

# Sistemas Multi-Agentes Reativos Modelando o Controle de Tráfego Urbano

Patrícia Retore<sup>1</sup>, Rejane Gomes dos Santos<sup>1</sup>, Maria das Graças Bruno Marietto<sup>2</sup>,  
Claudio Cesar de Sá<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências da Computação – Universidade do Estado de Santa Catarina  
(UDESC) – Campus Universitário Prof. Avelino Marcante s/n – Bairro Bom Retiro  
CEP 89223-100 – Joinville – SC – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do ABC  
Rua Santa Adélia, 166 – Bairro Bangu – CEP 09.210-170  
Santo André – SP – Brasil

patricia@void.cc, rejigomes@gmail.com,  
graca.marietto@yahoo.com.br, claudio@joinville.udesc.br.

**Abstract.** *In this article the simulation of an urban traffic system is presented, using the theory of Distributed Artificial Intelligence. Taking into account the results of the simulation, it was possible to analyze the relationships among the opening of traffic lights of a crossing, and the waiting medium time of the drivers. Three scenarios were analyzed and, considering the obtained results, we proved that societies of reactive agents can be used to model social behaviors of human beings, instead of complex analytic models.*

**Resumo.** *Neste artigo a simulação de um sistema de tráfego urbano é apresentada, utilizando a teoria de Inteligência Artificial Distribuída. Tendo como base esta modelagem, foi possível analisar a relação existente entre a ordem de abertura de semáforos de um cruzamento, e o tempo médio de espera por parte dos motoristas. Três cenários foram analisados e, considerando os resultados obtidos, pode-se comprovar que a simulação de sociedades de agentes reativos pode ser usada para modelar comportamentos sociais de seres humanos, ao invés de modelos analíticos complexos.*

## 1. Introdução

Entende-se por tráfego urbano o conjunto de componentes que representa a movimentação de pessoas e mercadorias inter e extra municipais, tais como vias, elementos de sinalização, veículos e pedestres. Normalmente, nos grandes centros urbanos a situação do tráfego é complexa, fazendo com que não se possa confiar em horários e nem se saiba qual opção de caminho se deva seguir, caso essa opção seja válida [Monteiro 2006].

Em função disso, modificações realizadas em elementos do sistema de tráfego, especialmente os ligados à sinalização, possuem grande influência nas condições do tráfego local. Uma modificação errônea, além de prejudicar as condições do tráfego, gera um grande descontento aos usuários deste grande sistema: os motoristas.

Este trabalho apresenta uma modelagem e implementação de uma simulação, baseada na teoria de sistemas multi-agentes reativos [Marietto 2000], que permite a construção e execução de

cenários relacionados ao comportamento do tráfego urbano em cruzamentos de vias, controladas por semáforos.

A simulação possibilita que alterações que venham a ser executadas nas vias possam ser antes testadas em um meio computacional, fazendo assim uma estimativa do impacto que será causado, e verificando se a alternativa em questão deve realmente ser aplicada no tráfego real.

A estrutura do trabalho consiste em inicialmente, na Seção 2, descrever um sistema de tráfego urbano. Na seção 3 descreve-se a modelagem de um cruzamento de tráfego urbano, tendo como base a teoria de sistemas multi-agentes reativos e a plataforma computacional SIMULA. A apresentação dos resultados e sua análise são apresentadas na seção 4. Por fim, as conclusões do trabalho encontram-se na Seção 5.

## **2. Sistema de Tráfego Urbano**

Associado à falta de efetivo planejamento urbano no desenvolvimento comercial e industrial, e conseqüentemente na expansão territorial e populacional de importantes cidades ao redor do mundo, surgiram vários problemas de impacto social. Dentre eles cita-se o da ocupação da malha viária. Decorrentes desta ocupação surgem problemas específicos, tais como congestionamentos e assaltos no trânsito. Um dos fatores que contribui para essa situação é a falta de um planejamento urbano adequado para a situação de cada região.

A demanda da sociedade por alocação de tempo e espaço disponíveis para o movimento dos veículos dá a dimensão do problema do controle de tráfego. Utilizar-se de estratégias de simulação é uma boa alternativa para verificar a eficácia de uma ação que se planeja aplicar em sistemas urbanos. A simulação, além de possibilitar a redução de custos, permite que várias alternativas possam ser testadas e comparadas em um menor espaço de tempo, comparando com a duração caso os testes se realizassem no tráfego real. Isso possibilita que uma análise prévia de todo impacto causado pela alternativa seja realizada, fazendo com que atitudes possam ser tomadas para sanar este impacto ou, ao menos, amenizá-lo.

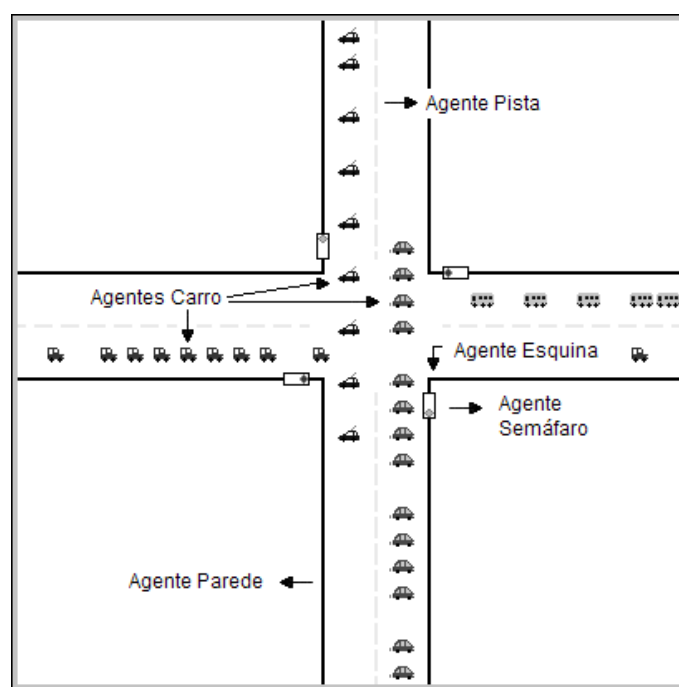
O tráfego urbano simulado neste trabalho será composto por vias de circulação de duplo sentido e sinalização semaforica. As vias de duplo sentido, ou vias de “mão dupla”, são as vias de circulação natural. Estas vias têm como vantagens básicas a melhor acessibilidade aos seus imóveis e aos serviços de ônibus, os quais podem circular em ambos os sentidos da mesma via. As desvantagens são os riscos de colisões frontais, conflitos nas conversões à esquerda e maior dificuldade na travessia dos pedestres.

## **3. Modelagem da Simulação de Tráfego Utilizando a Plataforma SIMULA**

SIMULA é um ambiente computacional desenvolvido em linguagem Java destinado para o desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes reativos, e foi o ambiente utilizado no desenvolvimento deste projeto. Este ambiente é dividido em dois módulos: módulo de definição e módulo de execução [Frozza and Sorio 1998].

No desenvolvimento deste trabalho foram criados agentes reativos que representam as principais características de uma malha viária, permitindo assim realizar simulações que visam representar situações do mundo real. A Figura 1 ilustra um cenário da simulação deste trabalho, implementada no ambiente SIMULA.

Na Seção 3.1 tem-se a apresentação de duas novas regras propostas para a expansão da plataforma SIMULA. Na Seção 3.2 os agentes utilizados na simulação são apresentados. Na Seção



**Figura 1. Simulação no Ambiente SIMULA.**

3.3 são apresentadas as regras situadas de cada agente, as quais são responsáveis por determinar o comportamento dos mesmos.

### 3.1. Definição de Novas Regras

Mesmo com a existência de uma série de comportamentos já definidos na plataforma SIMULA, neste trabalho fez-se necessário a incorporação de novos comportamentos para satisfazer as necessidades do sistema desenvolvido. Foram incorporados dois comportamentos ao ambiente: um que reproduz um agente de um tipo determinado em um local específico, e outro que elimina um agente da simulação quando este se encontra em um determinado local.

A primeira função desenvolvida neste trabalho, **reproduz-local()**, é responsável pela reprodução de um agente qualquer em um local pré-definido, possibilitando fazer com que novos carros sejam introduzidos nas vias no decorrer da simulação. A segunda função, **mata-agente-quando()**, é responsável pela remoção de qualquer agente que passar por um determinado ponto do mapa de simulação. Esta ação é responsável por retirar da simulação os veículos que já cruzaram todo o trajeto da via.

### 3.2. Definição dos Agentes

Para a modelagem da simulação do problema de controle de tráfego em um cruzamento foram utilizados os agentes descritos na Tabela 1.

### 3.3. Regras Situadas dos Agentes

Os agentes desenvolvidos neste trabalho são regidos através das regras situadas apresentadas na Tabela 2. Na Seção A.1 do Apêndice tem-se o código destas regras.

Alguns agentes, tais como parede, pista e esquina, não possuem nenhuma regra associada, visto que possuem como única função retratar as características físicas das vias, limitando-as assim

Agente	Descrição
Parede	As duas formas de agentes do tipo parede existentes, <b>Parede</b> e <b>Parede2</b> , são responsáveis por fazer a delimitação das vias, tanto no sentido horizontal como vertical. Dessa forma, possíveis desvios de rota dos agentes que circulam pelas vias são evitados e cria-se um ambiente similar ao do mundo real.
Esquina	Refere-se aos quatro agentes relacionados às esquinas do ambiente.
Pista	Simula a linha que existe no centro das vias com circulação de sentido duplo. Além de tornar o ambiente de simulação ainda mais semelhante com o modelo real, estes agentes ajudam a combater desvios de rota dos agentes que fluem pelas vias.
Carro	Composto por quatro variantes: <b>Carro1</b> , <b>Carro2</b> , <b>Carro3</b> e <b>Carro4</b> . Os agentes do tipo <b>Carro</b> são os responsáveis por simular o tráfego nas vias do ambiente. Cada uma das variantes possui direção de movimento única, a fim de possibilitar tráfego nos quatro sentidos do ambiente criado.
Semáforo-Vermelho	Existem quatro semáforos vermelhos no ambiente, um para cada via. Esses são responsáveis por reter o fluxo de veículos por um determinado número de ciclos em uma via, tempo em que o fluxo de outras vias está sendo escoado.
Semáforo-Amarelo	Existem na mesma proporção que os semáforos vermelhos, e indicam a condição de atenção aos veículos que trafegam pela via onde este é atuante. Indica que nos próximos ciclos o presente semáforo irá atingir o estado de <b>Semáforo-Vermelho</b> .
Semáforo-Verde	Também existem na mesma proporção que os semáforos vermelhos, e indicam que os veículos da via onde este estiver podem prosseguir.
Branco	Agente único dentro do ambiente, responsável por realizar a contagem dos ciclos para a temporização dos semáforos, bem como para realizar a inserção de novos agentes do tipo <b>Carro</b> dentro da simulação. Esta ação é executada de acordo com as probabilidades estipuladas para cada tipo de <b>Carro</b> .
Aux	Agente único dentro do ambiente, responsável por retirar todos os veículos que cumpriram o trajeto do ambiente.

Tabela 1. Agentes Utilizados na Simulação

Agente	Descrição
Carro	Se percebe agente <b>Semáforo-Verde</b> , então movimenta-se na direção em que está programado. Esta direção é definida tendo como base o número do carro (prioridade de execução 1). Se não percebe agente <b>Semáforo-Vermelho</b> , então movimenta-se na direção de destino que lhe é programada (prioridade de execução 2).
Semáforo-Vermelho	Se o valor de ciclos for igual a um valor $x$ , então se transforma em <b>Semáforo-Verde</b> .
Semáforo-Amarelo	Se o valor de ciclos for igual a um valor $x$ , então se transforma em <b>Semáforo-Vermelho</b> .
Semáforo-Verde	Se o valor de ciclos for igual a um valor $x$ , então se transforma em <b>Semáforo-Amarelo</b> .
Aux	Enquanto não perceber <b>Carro</b> (condição sempre verdadeira) mata qualquer agente que esteja no fim de uma via.
Branco	Enquanto não perceber <b>Carro</b> (condição sempre verdadeira) incrementa o valor de ciclos e insere novos agentes do tipo <b>Carro</b> no início das vias.

Tabela 2. Regras Situadas dos Agentes da Simulação

como no mundo real. Ressalta-se que neste modelo não existe a possibilidade de realização de ultrapassagem, visto que o agente **pista** bloqueia essa possibilidade.

#### 4. Análise de Resultados

As simulações foram realizadas visando analisar a relação existente entre a ordem de abertura de semáforos de um único cruzamento, e o tempo médio de espera por parte dos motoristas. Para os experimentos desenvolvidos neste trabalho foram considerados três cenários, apresentados nas próximas subseções. Em cada cenário foram realizadas três (03) simulações. Em cada simulação o critério de parada foi a execução de cinco (05) ciclos completos de abertura. Considera-se um ciclo completo de abertura como sendo o tempo necessário para que todos os semáforos utilizem seu próprio tempo de abertura (tempo de verde), ou seja, o tempo que proporcione que todas as

vias sejam escoadas uma única vez.

Após o término de cada simulação foram anotados os valores da quantidade do tempo esperado pelos motoristas nos sinaleiros. Ao término da execução das três simulações em cada cenário, calculou-se uma média aritmética dos tempos esperados.

#### 4.1. Cenário 1

Adotou-se para este cenário temporização igual para todos os semáforos, sendo esta constituída pela permanência durante 30 (trinta) ciclos do **Semáforo-Verde** e de uma duração de 2 ciclos de permanência do **Semáforo-Amarelo**.

O fluxo de veículos das vias é simulado via a adição de novos agentes do tipo carro no ambiente de simulação de acordo com as regras de fluxo adicionadas no sistema. Estas regras podem ser de dois tipos: definidas por uma constante (fluxo constante) ou por uma probabilidade (fluxo variável), sendo que o segundo se utiliza de números randômicos para a adição dos novos agentes.

Para o presente cenário adotou-se um modelo de fluxo constante definido por:

**Via sentido Norte-Sul:** Um novo carro a cada três ciclos;

**Via sentido Sul-Norte:** Um novo carro a cada cinco ciclos;

**Via sentido Leste-Oeste:** Um novo carro a cada sete ciclos;

**Via sentido Oeste-Leste:** Um novo carro a cada dois ciclos.

Nota-se que a via com maior fluxo de veículos é a via Leste-Oeste enquanto a via com menor fluxo é a Leste-Oeste.

A ordem de abertura dos semáforos foi: primeiro **semáforo1** (Via Sul-Norte), seguido de **semáforo2** (Via Norte-Sul), **semáforo3** (Via Leste - Oeste) e, por fim, **semáforo4** (Via Oeste - Leste).

Esse cenário resultou os tempos médios de espera presentes na Tabela 3.

SEMAFORO $n$	TEMPO MÉDIO DE ESPERA
1	52,23
2	44,28
3	41,45
4	76,50

**Tabela 3. Tempos Médio de Espera dos Motoristas no Cenário 1.**

Pode-se notar que o tempo de espera é o mais alto no semáforo 4, já que é esta a via que recebe o maior fluxo de veículos. O tempo médio de espera encontrado para esta simulação é de 53,61 ciclos.

#### 4.2. Cenário 2

No Cenário 2 foi adotada a mesma temporização e a mesma definição de fluxo de veículos utilizadas no Cenário 1. O que mudou foi a ordem de abertura dos semáforos, ficando definida como: primeiro **semáforo1** (Via Sul-Norte) juntamente com **semáforo2** (Via Norte-Sul); logo após, **semáforo3** (Via Leste - Oeste) e, por fim, **semáforo4** (Via Oeste - Leste).

Esta configuração retornou os tempos médios de espera apresentados na Tabela 4.

SEMAFORO $n$	TEMPO MÉDIO DE ESPERA
1	45,52
2	36,76
3	22,16
4	46,50

**Tabela 4. Tempos Médio de Espera dos Motoristas no Cenário 2.**

Com essa modificação foi possível reduzir drasticamente o tempo de espera dos motoristas que estavam no trecho oeste-leste (semáforo 4). Trinta ciclos foram reduzidos do tempo de espera, já que para este cenário o tempo médio de espera encontrado foi de 37,73 ciclos. Além disso, o tempo médio de espera das outras vias também obteve melhora, visto que, mediante a adoção da abertura de diferentes semáforos ao mesmo espaço de tempo, o tempo de duração de um ciclo completo se reduz, o que automaticamente diminui o tempo médio de espera pelos motoristas.

## 5. Conclusão

Os agentes reativos desenvolvidos neste trabalho são baseados em regras situadas. Assim, sua estrutura interna não é complexa. No entanto, o comportamento coletivo dos agentes na sociedade levou a que o comportamento final da agência representa-se um sistema de tráfego urbano.

Com relação ao domínio da aplicação, um desafio enfrentado neste trabalho foi a modelagem e parametrização dos semáforos, necessitando de um embasamento teórico para a formulação de planos semaforicos.

De acordo com os resultados obtidos nos cenários de simulação, pode-se analisar o grau de impacto que escolhas aparentemente simples podem causar em um sistema de trânsito. Isso se constata quando da análise dos cenários 1 e 2 em conjunto. A mudança de realizar a abertura de dois semáforos simultaneamente fez com que o tempo médio de espera dos veículos fosse reduzido em 15 ciclos. Esta melhoria, quando replicadas em condições reais, trariam significativas vantagens aos usuários da malha viária.

A realização destes testes em meio computacional pode reduzir os custos, pois não há necessidade de reprodução dos experimentos em um sistema de tráfego real. Além de evitar um desgaste físico e cognitivo, permite que os usuários do sistema viário não sejam afetados com inconveniências oriundas deste gênero de teste. Ainda, pode ser uma alternativa a outros métodos de simulação, tal como simulação via Teoria das Filas.

## Referências

- Frozza, R. and Sorio, F. (1998). Simula – ambiente de desenvolvimento de sistemas multiagentes reativos. *X Salão de Iniciação Científica da UFRGS*.
- Marietto, M. (2000). *Definição Dinâmica de Estratégias Instrucionais em Sistemas de Tutoria Inteligente: uma abordagem multiagentes na www*. Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico da Aeronáutica.
- Monteiro, P. (2006). Engenharia e gestão de tráfego.

## Apêndice A.1 - Regras Situadas Codificadas no Ambiente SIMULA

AGENTE CARRO1 – CARRO SENTIDO SUL-NORTE

Regra 1

```
Prioridade:1
se percebe_agente(semafaroVerde1)
então movimento_direcionado(N, 1)
```

Regra 2

```
Prioridade:2
se !percebe_agente
    (semafaroVermelho1)
então movimento_direcionado(N, 1)
```

AGENTE CARRO2 – CARRO SENTIDO NORTE-SUL

Regra 3

```
Prioridade:1
se percebe_agente(semafaroVerde2)
então movimento_direcionado(S, 1)
```

Regra 4

```
Prioridade:2
se !percebe_agente
    (semafaroVermelho2)
então movimento_direcionado(S, 1)
```

AGENTE CARRO3 – CARRO SENTIDO LESTE-OESTE

Regra 5

```
Prioridade:1
se percebe_agente(semafaroVerde3)
então movimento_direcionado(O, 1)
```

Regra 6

```
Prioridade:2
se !percebe_agente
    (semafaroVermelho3)
então movimento_direcionado(O, 1)
```

AGENTE CARRO4 – CARRO SENTIDO OESTE-LESTE

Regra 7

```
Prioridade:1
se percebe_agente(semafaroVerde4)
então movimento_direcionado(L, 1)
```

Regra 8

```
Prioridade:2
se !percebe_agente
    (semafaroVermelho4)
então movimento_direcionado(L, 1)
```

AGENTE SEMAFOROVERMELHO1 (ESTRADA SUL-NORTE)

Regra 9

```
Prioridade:0
se ciclos = 0
então transforma_agente(semafaroVerde1)
```

AGENTE SEMAFOROAMARELO1 (ESTRADA SUL-NORTE)

Regra 10

```
Prioridade:0
se ciclos = 32
então transforma_agente
    (semafaroVermelho1)
```

AGENTE SEMAFOROVERDE1 (ESTRADA SUL-NORTE)

Regra 11

```
Prioridade:0
se ciclos = 30
então transforma_agente
    (semafaroAmarelo1)
```

AGENTE SEMAFOROVERMELHO2 (ESTRADA NORTE-SUL)

Regra 12

```
Prioridade:0
se ciclos = 0
então transforma_agente
    (semafaroVerde2)
```

AGENTE SEMAFOROAMARELO2 (ESTRADA NORTE-SUL)

Regra 13

```
Prioridade:0
se ciclos = 32
então transforma_agente
    (semafaroVermelho2)
```

AGENTE SEMAFOROVERDE2 (ESTRADA NORTE-SUL)

Regra 14

```
Prioridade:0
se ciclos = 30
então transforma_agente
    (semafaroAmarelo2)
```

AGENTE SEMAFOROVERMELHO3 (ESTRADA OESTE-LESTE)

Regra 15

```
Prioridade:0
se ciclos = 33
então transforma_agente
    (semafaroVerde3)
```

AGENTE SEMAFOROAMARELO3 (ESTRADA OESTE-LESTE)

Regra 16

```
Prioridade:0
se ciclos = 68
então transforma_agente
    (semafaroVermelho3)
```

AGENTE SEMAFOROVERDE3 (ESTRADA OESTE-LESTE)

Regra 17

```
Prioridade:0
se ciclos = 63
então transforma_agente
    (semafaroAmarelo3)
```

AGENTE SEMAFOROVERMELHO4 (ESTRADA LESTE-OESTE)

Regra 18

```
Prioridade:0
se ciclos = 69
então transforma_agente
    (semafaroVerde4)
```

AGENTE SEMAFOROAMARELO4 (ESTRADA LESTE-OESTE)

Regra 19

```
Prioridade:0
se ciclos = 101
então transforma_agente
    (semafaroVermelho4)
    && ciclos = 0
```

AGENTE SEMAFOROVERDE4 (ESTRADA LESTE-OESTE)

Regra 20

```
Prioridade:0
se ciclos = 99
então transforma_agente
    (semafaroAmarelo4)
```

AGENTE BRANCO

Regra 21

```
Prioridade:0
se !percebe_agente(Carro1) {
    se ciclos % 5 == 0
        então reproduz_local(20,39,Carro1)
    se ciclos % 3 == 0
        então reproduz_local(18,0 ,Carro2)
    se ciclos % 2 == 0
        então reproduz_local(0 ,20,Carro3)
    se ciclos % 7 == 0
        então reproduz_local(39,18,Carro4)
}
```

AGENTE AUX

Regra 22

```
Prioridade:0
se !percebe_agente(Carro1)
então mata_agente_quando(1,18) &&
    mata_agente_quando(20, 0) &&
    mata_agente_quando(18,39) &&
    mata_agente_quando(39,20)
```