) e tipo de sinalização (advertência e regulamentação), sendo que mais informações sobre estas classificações podem ser obtidas em Ejzemberg (1996), Espel (2000) e Lopes (1998).

Dentre os vários assuntos de estudo na área de trânsito, este trabalho tem foco nos tempos semafóricos. O Código de Trânsito Brasileiro determina que para a sinalização de veículos existem três cores estabelecidas com sua respectiva indicação: vermelho indica obrigatoriedade de parar, amarelo atenção devendo o

condutor para o veículo salvo se isto resultar em situação de perigo e verde que indica o direito de passagem com a permissão de prosseguir.

A programação dos tempos semaforicos consiste, segundo Espel (2000), na obtenção dos valores dos tempos de ciclo para a elaboração dos planos de tráfego necessários para a operação dos cruzamentos, sendo assim cada fase de um semáforo tem um tempo equacionado por fórmulas conforme observado em Vilanova (1985).

A utilização da luz amarela entre o verde e o vermelho no controle semaforico é necessária por não ser possível parar instantaneamente um veículo, se o motorista perceber o sinal amarelo, deverá decidir se há tempo para passar ou frear o veículo. No entanto deverá ser calculado um tempo para que em qualquer uma das decisões tomadas o motorista tenha a segurança de que não haverá colisão. Em Vilanova (1985), para um motorista em uma velocidade constante de 40km/h, ou 11m/s, que leva em média um segundo para perceber e reagir ao sinal e para a desaceleração do veículo é recomendado a adoção de um valor de 2,8m/s, o tempo de amarelo é obtido através da soma do tempo de percepção com o resultado da divisão da velocidade pela desaceleração multiplicada por 2. Para o caso acima, tem-se um tempo de amarelo de 2,96s, sendo que por medidas de segurança os arredondamentos dos segundos deverão ser feitos para cima, obtendo então um valor de 3s.

Para a utilização da luz vermelha, deve-se obedecer a um tempo mínimo necessário para que um veículo que recebe o vermelho no início do cruzamento o ultrapasse com segurança. Este tempo é equacionado pela soma da largura do cruzamento com o comprimento médio de um veículo, dividida pela velocidade média do veículo. Assim para um veículo com um comprimento de 4 metros, velocidade média de 40km/h e um cruzamento de 15 metros, este tempo é igual a 1,72s, aplicando o arredondamento equivale a 2s.

A utilização da luz verde é feita para que a fila formada durante o período da luz vermelha possa escoar, assim este tempo é equacionado em função da quantidade de carros. Conforme Stern (1969), esta equação leva em conta alguns valores pré-estabelecidos como: tempo de atraso do primeiro veículo imediatamente após a abertura do sinal ( $T_a$ ), adotando-se 3 segundos; intervalo de tempo entre o arranque de dois veículos sucessivos( $\Delta t$ ), 1,5 segundos; distância percorrida durante o período de embalagem( $C_v$ ), 60 metros; velocidade média durante o período de embalagem( $V_m$ ), velocidade da via dividida por 2; comprimento médio de um veículo( $C$ ), 4 metros. Com estes valores o tempo de escoamento é obtido através da soma de  $T_a$  com  $\Delta t$  para a quantidade de carros na via, somando-se este valor ao resultado da divisão de  $C_v$  por  $V_m$ . Adicionando este valor ao resultado da soma de  $C_v$  com o resultado da multiplicação da quantidade de carros na via por  $C$  dividido pela velocidade da via.

### 3 SACI – Simple Agent Communication Infrastructure

Para a implementação do SMA e principalmente a comunicação entre os agentes distribuídos, utilizou-se a ferramenta SACI (Hübner, 2001). O SACI é uma ferramenta que torna a programação da comunicação entre agentes distribuídos mais fácil, em conformidade com um padrão, rápida e robusta. Sendo desenvolvida com base na especificação KQML (Finin, 1999), possui como principais características:

- a) a utilização de KQML na comunicação entre os agentes com funções para compor, enviar e receber mensagens;
- b) identificação dos agentes por um nome, tornando a sua localização na rede transparente;
- c) serviço de páginas amarelas, onde os agentes podem registrar seus serviços em um agente especial chamado facilitador que pode ser questionado sobre que serviços são oferecidos por quais agentes;
- d) iniciação remota dos agentes;
- e) monitoramento dos agentes, sendo possível visualizar os eventos sociais de entrada e saída no sistema, recebimento e envio de mensagens.

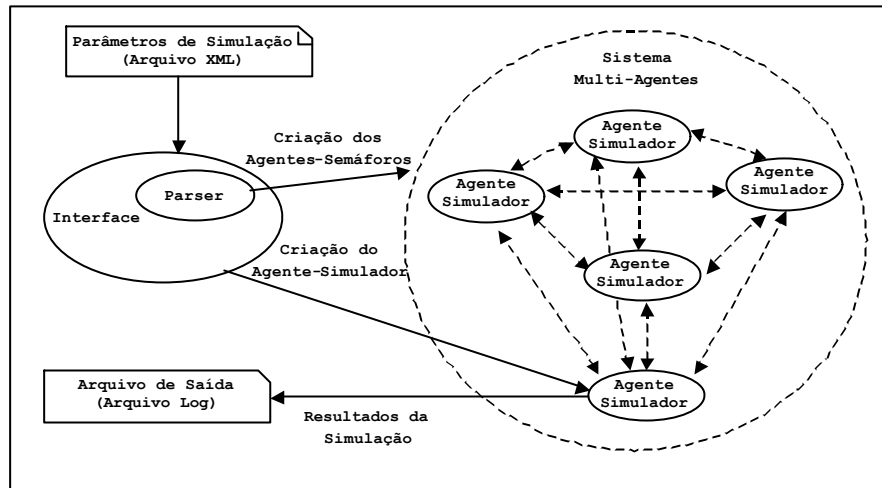
Para o envio e recebimento de mensagens, o SACI possui um componente denominado *MBox* que serve como interface entre o agente e a sua sociedade. Conforme Hübner (2001), a finalidade do *MBox* é tornar transparente o envio e o recebimento de mensagens. Este componente possui funções que encapsulam a composição de mensagens KQML, o envio síncrono e assíncrono de mensagens, o recebimento de mensagens, o anúncio e a consulta de habilidades e o broadcast de mensagens.

Além da comunicação entre os agentes, o SACI possui um serviço de criação de agentes denominado *launcher*. Por meio deste serviço podem ser criados agentes remotamente.

### 4 Proposta de Ambiente Simulado

Este trabalho toma como objeto de estudo o direito de passagem dos veículos em cruzamentos, comumente conhecidos através do acionamento da luz verde do semáforo. Sendo limitado ao estudo de cruzamentos em nível com vias de circulação de mão dupla.

Na proposta deste trabalho o ambiente é simulado por um conjunto de agentes distribuídos (cf. Fig. 1). O principal agente neste ambiente é aquele que representa um semáforo do mundo real e onde as estratégias de decisão são implementadas. Tal agente é chamado de *agente-semáforo* e se comunicará com os demais agentes-semáforo do seu cruzamento, para que tomem decisões de gerenciamento e controle de tráfego no cruzamento. Cria-se, desta forma, um tipo de célula de decisão para cada cruzamento formada por quatro agentes-semáforo que têm autonomia sobre a decisão do seu semáforo.



**Figura 1:** Visão geral do ambiente simulado

Além dos agentes-semáforo, o SMA é composto por um *agente-simulador* que tem a função de simular o mundo real. Este simulador viabiliza a percepção dos agentes-simulador simulando os valores para os sensores de passagem de veículo nas vias dos agentes-semáforo e executando a mudança do sinal conforme as decisões dos agentes-semáforo.

Além do SMA, faz parte do sistema proposto uma *interface* que cria, por meio do serviço de *launcher* do SACI, os agentes-semáforos e o agente-simulador e informa a estes agentes os parâmetros de simulação. Estes parâmetros são informados à interface por meio de um arquivo no formato *eXtensible Markup Language* (XML), como exemplificado na Fig. 2.

```

<Cidade>
  <Cruzamento id_Cruzamento="1" verde="1">
    <semaforo id_local="1" id_superior="4" id_esquerdo="5" id_direito="6"
    id_inferior="3" cruzamento="10" velocidade="11" comprimento="300"
    maquina="localhost"/>

    <semaforo id_local="4" id_superior="1" id_esquerdo="6" id_direito="5"
    id_inferior="0" cruzamento="10" velocidade="11" comprimento="500"
    maquina="localhost"/>

    <semaforo id_local="5" id_superior="6" id_esquerdo="4" id_direito="1"
    id_inferior="0" cruzamento="10" velocidade="11" comprimento="200"
    maquina="localhost"/>

    <semaforo id_local="6" id_superior="5" id_esquerdo="1" id_direito="4"
    id_inferior="0" cruzamento="10" velocidade="11" comprimento="800"
    maquina="localhost"/>
  </Cruzamento>
</Cidade>
  
```

**Figura 2:** Parâmetros de simulação

Conforme Schmitz (2002), neste arquivo encontram-se mapeados os semáforos existentes na malha viária simulada e seus atributos. Esta interface também passa ao agente-simulador a quantidade de carros por segundo que entram em cada via (cf. Fig 3).

Resumidamente, após a criação dos agentes, o funcionamento do sistema se dá da seguinte forma: os agentes-semáforos negociarão entre si o direito de passagem no cruzamento, comumente conhecido como a fase da luz verde de um semáforo, sendo este definido como o objeto de negociação. Em um cruzamento, somente um único agente-semáforo possuirá o direito de passagem, sendo este mesmo agente o responsável pela decisão da liberação do objeto de negociação a outro agente-semáforo. No entanto assim que um agente-semáforo

analisa as condições de sua via e verifica que necessita do direito de passagem, o mesmo realiza um pedido do objeto de negociação ao agente-semáforo que o possui e aguarda por uma resposta. Assim que um agente-semáforo recebe um pedido do objeto de negociação, ele analisa as condições de sua via e decide, através das estratégias de decisões, por passar ou não o objeto de negociação. Desta forma o objeto de negociação passa de um agente-semáforo para outro simulando a alternância das faixas das luzes nos semáforos.

As decisões dos agentes-semáforos são enviadas ao simulador que as guarda em um arquivo de *log* utilizado para a análise da simulação.

#### 4.1 Agente-Semáforo

Nos cruzamentos em nível e com fluxo interrompido, o controle e gerenciamento do tráfego urbano são realizados na maioria das vezes pela alternância do direito de passagem dos veículos em suas vias, sendo esta a função dos agentes-semáforos no ambiente simulado.

O agente-semáforo é composto por três módulos (cf. Fig. 4): módulo de memória, responsável pelo armazenamento do objeto de

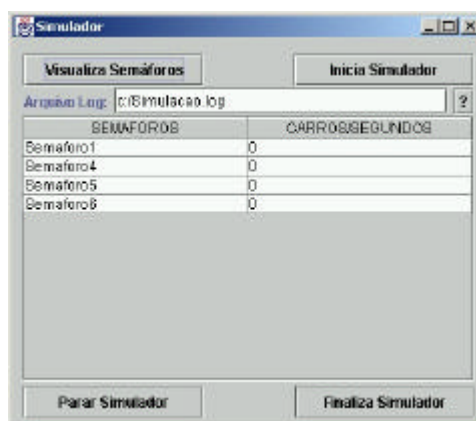


Figura 3: Parâmetros de simulação



Figura 4: Agente-semáforo

negociação e dos dados necessários para o agente-semáforo tomar decisões; módulo de decisão, responsável pelas iniciativas de ações do agente; módulo de comunicação, composto pelos protocolos de comunicação e responsável por realizar a comunicação entre os agentes -semáforos e agente-simulador.

Ao serem criados, os agentes-semáforos realizam o anúncio de suas habilidades nas páginas amarelas do facilitador do SACI para que futuramente o agente-simulador possa descobrir o nome dos agentes -semáforos.

#### 4.1.1 Módulo de Memória

O módulo de memória de um agente-semáforo abrange informações pré-estabelecidas necessárias para a realização dos cálculos dos tempos semafóricos como: tempo de atraso do primeiro veículo imediatamente após a abertura do sinal; intervalo de tempo entre o arranque de dois veículos sucessivos; distância percorrida durante o período de embalagem e o comprimento médio de um veículo.

Também fazem parte da memória do agente, informações sobre o seu cruzamento (cf. Fig. 5). Estas informações são enviadas pela interface e não sofrem alterações no decorrer da vida do agente, são elas: semáforo local, sendo a identificação única do semáforo no ambiente simulado; semáforo superior, identificando o semáforo que se localiza acima do cruzamento; semáforo esquerdo, identificando o semáforo que se localiza à esquerda; semáforo direito, identificando o semáforo que se localiza à direita; semáforo inferior, identificando o semáforo que se localiza abaixo, na maioria das vezes semáforo de outro cruzamento; largura do cruzamento incluindo a faixa de pedestres; velocidade permitida para a via; comprimento da via até o início da faixa de pedestres.

Após o início da simulação, as informações alteradas durante a execução do agente são: semáforo que possui o objeto de negociação; quantidade de carros que existe em sua via; tempo de escoamento necessário para a fila existente; momento inicial em que o agente-semáforo passou o objeto de negociação para outro agente-semáforo e o momento inicial em que ganhou o objeto de negociação.



Figura 5 : Variáveis do módulo de memória

#### 4.1.2 Módulo de Decisão

São implementados no agente-semáforo algoritmos de decisão que determinam o comportamento dos agentes sobre enviar uma mensagem (decisão ativa) (cf. Fig. 6) ou como responder a uma mensagem recebida (decisão reativa) (cf. Fig. 7).

A estratégia de decisão consiste na utilização de dois fatores denominados fator de paciência e fator de ocupação, que auxiliam no cálculo da obtenção do valor de ocupação da via e da paciência do motorista. O fator de ocupação é o responsável por não permitir que a utilização da via seja esgotada, sendo que este fator determina com que percentual de ocupação da via o agente-semáforo deve solicitar o objeto de negociação.

Por outro lado, o fator

de paciência é responsável por tentar criar um trânsito tranquilo, fazendo com que o agente-semáforo não permaneça com o vermelho por muito tempo, não permitindo que chegue ao ponto deste tempo tornar-se irritar do motorista.

Através da comparação da situação da via com os fatores de ocupação e paciência, o agente-semáforo tomará a decisão sobre enviar ou não uma mensagem solicitando o objeto de negociação (decisão ativa, Fig. 6). No caso em que o agente-semáforo solicita e ganha o objeto de negociação, é realizado o cálculo do tempo de escoamento necessário para a fila que existe em sua via, armazenando o resultado em seu módulo de memória para futura utilização.

O agente-semáforo é capacitado também para, ao receber uma mensagem de solicitação do objeto de negociação, decidir sobre que resposta deverá enviar (decisão reativa, Fig. 7). Para estas ocasiões o fator de escoamento é configurado de modo a permitir o tempo mínimo de escoamento que o agente-semáforo poderá utilizar. No caso em que o agente-semáforo decide por passar o objeto de negociação, o mesmo deverá aguardar os tempos de amarelo e vermelho mínimo.

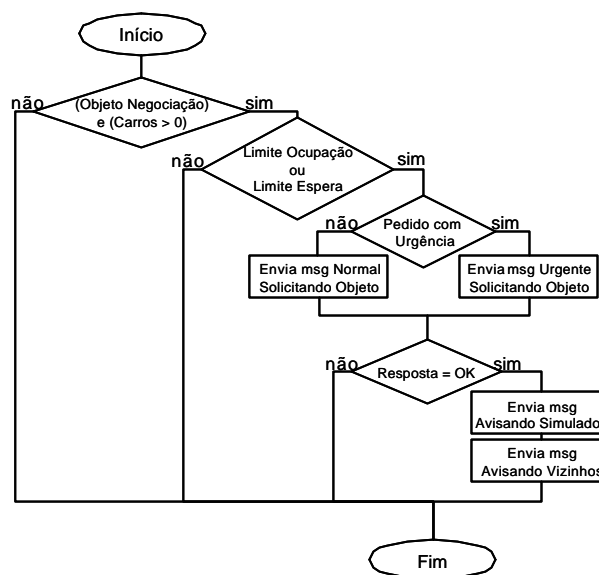


Figura 6 : Decisão ativa



#### 4.1.3 Protocolo de comunicação entre agentes-semáforo

Após um agente-semáforo analisar as condições de sua via e verificar a necessidade do direito de passagem, o mesmo utiliza-se do protocolo de solicitação do objeto de negociação (cf. Fig. 8) para realizar o pedido. Enviando uma mensagem KQML solicitando o objeto de negociação ao agente-semáforo que o possui, o agente-semáforo solicitante aguarda por uma resposta que pode ser uma negação do pedido ou uma aceitação.

Caso a resposta seja uma aceitação, antes de passar o objeto de negociação, o agente-semáforo que o possui envia uma mensagem ao agente-simulador avisando sobre o início de cada uma das fases do tempo de segurança, e posteriormente envia uma mensagem ao solicitante passando o objeto de negociação.

O agente-semáforo que recebe o objeto de negociação envia uma mensagem ao agente-simulador e aos agentes-semáforos do seu cruzamento avisando que ele é o novo dono do objeto de negociação, para que assim os agentes-semáforos do cruzamento saibam a quem realizar o pedido do objeto de negociação futuramente.

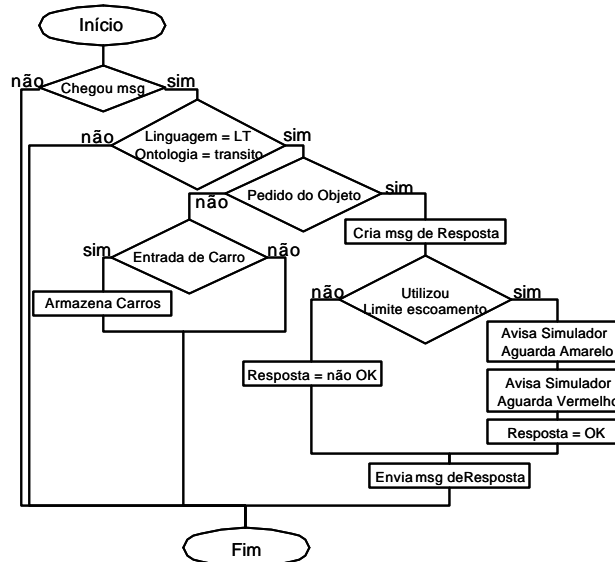
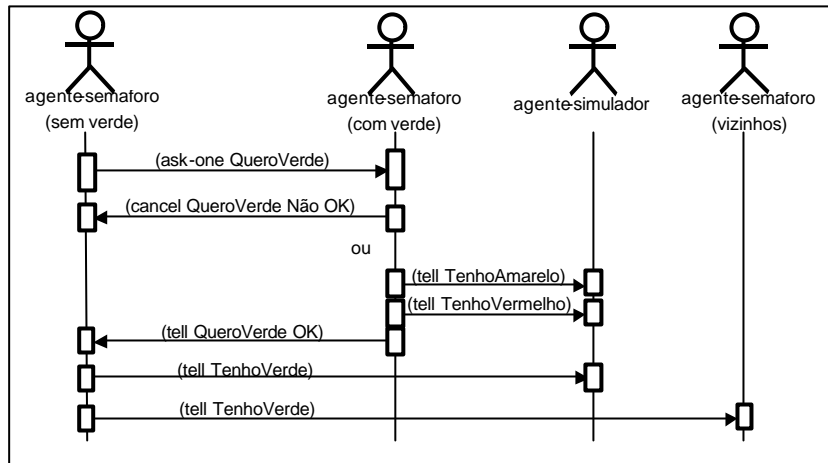


Figura 7 : Decisão reativa

#### 4.2 Agente-Simulador

O agente-simulador tem o objetivo de tentar realizar situações do mundo real no ambiente simulado, sendo criado depois dos agentes-semáforos. Inicialmente, o agente-simulador solicita ao facilitador do SACI uma listagem dos agentes-semáforos existentes que anunciaram nas páginas amarelas a habilidade sobre o recebimento do aviso da entrada de carros em sua via. Após é necessário que se informe no simulador a quantidade de carros por segundo que entra na via de cada agente-semáforo (Fig. 3), fazendo assim com que o agente-simulador envie a cada segundo uma mensagem a cada agente-semáforo avisando da quantidade de carros que entrou em sua via.



**Figura 8** : Protocolo de solicitação do objeto de negociação

Após o agente-simulador ter sido iniciado e os agentes -semáforos começarem a tomar decisões em solicitar ou passar o objeto de negociação, o agente-simulador é informado sobre o estado de cada agente. Estas informações são armazenadas em um arquivo de *log* para posterior análise e estudo.

## 5 Resultados

Para análise dos resultados foram realizadas simulações com dezesseis malhas viárias diferentes, contendo até seis cruzamentos por malha viária e informando valores entre um a quatro carros por segundos como parâmetros de simulação.

Sendo utilizadas as estratégias de decisões que analisam os fatores de ocupação e fatores de paciência, verificou-se que em mais de 60% dos casos o objeto de negociação era solicitado em função do fator de ocupação da via, não deixando com que a via atingisse o limite de sua ocupação e não deixando os motoristas esperando pelo direito de passagem por tempos prolongados. Já os pedidos realizados em função do fator de paciência ocorreram em vias de baixo fluxo em função do tamanho da via.

Assim a estratégia de decisão aplicada correspondeu com as expectativas de não deixar os motoristas esperando por tempos maiores que os padrões permitidos e por não comprometer as vias esgotando a capacidade de sua ocupação. Por outro lado, esta estratégia saiu do padrão de utilizar os tempos de ciclo semaforico fixos, onde comumente é dado o direito de passagem a semáforos que não o necessitam, fazendo assim a liberação do direito de passagem somente sobre a necessidade analisada pelo semáforo. Contudo isso impediu o sincronismo de semáforos dispostos em série comumente conhecido como "onda verde".

Utilizando-se as de técnicas de SMA para elaborar o ambiente simulado, foi possível obter vantagens como:

- desenvolvimento do trabalho mais coerente com o mundo: devido as variáveis de estudo no mundo estarem geograficamente distribuídas é possível através da utilização de SMA distribuir também geograficamente o sistema;
- controle descentralizado: através da descentralização foi possível fazer com que os agentes-semáforos agissem e reagissem de acordo com as situações de sua via em tempo real, não necessitando de um sistema central que conhecesse as situações de todas as vias de uma malha viária, para posteriormente tomar decisões;
- simplicidade na alteração das estratégias de decisão: a alteração das estratégias de decisão é facilmente realizada alterando os módulos de decisão, permitindo assim a avaliação em vários contextos.

Contudo a gerência e o controle de tráfego urbano, não se limitam apenas a sincronismo de semáforos, mas sim em uma análise e decisão em tempo real sobre as ações do mundo, é necessária a criação de novas fórmulas de decisões. Tais fórmulas serão pesquisadas em trabalhos futuros permitindo, inclusive, colocar novos pontos de vista sobre tráfego, como por exemplo: estudo de vias com faixa de conversão, estudo dos tempos de pedestres, entradas e saídas de carros de estacionamentos laterais existentes nas vias, entre outros.

Sendo também válido como novos trabalhos, inovações que tragam simplicidade na utilização deste ambiente simulado, como uma interface gráfica para a criação da malha viária, assim realizando o mapeamento dos semáforos, simplificando a criação do arquivo de entrada, onde possa também exibir os semáforos com seus estágios, alternando o direito de passagem entre eles.

Aprofundando um pouco, seria de grande valia incluir no ambiente simulado agentes-carros que circulam pelas vias, tentando realizar assim uma simulação mais semelhante à realidade. Poderia-se, por exemplo, desenvolver mecanismos "inteligentes" nos carros, onde os mesmos possam escolher as vias que comumente possuem menos tráfego e menos paradas nos semáforos, etc.

Sendo assim verifica-se que o trabalho desenvolvido tem uma grande contribuição para o início do desenvolvimento de tecnologias de gerência de tráfego distribuídas, onde certamente este trabalho possui extensões que vão além das comentadas acima.

## **6 Conclusões**

A utilização de técnicas de SMA para a análise das estratégias de decisão permitiu a criação de um ambiente simulado em conformidade com um mundo real, onde a possibilidade dos agentes estarem geograficamente distribuídos permite uma gerência e controle do tráfego em tempo real. Assim, através do ambiente simulado, um gerente de tráfego pode implementar novas estratégias de

decisão, através da alteração do módulo de decisão do agente-semáforo, para verificar a validade e eficiência das estratégias para o tráfego que deseja gerenciar.

## Referências

- BORDINI, Rafael Heitor; VIEIRA, Renata; MOREIRA, Álvaro Freitas. **Fundamentos de sistemas multiagentes**: XX Jornada de atualização em informática (JAI), volume 2, capítulo 1, 3 44 p. SBC, Fortaleza, CE, Brasil, 2001.
- EJZEMBERG, Sergio. **Análise da circulação e fluxos de tráfego**. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 1996.
- ESPEL, Marcelo. **O controle eficaz dos semáforos para melhoria do tráfego urbano**. 2000, 53 f. Monografia (Especialista em Gestão Integrada de Trânsito), Universidade Católica de Santos, Santos.
- FININ, Tim; LABROU, Yannis; PENG Yun. **Agent communition languages: the current landscape**. IEEE Intelligent Systems, abr. 1999.
- LOPES, Mauricio Antonio Ribeiro. **Código de trânsito brasileiro anotado**. São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais, 1998.
- HÜBNER, Jomi Fred. **Migração de agentes em sistemas multi-agentes abertos**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) UFRGS, Porto Alegre, 1995.
- HÜBNER, Jomi Fred. **SACI**: simple agent communication infrastructure, São Paulo, mar. 2001. Disponível em: <<http://www.lti.usp.br/saci>>. Acesso em: 10 nov. 2001.
- SCHMITZ, Marcelo. **Sistema de controle de tráfego urbano utilizando sistemas multi-agentes**. Blumenau, 2002. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) Universidade Regional de Blumenau.
- STERN, Yvone et al. **Um estudo sobre tráfego**: sincronização de sinais. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1969.
- VILANOVA, Luis Molist. **Dimensionamento do tempo de amarelo**. Nota Técnica 108. Companhia de Engenharia de Tráfego. São Paulo, 1985. 16 p.
- WEISS G. **Multiagent systems**: a modern approach to distributed artificial intelligence. Massachussetts: MIT Press, 1999.