

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ELETRICIDADE

MARCOS BARROS E SILVA

**SISTEMA MULTIAGENTES PARA
GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO URBANO**

TMS – TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM

São Luís
2005

MARCOS BARROS E SILVA

**SISTEMA MULTIAGENTES PARA
GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO URBANO**

Dissertação de Mestrado submetida à coordenação do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade da UFMA como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência da Computação.

São Luís
2005

MARCOS BARROS E SILVA

**SISTEMA MULTIAGENTES PARA
GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO URBANO**

Dissertação de Mestrado submetida à
coordenação do curso de Pós-Graduação
em Engenharia de Eletricidade da
UFMA como parte dos requisitos para
obtenção do título de mestre em Ciência
da Computação.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM ____ / ____ / 2005

Prof. Dr. Sofiane Labidi
(Orientador)

Prof. Dr. Zair Abdelouahab
(Membro da Banca Examinadora)

Prof. D.Sc. Pedro Porfírio Muniz Farias
(Membro da Banca Examinadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter sempre me colocado no caminho certo e principalmente por não deixar esse caminho tão fácil, para que eu pudesse sempre dar mais valor às minhas conquistas.

Aos meus Pais, Milton e Yêda, que me ensinaram a vida da melhor maneira possível, me amando sempre e deixando que eu vivesse errando e aprendendo.

A Marfisa, Letícia e Laura, pela colaboração e compreensão pelas muitas horas dedicadas ao estudo, retiradas exatamente das horas de lazer e convívio com as mesmas.

A minha família, pelo apoio irrestrito e pelas cobranças necessárias para que eu me mantivesse sempre na linha.

Aos meus sogros, Baltazar e Rosário, por terem me dado um tesouro guardado a sete chaves e terem me aceito de coração na família.

Ao professor Labidi, por todo apoio dado não só na orientação desse trabalho, mas em todos os outros momentos da minha vida acadêmica.

Aos professores Edson e Zair, que me ajudaram muito na época do mestrado, tendo a escolha do meu trabalho surgido de uma aula do professor Edson.

Ao meu eterno e insubstituível guru, Celso Patrício, por ter me orientado tão bem quando do meu início de carreira e a quem sempre tenho como exemplo de profissional.

Ao meu cunhado, Marco Aurélio, por ter me apresentado à informática ainda quando criança e ter despertado a minha paixão pelo mundo dos bits e bytes.

Ao UniCeuma e ao MEC, que de forma indireta me fizeram perceber o quanto era importante a conclusão do mestrado e dessa forma me deram mais forças ainda para terminar.

A toda a minha família, já incluindo nela a família de Marfisa, pois não existe mais distinção entre as duas.

“No fim tudo dá certo. Se ainda não deu certo é porque ainda não chegou ao fim”.

Fernando Sabino

RESUMO

Esta dissertação é parte do Projeto TMS cujo objetivo é o desenvolvimento de um Sistema inteligente de Gerenciamento de Trânsito. O TMS tem três funções fundamentais : (1) Gerenciar os recursos necessários ao controle do tráfego ; (2) Ajudar no treinamento dos funcionários das companhias de trânsito ; e (3) Acompanhar as mudanças do tráfego urbano para fins de tomada de decisão. O TMS foi concebido para atender desde as cidades que não tem sistemas de controle de tráfego até aquelas que tem toda a estrutura montada com semáforos interligados, etc. Apresenta-se aqui a concepção do sistema que visa atender às necessidades dos órgãos de gerenciamento de trânsito e que, ao mesmo tempo, permita que os seus usuários pudessem auxiliar na constante evolução do mesmo. Trataremos especificamente da arquitetura baseada em agentes proposta para o sistema, as tecnologias que o fundamentam e apreendemos as interações entre agentes de controle de trânsito. O protótipo implementado neste trabalho permite a automação dos mecanismos de funcionamento de Gerenciamento de Trânsito – tempo de verde e vermelho dos semáforos - tornando as mudanças de planos semaforicos as mais dinâmicas possíveis.

Palavras-Chave: Tráfego Urbano, Sistemas Multiagentes, Modelagem de Agente, Interação entre Agentes.

ABSTRACT

This dissertation is part of TMS project whose objective is the development of a Intelligent Traffic Administration System . TMS has three fundamental functions: (1) Manage the necessary resources to the traffic control; (2) aid in the training of traffic employees; and (3) Accompany the changes of the urban traffic for ends of decision. TMS was conceived to assist the cities that doesn't have systems of traffic control and the others witch has the whole mounted structure with interlinked traffic lights. We show the conception of a system that seeks to assist the needs of traffic administration organs and, at the same time, allow its users to aid in the constant evolution of this management. We will specifically treat an architecture based on agents for our system, the technologies which the system uses and interactions among agents of traffic control. The prototype implemented in this work it allows the automation of the mechanisms of Traffic Administration operation - time of green and red of the traffic lights - turning the changes of semaphored plans the more dynamics as possible.

Keywords: Urban traffic, Multi-Agent System, Agent Modeling, Agent's Interaction.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	10
1.2	Justificativa e Relevância	11
1.3	Organização da dissertação.....	13
2	ESTADO DA ARTE	14
2.1	Classificação dos Sistemas de Controle de Tráfego	14
2.1.1	<i>Coordenação entre intersecções.....</i>	<i>14</i>
2.1.2	<i>Responsividade ao tráfego.....</i>	<i>15</i>
2.1.3	<i>Distribuição dos equipamentos de controle.....</i>	<i>15</i>
2.1.4	<i>Conclusão</i>	<i>16</i>
2.2	Sistemas Multiagentes.....	17
2.2.1	<i>Agentes.....</i>	<i>17</i>
2.2.2	<i>KQML</i>	<i>20</i>
2.2.3	<i>Conclusão</i>	<i>23</i>
2.3.	Sistemas de Gerenciamento de Trânsito	24
2.3.1	<i>Monitorix</i>	<i>24</i>
2.3.2	<i>SCATS - Sydney Coordinated Adaptive Traffic System</i>	<i>27</i>
2.3.3	<i>SCOOT - Split Cycle Offset Optimization Technique</i>	<i>29</i>
2.3.4	<i>TRYS E TRYSA.....</i>	<i>30</i>
2.3.5	<i>CTA</i>	<i>32</i>
2.3.6	<i>OPAC.....</i>	<i>34</i>
2.3.7	<i>UTOPIA</i>	<i>35</i>
2.3.8	<i>Conclusão</i>	<i>36</i>
2.4	Tráfego em tempo real.....	37
2.4.1	<i>Principais Sistemas.....</i>	<i>37</i>
2.4.2	<i>Conclusão</i>	<i>38</i>
3	SISTEMA TMS.....	39
3.1	Modo Simulação.....	41

3.1.1	<i>Ponto de Observação – PO</i>	42
3.1.2	<i>Via</i>	43
3.1.3	<i>Faixa</i>	44
3.1.4	<i>Trecho</i>	45
3.1.5	<i>Rota</i>	46
3.1.6	<i>Plano Semafórico</i>	47
3.1.7	<i>Intenção</i>	48
3.1.8	<i>Carga-Descarga</i>	48
3.1.9	<i>Horários</i>	49
3.1.10	<i>Cruzamentos</i>	49
3.1.11	<i>Modelo</i>	50
3.2	Modo Misto	51
3.3	Modo Administração	52
4	IMPLANTAÇÃO E FUNCIONAMENTO DO TMS	53
4.1	Breve Histórico do Gerenciamento do Trânsito	53
4.1.1	<i>Evolução da tecnologia semafórica e uso da atuação no Brasil</i>	54
4.1.2	<i>Lógica da atuação tradicional</i>	56
4.1.3	<i>Critérios usuais para uso de semáforos atuados pelo tráfego</i>	58
4.1.4	<i>Conclusão</i>	59
4.2	Criação do ambiente da cidade	60
4.2.1	<i>Segmentos</i>	60
4.2.2	<i>Cruzamentos</i>	61
4.2.3	<i>Elementos de Controle (Pontos de Observação)</i>	61
4.2.4	<i>Influência</i>	62
4.3	Agentes do TMS	66
4.3.1	<i>Informa Status</i>	70
4.3.2	<i>Verifica se existe folga ou gargalo</i>	70
4.3.3	<i>Informa Problema</i>	70
4.3.4	<i>Verifica condição dos outros agentes influenciados</i>	71
4.3.5	<i>Verifica Status dos Sensores</i>	71
4.3.6	<i>Informa Situação do Cruzamento</i>	71
4.3.7	<i>Efetua análise para proposta de mudanças</i>	71
4.3.8	<i>Novos planos semafóricos</i>	71
4.3.9	<i>Verifica se o plano vai gerar problema no cruzamento</i>	72

4.3.10	<i>Informa que o plano foi mudado</i>	72
4.3.11	<i>Solicita outro plano</i>	72
4.4	Plataforma dos Agentes	73
5	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formato de mensagem KQML.....	22
Tabela 2 - Estados dos Semáforos.....	68
Tabela 3 - Visão do Agente de Área.....	70
Tabela 4 - Exemplos de ações do Agente de Cruzamento.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de um sistema multiagentes.....	19
Figura 2 - Visualização das imagens	25
Figura 3 - Arquitetura do SCATS.....	27
Figura 4 - Sensores do SCATS.....	28
Figura 5 - Sensores no SCOOTs.....	29
Figura 6 - Arquitetura do TRYS e TRYSA	30
Figura 7 - Sistema TRYS para Barcelona.....	31
Figura 8 - Funcionamento do CTA.....	32
Figura 9 - Modelo conceitual do OPAC.....	34
Figura 10 - Exemplo de painel com informações do trânsito	37
Figura 11 - Visão das funções do TMS.....	40
Figura 12 - Representação de um sistema viário hierarquizado em área urbana	46
Figura 13 - Exemplo de Plano Semafórico.....	47
Figura 14 - Modelo do Banco de Dados.....	50
Figura 15 - Exemplo de um área urbana.....	62
Figura 16 - Exemplo de um arquivo ATLAS	64
Figura 17 - Exemplo de um modelo feito em MAPS	65
Figura 18 - Arquitetura Básica do TMS	67
Figura 19 - Interação entre os agentes	69
Figura 20 - Modelo FIPA de uma plataforma de agentes.....	73
Figura 21 - Exemplo de agentes em JADE.....	74
Figura 22 - Agente Sniffer.....	75
Figura 23 - Arquivo Log na tela de comando.....	75
Figura 24 - Exemplo de uma mensagem no JADE.....	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo desenvolver as regras de funcionamento e tomada de decisão de um sistema de controle de trânsito contribuindo na modelagem e implementação de um sistema maior com ênfase nas negociações interagentes. Com este trabalho pretende-se criar uma ferramenta que forneça informações úteis à tomada de decisões para empresas de gerenciamento de trânsito.

Especificamente, pretendemos :

- Definir os principais conceitos do sistema, baseando-se nos princípios do Gerenciamento do Trânsito ;
- Definir as funcionalidades básicas do modelo de sistema bem como a identificação dos principais casos de uso ;
- Identificar as intervenções humanas necessárias e até que ponto o sistema pode interferir ;
- Fazer uso da UML (PARUNAK, 2001) para modelar os conceitos do sistema ;
- Projetar o Sistema de Interação entre Agentes, provendo desta forma um ambiente dinâmico de funcionamento.

1.2 Justificativa e Relevância

Quanto mais as cidades crescem, mais o homem quer conforto e comodidade. Para tanto, usa cada vez mais os sistemas de transportes. Esse ciclo vicioso gera cada vez mais problemas no trânsito, pois apesar de estar em constante crescimento, as vias de acesso da cidade não podem simplesmente ser “alargadas”.

Conforme (STERN, 1969), o ritmo de crescimento da indústria automobilística nacional acarreta uma saturação muito rápida das vias de transporte. Surgem então os maiores inimigos do conforto e comodidade: congestionamento, falta de coordenação dos semáforos entre cruzamentos e desvios de tráfego, dentre outros contratemplos que geram insatisfação, nervosismo e perda de tempo, o que nos dias atuais tem um valor cada vez maior.

Um outro problema encontrado pelos órgãos de gerenciamento de tráfego é a elaboração de planos semaforicos de teste para que se possa avaliar o impacto dos mesmos no trânsito como um todo. Apesar de existirem regras matemáticas para a criação de tais planos, elas não permitem uma visão maior do funcionamento dos mesmos, pois um plano semaforico de um cruzamento pode vir a interferir em um outro cruzamento distante.

Além disso, o treinamento de novos funcionários para atuar como controladores de tráfego é algo bastante complexo, pois envolve o entendimento das causas e efeitos das mudanças nas variáveis de trânsito. Some-se a isso o fato que os erros cometidos por um controlador de trânsito pode acarretar acidentes e mortes.

Daí surgiu a necessidade do desenvolvimento de um sistema que permitisse se realizar tais tarefas :

- Servir de simulador, onde atividades de treinamento e melhorias poderiam ser analisadas sem a interferência no trânsito da cidade, evitando acidentes e reduzindo custos;
- Servir de base para a tomada de decisões de gerenciamento de trânsito, quando a estrutura da cidade não tiver semáforos automatizados e interligados;

- Interagir diretamente no trânsito tornando os planos semafóricos dinâmicos, mudando automaticamente de acordo com o momento, independente da intervenção humana.

O uso da tecnologia de agentes é imprescindível no desenvolvimento de sistemas complexos e distribuídos. A grande quantidade de interações para o correto funcionamento de um sistema que tem como objetivo acompanhar, simular e ainda intervir no dia-a-dia do gerenciamento de trânsito de uma localidade requer soluções simples e leves de serem implementadas.

Existe ainda uma necessidade muito grande de segurança no sistema, pois uma falha no mesmo poderá acarretar acidentes, o que poderia levar a mortes.

1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em cinco partes, divididas em capítulos. O Capítulo 1 é constituído por esta *introdução*, e trata dos objetivos e justificativas e organização da dissertação.

No Capítulo 2, fazemos a revisão bibliográfica, apresentando o *Estado da Arte* dos conceitos de Sistemas Multiagentes, Sistemas de Gerenciamento de Trânsito e Tráfego em tempo real.

No Capítulo 3, tratamos da primeira parte de nossa contribuição : O sistema de gerenciamento de trânsito – TMS no qual definimos a arquitetura do TMS como simulador; o funcionamento do sistema e sua Administração.

No Capítulo 4, apresentamos a segunda parte de nossa contribuição : O modelo de Interação entre agentes do TMS. Após apresentar um breve histórico do gerenciamento do trânsito; apresenta-se uma classificação de sistemas de controle de tráfego; e mostra-se as técnicas utilizadas neste projeto para implementação do ambiente de uma cidade e a modelagem dos agentes de gerenciamento do trânsito.

Finalmente, apresenta-se no Capítulo 5, as conclusões de nossa proposta e as sugestões para trabalhos futuros.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo, apresenta-se uma visão geral dos Sistemas Multiagentes, Sistemas de Gerenciamento de Trânsito e Tráfego em tempo real. A crescente utilização dos sistemas multiagentes e seus conceitos básicos são abordados no item 2.1. Logo em seguida, fazemos um breve resumo dos sistemas que existem atualmente e apresentamos suas características básicas. Já no item 2.3 apresentamos o que existe de mais atual no controle de tráfego em tempo real, disponível em algumas localidades e que permite aos condutores tirarem proveito dos sistemas de gerenciamento de trânsito.

2.1 Classificação dos Sistemas de Controle de Tráfego

Para a criação de um ambiente de gerenciamento de trânsito precisamos apresentar alguns conceitos de trânsito e também alguns dos cálculos envolvidos.

De uma forma conceitual, EJZEMBERG (1996) expõe os sistemas de controle de tráfego existentes mais comuns.

Existem três características principais dos sistemas de controle: Coordenação entre intersecções, responsividade ao tráfego e distribuição dos equipamentos de controle.

2.1.1 Coordenação entre intersecções

As intersecções podem ser ou não coordenadas entre si, o que significa ter uma relação de funcionamento entre o equipamento semaforico de um cruzamento com o equipamento do outro. Quando não há essa relação, denomina-se que a intersecção é controlada por um sistema isolado, o qual só leva em consideração o cruzamento em que está instalado, não trabalhando em conjunto com os semáforos dos cruzamentos adjacentes.

2.1.2 Responsividade ao tráfego

Os sistemas semafóricos podem ter ou não responsividade ao tráfego, que significa que os tempos de operação dos semáforos não são fixos, variando em função da detecção do volume de veículos que se aproximam do cruzamento, atribuindo e aplicando no mesmo momento (tempo real) valores de tempos necessários para atendimento daquela demanda de veículos. Os sistemas não-responsivos são chamados de sistemas à tempos fixos, os quais não variam os tempos de verde, ciclo e defasagem em função dos veículos que estão passando por ali no momento, e sim por planos de tráfego pré-programados, dimensionados a partir de pesquisa de volume de tráfego efetuadas no local em diferentes períodos, sendo construídos e aplicados esses planos para atender a demanda média em cada diferente período do dia.

2.1.3 Distribuição dos equipamentos de controle

Os equipamentos instalados no sistema viário podem ser comandados por dois sistemas diferentes. O sistema centralizado controla um ou mais conjuntos de intersecções através de somente um centro de controle. No sistema distribuído, o controle existe em cada conjunto de semáforos individualmente, no local.

a) Controle coordenado distribuído a tempos fixos

Sistema que controla um conjunto de intersecções à tempos fixos, ou rede de semáforos não centralizados (distribuído). A rede é composta por um grupo de controladores, cada um controlando um ou mais cruzamentos, em malhas viárias onde é necessário o inter-relacionamento da temporização semafórica de todos os cruzamentos envolvidos, visando obter e manter a progressão adequada dos semáforos, composta da sequência luminosa entre os cruzamentos através da defasagem entre eles. As redes a tempos fixos podem ser compostas de controladores monoplanos, porém é mais comum as redes de controladores multiplanos, que contém relógio de horas e dias da semana, que selecionam a troca dos planos através de uma tabela horária, que programa as entradas e saídas dos planos em diferentes horários do dia e dias da semana e em alguns casos até de datas.

b) Controle centralizado a tempos fixos

É o sistema que controla um grande número de intersecções semaforizadas à partir de uma central de controle, que implementa diretamente os tempos dos semáforos, transmitindo-os aos controladores semafóricos dos locais, os quais aplicam nos semáforos as programações recebidas. As programações de todos os semáforos são armazenadas na central em bancos de dados informatizados, que estão disponíveis nos computadores existentes, que tem a função de controlar e também de monitorar os controladores locais, detectando eventuais falhas de funcionamento e recebendo dados de fluxo e ocupação das vias através de laços detectores instalados, e através destes dados fazer leituras da situação de tráfego das vias, da existência de congestionamentos ou morosidade do tráfego. Uma das maiores vantagens deste sistema é a possibilidade de alteração dos planos de tráfego a partir de comandos dos técnicos da central de controle, onde se podem variar os tempos de um plano corrente ou até substituí-lo por um outro plano mais adequado à situação momentânea daquele local ou região.

c) Controle centralizado responsivo

Tempo real: Sua configuração é semelhante à do controle centralizado à tempos fixos, com a diferença de possuir nos cruzamentos laços detectores em todas as aproximações, com o intuito de coletar os dados de fluxo dos veículos que estão se aproximando, subsidiando o sistema a processar os dados, convertendo-os em valores de tempos aplicados no mesmo momento para atendimento daqueles mesmos veículos que foram detectados. Por isso denomina-se “tempo real” porque adapta os tempos de verde de um ciclo ao perfil de tráfego que efetivamente está medido naquele ciclo. Esse sistema de controle calcula em tempo real os melhores tempos de ciclo, de verde e defasagens de todos os controladores do sistema. Os tempos de verde e defasagens são modificados a cada ciclo, mas a modificação do ciclo ocorre em média a cada 5 minutos.

2.1.4 Conclusão

Para que o sistema possa atender as necessidades levantadas e assumir as responsabilidades propostas, teremos um sistema que funcione de maneira Coordenada e Responsiva, permitindo dessa forma gerenciar de maneira completa o trânsito na cidade.

2.2 Sistemas Multiagentes

A associação de um conjunto de agentes distribuídos com um objetivo global comum interagindo entre si define um Sistema Multiagentes (SMA). Mas um SMA é mais do que uma simples reunião de agentes. Conforme HÜBNER (1995), SMA é uma abordagem para resolver problemas específicos dividindo o trabalho entre muitos agentes que cooperam interagindo e trocando conhecimentos sobre o problema e sua solução, sendo que estes agentes são dotados de certa autonomia e inteligência.

2.2.1 Agentes

As principais características de um agente são :

- Comunicação : um agente precisa ser capaz de interagir com o usuário para receber tarefas e delegações de instruções, e informar status das tarefas através de uma interface de agente ou através de uma linguagem de comunicação de agentes.
- Autonomia : O agente funciona sem intervenção direta, ou seja, em *background*. Um agente pode iniciar um determinado processo a qualquer momento do dia.
- Monitoramento: O agente precisa ser capaz de monitorar o seu ambiente do modo a ser capaz de realizar tarefas de maneira autônoma.
- Atuação: O agente precisa ser capaz de afetar o seu ambiente através de um mecanismo de atuação para operação autônoma.
- Inteligência: O agente precisa ser capaz de interpretar os eventos monitorados para tomar a decisão apropriada para a operação autônoma.

Além desses atributos, o agente precisa ter ainda outros, tais como Mobilidade e segurança.

Quando abordamos a comunicação entre agentes, os principais pontos de um agente em um SMA são perceber e agir. A habilidade de comunicar-se faz parte da percepção

(quando recebe mensagens) e da ação (quando envia mensagens). É necessário que a comunicação seja disciplinada para que os objetivos sejam alcançados. A comunicação permite que os agentes coordenem suas atividades e seu comportamento, resultando em um sistema mais coerente (MENESES, 2001).

Assim a comunicação entre agentes está baseada na troca de mensagens, podendo ser realizadas de três formas: ponto-a-ponto, *multicast* ou *broadcast*. A forma como estas mensagens são trocadas entre os agentes são definidas pela Linguagem de Comunicação entre Agentes (LCA), onde segundo MENESES (2001) é um fator crítico na integração de agentes e sua expressividade define a capacidade de comunicação do agente.

Uma das LCA que procura implementar as características relevantes (forma, conteúdo, semântica, implementação, rede, ambiente e confiabilidade) é *Knowledge Query and Manipulation Language* (KQML) que é uma linguagem e um protocolo para troca de informação e conhecimento entre agentes (ver item 0).

Em JENNINGS (2000), o autor ilustra a estrutura típica de um sistema multiagentes (ver Figura 1 - Estrutura de um sistema multiagentes). O sistema possui uma determinada quantidade de agentes, que interagem uns com os outros. Os agentes podem interagir em um ambiente; sendo que agentes diferentes têm “esferas de influência diferentes”. Considerando ainda, que eles podem ter controle sobre (ou pelo menos podem influenciar) diferentes partes do ambiente. Essas esferas de influencia podem coincidir e aumentar as relações de dependência entre os agentes.

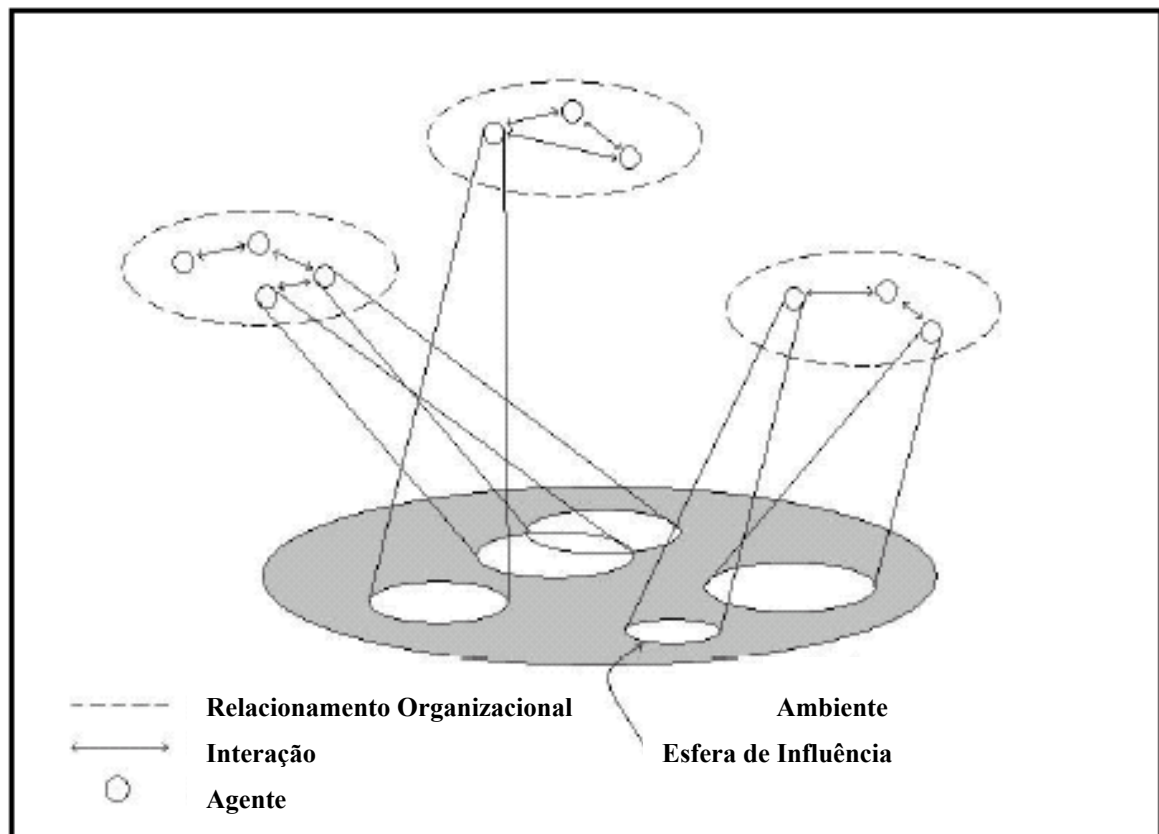


Figura 1 - Estrutura de um sistema multiagentes

Maiores informações sobre SMA podem ser encontradas em BIGUS (1997), WEISS (1999), JENNINGS (1998) e MENESES (2001).

2.2.2 KQML

KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language* – Linguagem de Manipulação e consulta de conhecimento) é uma linguagem e protocolo para troca de informações e conhecimentos. KQML é uma LCA de alto nível, onde a troca de mensagens é independente da linguagem de conteúdo e da ontologia utilizada, ou seja, qualquer tipo de conteúdo pode ser enviado em uma mensagem KQML.

Ela foi desenvolvida dentro do “*Knowledge Sharing Effort*” patrocinado pelo DARPA (Departamento da Defesa norte-americano), em 1993. KQML é independente do mecanismo de transporte (TCP/IP, SMTP, etc), independente da linguagem conteúdo (KIF, SQL, Prolog, etc.), e independente da ontologia assumida pelo conteúdo (MENESES, 2001).

Além disso, a KQML possui uma arquitetura básica para o compartilhamento de conhecimento através de uma classe especial de agente chamada de facilitadores que coordenam as interações com outros agentes. As idéias que estão por trás da estrutura da KQML estão sendo constantemente sendo exploradas através de protótipos e sistemas que estão sendo usados para muitos testes em áreas como modelagem inteligente e planejamento inteligente.

Nós autônomos e distintos podem ser vistos como agentes que agem no sistema global, respondendo a mensagens de outros nós. Existem muitos níveis nos quais os sistemas baseados em agentes podem concordar, pelo menos em suas interfaces, para que possam operar com sucesso:

Transporte: como agentes enviam e recebem mensagens;

Linguagem: O que as mensagens individuais significam;

Política: Como os agentes organizam as conversações;

Arquitetura: Como conectar sistemas de acordo com os protocolos acertados.

A linguagem KQML tem sido usada também para transmitir dados orientados a objetos, e uma gama extensiva de informações podem ser acumuladas. KQML é uma linguagem para programas que usam atitudes coordenadas sobre as informações, como consultando, declarando, acreditando, requerendo, alcançando, inscrevendo, e oferecendo. KQML é transparente ao formato da instrução em si, assim as expressões irão conter com mais frequências sub-expressões e também “linguagens de conteúdo”.

A linguagem KQML é mais usada para comunicação entre programas multiagentes, no sentido que os programas são autônomos e assíncronos. Autonomia requer que o agente possa ter agendas diferentes e até conflitantes; assim o significado de uma mensagem KQML está definido mais no remetente da mensagem do que de o receptor de mensagem. Isso permite ao receptor da mensagem escolher um curso de ação que é compatível com outros aspectos da sua função.

KQML é um complemento a novas abordagens da computação distribuída, que da ênfase à camada de transporte. Um exemplo disso é a especificação do *Object Request Broker* (ORB), que define serviços distribuídos para mensagens entre processos e entre plataformas, tradução do tipo de dados e registro de nomes. Esse ambiente não especifica um conjunto tão rico de tipos de mensagens, com o KQML.

Uma mensagem KQML é chamada *performativa*, pois em cada mensagem pode conter instruções para que alguma ação seja tomada.

As mensagens KQML podem ser divididas em três camadas: camada de conteúdo, camada de comunicação, camada de mensagem.

O formato das mensagens KQML é baseado na sintaxe do LISP conforme ilustra a Tabela 1.

<i>(performative</i>			
: language	<i>word</i>	}	camada de mensagem
: ontology	<i>word</i>		
: sender	<i>word</i>	}	camada de comunicação
: receiver	<i>word</i>		
: reply - with	<i>word</i>		
: content	<i>expresion</i>	}	camada de conteúdo
...)			

Tabela 1 - Formato de mensagem KQML

A camada de conteúdo é o que transporta, de fato, o conteúdo da mensagem na própria linguagem de representação do programa. Toda implementação em KQML ignora a porção de conteúdo da mensagem, exceto a que determina onde ela termina, portanto, KQML pode levar qualquer linguagem de representação, tanto em ASCII como em binário.

A camada de comunicação é a mais importante da KQML. Esta parte determina os tipos de interação que um agente pode ter com outro, bem como que operação deve ser executada com conteúdo. A função primária desta camada é identificar o protocolo de rede que vai ser usado para entregar a mensagem e a ação de fala ou performativa com a qual o remetente está enviando na mensagem (MENESES, 2001)

A camada de mensagem pode também definir outras opções, tais como, a linguagem em que está representado, o conteúdo e ontologia assumida que significa um dicionário para a interpretação dos termos da linguagem, em outras palavras, um vocabulário comum entre as partes envolvidas na comunicação. Estas opções possibilitam que implementações de KQML analisem, roteiem e entreguem corretamente as mensagens cujo conteúdo é transparente.

A linguagem KQML possui um conjunto de performativas que refletem a intenção do agente emissor da mensagem e que são organizadas em categorias básicas como:

a) consulta básica (*evaluate, ask-if, ask-in, ask-one, ask-all, ...*);

- b) consultas com múltiplas respostas (*stream-it, stream-all, ...*);
- c) resposta (*reply, sorry, ...*);
- d) afirmação genérica (*tell, achieve, cancel, untell, unachieve,...*);
- e) anúncio e definição de capacidades (*advertise, subscribe, import, export, ...*);
- f) rede (*register, unregister, forward, broadcast, ...*).

Este conjunto não é fechado e nem mínimo. Um agente que utilize KQML pode escolher apenas algumas performativas para entender e tratar, podendo ser também este conjunto extensível, utilizando performativas adicionais.

2.2.3 Conclusão

Por ser uma linguagem de larga utilização, a comunicação utilizada no TMS será com base em KQML, que já apresenta os recursos necessários para um bom funcionamento do sistema. E para que possa ser implementada a estrutura de funcionamento do sistema, torna-se imprescindível o uso dos conceitos de sistemas multiagentes.

O projeto completo do TMS envolve metodologias, linguagens e conceitos bem distintos. Como será visto posteriormente, cada módulo terá uma função que poderá funcionar até de maneira isolada.

2.3. Sistemas de Gerenciamento de Trânsito

Apresentamos nesta seção exemplos de sistemas de gerenciamento de trânsito utilizados mundialmente. Algumas delas também utilizados no Brasil. O objetivo é fazer uma breve descrição de cada um e apresentar sua estrutura básica, pois eles funcionam em conjuntos com os simuladores de trânsito.

2.3.1 Monitorix

Monitorix (BOTELHO et al., 1999) é um sistema multiagentes de controle de tráfego baseado em vídeo. O sistema possui diversas câmeras colocadas ao longo de uma rodovia. As áreas de cada câmera não se sobrepõem. Cada câmera é conectada a uma unidade de processamento que possui alguns algoritmos de tratamento, que segmentam a cena e geram uma seqüência de imagens. A seqüência de cada câmera é alimentada para um conjunto de agentes que rodam em uma outra máquina. Esses agentes efetuam análises em uma camada acima e geram alarmes em ocorrências anormais ou situações relevantes.

O Monitorix é totalmente descentralizado rodando em uma plataforma FIPA e usando a linguagem de comunicação de agentes FIPA. A plataforma FIPA é um conjunto de serviços oferecidos pelos agentes de plataforma e pela própria plataforma. Esses serviços ajudam no desenvolvimento e operação de sistemas multiagentes. A plataforma trabalha com 2 agentes: AMS (*Agent Management System*) e DF (*Directory Facilitator*).

O agente AMS fornece os serviços relacionados ao gerenciamento da plataforma com o registro de novos agentes, por exemplo. O Agente DF funciona como um serviço de páginas amarelas. A plataforma precisa ter pelo menos um DF.

Apresentamos alguns dos principais agentes do Monitorix, que correspondem à etapa de descrição do objeto :

- Agente Local (*LocalSite Agent*) : Tem como objetivo armazenar informações de um local monitorado parcialmente por uma câmera. Essas imagens são

armazenadas no formato MPEG-7. Toda a informação mantida pelo Agente LocalSite está disponível para todos os outros agentes.

- Agente Classificador (*Classifier Agent*): Tem como objetivo identificar e classificar os objetos móveis detectados pelas câmeras.
- Agente de Comportamento (*Behaviour Agent*): Procura identificar o comportamento padrão e desvios do mesmo, tais como: zig-zag, veículos na mão errada e veículos parados.
- Agente de monitoramento (*Tracker Agent*): Analisar a trajetória e velocidade dos veículos de forma a determinar quando que ele vai entrar no raio de ação da próxima câmera.



Figura 2 - Visualização das imagens

O sistema Monitorix, por suas características apresentadas acima, exige um robusto ambiente para o seu funcionamento, dada a manipulação de imagens necessária.

Esse sistema é capaz de, através dos sensores de comportamento, identificar possíveis situações problemáticas em uma via, como, por exemplo, o caso de um motorista embriagado

que dirige em zig-zag, colocando em risco os demais veículos. Essa característica é única dos sistemas que operam baseados em imagens, diferente dos sistemas baseados em sensores, que só conseguem identificar dados mais simples, como velocidade, por exemplo.

Entretanto, esse tipo de sistema é utilizado preferencialmente e quase que exclusivamente em rodovias, pois considerando-se uma avenida com várias faixas e fluxo intenso, torna-se inviável a identificação, classificação e acompanhamento do comportamento do mesmo.

2.3.2 SCATS - Sydney Coordinated Adaptive Traffic System

É um sistema originado em Sydney, usado na Europa, Austrália, Hong Kong e algumas áreas dos EUA. O SCATS (GROSS, 2000) (DATTA, 2003) colhe dados em tempo real de cada cruzamento. Esses dados são alimentados em um computador central, onde são feitos ajustes baseados nas mudanças a cada minuto.

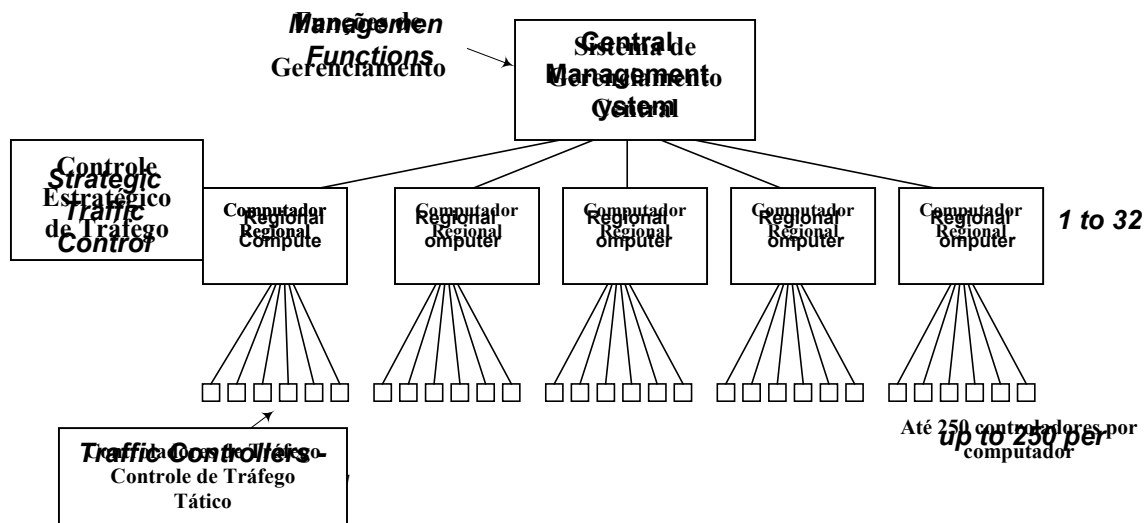


Figura 3 - Arquitetura do SCATS

O SCATS usa controladores que coletam o número de espaços e tempo total desses espaços do tempo de verde.

Logo abaixo segue o esquema de funcionamento do SCATS. Um detalhe interessante é que o SCATS possibilita a interligação com outros sistemas, permitindo que o gerenciamento de trânsito de uma cidade possa aproveitar sistemas já implantados anteriormente.

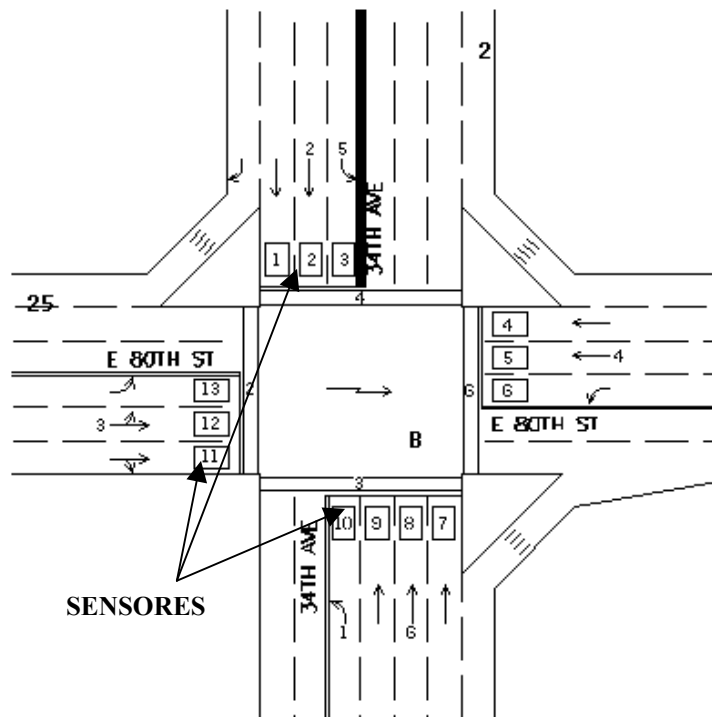


Figura 4 - Sensores do SCATS

Os sensores de presença ou de vídeo (como os usados em Oakland) são colocados próximos à linha de parada.

O funcionamento básico do SCATS é acompanhar as “brechas” existentes no sinal verde para identificar em quais pontos existem folgas a serem cedidas para áreas com trânsito mais intenso. O controle é feito a nível de semáforo e enviado à Central de Controle.

2.3.3 SCOOT - Split Cycle Offset Optimization Technique

O sistema SCOOT- *Split, Cycle and Offset Optimization Technique* (SCOOT, 2002) foi desenvolvido pelo TRL de Londres (antigo TRRL). No programa SCOOT as informações de fluxo são recolhidas continuamente pelos detectores e processadas, alterando o plano vigente (verde e defasagem) e dando parâmetros para decisão sobre a mudança do ciclo, para atender o fluxo variável do tráfego. Para iniciar, o SCOOT necessita de alguns planos pré-programados de tempos fixos chamados de plano de início, onde a partir destes começa a ser feita a otimização dos tempos semafóricos.

O SCOOT tem apresentado excelentes resultados na redução dos atrasos no tráfego na comparação com os sistemas a tempos fixos. É um sistema utilizado em diversas cidades, tais como: Toronto, Canadá; San Diego, Califórnia; Arlington, Virginia; Londres, Reino Unido; Bangkok, Tailândia; Singapura.

Diferentemente do SCATS, os sensores do SCOOT são posicionados longe do ponto de parada, o mais perto possível do início do quarteirão anterior.

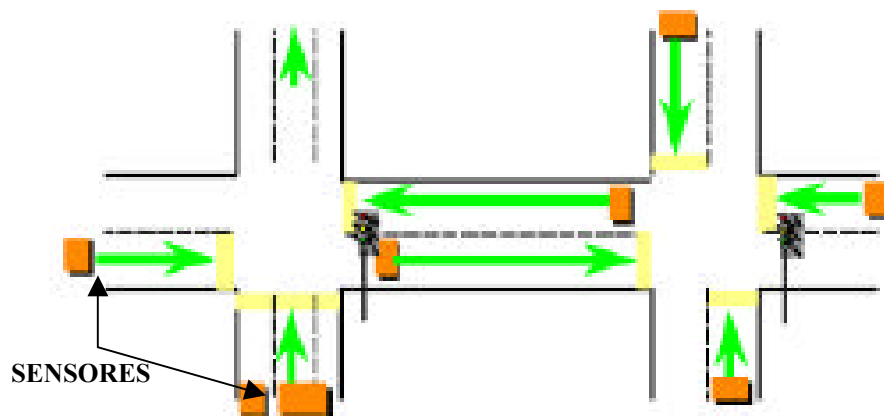


Figura 5 - Sensores no SCOOT

O que torna o SCOOT mais interessante é que ao invés de acompanhar o funcionamento do trânsito quando da passagem de veículos pelos semáforos, que é onde ficam localizados os sensores no SCATS, por exemplo, o SCOOT utiliza sensores colocados

em pontos estratégicos bem antes do cruzamento, o que possibilita inclusive a mudança do plano semafórico para os veículos que ainda estão chegando, tornando a interatividade maior ainda.

No modelo anterior, apesar do plano ser dinâmico, as alterações efetuadas não são aplicadas aos veículos que as dispararam, pois eles já terão passado pelos semáforos. Na realidade, é feito um estudo do comportamento dos semáforos e os planos são então alterados para os próximos veículos.

Entretanto, como poderá ser visto na implementação do nosso estudo, a proposta apresentada usa alguns conceitos utilizados pelos sistemas existentes, mas tem como principal característica a análise do impacto que uma mudança em um semáforo pode causar nos demais subseqüentes.

2.3.4 TRYS E TRYSA

São dois sistemas baseados em agentes que funcionam na rodovia de Barcelona e possuem características significantes: Ambas são aplicações baseadas no conhecimento para o gerenciamento de tráfego urbano em tempo real. Entretanto, ambos os sistemas são bastante diferentes na maneira como coordenam os agentes:

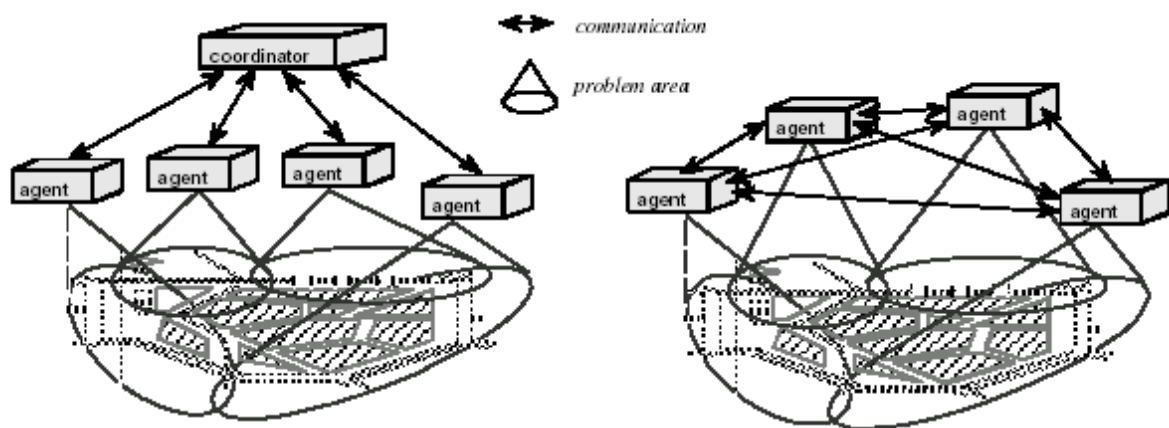


Figura 6 - Arquitetura do TRYS e TRYSA

Após terem sido definidas as áreas problemáticas, dezoito agentes de área foram propostos para o TRYS (HERNÁNDEZ et al., 2001), cada um responsável pelo

gerenciamento de tráfego na sua própria área. Foi criando ainda um agente coordenador, cujo objetivo é integrar os demais agentes e evitar colapsos provenientes de mudanças em uma determinada área.

Já no TRYSA2, o problema das áreas é controlado por agentes de tráfego autônomos que se coordenam lateralmente, eliminando a necessidade do agente coordenador.

A idéia do agente coordenador utilizado pelo TRYS foi implementada com o objetivo de evitar problemas provenientes da mudança de planos aleatoriamente, tendo-se o cuidado de verificar o impacto dessas mudanças, situação parecida com a que apresentamos no nosso trabalho.

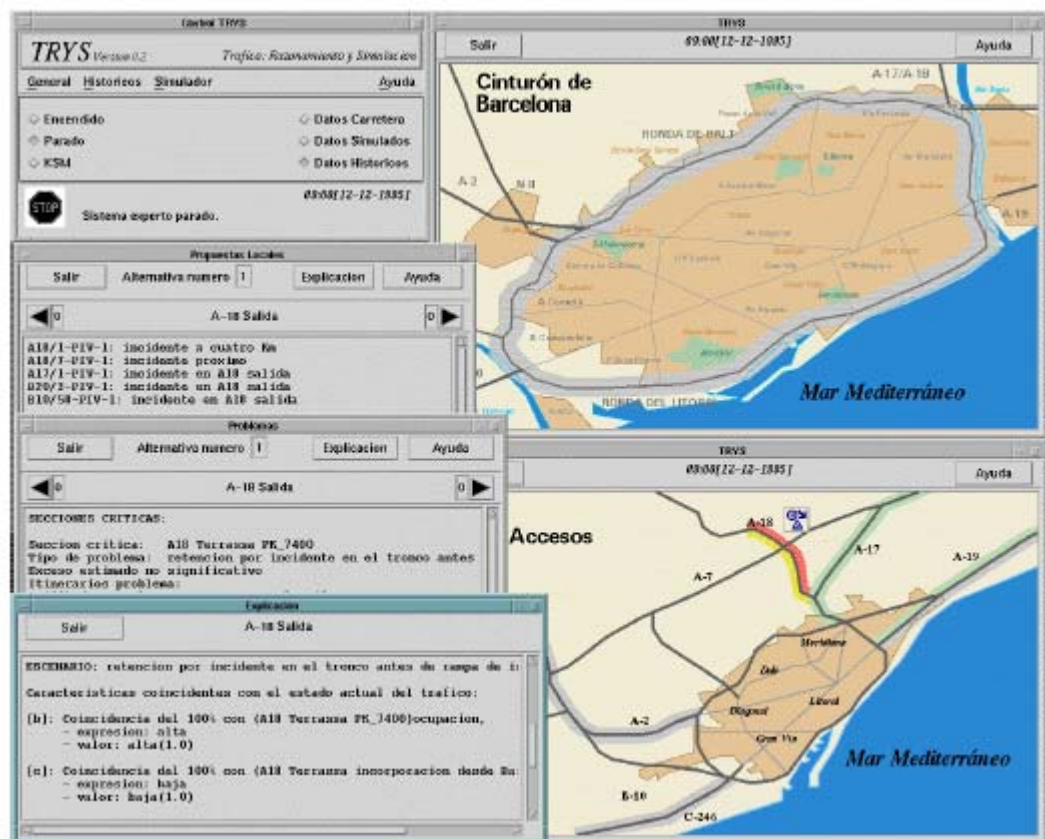


Figura 7 - Sistema TRYS para Barcelona

2.3.5 CTA

O Sistema da Central de Tráfego em Área - CTA (CUCCI, 2001) veio para substituir o um sistema que não atendia mais. O seu funcionamento básico é idêntico ao anterior, porém tem um item a mais, que faz uma grande diferença: o tempo real. “Tempo real” é a expressão que foi consagrada para sistemas que modificam os tempos semafóricos conforme varia o fluxo, automaticamente.

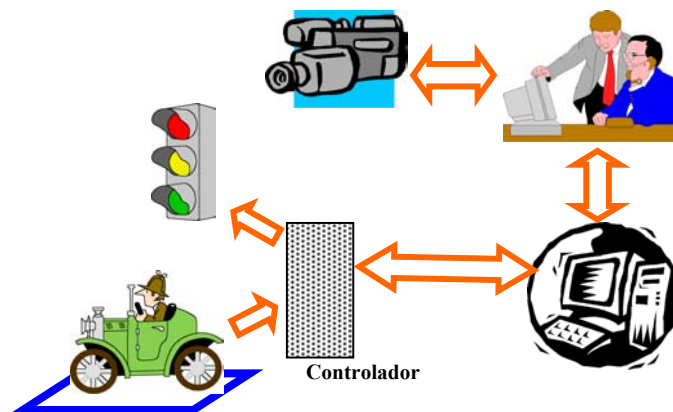


Figura 8 - Funcionamento do CTA

O CTA é um sistema muito utilizado no Brasil. Em uma etapa inicial, são colocadas câmeras nos pontos estratégicos da cidade. Através da Central, essas câmeras são monitoradas constantemente pelos operadores (pessoas). Como os semáforos são todos interligados à Central, é possível ao operador, tendo verificado um problema de trânsito, efetuar imediatamente a alteração dos planos semafóricos, com o objetivo de evitar maiores problemas.

O uso de sensores, muitas das vezes, tem o objetivo tão somente de identificar os condutores que ultrapassarem o semáforo fechado, disparando o equipamento fotográfico que registrará a infração.

Durante a etapa de pesquisa, foram efetuadas visitas técnicas a Central de Trânsito (órgão ligado à Sementur¹) da cidade de São Luis. Lá pudemos constatar o funcionamento *in loco* desses equipamentos.

Atualmente, em São Luis, muitos semáforos já estão interligados à essa Central, enquanto que o restante ainda possui planos semaforicos fixos (necessária a presença do técnico no semáforo para efetuar a alteração dos mesmos).

Apesar do baixo custo de implantação (não é necessária ligação com a Central) e do próprio equipamento ser muito mais barato, os semáforos com planos fixos geram uma demanda de pessoal muito grande, além de impossibilitar o seu controle à distância.

Ainda considerando o nosso principal ambiente de estudo, convém ressaltar que no controle de trânsito da cidade de São Luis não são utilizados controles automáticos de semáforos, o que faz com que o gerenciamento seja baseado no conhecimento humano.

A implementação desse sistema proposto pode ser vista como uma ajuda ao gerenciamento, no que diz respeito às simulações de alterações de planos semaforicos, como descritas adiante.

¹ SEMTUR – Secretaria Municipal de Transportes Urbanos

2.3.6 OPAC

O OPAC (GARTNER, 2001)-(OPAC, 1997) é um sistema em tempo real de controle de semáforos distribuídos, que funciona adaptando continuamente o tempo do sinal, para minimizar o tempo de espera em um cruzamento. O OPAC pode funcionar como um controlador independente ou como parte de um sistema coordenado. Segue abaixo o modelo conceitual do mesmo.

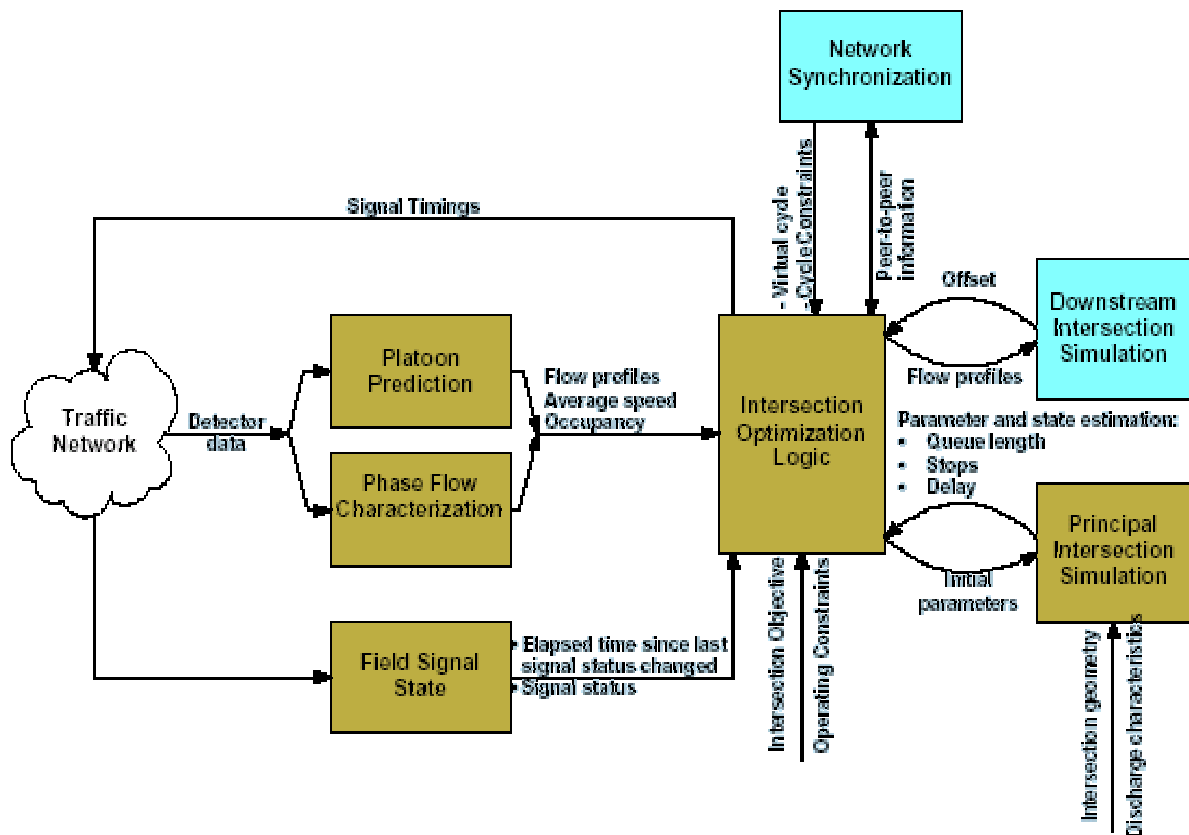


Figura 9 - Modelo conceitual do OPAC

O OPAC é uma outra implementação de Sistemas de Gerenciamento de Trânsito existente. Seu funcionamento também é baseado na busca em se identificar as possíveis mudanças para melhorar o trânsito e simular as mesmas para testá-las.

Por não ter características muito marcantes, o OPAC foi apresentado apenas como mais uma opção a ser utilizada.

2.3.7 UTOPIA

O Utopia (UTOPIA, 2003) É um sistema de controle de semáforo adaptável que determina e identifica estratégias de administração para o gerenciamento de tráfego urbano.

Os componentes principais do sistema são:

O Sistema de controle de tráfego central, baseado em uma rede de computadores, determina a melhor estratégia para a área e gerencia a interação com os operadores. Pode ser equipado com equipamentos auxiliares para facilitar a visualização do sistema;

Controladores locais baseados em unidades multifuncionais (MFO) incorporando o programa SPOT. As MFO acompanham o tráfego em tempo real, troca informações com os controladores adjacentes e o controle central, calculando a estratégia utilizada no nível superior, o estado corrente do tráfego no cruzamento, e as estratégias adotadas pelos controladores de cruzamentos adjacentes, alterando os semáforos.

Além disso, executam funções de autodiagnóstico do próprio equipamento e despacham funções para outras estações conectadas.

Em mais um sistema, pode-se notar a existência de controladores centrais. Por questões estatísticas, de simulação em um nível macro e também para facilitar a manutenção, muitos sistemas lançam mão do recurso da centralização.

2.3.8 Conclusão

Diversos são os sistemas espalhados ao redor do mundo e também no Brasil. O que pretendemos abordar no nosso trabalho é algo que pode inclusive ser implementado em outros sistemas já existentes. O módulo de simulação é uma solução “caseira” para um problema que aflige principalmente as cidades pequenas.

Nossa abordagem descrita nesse trabalho é principalmente sobre o conceito de influência, que pode ser entendido como o impacto causado ao trânsito como um todo por conta de uma simples mudança de um plano semafórico.

Não esmiuçamos completamente o funcionamento dos sistemas que já existem, pois nossa proposta não é modificá-los e sim desenvolver algo em código aberto e que possa ser livremente modificado por outros pesquisadores. Daí uma leve abordagem, apenas demonstrando as principais características e o esquema de funcionamento de cada um.

2.4 Tráfego em tempo real

2.4.1 Principais Sistemas

Sistemas de navegação em tempo real estão sendo desenvolvidos a cada dia visando orientar os usuários sobre os melhores caminhos a tomar (GILROY, 2005)

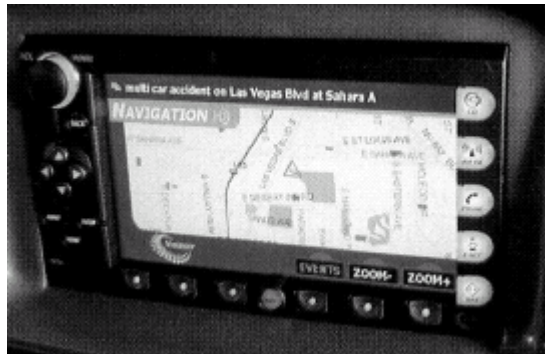


Figura 10 - Exemplo de painel com informações do trânsito

Existem nos Estados Unidos vários consórcios disputando esse mercado:

- *Clear Channel Communications*: Abrange em torno de 48 áreas, atingindo 130 milhões de pessoas;
- *XM NavTraffic System*: Abrange em torno de 20 áreas, atingindo 3.2 milhões de pessoas;
- *Sirius Traffic System*: Novo serviço, que deverá abranger 25 áreas em 2005;

A Audiovox, que trabalha com a *Clear Channel Communications*, desenvolveu um sistema para carros, onde o motorista recebe em um visor localizado no painel, informações atualizadas a cada poucos minutos. Nesse visor aparecem ícones representando acidentes, permitindo ao condutor obter mais informações.

A Pioneer anunciou em novembro de 2004 que entraria nesse mercado em parceria com a *XM NavTraffic* e que ainda no ano de 2005, lançaria sua unidade de navegação, inclusive embutida em equipamentos de DVD para veículos.

A empresa Alpine informou que apresentaria uma unidade de navegação provavelmente em junho deste ano, que possibilitaria usar tanto o *XM NavTraffic* quanto o Sirius.

As pesquisas nesse sentido apresentam soluções onde além das informações de trânsito, o condutor teria informações adicionais, tais como: preços dos combustíveis nos postos mais próximos, hotéis e restaurantes disponíveis na área, dentre outras.

2.4.2 Conclusão

Os sistemas de tráfego em tempo real, em alguns casos, apenas apresentam a situação do trânsito. O ideal é que eles possam analisar, com base no histórico e nas preferências do condutor, qual o melhor roteiro a ser seguido, de preferência sem o condutor ter que informar o seu roteiro a cada saída.

Mais uma vez, levantamos a bandeira da influência. Se determinada avenida está congestionada e os veículos recebem igualmente essa informação, quem nos garante que não teríamos um outro gargalo em outra avenida, para qual todos os veículos mudassem seu trajeto.

Um sistema extremamente complexo poderia efetuar um novo balanceamento do tráfego da cidade, redirecionando os veículos por diferentes rotas alternativas, ao invés de só informar onde está o problema. Dessa forma, teríamos uma solução inteligente para o congestionamento.

3 Sistema TMS

As principais questões levantadas quando da elaboração desse trabalho foram: Qual a maior contribuição científica? Aquela que utiliza tecnologia de ponta para resolver os problemas ou a que consegue propor soluções ousadas mas simples para serem utilizadas justamente em locais que não possuem estrutura avançada?

A maior contribuição, por exemplo, seria a de um desfibrilador elétrico de bolso ou um grande desfibrilador, que usasse tecnologia mais antiga mas que funcionasse com energia solar, atendendo dessa maneira aos moradores de localidades sem energia elétrica? Para o meio científico existe sempre uma tendência de dar um maior valor às inovações baseadas em novas tecnologias, mas cabe ao pesquisador ter sempre em mente a comunidade e a sociedade como um todo, procurando unir a contribuição científica à contribuição social.

Por isso partimos para o desafio de desenvolver uma solução simples, mas de grande valor para a grande maioria das cidades brasileiras, combinando os conceitos mais avançados de maneira ousada, devido ao intuito de buscar uma solução que possa ser utilizada pelos usuários mais comuns possíveis e com o mínimo de recursos.

Na determinação dos parâmetros do fluxo de tráfego veicular, um programa computacional denominado de SATUR (LUNA E LOUREIRO, 1997) foi desenvolvido em linguagem *Visual Basic*, para possibilitar a digitação dos dados de campo e sua posterior análise. Esse programa é utilizado pela CTAFOR (Central de Gerenciamento de tráfego urbano de Fortaleza). Serve para demonstrar que soluções simples, em linguagens bastante acessíveis podem ser utilizadas com ótimos resultados. O módulo de simulação aqui proposto deverá ser desenvolvido em uma linguagem do mesmo nível de complexidade, considerando a dificuldade local em obtermos profissionais em linguagens mais complexas.

No decorrer deste trabalho serão feitas análises observatórias sobre o uso de determinados equipamentos de gerenciamento de trânsito, que apesar do objetivo de melhorar o fluxo, acaba por trazer graves problemas, principalmente acidentes.

A etapa inicial desse trabalho foi o levantamento de dados. As entrevistas, pesquisas, discussões via internet e discussão com o orientador, serviram para que fosse traçado o esqueleto do sistema. Dessa etapa surgiu o Modelo Conceitual do sistema:

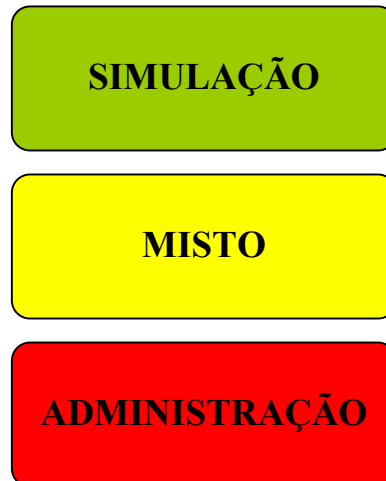


Figura 11 - Visão das funções do TMS

O TMS possui basicamente 3 modos de funcionamento: SIMULAÇÃO, MISTO e ADMINISTRAÇÃO. Detalharemos então cada um desses modos.

3.1 Modo Simulação

Na categoria Simulação, os agentes móveis não interferem no funcionamento do sistema. Quando acionado, o TMS funcionará com os dados obtidos no levantamento inicial (realizado pelos funcionários dos órgãos de gerenciamento de trânsito) e apresentará um funcionamento virtual do trânsito da cidade, apresentando os gargalos, planos semaforicos muito “apertados” ou muito “folgados”, dentre outras coisas.

Cabe aos agentes de trânsito (pessoas) analisarem as diversas situações e tomar as medidas que acharem mais coerentes para que possam visualizar os resultados. Muitas vezes uma alteração em um plano semaforico em um cruzamento vai gerar um problema em cascata que só será detectado muitos semaforos adiante, o que atualmente é quase impossível de se descobrir.

Na simulação podem ser inseridos diversos eventos para que possam ser analisadas as suas interferências no trânsito como um todo, como por exemplo um feriado nacional, chuvas muito fortes, passeatas, etc.

A função simulação pode ser usada em qualquer realidade: tanto nas cidades pequenas onde todo o processo é manual até nas cidades mais evoluídas. Entretanto, em cidades cujo controle semaforico já é todo automatizado, torna-se dispensável essa função, visto que nesse caso cabe melhor a função Administração. Já nas cidades mais atrasadas (semaforos sem controle centralizado), a simulação é praticamente a única função do TMS que poderá ser utilizada.

Na função simulação o usuário deverá alimentar uma base mínima de dados para que possam ser feitas simulações para acompanhar mudanças no tráfego. Os principais dados a serem alimentados no sistema seguem abaixo:

3.1.1 Ponto de Observação – PO

É o elemento-chave da função simulação. É através dos pontos de observação que vão ser feitos todos os controles e análises do sistema. Para que o trânsito possa ser totalmente mapeado e analisado, hoje em dia os órgãos gerenciadores de trânsito efetuam levantamentos em locais específicos a fim de fazer uma coleta de dados com o objetivo de traçar os planos semafóricos e tomar decisões inerentes ao funcionamento de cruzamentos, por exemplo.

Para um sistema de gerenciamento de trânsito, torna-se necessário efetuar um mapeamento de todas as vias envolvidas, selecionando no decorrer de todas elas pontos específicos de verificações e acompanhamento. Esses pontos, em uma situação mais arcaica deverão ter os dados colhidos manualmente e informados ao sistema, e, em cidades que já contam com sensores, poderão ter os dados emitidos automaticamente ao sistema, tornando o funcionamento mais eficaz.

O ponto de observação pode ser automático (sensores) ou manual: Faixas de pedestres, semáforos e barreiras eletrônicas. Os automáticos são os principais tipos de pontos de observação, pela sua relevância para o sistema. Um ponto de observação manual só pode ser utilizado nas funções que não envolvem agentes, pois consiste em um levantamento manual de dados para um posterior lançamento no sistema – para uso da função de simulação, por exemplo.

Após a coleta de dados de um PO, muitas informações poderão ser constatadas, dentre elas:

- Quantidade de carros que estão passando na via em um determinado instante de tempo;
- Velocidade média da via;
- Existência de congestionamento: Quando o sinal estiver verde e tivermos um veículo parado sobre o sensor ou quando os carros estiverem passando muito devagar pelo mesmo. A inexistência de tráfego também poderá sinalizar para um congestionamento, mas deve receber um tratamento diferenciado, dependendo do horário.

3.1.2 Via

“Superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central”. (CTB, 1997)

Em todo e qualquer sistema as ruas, avenidas e demais vias precisam ser cadastradas, pois são os principais objetos de estudo. Dessa forma, além de servir como um gerenciador de trânsito, o TMS possibilita um total controle das vias da cidade, auxiliando outros órgãos relacionados.

Para efeito de controle, é necessário cadastrar somente as vias de maior movimento que precisam ser monitoradas. Não obrigatoriamente somente as que possuem semáforos, pois mesmo vias livres de semáforos podem ter o trânsito analisado, inclusive para o estudo de viabilidade e da necessidade de colocação de tais equipamentos.

Cada via terá vários pontos de observação, inclusive um inicial e um final, que servirão para determinar os limites da mesma. Ao longo da via deverão ser informados todos os PO's existentes.

O cadastro da via, quando bem feito, poderá ser de grande valia para diversos órgãos: Correios, Secretaria de Urbanismo, Departamento de Trânsito, dentre outros, poderão utilizar conjuntamente esse cadastro para que se tenha uma base de dados constantemente atualizada e bastante utilizada.

Em uma etapa posterior, quanto maior o número de sensores espalhados pelas vias, maior a possibilidade de controle e acompanhamento das mesmas.

3.1.3 Faixa

“Qualquer uma das áreas longitudinais em que a pista pode ser subdividida, sinalizada ou não por marcas viárias longitudinais, que tenham uma largura suficiente para permitir a circulação de veículos automotores.” (CTB, 1997)

Para que se possa ter um acompanhamento completo do funcionamento do trânsito, a passagem de veículos nas vias precisa ser acompanhada por faixa, que se caracteriza por um corte paralelo à via, por existirem características peculiaridades em cada uma delas. Informações importantes sobre a velocidade média de cada faixa e tipo de veículos que mais trafegam na mesma são extremamente úteis para o funcionamento do TMS. Tais levantamentos devem ser feitos pela companhia de trânsito.

Em se tratando de velocidade, o Sistema leva ainda em consideração as regras do CTB, onde são definidas as velocidades máximas e mínimas. Ressalta-se então mais uma funcionalidade do TMS: A possibilidade de se trabalhar com dados reais ou dados “legais” (de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro). Sabe-se que muitas das vezes a velocidade máxima permitida em algumas vias são completamente ignoradas pelos motoristas. Entretanto, através do TMS será possível efetuar-se simulações de fluxo de veículos de modo a determinar os planos semafóricos buscando-se gerar a “onda verde” e ao mesmo tempo induzir os motoristas a trafegar dentro dos limites de velocidade para que possa aproveitar o benefício da “onda”.

No que diz respeito ao controle das vias, um fato interessante que mereceu um cuidado especial é a questão da mudança de faixa. Uma variação muito grande poderia causar “confusão” no sistema, visto que ele procura identificar a intenção dos condutores dos veículos. Essa mudança pode gerar uma situação em que uma faixa que recebe um grande número de veículos em determinado momento possa estar sem trânsito. E a partir daí algumas hipóteses podem ser levantadas, tais como: a existência de um acidente nessa faixa, a existência de buracos na mesma. Pode-se chegar ao extremo de, através de análises mais aprofundadas, verificar-se que determinada faixa não tem utilização, devido ao nível de trânsito da via. Essa última análise seria essencial quando da necessidade de alargamento das avenidas.

3.1.4 Trecho

Além de controlar cada uma das faixas de uma via, o TMS mantém também o controle de trechos da mesma, que pode ser visto como um corte perpendicular, compreendido entre 2 pontos de observação. O conceito de trecho é importante quando das simulações, pois existem trechos com situações bem distintas (ex: residenciais, comerciais, com estacionamento proibido, com entrada/ saída de veículos). Uma via nada mais é que um conjunto de trechos.

Para efeito de análise de tráfego, é efetuada inicialmente uma análise de cada trecho, para que só então seja efetuada uma análise da via como um todo.

Vários sistemas estudados levam em consideração os diversos trechos espalhados pelas vias. Isto se deve ao fato de que, quanto mais detalhado for o controle das vias, mais controle do trânsito pode-se ter.

3.1.5 Rota

O TMS utiliza também o conceito de rota expressa, que tem preferência, cujo objetivo é um melhor escoamento do tráfego nas cidades. O cuidado do TMS é não deixar que essas rotas sejam interrompidas.

Essas rotas também são chamadas de vias coletoras, em razão da sua funcionalidade de coletar os veículos das vias arteriais.

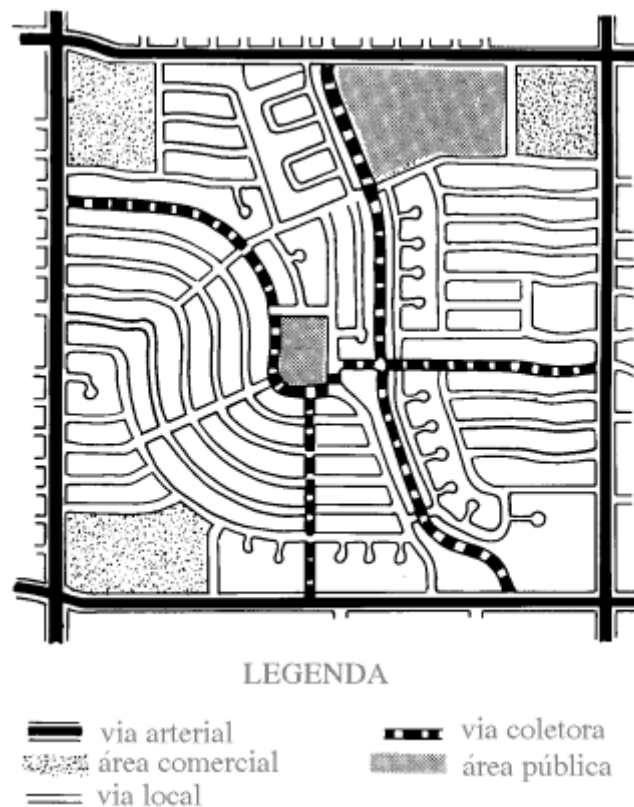


Figura 12 - Representação de um sistema viário hierarquizado em área urbana

As rotas são implementadas nas etapas finais do sistema, após todos os outros controles já estarem funcionando, pois esse tipo de informação é complementar, não sendo necessária na etapa inicial.

3.1.6 Plano Semafórico

Para o funcionamento dos semáforos, é necessário o Plano Semafórico que rege o funcionamento dos mesmos. O TMS analisa esses planos com o intuito de sugerir mudanças, principalmente quando da ocorrência de imprevistos, tais como acidentes, passeatas, engarrafamentos, etc.

Esse item por si só já é extremamente complexo. Sendo assim, e considerando que nosso objetivo no momento está focado mais adiante – a interação no modo administração, não entraremos nos devidos detalhes.

Faixa de validade do plano de tráfego	Tempo de ciclo (s)	VD (estágio 1)	VD (estágio 2)
Das 05:00 às 06:30 hs	60	33	17
Das 06:30 às 09:00 hs	85	53	22
Das 09:00 às 11:00 hs	60	33	17
Das 11:00 às 14:30 hs	70	40	20
Das 14:30 às 16:00 hs	65	33	22
Das 16:00 às 16:45 hs	90	56	24
Das 16:45 às 19:30 hs	105	70	25
Das 19:30 às 20:00 hs	90	51	29
Das 20:00 às 21:00 hs	60	33	17
Das 21:00 às 00:00 hs	55	30	15

Figura 13 - Exemplo de Plano Semafórico

Na figura acima vemos um exemplo de plano semafórico, onde para cada horário, temos o tempo de ciclo e o estágio de verde (VD). O estágio 1 é ligado e o estágio 2 é desligado.

3.1.7 Intenção

De todos os fatores envolvidos no trânsito, o mais complicado e de maior interesse por parte desse trabalho é a previsibilidade. Poder identificar as possíveis rotas mais utilizadas de acordo com o horário, as vias que mais tem engarrafamentos e outras informações do tipo é o sonho de todo controlador de tráfego.

Infelizmente, o que se tem feito de mais eficaz é o armazenamento do maior número de dados possíveis visando a determinação estatística e probabilística da ocorrência dos fatores citados. Para tanto, uma informação importante é a intenção, que consiste em se ter um levantamento visual da frequência de conversões realizadas pelos motoristas em determinado ponto de observação.

Ainda não existem maneiras automáticas de se colher tais dados. Para que se tenha uma visão bem detalhada do funcionamento do sistema com um todo, é extremamente importante a alimentação desse tipo de dado.

3.1.8 Carga-Descarga

Como já citado anteriormente, cada trecho (pedaço de uma via compreendido entre 2 pontos de observação) tem características próprias que são importantes para a análise do tráfego como um todo. Algumas dessas informações são os tipos de trecho (comercial, residencial, etc) e o índice de carga-descarga, que consiste em monitoramento visual para identificar se o trecho possui muitas entradas e saídas além das ruas.

Um exemplo de um trecho saturado pode ser o de escolas, onde a quantidade de carros que param – na maioria das vezes atrapalhando o trânsito – para que os alunos desçam ou subam nos veículos é muito grande.

3.1.9 Horários

Ainda relacionado ao plano semafórico, outro item importante para as companhias de gerenciamento de tráfego é a determinação das faixas de horários a serem analisadas. Normalmente são usadas de 4 a 8 faixas de horários. Apesar de serem muito similares, essas faixas podem variar de acordo com a região.

Uma área próxima a um aeroporto, por exemplo, precisa de um tratamento especial, pois não pode ter os seus semáforos parados nem no período da madrugada, devido ao seu volume de tráfego permanente.

Esses horários servem de base para a geração dos Planos Semafóricos (ver

Figura 13 - Exemplo de Plano Semafórico)

3.1.10 Cruzamentos

Por fim, mas não por ser o menos importante, temos a figura dos cruzamentos. Esse é o elemento mais preocupante em qualquer gerenciamento de trânsito, pois é a maior causa de acidentes.

Os cruzamentos são o maior objeto de estudo desse trabalho, visto que as interações entre agentes que serão vistas mais adiantes serão todas baseadas no funcionamento desse elemento. Na etapa de simulação, os cruzamentos são cadastrados e com base em todas as outras informações já citadas, terão o seu funcionamento analisado e simulado, com o objetivo de se verificar se os planos, horários e demais dados informados estão de acordo ou precisam ser ajustados.

3.1.11 Modelo

A elaboração do modelo do banco de dados a ser utilizado no modo Simulador leva em conta as informações citadas acima. O modelo foi desenvolvido da forma mais simples possível, para que não acarrete nenhum problema de implantação.

O funcionamento do simulador depende do correto preenchimento das tabelas descritas anteriormente (itens 3.1.1 a 3.1.10), que como já foi dito anteriormente, pode ser feito manualmente, e em uma etapa posterior pode ser alimentado através da coleta de dados feita pelos sensores.

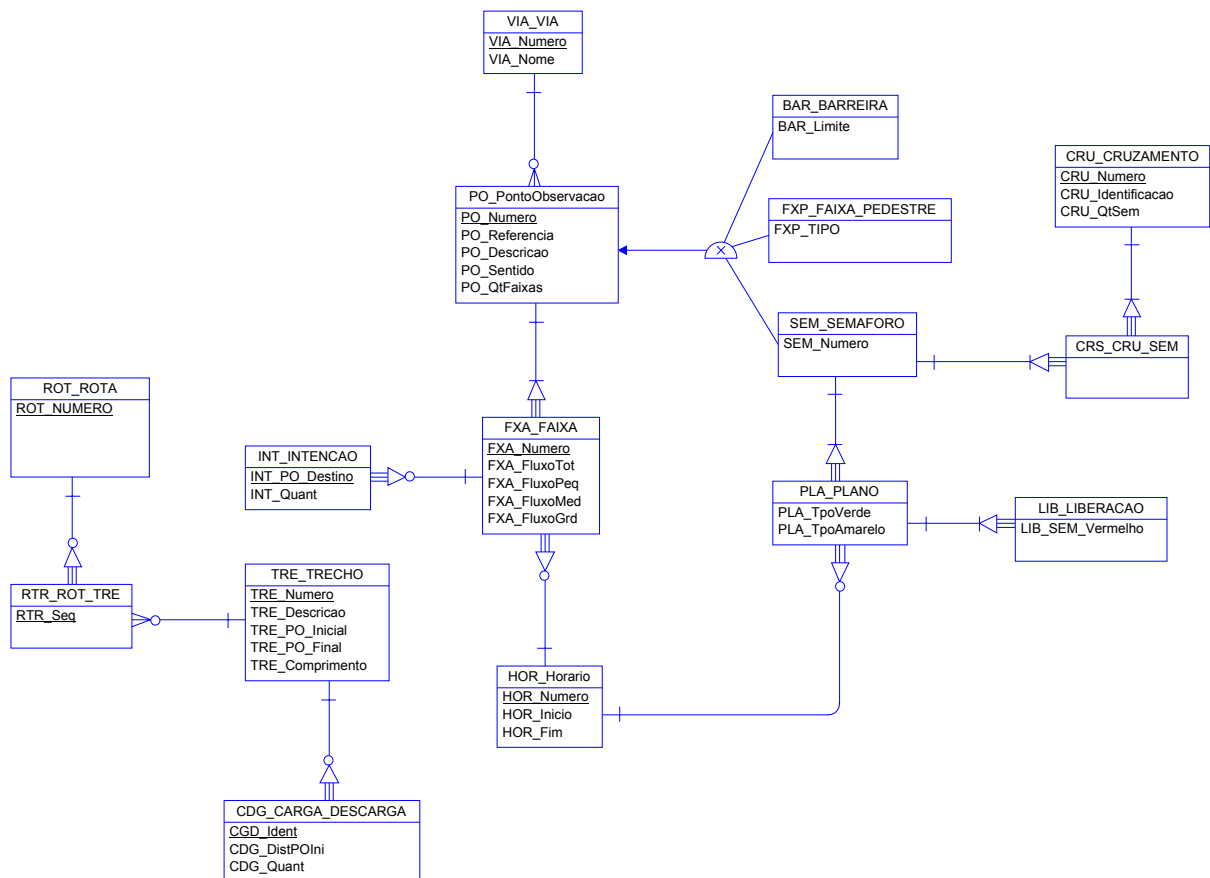


Figura 14 - Modelo do Banco de Dados

3.2 Modo Misto

O funcionamento no modo Misto é utilizado na grande maioria das cidades, onde os semáforos não são 100% interligados. Nesse modo, o TMS utiliza as informações iniciais para entrar em funcionamento, mas passa a receber dados atualizados dos sensores localizados nos pontos de observação espalhados pelas cidades.

Com base nessas informações o TMS permitirá aos agentes de trânsito analisar as reais mudanças no trânsito e verificar as melhores opções de ajustes, seja através de conhecimento adquirido ou até mesmo na forma de análise exaustiva de todas as opções.

Todas essas sugestões serão enviadas aos agentes de trânsito para que possam então ser tomadas as decisões e implementadas na prática. Além disso, o TMS guardará em um banco de dados os problemas ocorridos e as soluções adotadas, dotando o sistema de informações preciosas que hoje estão em poder dos funcionários mais experientes.

Como esse modo pode ser visto como uma união dos outros modos, não detalharemos nenhum dos procedimentos nessa seção.

3.3 Modo Administração

Esse modo só pode funcionar em cidades onde os semáforos são todos gerenciáveis, interligados ao sistema principal.

O TMS receberá informações dos diversos agentes localizados nos pontos de observação e analisará as mudanças que deverão ser feitas para melhorar o funcionamento do sistema. A interferência não ocorrerá somente quando houver um imprevisto. Através da análise on-line dos dados, o TMS conseguirá prever gargalos e engarrafamentos, podendo agir antes que os mesmos aconteçam.

O grande desafio do TMS é efetuar as negociações com os agentes espalhados pelos semáforos para que as mudanças possam ocorrer sem problemas. Além dos Agentes de Sensor, deverão existir outros agentes na estrutura do sistema, tais como: Agente de Análise (que ficará responsável pelo gerenciamento de determinada área), Agente de Cruzamento (que ficará responsável pelo monitoramento dos semáforos evitando abertura simultânea de 2 semáforos perpendiculares, por exemplo).

Todo o funcionamento do modo de administração será detalhado no capítulo a seguir.

4 Implantação e Funcionamento do TMS

4.1 Breve Histórico do Gerenciamento do Trânsito

Os semáforos modernos foram desenvolvidos a partir de equipamentos manuais de operação de tráfego utilizados em Londres no ano de 1868. Em 1913, James Hoge inventou o primeiro semáforo elétrico como hoje é conhecido (aplicado em Cleveland em 1914). Esta invenção aparece como sendo a origem do semáforo a três cores, o qual se propagou nos Estados Unidos no começo da década de 20. Semáforos interligados começaram a ser utilizados na cidade de Salt Lake City em 1917. Um sistema progressivo foi proposto em 1922. Os primeiros semáforos atuados foram instalados em New Haven, East Norwalk e Baltimore em 1928 (HOMBURGUER et al., 1992).

A evolução dos equipamentos de controle semafórico permitiu maior flexibilidade da filosofia de controle, gerando a possibilidade de desenvolver estratégias mais sofisticadas, que buscaram maior eficiência na administração do tráfego (de forma geral, através da maior sensibilidade às variações das condições de operação).

O controle atuado pelo tráfego veicular é aquele no qual o tempo de verde de uma aproximação é influenciado pela detecção imediata de veículos, onde cada aproximação está sujeita aos tempos mínimo e máximo de verde e alguns estágios podem ser ignorados, se não houver demanda em seu detector (HCM, 1997). A atuação pode ser total (em todas as correntes de tráfego) ou parcial (como na semi-atuação, em que apenas as correntes secundárias são atuadas).

Das estratégias de resposta às condições de tráfego, deve ser diferenciado o controle dos semáforos por atuação do controle adaptativo como lógica descentralizada alternativa. O controle adaptativo é aquele no qual um esquema de horizonte móvel é utilizado para prever as condições de tráfego existentes (normalmente projetadas 15 minutos adiante) e calcular o plano semafórico. Em contrapartida, no controle atuado total, essas intensidades dos fluxos de tráfego são absorvidas pelas variações dos períodos de verde em cada instante, de acordo com os eventos detectados (BONETTI, 2001).

Portanto, a lógica da atuação tradicional permite a eliminação da folga na programação semafórica necessária para acomodar flutuações nas condições de tráfego em vista da possibilidade de ajustar os tempos de verde a cada ciclo, através da alocação de um tempo de verde igual ao necessário para escoar as filas (condição de máxima produtividade), dentro de uma faixa de mínimo e máximo verde definida.

A importância do estudo dos semáforos atuados reside principalmente em:

- a) ritmo de mudanças das condições de tráfego observado no Brasil;
- b) existência de núcleos urbanos afastados, que favorecem seu uso.

No entanto, a prática efetivamente observada pode ser resumida em:

- c) sua pouca utilização no Brasil;
- d) os controladores semafóricos no Brasil são pouco desenvolvidos;
- e) descrédito deste tipo de controle entre os técnicos brasileiros.

4.1.1 Evolução da tecnologia semafórica e uso da atuação no Brasil

Como visão preliminar, podem-se identificar duas linhas diferentes de evolução na informatização ou automação do controle semafórico. Por um lado, pode-se destacar a concepção e implantação de sistemas de controle computadorizado centralizados (que pode ser relacionada com a tradição inglesa, em particular), que são aqueles nos quais o computador comanda diretamente a programação dos semáforos, informando a cada instante qual a situação luminosa que deve acontecer (ZSASZ, 1997). De outro, pode-se destacar também a sofisticação das ferramentas de automação dos semáforos com base em informação imediata e local, que corresponde ao controle atuado pelo tráfego (que pode ser relacionada com a tradição norte-americana), em que se medindo o fluxo através de detectores, é possível melhorar o desempenho e manter a programação ótima, acompanhando a flutuação aleatória e microscópica do tráfego, ciclo a ciclo (ZSASZ, 1997).

A evolução do controle semafórico no Brasil desenvolveu-se na década de 70 por linhas definidas pelas experiências de outros países e foi liderada pelas iniciativas tomadas pela CET/SP -Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo.

No primeiro passo, quando aqui ainda imperavam os equipamentos eletromecânicos, ocorreu a introdução de controladores multiplanos, de tempo fixo (de origem norte-americana, em 1976). O segundo passo incluiu a implantação da centralização de equipamentos com programações a tempos fixos (com o projeto SEMCO em São Paulo, em 1980), utilizando controladores eletrônicos importados. A iniciativa de desenvolver e testar um controlador atuado nacional (realizado em conjunto pela CET/SP e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT) foi um esforço paralelo que teve uma significação menor (BONETTI, 2001).

Ressalta-se que no Brasil, mesmo fora de São Paulo, não se tem notícia de nenhuma outra cidade que utilizasse controle semafórico centralizado até meados dos anos 80 (quando foi implantado em Curitiba). Apesar disso, também não se teve o controle atuado (nem o centralizado) nas demais grandes cidades brasileiras.

Nos Estados Unidos, grande parte dos corredores de tráfego opera combinando coordenação *offline* com semi-atuação local. No entanto, os controladores utilizam lógicas mais complexas orientadas para otimizar a inclusão ou exclusão de estágios de conversão à esquerda, do que a lógica tradicional disponível nos controladores nacionais. Dessa forma, o controle pode não apresentar uma seqüência fixa de estágios dependendo da existência de demanda nas conversões.

A forma usual de atuação utiliza os controladores com anéis duais (HCM, 1997), que usam atuação em duas seqüências alternativas paralelas.

Outra forma de controle atuado é chamada de controle Volume-Densidade (HCM, 1997). Neste tipo de atuação, a lógica é baseada na contagem do número de chegadas durante o período de vermelho para determinar o verde inicial variável e na redução progressiva no Intervalo de Corte durante o tempo de verde estendido (KELL et al., 1982).

Na Austrália, antes da evolução representada pelos sistemas centralizados em tempo real (especialmente o SCATS), desenvolveram-se os controladores semafóricos para o

controle atuado, relacionados com a busca de parametrizações para melhor atender as variações dos fluxos de tráfego. O controle do tipo americano Volume-Densidade também é utilizado e ainda há uma terceira técnica de atuação, a chamada de Mudança por Desperdício (*waste change*). Neste tipo de controle, a lógica de interrupção de verde considera o acúmulo do excesso dos intervalos entre os veículos em relação ao valor básico de saturação, ou seja, ao intervalo médio no movimento normal da fila (AKCELIK, 1995).

4.1.2 Lógica da atuação tradicional

As variações da demanda em uma aproximação são significativas e apresentam um caráter aleatório (Mc SHANE e ROESS, 1990). O semáforo a tempos fixos não apresenta características para atender essa variação aleatória. O que norteia o semáforo atuado pelo tráfego é primordialmente esse atendimento.

Na atuação total, o conceito que embasa a operação é aquele em que as demandas que competem em uma interseção são igualmente importantes, e que não há nenhum padrão de chegada estruturado em qualquer uma das aproximações orientando a priorização de um movimento (McSHANE e ROESS, 1990). A semi-atuação, por sua vez, norteia-se no conceito de interromper o menos possível uma via principal, dependendo da demanda na via secundária ou de pedestres, gerando melhores condições operacionais na via de maior fluxo, principalmente em relação ao atraso. Em relação à ausência de controle semaforico, o fluxo veicular na via secundária, ou na travessia de pedestres, ganha maior segurança, pois não tem que se sujeitar, na entrada ou travessia, à existência de brecha na via principal.

Normalmente fala-se em intervalo de corte, mas programa-se nos controladores brechas de corte, ou seja, intervalos que são medidos após o final da detecção e que, portanto, não contém o tempo que o veículo atua o detector (que no caso de um detector de presença é a ocupação do detector, e no caso do detector de passagem é o pulso de detecção).

É interessante ressaltar que após a ausência de detecção que acarreta a interrupção do período de verde sem que se atinja o verde máximo, sempre será completada uma unidade extensão (acrescida ao período de verde decorrido até o momento da última detecção).

Nos controladores normalmente os valores da Unidade de Extensão e o do Intervalo de Corte são os mesmos. Entretanto, conceitualmente, essas variáveis são distintas. À Unidade de Extensão cabe permitir que o último veículo detectado possa passar pela interseção com segurança e isso depende fundamentalmente da posição do detector em relação à linha de retenção e das dimensões da interseção. O intervalo de corte deve indicar o término da dissipação da fila com escoamento com fluxo de saturação, tendo relação com a extensão do detector no caso de controladores que medem brecha (*gap*) ao invés de intervalos de corte. Muitas vezes, alguns controladores, indicam a diferença de unidade de extensão e intervalo de corte em um parâmetro chamado de retardo de verde, ou seja, um período de verde adicional acrescentado ao intervalo de corte, no caso de se encerrar o período de verde para garantir a segurança do último veículo detectado.

No controle semi-atuado, o verde da via principal varia a partir de um Verde Mínimo calculado tal qual o dimensionamento a tempos fixos. Na via secundária a parametrização é feita seguindo os critérios da atuação, ou seja, verde entre inicial e máximo. Dessa forma, a atuação ocorre somente na via secundária. O direito de passagem permanece à via principal até que haja demanda na via secundária. Quando há demanda na via secundária, depois da via principal receber o direito de passagem durante o período de verde mínimo, o direito de passagem passa à via secundária (iniciando o processo descrito para uma aproximação atuada). Quando não há demanda na via secundária, o verde da via principal é estendido indefinidamente, no caso de uma interseção isolada.

A semi-atuação pode ser usada quando a interseção faz parte de um sistema coordenado. Neste caso, o tempo de ciclo é conhecido (fixo) e, portanto, os arranjos de tempo dependem desse ciclo.

Os processos de parametrização dos tempos de verde são os mesmos para a primeira utilização, mas existem recursos para assegurar as defasagens na coordenação da via principal, podendo não ocorrer o verde na secundária se isso for necessário (isto é, se não couber o verde mínimo da secundária) ou então ocorrer o término antecipado do verde da secundária (mesmo com atuação e antes do seu verde máximo) para garantir o início de um novo tempo de ciclo.

4.1.3 Critérios usuais para uso de semáforos atuados pelo tráfego

Segundo HOMBURGER (et al., 1992), as vantagens e desvantagens da utilização de semáforos de tempos atuados em relação aos de tempos fixos podem ser resumidas em:

Vantagens:

- a) normalmente reduz o atraso (se com parâmetros ajustados);
- b) adapta-se às flutuações do fluxo de tráfego;
- c) normalmente aumenta a capacidade (pelo contínuo acréscimo de verde);
- d) pode continuar operando em condições de baixos fluxos, enquanto o semáforo a tempos fixos deve operar em amarelo intermitente;
- e) especialmente efetivo em interseções de múltiplos estágios;

Desvantagens:

- a) O custo de instalação é maior que o semáforo a tempos fixos;
- b) Os detectores têm um custo de instalação significativo e requerem manutenção específica.

Como se podem observar, as desvantagens que o semáforo atuado apresenta, de uma forma geral, são de ordem financeira e de manutenção, e não dizem respeito a sua eficácia em relação ao controle de tráfego em si. Admite-se, no entanto, que seu uso sempre melhora o desempenho operacional (o que deve ser comparado com o custo adicional). As vantagens e desvantagens apresentadas não levam em consideração o tipo de equipamento existente,.

A semi-atuação é tradicionalmente utilizada em duas circunstâncias. A primeira aquela em que se deve controlar uma interseção de via principal com fluxo significativo (tipo vias arteriais ou coletoras) e via secundária de baixo fluxo (via local) ou travessia de pedestres.

Em BONETTI (2001, pp.57-108), é feita uma revisão mais extensa destas recomendações.

4.1.4 Conclusão

A apresentação desse histórico da evolução dos elementos de gerenciamento de trânsito serviu para nortear nosso trabalho, apesar de que nessa etapa inicial ainda não entramos em detalhes sobre o funcionamento interno do sistema TMS.

4.2 Criação do ambiente da cidade

Nesse trabalho utilizamos a linguagem ATLAS (BORHO et al., 2003) para representar os principais objetos. ATLAS é uma linguagem de especificação usada para descrever seções de uma cidade. Além de usar os principais elementos da ATLAS introduzimos alguns elementos que servirão para apresentar nossas contribuições ao gerenciamento de trânsito.

4.2.1 Segmentos

Estes são os principais elementos da ATLAS. Eles descrevem o layout geral das ruas. Os segmentos podem ser uma só faixa ou uma rua com muitas faixas; Os segmentos não podem cruzar outro segmento. Nesse caso, é necessário colocar um cruzamento entre os mesmos.

Segue abaixo o formato padrão de um segmento ATLAS:

id = p1, p2, faixas, forma, direção, velocidade, atraso, TipoEstacionamento, etc

id: alfanumérico, é quem identifica o segmento;

p1: ponto de observação, indica o início do segmento;

p2: ponto de observação, indica o final do segmento;

Faixas:inteiro, quantidade de faixas do segmento;

Forma: [curva|reta], define o tipo do segmento;

Direção: [ida|Volta], Define o sentido do carro na faixa;

Velocidade: inteiro, define a velocidade máxima permitida nas faixas;

Atraso: inteiro, define o atraso dos carros por faixas;

TipoEstacionamento: [SemEstacionamento| EstEsquerda| EsqDireita| EstDuplo], define as faixas de estacionamento dos segmentos;

4.2.2 Cruzamentos

Ficam localizados entre dois ou mais segmentos. Segue abaixo o formato em ATLAS:

id = p, velocidade, TemSemáforo

Onde,

id: alfanumérico, identificador do cruzamento;

p: define a localização do cruzamento;

velocidade: inteiro, define a velocidade máxima do carro no cruzamento;

temSemáforo: [Sim|Não], indica se o cruzamento tem semáforo;

4.2.3 Elementos de Controle (Pontos de Observação)

Todas as seções possuem sentenças delimitadoras de início e fim. Na de elementos de controle as sentenças que ficarão delimitadas seguem a seguinte estrutura:

in t : Tipo, Distância, Atraso, TemSensor*

onde,

t: alfanumérico, identificação do segmento onde o controle está localizado;

Tipo: [FaixaPedestre|Barreira|etc], define o tipo de controle;

Distância: inteiro, define a distância que o controle está localizado a partir do início do segmento;

Atraso: inteiro, indica o atraso dos carros gerado pelo elemento de controle;

TemSensor:[Sim| Não], indica se o elemento tem sensor de passagem; *Essa informação foi acrescentada à estrutura original;

4.2.4 Influência

Essa informação adicional tem como objetivo identificar o nível de influência de um semáforo nos 3 próximos semáforos, de acordo com a intenção de conversão dos motoristas em determinado trecho:

Veja a seguir um exemplo de área urbana com cruzamentos:

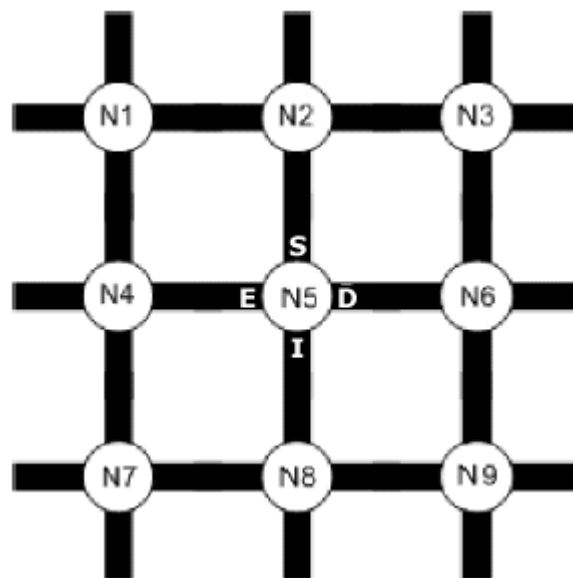


Figura 15 - Exemplo de um área urbana

Na etapa de levantamento de dados e cadastramento de toda a estrutura de equipamentos envolvidos no gerenciamento do trânsito, conforme já dito anteriormente, são identificadas as influências que cada semáforo sofre dos anteriores e quais outros semáforos ele influencia. Esse levantamento é de extrema importância quando do início do funcionamento do sistema, pois permite que seja feita a análise recursiva das possibilidades de alterações de um determinado plano semafórico.

Tomando com exemplo a Figura 15, podemos verificar que o semáforo N5-Inferior sofre influências dos semáforos direito, inferior e esquerdo do N8. Da mesma forma, esse semáforo influencia o semáforo esquerdo do N6, o semáforo direito do N4 e o semáforo inferior do N2. Considerando a análise de intenção de conversão dos veículos de cada faixa e via, podemos atribuir valores percentuais e numéricos para cada um dos semáforos e de que forma (em termos de valores) ele influencia os demais.

Essa é a primeira análise: a influencia direta. Além disso o mesmo semáforo N5-inferior afeta indiretamente o semáforo N1-Direito, N1-Inferior, N3-Esquerdo, e N3-Inferior, em escalas menores.

Para de restrição do universo de trabalho e pesquisa, consideraremos somente a influencia direta e a maior delas nesse momento. Entretanto, consideraremos a influencia em cascata. Um exemplo pode ser o semáforo N8-Inferior que afeta diretamente o N5-Inferior de maneira cascadeada afeta o N2-Inferior.

Considerando um veículo que tenha saído do cruzamento N8 para o N5, existem 3 possibilidades para o mesmo: virar à esquerda, ir direto ou virar à direita. Sendo assim, representaremos a sentença na linguagem ATLAS conforme descrito abaixo:

in t : tDestino, percentual

onde,

t: alfanumérico, identificação do segmento origem da influencia;

tDestino : alfanumérico, indica o trecho destino da influencia;

Percentual: inteiro, indica a quantidade de veículos (em percentagem);

Veremos a seguir uma pequena mostra da estrutura de um arquivo ATLAS:

```

begin Segmentos
  T1 = (6,3) , (13,3), 4, reta, idaVolta, 40, 100, EstDireita
  T2 = (9,6) , (13,6), 2, reta, Volta, 30, 200, SemEstacionamento
  T3 = (9,6) , (9,9), 2, reta, idaVolta, 40, 100, EstDireita
  T9 = (1,14) , (6,14), 6, reta, idaVolta, 60, 100, EstAmbos
end Segmentos

begin Cruzamentos
  C1 = (6,3), 30, Sim
  C2 = (1,9), 20, Não
end Cruzamentos

begin Elemento
  in T1 : Faixa, 4, 200, Sim
  in T9 : Barreira, 3, 500, Sim
end Elemento

begin influencia
  in T1: t12, 100
  in T12 : T13, 20
  in T12 : T6,30
  in T12 : T7,50
end influencia

```

Figura 16 - Exemplo de um arquivo ATLAS

No exemplo da Figura 16, pegando o primeiro segmento (segunda linha), podemos identificar a seguinte estrutura: O segmento T1 inicia no ponto (6,3) e vai até o ponto (13,3), possui 4 faixas, é em linha reta, é de duas mãos, possui velocidade máxima de 40km/h, os carros tem um atraso médio de 100s e possui estacionamento à direita.

O próprio desenvolvedor, informa que a linguagem ATLAS, apesar de bastante eficaz, torna o trabalho de bastante tedioso, principalmente quando da necessidade de alterações no layout, seja para adicionar novos elementos ou mudá-los de lugar.

Para solucionar esse problema, e sem ter que recorrer a uma ferramenta GIS complexa, foi criada a ferramenta MAPS (PITTNER, 2003) - desenvolvida no *framework* JhotDraw, que gera automaticamente o código em ATLAS. Dessa maneira torna-se fácil colocar e retirar elementos do ambiente de controle.

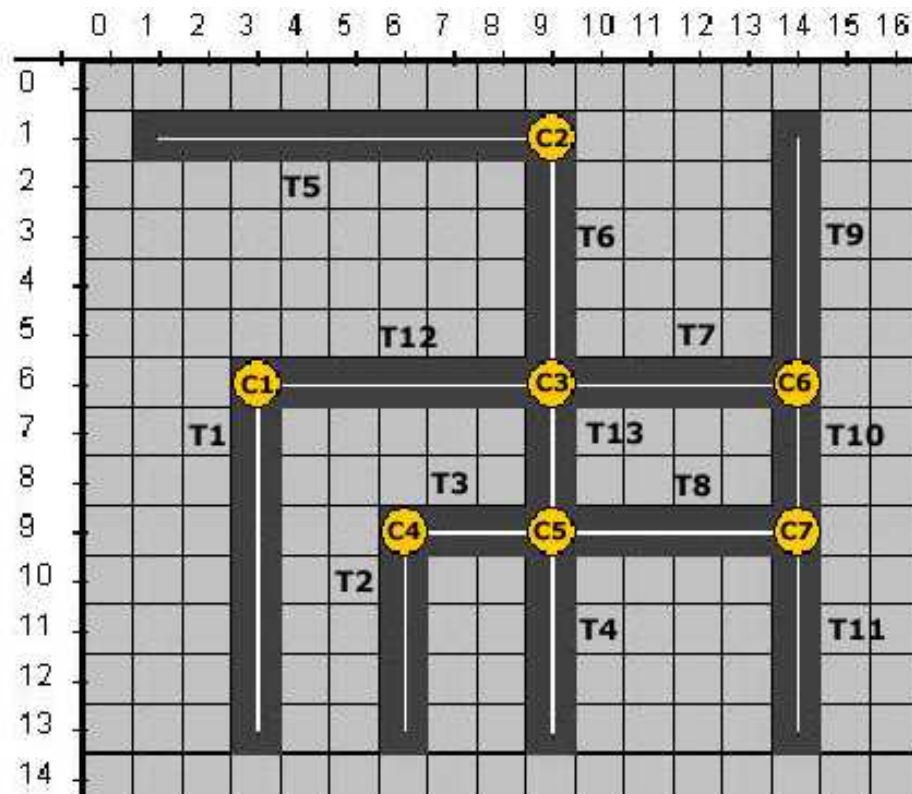


Figura 17 - Exemplo de um modelo feito em MAPS

Parte desse modelo apresentado acima está representado na página anterior (Figura 16 - Exemplo de um arquivo ATLAS).

As principais vantagens de se usar a ferramentas MAPS são:

- Interface intuitiva e fácil de usar;
- Criação de cruzamentos de maneira simples.
- Permite inserir e retirar elementos com facilidade;
- Permite gerar os arquivos ATLAS;

Os modelos descritos na linguagem ATLAS serão utilizados tanto no modo de Simulação quanto no modo Administração, para evitar que sejam criados modelos distintos, o que poderia gerar problemas de inconsistência.

4.3 Agentes do TMS

Dentre os sistemas analisados e descritos no capítulo referente ao estado da arte, sempre verificamos nas especificações as considerações referentes aos cruzamentos e em relação às vias expressas, também chamadas de rotas expressas ou vias coletoras (CTB, 2000). Os sistemas procuram, da melhor maneira possível, fazer com que em cada cruzamento, os carros fiquem parados o menor tempo possível. Essa é uma abordagem interessante, mas o que precisamos levar em consideração e o que propomos nesse capítulo é um ambiente de interação onde os agentes façam também as simulações necessárias para garantir que a mudança do funcionamento de um semáforo não acarrete problemas em outros pontos da cidade. Daí a nossa constante preocupação e interesse nos itens *Intenção* (tentar acertar qual a intenção de conversão dos motoristas) e *Influência* (procurar determinar percentualmente de que forma um semáforo sofre influência de outros semáforos, mesmo os que não estão diretamente ligados àquele).

Diante dessas colocações apresentamos um cenário onde as decisões são tomadas em um nível acima, a partir de solicitações dos Agentes de Cruzamentos, mas em conformidade com os demais agentes da área.

Para efeito de demonstrações e análises consideraremos nesse trabalho sempre os cruzamentos com 4 semáforos, onde apenas 1 deles assume o verde por vez, ou seja, eles funcionam de maneira exclusiva, não existindo a possibilidade de 2 fluxos de veículos ao mesmo tempo. Entretanto, em trabalhos futuros pretendemos apresentar a visão completa, abrangendo a maior quantidade de situações possíveis.

O cenário básico para funcionamento do TMS, no modo administração, segue abaixo:

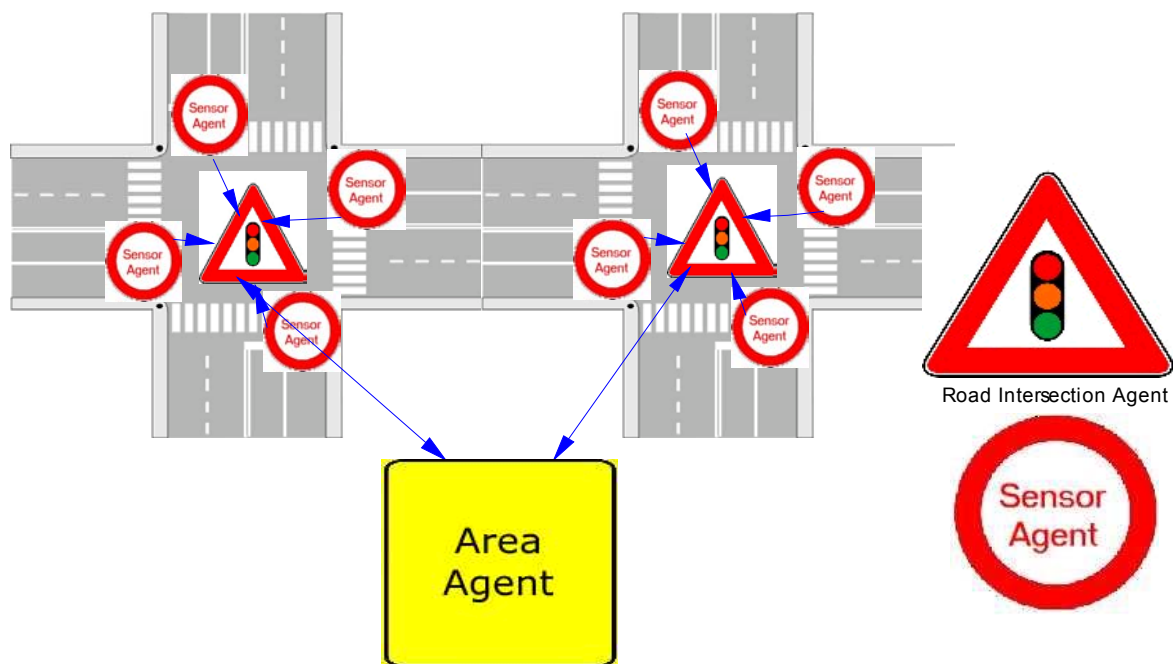


Figura 18 - Arquitetura Básica do TMS

Os Agentes de Sensores (*Sensor Agent*) são os agentes localizados nos diversos sensores espalhados pela cidade (sinais, faixas de pedestres, barreiras eletrônicas, etc) que ficam constantemente sendo ativados pelos veículos passantes. Os Agentes de Sensores de semáforos informam ao Agente de Cruzamento (*Road Intersection Agent*) o seu status atualizado (ver Tabela 2 - Estados dos Semáforos). Os demais Agentes de Sensores informam a maior quantidade de dados possíveis aos Agentes de Área (*Area Agent*), para que possam manter a base de dados permanentemente atualizada.

Os Agentes de Cruzamento são agentes que ficam localizados nas interseções que tiverem semáforos. De posse das informações enviadas pelo Agentes Sensores, eles efetuam uma verificação para determinar se naquele ponto está havendo algum problema (Folga ou Gargalo).

Considerando o fluxo de veículos que passam em um sensor localizado no semáforo podem ocorrer algumas situações básicas:

ST - Sem trânsito	Quando durante todo o tempo de verde não passa nenhum veículo;
TF- Trânsito com folga	Quando o trânsito de veículos ocorre somente no início do verde (até 25%), caracterizando que tem poucos carros vindo por essa via;
TN - Trânsito normal	Quando o trânsito de veículos passa dos 25% do tempo de verde e encerra antes do tempo de verde acabar.
GG – Gargalo	Quando o trânsito de veículos chegar até a ultrapassar o tempo do verde, atingindo o tempo do amarelo

Tabela 2 - Estados dos Semáforos

O Agente de Cruzamento tem ainda como função efetuar as alterações necessárias após as devidas negociações, garantindo a segurança do cruzamento. Eles recebem as mensagens do Agente de Área para que os planos semafóricos sejam alterados. Todo o processo de mudança de um plano semafórico é iniciado em uma solicitação de um Agente de Cruzamento.

Nesse ponto começam as diferenças propostas nesse trabalho. Mesmo que um Agente de Cruzamento identifique que existe um gargalo em um semáforo e que no semáforo perpendicular existe uma folga, ele apenas registra essas informações para que o Agente de Área possa verificar o impacto dessa mudança.

Os Agentes de Área recebem pedidos do Agente de Cruzamento. Detectado um problema, cabe ao Agente de Área avaliar o impacto de uma mudança em um semáforo. Caso a mudança possa vir a dar problema em um semáforo adiante ou mesmo em um semáforo anterior, o Agente de Área inicia então o processo que trataremos com maior riqueza de detalhes: a Interação entre os agentes.

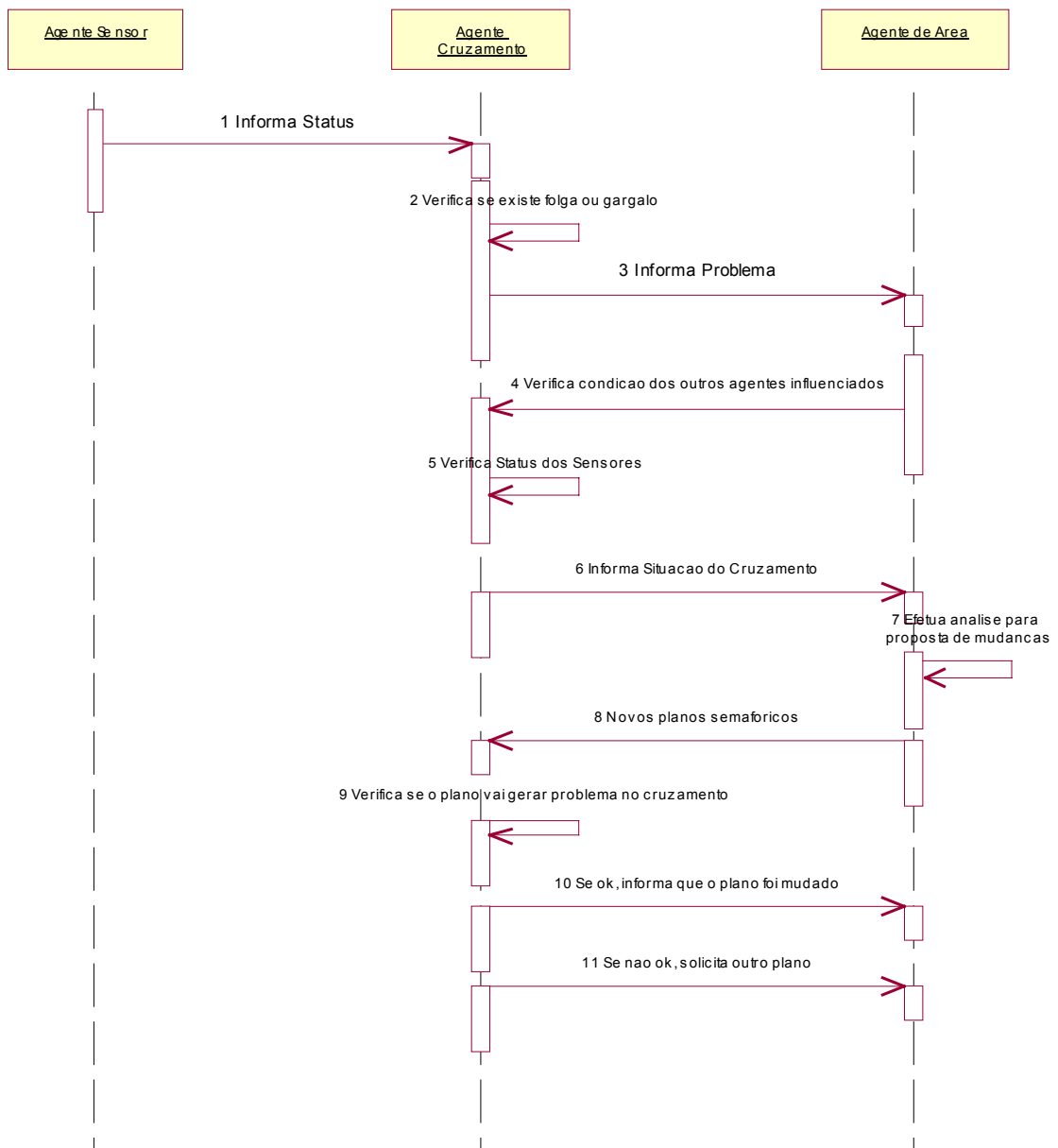


Figura 19 - Interação entre os agentes

Para que se tenha uma idéia do funcionamento dos agentes, descrevemos abaixo o passo a passo referente ao diagrama da Figura 19:

4.3.1 Informa Status

Os Agentes de Sensores localizados em semáforos ficam constantemente alimentando o Agente de Área com o seu status, conforme Tabela 2.

4.3.2 Verifica se existe folga ou gargalo

Cada agente de área monitora o status dos 4 semáforos envolvidos no cruzamento, o que dará uma visão como a seguir:

Semáforo 1	ST - Sem trânsito
Semáforo 2	TF- Trânsito com folga
Semáforo 3	TN - Trânsito normal
Semáforo 4	GG – Gargalo

Tabela 3 - Visão do Agente de Área

Diante das possíveis situações de cada semáforo, poderão ocorrer diversas possibilidades:

Situação	Ação do Agente de Cruzamento
Semáforos na situação ST	Não faz nada
Semáforos na situação TF	Não faz nada
Semáforos na situação TN	Não faz nada
Pelo menos um semáforo com GG	Dispara pedido ao Agente de Área
2 ou 3 semáforos com GG	Dispara pedido ao Agente de Área
4 semáforos com GG	Dispara pedido urgente ao Agente de Área

Tabela 4 - Exemplos de ações do Agente de Cruzamento

4.3.3 Informa Problema

Caso o Agente de Cruzamento identifique um problema, envia mensagem ao Agente de Área para que seja iniciado o processo de análise.

4.3.4 Verifica condição dos outros agentes influenciados

Nesse ponto, o Agente de Área solicita aos outros Agentes de Cruzamento para que informem a sua situação, para que então a análise possa ser feita com os dados atualizados.

Essa solicitação será feita a todos os Agentes de Cruzamento que fizerem parte da mesma área.

4.3.5 Verifica Status dos Sensores

Os Agentes de Cruzamento, por sua vez, verificam o último status informado pelos Agentes de Sensores, para que possam enviar a situação de cada um deles para o Agente de Análise.

4.3.6 Informa Situação do Cruzamento

Os Agentes de Cruzamento então enviam ao Agente de Área mensagens informando a situação atual dos semáforos.

4.3.7 Efetua análise para proposta de mudanças

Essa é a etapa mais importante de todo o processo. Como nosso objetivo é apresentar a interação dos agentes e esse assunto será objeto de estudo de outro pesquisador envolvido no projeto, não detalharemos o funcionamento do mesmo. Mas convém informar que para a realização dessa análise deverão ser consideradas todas as constantes e variáveis envolvidas no gerenciamento de trânsito, tais como: programação dos tempos de verde; amarelo e vermelho, fórmulas de aceleração e frenagem; cálculo de velocidade média, dentre outros.

4.3.8 Novos planos semafóricos

Terminada a análise, o Agente de Área enviará os novos planos semafóricos propostos aos Agentes de Cruzamento, que verificarão se os planos podem ser utilizados sem problemas, diante de mudanças ocorridas no intervalo de tempo da análise.

4.3.9 Verifica se o plano vai gerar problema no cruzamento

Cabe ainda ao Agente de Cruzamento garantir a segurança, rejeitando planos que porventura liberem semáforos de maneira não-coordenada.

4.3.10 Informa que o plano foi mudado

Caso o Agente de Cruzamento verifique que tudo está ok, ele efetuará as mudanças sugeridas no plano semafórico do cruzamento e informará ao Agente de Área que o plano já está implementado.

4.3.11 Solicita outro plano

Se um dos Agentes de Cruzamento identificar a impossibilidade de implementar o plano proposto, deverá informar ao Agente de Área, para que seja iniciada uma nova análise e então sugeridos novos planos.

Ocorrendo isso, todo o processo volta para o item 4.3.4

4.4 Plataforma dos Agentes

Logo na etapa inicial de organização e definição dos agentes, visando manter a maior compatibilidade e legibilidade possível, optou-se por usar a plataforma JADE (2004), por algumas razões:

- Totalmente desenvolvida em Java, o que garante uma flexibilidade muito grande;
- Obedece às especificações da FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*);
- Toda comunicação entre agentes é feita por transmissão de mensagens, o que no caso de um sistema complexo como o proposto é fundamental;
- Não há necessidade de implementar a plataforma de agentes, o que facilita a utilização e possibilita um ganho de tempo;
- Já inclui a criação básica de agentes, a programação do comportamento dos mesmos;

A facilidade de uso e recursos disponíveis, além da larga utilização, são sempre fatores importantes para a escolha de soluções a serem utilizadas. A Figura 20 apresenta o modelo básico de agentes. Mais abaixo, na Figura 21, vemos a tela de gerenciamento dos agentes.

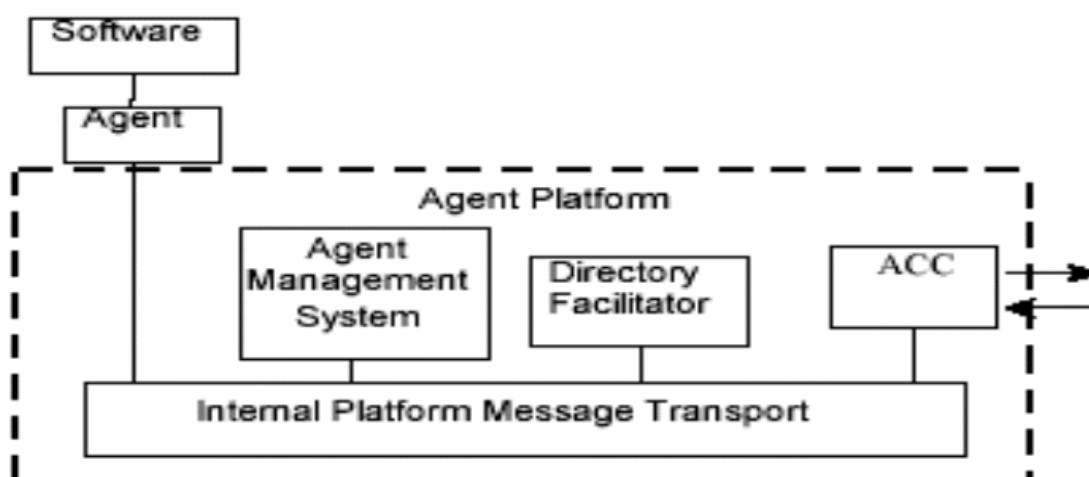


Figura 20 - Modelo FIPA de uma plataforma de agentes

Os agentes criados automaticamente são:

AMS – *Agent Management System* – Que é responsável pelo gerenciamento do sistema (Serviço de nomes);

DF – *Directory Facilitator* – Serviço de Páginas amarelas

RMA – *Remote Monitoring Agent* – Funciona como uma console gráfica para o gerenciamento e controle da plataforma, servindo ainda para controlar o ciclo de vida dos agentes

Os AMS e o DF fazem parte do modelo FIPA de agentes, sendo que o RMA é implementado para permitir utilização mais simples dos demais agentes.

Os três outros agentes vistos na figura são os agentes criados pelo TMS: RIA (*Road Intersection Agent*), AA (*Area Agent*) e AS (*Sensor Agent*).

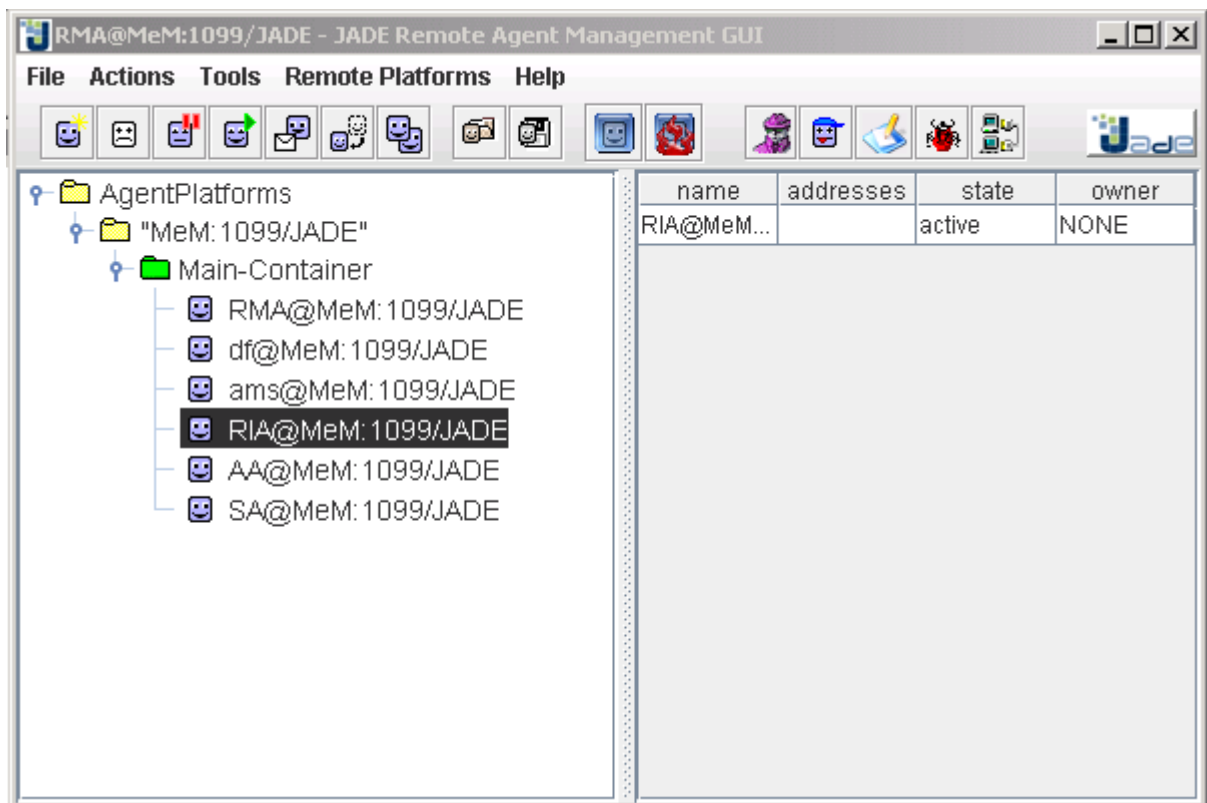


Figura 21 - Exemplo de agentes em JADE

ACL Message

ACLMessage | **Envelope**

Sender: SA@MeM:1099/JADE

Receivers:

Reply-to:

Communicative act:

Content:

```
((done
  (action
    (agent-identifier
      :name SA@MeM:1099/JADE
```

Language:

Encoding:

Ontology:

Protocol:

Conversation-id:

In-reply-to:

Reply-with:

Reply-by:

User Properties:

Figura 24 - Exemplo de uma mensagem no JADE

Todas as mensagens entre os agentes podem ser vistas na tela “ACL message”, como vista acima. Além da origem e destinos da mensagem, pode ser visto o conteúdo da mesma, a linguagem, a ontologia e diversas informações importantes.

5 Conclusão

Nesta dissertação, foi apresentado o projeto TMS de uma maneira genérica, com um detalhamento maior no funcionamento dos agentes, principalmente no que diz respeito ao controle de influências e problemas em cascata.

A proposta desse trabalho é criar a modelagem de um ambiente que possa ser terminado pelos demais pesquisadores, utilizando-se de todas as convenções e normalizações elaboradas.

A construção de qualquer um dos dois módulos principais, Simulação ou Administração, trará benefício direto tanto para as pesquisas relacionadas com sistemas multiagentes quanto para os órgãos gerenciadores de trânsito. O objetivo de qualquer pesquisador é ver seu trabalho implementado e servindo à comunidade, independentemente do reconhecimento pessoal ou retorno financeiro. Para tanto, procuramos apresentar de maneira clara e objetiva de que forma o sistema deverá funcionar e quais recursos e ferramentas deverão ser utilizadas para que esse objetivo seja alcançado.

Cidades pequenas e desprovidas de tecnologia não podem ficar esperando o barateamento de tecnologias de ponta para que possam ser resolvidos os seus problemas. Precisam de soluções simples e eficazes para que possam tirar algum proveito da sua estrutura existente. O modo de simulação, inicialmente projetado para funcionar em uma linguagem simples e em rede, pode ser também modelado para ser acessado via *web*, o que garante uma maior agilidade e flexibilidade por parte das instituições. Com essa visão, podemos ainda vislumbrar a possibilidade de troca de informações entre sistemas de diferentes cidades, possibilitando a troca de experiências principalmente através dos estudos de caso de sucesso.

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se a implementação de um modo de aprendizado, onde o sistema passe a captar o comportamento do condutor do veículo, de forma que possa identificar qual o trajeto será seguido cada vez que o veículo começar a andar e dessa forma sugerir o melhor caminho a ser seguido, considerando as condições climáticas e de trânsito da cidade. Como visto no estado da arte, esse aprendizado é crucial

para que um sistema de gerenciamento de trânsito possa efetuar um balanceamento do tráfego de veículos, evitando congestionamentos e acidentes.

A comunicação é a base desse sistema, onde a velocidade dessa comunicação é um item que deve ser tratado à parte. Os sistemas de comunicação existentes são nosso próximo objeto de estudo, para que possamos propor soluções para a implementação nesse ambiente.

Os Sistemas Gerenciadores de Trânsito fazem parte de uma família de softwares que, quando funcionam perfeitamente, ninguém dá valor ao seu desempenho. Entretanto, o mau funcionamento de qualquer um dos seus módulos pode gerar uma grande confusão em uma cidade. O desafio de todo desenvolvedor é criar uma plataforma segura, rápida e eficiente, onde possa garantir a funcionalidade do sistema como um todo. Em um sistema desse porte, convém ressaltar a necessidade de equipamentos de controle redundantes para cobrir possíveis falhas na central de controle.

Um desafio para a implementação do sistema proposto é a união das diversas tecnologias, envolvendo vários níveis de complexidade, conceitos diferentes e algumas vezes até mesmo conflitantes.

Por fim, apesar da elaboração dessa dissertação ser item obrigatório para a conclusão do mestrado e tendo escolhido um tema com pouca referência local e pouquíssimos pesquisadores, até mesmo a nível nacional, esse trabalho possibilitou e levou a um estudo mais aprofundado de várias áreas do conhecimento além de criar uma expectativa de se poder contribuir substancialmente para a melhoria do trânsito nas cidades.

Referências

- (AASHTO, 1990) AASHTO. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials.** EUA, 1990.
- (ADAMS, 2002) ADAMS, Ronald; BREWER, Terry. **Watch what's coming on tomorrow's roads.** Revista The Futurist. Jul/Ago 2002. Academic Research Library.
- (AKCELIK, 1995) AKCELIK, R. **Signal Timing Analysis for Vehicle-Actuated Control.** Australian Road Research Board Ltd – Project TE 074 – Report WD TE 95/007, Australia.
- (AQUINO, 2001) AQUINO, W.; AQUINO, N.B.; PEREIRA, W.F. **Considerações sobre o Uso de ITS.** Revista dos Transportes Públicos. ANTP, Ano 23, 2º trimestre.
- (ASTEF, 1998) **Estudos e Projetos para a Implantação do Sistema Centralizado de Controle do Tráfego de Fortaleza – CTAFOR.** Relatório Final. Associação Técnico-Científica Eng. Paulo de Frontin, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
- (ARRUDA, 1997) ARRUDA, J.B.F. e M.E.P. Moreira. **Escolha de Sub-Área para Implantação de Sistema de Controle Semafórico Centralizado por Computador: Uma Metodologia de Baixo Custo.** Revista TRANSPORTES, v.5, n.1.
- (BIGUS 1997) BIGUS, Joseph P.; BIGUS, Jennifer. **Constructing intelligent agents with Java: a programmer's guide to smarter applications.** New York: Wiley Computer Publishing, 1997.
- (BONETTI, 2001) BONETTI, W. J. **Utilização e Parametrização de Semáforos Atuados pelo Tráfego.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, Brasil
- (BOOCH et al, 1999) BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **The unified modeling language user guide.** Addison-Wesley: Longman, 1999.
- (BORHO et al, 2003) BORHO, Shanon.; PITTNER, Jam; **ATLAS – A Language for Modeling and Simulating Urban Traffic.** A report submitted in partial fulfillment of the requirements of the 94.498 Engineering Project. 2003.
- (BOTELHO et al., 1999) BOTELHO, Luis.; ABREU, Bruno.; CAVALLARO, Andrea.; **Video-Based Multi-Agent Traffic Surveillance System.** Modest Consortium. Proceedings of the 2000 intelligent vehicles conferente. Dearborn, USA. 2000.

- (CUCCI, 2001) CUCCI, João Neto; **O controle semafórico centralizado e a operação em campo**. Brasil. 2001.
- (DATTA, 2003) DATTA, Tapan, K. **Innovations in Traffic Signal Systems**., EUA, 2003.
- (DEITEL, 2001) DEITEL, H. M.; Deitel P. J. **Java: como programar**. Tradução Edson Furnankiewicz, 3. ed.Porto Alegre: Bookman, 2001.
- (DENATRAN, 1978) Departamento Nacional de Trânsito-DENATRAN. **Manual de Semáforos**. Ministério da Justiça, Brasil (elaborado pela Companhia de Engenharia de Tráfego da Prefeitura Municipal de São Paulo), 1998.
- (DENATRAN, 1984) DENATRAN. **Manual de Segurança de Trânsito**. Tomo I - Acidentologia.Departamento Nacional de Trânsito. Brasil, 1984.
- (DOT, 2003) U.S. Departament of Transportation. Intelligent transportation system, Washington, ago. 2003. Disponível em: < <http://www.its.dot.gov>>. Acesso em: 20-fev-2004.
- (EJZEMBERG, 1996) EJZEMBERG, Sergio. **Análise da circulação e fluxos de tráfego**. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 1996.
- (ESPEL, 2000) 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 et al, 1995) FININ, Tim; LABROU, Yannis; MAYFIELD, James, **KQML as an agent communication language**, invited chapter in Jeff Bradshaw (Ed.), "Software Agents", MIT Press, Cambridge, to appear, 1995.
- (GARTNER, 2001). GARTNER, Nathan H. **Optimized Policies for Adaptive Control (OPAC) – Principles of Operation**. Workshop on Adaptative Traffic Signal Control Systems. Washington D.C., Jan-2001.
- (GILROY, 2005) GILROY, Amy. **TWICE**. Academic Research Library. 2005
- (GROSS, 2000) GROSS, Neil R. **SCATS Adaptive Traffic System**. TRB Adaptive Traffic Control Workshop. EUA, 2000.
- (HERNÁNDEZ et al., 2001) HERNANDÉZ, Josefa D.; OSSOWSKI, Sascha; GARCIA-SERRANO, Ana. **On Multi-Agent Co-ordination Architectures: A Traffic Management Case Study**. Proceedings of the 34th Hawaii International Conference of Systems Science. Hawaii, 2001.

- (HOBBS, 1979) HOBBS, F. D. **Traffic Planning and Engineering**. Pergamon. Inglaterra, 1979.
- (HOMBURGER et al., 1992) HOMBURGER, W.S.; KELL, J.S.; PERKINS, D.D.-
Fundamentals of Traffic Engineering. 13th ed. Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, USA., 1992.
- (HOMBURGER, 1996) HOMBURGER, W. S.; HALL J. W.; LOUTZENHEISER, R .C.; REILY, W. R. **Fundamentals of Traffic Engineering**. Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley. 14a. edição. EUA, 1996.
- (HÜBNER , 1995) HÜBNER, Jomi Fred. **Migração de agentes em sistemas multiagentes abertos**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) UFRGS, Porto Alegre, 1995.
- (HÜBNER,2004), JOMI Fred. **SACI: Simple Agent Communication Infrastructure**, São Paulo, mar. 2001. Disponível em: <<http://www.lti.pcs.usp.br/saci>>. Acesso em: 10 NOV. 2004.
- (JADE, 2004) **Java Agent Development Framework**. Disponível em <<http://jade.cselt.it/>> Acesso em 14 de abril de 2004.
- (JENNINGS, 1998) JENNINGS, N.R.; WOOLDRIDGE, M. **Applications of intelligent agents**. 1998.
- (JENNINGS, 1998a) JENNINGS, Nicholas R.; WOOLDRIDGE, Michael J. **Agent technology: foundations, applications, and markets**. London: Springer-Verlag, 1998.
- (JENNINGS,2000) JENNINGS, N. R.; WOOLDRIDGE, M. **Agent-oriented software engineering**. In: Handbook of Agent Technology (ed. J. Bradshaw) AAAI/MIT Press. 2000.
- (KQML, 2003) **KQML**. Disponível em:<<http://www.csee.umbc.edu/kqml/kqmlspec/spec.html>>. Acesso em: 13-nov-02003.
- (LOPES, 1998) LOPES, Mauricio Antonio Ribeiro. **Código de trânsito brasileiro anotado**. São Paulo: Ed.Revista dos Tribunais, 1998.
- (LOUREIRO,1999) LOUREIRO, C.F.G.; OLIVEIRA, M.G.S. **GIS Database/Interface for Urban Traffic Management in Brazil**. CD-ROM Compendium of Technical Papers of the Institute of Transportation Engineers - ITE 69th Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, EUA.

- (LUNA E LOUREIRO,1997) LUNA M.S., LOUREIRO, C.F.G.; **SATUR-Sistema de Trânsito Urbano**. Anais do 8º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito – ANTP, Porto Alegre, RS.
- CD-ROM Compedium of Technical Papers of the Institute of Transportation Engineers - ITE 69th Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, EUA.
- (MEDEIROS,2001) MEDEIROS, F.C.; LUNA, M.S.; LOUREIRO, C.F.G. **Controle de Tráfego em Área de Fortaleza: Uma Nova Experiência na Gerência do Trânsito**. Anais do 13º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito – ANTP, Porto Alegre, RS.
- (McSHANE, 1990) MCSHANE, W.R; ROESS, R.P. **Traffic Engineering**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice – Hall, USA, 1990.
- (MCT, 2002) MCT-Ministério da Ciência e Tecnologia. **Transporte e trânsito**, Brasília, mar. 2000. Disponível em: <<http://www.cct.gov.br/gtsocinfo/atividades>>. Acesso em: 23-abr-2003.
- (MENESES, 2001) MENESES, Eudênia Xavier. **Agentes**. São Paulo, out. 2001. Disponível em:<<http://www.ime.usp.br/~eudenia/jaia>>. Acesso em: 05-nov-2002.
- (OLIVEIRA, 1997). OLIVEIRA, M.G.S. **Produção e Análise de Planos Semafóricos de Tempo Fixo usando Sistemas de Informações Geográficas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia de Transportes, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro-RJ, 1997.
- (OPAC, 1997). Farradyne Systems, Inc. **National Cooperative Highway Research Program**. Disponível em: <[http://www4.trb.org/trb/crp.nsf/All+Projects/NCHRP+3-38\(3\)\)](http://www4.trb.org/trb/crp.nsf/All+Projects/NCHRP+3-38(3)))>. Acesso em: 28-ago-2003.
- (PARUNAK, 2001) PARUNAK, H. Van Dyke; ODELL, James. **Representing Social Structures**. In: UML.Proc. of the Agent-Oriented Software Engineering Workshop, Agents 2001, Michael Wooldridge, Paolo Ciancarini, and Gerhard Weiss, (Held at the Agents 2001conference, Montreal, Canada), 2001.
- (PIGNATARO, 1973) PIGNATARO, L. J. **Traffic Engineering Theory and Practice**. Prentice-Hall. EUA, 1973.
- (RUSSEL et al., 1995) RUSSELL, S. J.; NORVING P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Prentice Hall, 1995.
- (STERN, 1969) STERN, Yvone et al. **Um estudo sobre tráfego: sincronização de sinais**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1969.

- (SCOOT, 2002) **SCOOT- Urban Traffic Control Website**. Disponível em: <<http://www.scoot-utc.com>>. Acesso em 19-fev-2003.
- (SYCARA,2003) SYCARA, Kátia P. **MultiAgent Systems**. American Association for Artificial intelligence.
- (UTOPIA, 2003) Disponível em <http://www.miz.it/traffic_control.htm>. Acesso em 15-jun-2004.
- (VILANOVA,1985) VILANOVA, Luis Molist. **Dimensionamento do tempo de amarelo**. Nota Técnica 108. Companhia de Engenharia de Tráfego. São Paulo, 1985. 16 p.
- (VILANOVA, 1990) VILANOVA, L.M. **Semáforos Atuados - Curso Semáforos II**, Companhia de Engenharia de Tráfego, Prefeitura do Município de São Paulo, Brasil.
- (WEBSTER et al, 1996) WEBSTER, F.V.; COBBE, B.M.). **Traffic Signals**. Road Research Laboratory, paper nº 56. H.M.S.O., London, 1966.
- (WEISS, 1999) WEISS G. **Multiagent systems : a modern approach to distributed artificial intelligence**. Massachussetts: MIT Press, 1999.a
- (WOOD, 1993) WOOD, K. **Urban Traffic Control, Systems Review**. Project Report 41 – UG26. Transportation Research Laboratory. Crowthorne, Berkshire, Inglaterra. 1993.
- (WOOLDRIDGE, 2002) WOOLDRIDGE, Michael. **An Introduction to Multiagent Systems**. Published in February 2002 by John Wiley & Sons (Chichester, England). ISBN 0 47149691X. 340pp approx; includes bibliographical references and index. Multiagent Systems Research Group <http://www.cs.wustl.edu/~mas/>

Silva, Marcos Barros e

Sistema multiagentes para gerenciamento de tráfego urbano/ Marcos Barros e Silva. São Luis-MA, 2005.

83f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletricidade)
Universidade Federal do Maranhão, 2005.

1.Sistemas Multiagentes. 2.Modelagem de Agentes. I
Título.

CDU 004.891