



BOLETIM TÉCNICO 38

O CONTROLE DE SEMÁFOROS EM TEMPO REAL
A EXPERIÊNCIA DE SÃO PAULO
LUIS MOLIST VILANOVA



www.cetsp.com.br



O CONTROLE DE SEMÁFOROS EM TEMPO REAL

A EXPERIÊNCIA DE SÃO PAULO

LUIS MOLIST VILANOVA

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Gilberto Kassab

SECRETARIA MUNICIPAL DE TRANSPORTES

Frederico Bussinger

SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE

Maria Aparecida Orsini de Carvalhp

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO – CET

*** PRESIDENTE**

Roberto Salvador Scaringella

*** DIRETOR DE OPERAÇÕES**

Adauto Martinez Filho

*** DIRETOR ADMINISTRATIVO E FINANCEIRO**

Thomaz de Aquino Nogueira Neto

*** DIRETOR DE REPRESENTAÇÃO**

Luiz Carlos Correa de Mendonça

BOLETINS TÉCNICOS CET

GRUPO EXECUTIVO DE TRABALHO

*** GERÊNCIA DE MARKETING E COMUNICAÇÃO – GMC**

Rafael Teruki Kanki

Heloisa Cavalcanti de Albuquerque

*** ASSESSORIA TÉCNICA - ATE**

Cláudio Mendes Martinho

*** SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO - SDE**

Katia Vespucci Moherdau

*** SUPERINTENDÊNCIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO - SET**

Margarida Maria Lourenço Cruz

*** GERÊNCIA DE SEGURANÇA NO TRÁNSITO - GST**

Max Hernani Borges de Paulo

*** GERÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO – GDT**

Luis Molist Vilanova

*** GERÊNCIA DE EDUCAÇÃO – GED**

Ana Paula Moreira Santos - DET 1

Ana Cristina Marinho Mangarano - DET 2

Márcia Valéria Guedes Lupianhe - DET 3

BOLETIM TÉCNICO 38

TEXTO

Luis MOLIST VILANOVA

COLABORAÇÃO

João Cucci Neto

Sandra Regina Rocha Fernandes

ILUSTRAÇÕES

Roseli de Castro

FOTOGRAFIAS

Murillo Medina

Marcelo Fortin

EDIÇÃO

GERÊNCIA DE MARKETING E COMUNICAÇÃO

Aluysio Simões de Campos Filho

DEPARTAMENTO DE MARKETING

Rafael Teruki Kanki

PROJETO GRÁFICO E EDIÇÃO

Heloisa Cavalcanti de Albuquerque

Vilanova, Luis Molist

O controle de semáforos em tempo real : a experiência de São Paulo / João Cucci Neto, Luis Molist Vilanova, Sandra Regina Rocha Fernandes. — São Paulo : Companhia de Engenharia de Tráfego, 2005.

70 p. — (Boletim técnico da CET, 38)

1. Controle de Semáforos I. Vilanova, Luis Molist

II. Fernandes, Sandra Regina Rocha IV. Título V. Série

Publicação da Companhia de Engenharia de Tráfego - CET

BOLETIM TÉCNICO
38

O CONTROLE DE SEMÁFOROS EM TEMPO REAL

A EXPERIÊNCIA DE SÃO PAULO

LUIS MOLIST VILANOVA



Companhia de Engenharia de Tráfego



A P R E S E N T A Ç Ã O

A série Boletim Técnico CET teve início nos anos 70, com o objetivo de divulgar estudos e projetos de Engenharia de Tráfego, Educação e Esforço legal realizados pela Equipe Técnica da CET. Em vista do ineditismo dessas soluções e do fato de serem experiências de interesse nacional, estas publicações tornaram-se referência bibliográfica e fonte de idéias para vários órgãos de gestão do trânsito.

Passadas mais de três décadas, os Boletins - de caráter conceitual - ainda mantêm sua atualidade e interesse, razão pela qual estão sendo reeditados de forma a continuar servindo como fonte de subsídios. Ao mesmo tempo, estamos retomando a edição de novos Boletins Técnicos, dando continuidade ao intercâmbio e ao aperfeiçoamento da prática da engenharia de tráfego no país.

*Roberto Salvador Scaringella
Presidente
Companhia de Engenharia de Tráfego - CET*



SUMÁRIO

Apresentação

1. *Motivos que levaram à implementação do projeto*
2. *O projeto CTA*
3. *A contratação*
4. *A implantação*
5. *Arquitetura de um sistema de controle em tempo real de semáforos*
6. *Os diversos modos de operação de uma CTA*
7. *O controle em tempo real SCOOT*
8. *O controle em tempo real ITACA*
9. *O ponto de vista do operador do sistema*
10. *Avaliação do impacto do projeto no aspecto fluidez*
11. *Alguns exemplos da evolução do tempo de ciclo na CTA-1*
12. *Avaliação do impacto do projeto no aspecto segurança*
13. *Próximos passos*
14. *Considerações finais*

Referências bibliográficas

INTRODUÇÃO

Este Boletim descreve a experiência adquirida na cidade de São Paulo no final da década de 1990, com a implantação e posterior operação do Projeto CTA, que, essencialmente, consistiu na implementação do sistema de controle em tempo real em cerca de 1000 dos 4000 semáforos com que a cidade contava na ocasião.

No decorrer da descrição dos trabalhos realizados, procurou-se salientar os pontos que, de alguma forma, possam contribuir para a análise que outras cidades venham a fazer sobre eventual aplicação do controle de tempo real em seus semáforos.

1. MOTIVOS QUE LEVARAM À IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

1.1. A SITUAÇÃO DA CIDADE DE SÃO PAULO NO INÍCIO DA DÉCADA DE 90

Por volta de 1995, existiam, aproximadamente, 4000 semáforos em São Paulo, dos quais cerca da metade ainda era operada por obsoletos controladores eletromecânicos.

A cidade já dispunha desde 1982 do SEMCO, um eficiente sistema centralizado responsável pelo controle de 470 semáforos na região mais saturada da cidade. Entretanto, à exceção de uns poucos semáforos isolados atuados, as programações semaforicas eram fixas e construídas para atender situações médias de demanda.

Tal rigidez implicava num atendimento ineficiente para aquelas vias caracterizadas por variações mais acentuadas no perfil do trânsito e na total impossibilidade de lidar com os incidentes imprevisíveis que ocorrem diariamente nas ruas da cidade.

Além das variações sazonais, propriedade comum a todas as cidades, regiões que operam com alto grau de saturação estão sujeitas a cair na zona de congestionamento devido a fatores imprevisíveis, como acidentes de trânsito, obras de emergência, quebra de veículos no leito viário, entre outros. Além disso, mesmo fatores de caráter mais permanente não conseguem ser bem avaliados numa cidade que apresenta o dinamismo de São Paulo, onde estabelecimentos comerciais e de serviços mudam constantemente de localização. Estes pólo-geradores de trânsito não afetam apenas a quantidade de veículos em circulação e sua distribuição, mas também a própria capacidade disponível, na medida em que suas entradas, saídas e decorrentes estacionamentos nas vias lindeiras passam a afetar a largura útil disponível das vias.

Os problemas resultantes, constatados no dia-a-dia da operação do trânsito, demandavam ferramentas de controle mais eficientes e que respondessem com maior agilidade às freqüentes interferências que afetavam a circulação dos veículos pelas ruas da cidade.

Outra forte restrição que comprometia o gerenciamento operacional do trânsito era a falta de um monitoramento eficaz da malha viária. A única solução encontrada até aquele momento era recorrer a funcionários da CET que, postados no alto de edifícios e munidos de binóculos e rádio-transmissores, comunicavam-se com o centro de controle. Embora engenhosa e criativa, tal solução apresentava limitações óbvias que comprometiam a agilidade e a fidelidade das informações.

1.2. IDENTIFICAÇÃO DOS RECURSOS NECESSÁRIOS

Concluiu-se, portanto, que um novo sistema de controle de trânsito deveria ser implementado em São Paulo, aproveitando a vasta gama de recursos que a evolução da tecnologia, em especial da informática, colocava à disposição do controle de processos. A nova estrutura de controle dos semáforos deveria contar com, pelo menos, três propriedades básicas:

a. *MONITORAMENTO CONFIÁVEL – as informações que chegam ao centro de controle devem refletir adequadamente o que está efetivamente ocorrendo em campo; o tratamento da informação*

não pode ser precipitado, pois pode ser induzido a erros por ocorrências transitórias, nem pode ser muito lento, pois pode permitir que os problemas se avolumem a ponto de atingir uma situação incontrolável.

b. ALGORITMO EFICIENTE – o algoritmo é, indubitavelmente, a parte mais importante de qualquer sistema de controle de processos; tem de ser capaz de lidar com uma enorme variedade de situações que podem vir a ocorrer na prática; deve apoiar-se, é claro, na formulação teórica da Engenharia de Trânsito, mas precisa dispor de instrumentos que permitam lidar com situações específicas da cidade.

c. IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES – é um ponto no qual boa parte dos sistemas comercializados deixa a desejar; as alterações nos tempos dos semáforos não devem ser bruscas para evitar interrupção no processo de fluidez do trânsito; por outro lado, um retardo excessivo inviabilizará a adequação das programações à curva de evolução do perfil da demanda.

1.3. ESTADO DA ARTE À ÉPOCA

O acentuado incremento da complexidade dos problemas de trânsito nos grandes centros urbanos já vinha exigindo, nos primeiros anos da década de 1990, crescente grau de sofisticação tecnológica, capaz de municiar a operação do trânsito de ferramentas à altura das dificuldades encontradas.

Neste contexto, o controle semaforico beneficiou-se sobremaneira do salto de desenvolvimento tecnológico na área de informática que ocorreu naquela época. Por consistir basicamente num controle de processos, teve a oportunidade de se valer do crescimento de outros setores da indústria, economicamente mais fortes.

O primeiro segmento beneficiado foi o dos controladores semaforicos, que são os equipamentos diretamente responsáveis pela operacionalização dos semáforos. Equipamentos eletromecânicos, extremamente obsoletos, foram sendo paulatinamente substituídos por outros eletrônicos, o que disponibilizou uma gama muito maior de funções operacionais, a implementação de condições de segurança mais confiáveis, maiores facilidades para a manutenção e abertura da possibilidade de interação com outros equipamentos, viabilizando a constituição de sistemas integrados.

Decorrencia natural desta evolução tecnológica, surgiram na década de 1970 as primeiras centrais de controle de semáforos. Os setores responsáveis pela operação de trânsito passavam a dispor da possibilidade de monitorar e intervir no sistema viário remotamente a partir de centros de controle.

Tais sistemas foram ficando cada vez mais sofisticados, até que, no final da década de 1980, começaram a se firmar os sistemas de controle em tempo real, capazes de construir automaticamente a programação semaforica em função das condições de trânsito percebidas através de sensores.

No início da década de 1990, existiam três programas de controle em tempo real em operação no âmbito internacional: o programa SCOOT, originário da Inglaterra; o ITACA, desenvolvido na Espanha; e o programa SCATS, elaborado por engenheiros australianos.

Em relação à monitoração do trânsito, já se podia contar com sistemas de TV com excelente qualidade de visualização, vários recursos funcionais e também com a possibilidade de operar ao ar livre. As câmeras já eram utilizadas, no âmbito internacional, por um sem número de cidades como subsistema de apoio ao gerenciamento do trânsito.

2. O PROJETO CTA

Entre 1992 e 1994, a CET desenvolveu um trabalho de simulação por computador, analisando as conseqüências da implementação de diversas técnicas de controle nos 4000 semáforos existentes. Concluiu-se que existia um universo de 1500 semáforos nos quais a relação benefício/custo, para a solução controle em tempo real, ultrapassava o índice 4, adotado como patamar mínimo para recomendação da nova tecnologia.

Esta etapa foi essencial para que não se incidisse no erro de aplicar a nova tecnologia indiscriminadamente. Não há dúvida de que se trata de uma tecnologia sofisticada, capaz de trazer benefícios incontestáveis, mas não há dúvida, também, de que se trata de uma solução de custo elevado. Por isso, é indispensável compor o trabalho de análise de benefício/custo, pois em muitos locais uma solução mais simples pode ser a mais adequada.

Ao mesmo tempo em que se preparava a relação de cruzamentos candidatos, um grupo de técnicos da CET estudou os produtos disponíveis no mercado internacional e os resultados de suas implementações em outras cidades.

Por um lado, tomando como referência a identificação das necessidades, e por outro, a disponibilidade de equipamentos e seus custos, a CET elaborou o projeto que iria servir de base para a implementação do novo controle semafórico, denominando-o de Projeto CTA – Centrais de Tráfego em Área.

A experiência anterior com o SEMCO havia mostrado que uma centralização excessiva era prejudicial ao desempenho dos serviços de operação e manutenção. Naquele sistema, um único centro de controle era responsável por operar 470 semáforos pertencentes a regiões da cidade com características muito diferentes entre si. A abrangência exagerada causou dificuldades de ordem administrativo/operacionais. Por exemplo, é natural que as áreas que pertencem a regiões mais complexas e saturadas recebam maior atenção, em detrimento de áreas com problemas menores, e foi essa a principal razão que levou à decisão de construir cinco Centrais de Tráfego em Área, cada uma responsável pelos semáforos de determinada região da cidade:

- CTA-1 Centro Expandido*
- CTA-2 Oeste e Norte*
- CTA-3 Leste*
- CTA-4 Sudeste*
- CTA-5 Sul*

Procurou-se posicionar o centro de controle de cada CTA o mais próximo possível do centro geográfico da área por ela comandada, a fim de diminuir os custos da instalação da rede própria de transmissão de dados e, também, para facilitar os serviços de operação e manutenção.

Em cada centro de controle, os semáforos seriam agrupados em conjuntos que, necessariamente, deveriam operar de forma coordenada entre si. Tais conjuntos receberam o nome de regiões e, tipicamente, possuiriam em média dez cruzamentos cada.

O sistema poderia operar segundo a alternativa de controle direto ou utilizando concentradores intermediários. Na primeira solução, o centro de controle estaria vinculado diretamente a cada controlador numa comunicação bidirecional; na segunda, a comunicação entre os controladores e seu respectivo centro de controle passaria por um concentrador de área, responsável por agrupar as informações de um conjunto de controladores e encaminhá-las ao destino final.

O controle central em tempo real deveria configurar a operação normal do sistema. Caso ocorressem problemas que impedissem tal funcionamento – por exemplo, a danificação de um grande número de laços detectores – o sistema passaria a funcionar no modo controle central em tempos fixos. Se mesmo tal alternativa não fosse possível, o que poderia ocorrer como no caso de rompimento da rede de transmissão de dados, o próximo nível de degradação seria o controle em modo local.

O sistema foi concebido para operar continuamente no modo automático, restringindo ao mínimo as intervenções dos operadores. Contudo, foi garantida a possibilidade de que estes assumissem o controle total, caso necessário.

No caso da CTA-1, responsável pela operação do centro expandido da cidade, existia a particularidade de ela já ser comandada, em grande parte, pelo Sistema SEMCO. Resolveu-se, então, reaproveitar as mesmas instalações físicas de seu centro de controle, a rede subterrânea já existente e parte dos controladores.

Em termos de monitoramento, foi previsto um sistema de visualização do trânsito através de um Circuito Fechado de TV – CFTV, definindo-se que não haveria interdependência funcional entre o sistema de semáforos e o sistema CFTV. Conseqüentemente, a escolha dos locais para instalação das câmeras levaria em consideração tão somente a importância operacional da região visualizada e não a preocupação de suporte ao sistema semafórico.

3. A CONTRATAÇÃO

3.1. O PROCESSO DE LICITAÇÃO

O edital determinou que a concorrência fosse de âmbito nacional, aceitando-se a participação de empresas estrangeiras através de consórcios, desde que fossem encabeçados por uma empresa brasileira.

O Projeto CTA foi dividido em três partes, cada uma constituindo um processo de licitação e contratação independente. A classificação das empresas proponentes seria regida pela modalidade de técnica e preço. Os consórcios candidatos deveriam apresentar atestados que comprovassem a implantação de sistemas de controle de semáforos em tempo real em outras cidades.

3.2. OS CONTRATOS

Em setembro de 1994 foram assinados os três contratos para a implantação do Projeto CTA, tendo como contratante a Secretaria Municipal de Transportes de São Paulo. A CET não participou formalmente desse contrato, mas mesmo assim assumiu integralmente as funções técnicas de responsabilidade da contratante através de outro contrato, entre a SMT e a CET, cujo objeto era a prestação de serviços de engenharia de trânsito.

A implantação da CTA-1 coube ao consórcio formado pelas empresas Siemens Brasil, Siemens UK e PEM Engenharia, que previa o fornecimento e instalação de seus equipamentos, abrangendo, resumidamente, os seguintes elementos:

- a. Centro de controle – computadores modelo VAX da Digital, estações de trabalho, projetores de imagens, matriz de vídeo e monitores de CFTV;*
- b. 667 interseções semaforizadas – controladores e cabos elétricos;*
- c. 1720 seções de detecção – laços indutivos e sua ligação com os controladores;*
- d. 78 câmeras de TV;*
- e. Rede de transmissão de dados e sinais entre os equipamentos de campo (controladores e câmeras) e o centro de controle;*
- f. Obras civis necessárias.*

A segunda licitação foi vencida pelo consórcio formado pelas empresas Método, Coasin, Peek UK, Autotrol (Argentina) e Sonda (Chile), para a implementação das CTAs 2 e 5, sendo que o objeto deste contrato consistia basicamente em:

- a. Centro de controle – construção da edificação para abrigar a CTA-5, computadores modelo VAX da Digital, estações de trabalho, projetores de imagens, matriz de vídeo e monitores de CFTV para as CTAs 2 e 5;*
- b. 260 interseções semaforizadas para a CTA-2 e 198 para a CTA-5 – controladores e cabos elétricos;*
- c. 650 seções de detecção para a CTA-2 e 550 para a CTA-5 – laços indutivos e sua ligação com os controladores;*

- d. 28 câmeras de TV para a CTA-2 e 20 para a CTA-5;**
- e. Rede de transmissão de dados e sinais entre os equipamentos de campo (controladores e câmeras) e os dois centros de controle;**
- f. Obras civis necessárias.**

O terceiro contrato foi assinado com o consórcio das empresas BST e Sainco Trafico (Espanha) para a implementação das CTAs 3 e 4 e tinha como objeto:

- a. Centro de controle – construção das edificações para abrigar os dois centros de controle, computadores modelo Alpha da Digital, estações de trabalho, projetores de imagens, matriz de vídeo e monitores de CFTV para as CTAs 3 e 4;**
- b. 185 interseções semaforizadas para a CTA-3 e 197 para a CTA-4 – controladores e cabos elétricos;**
- c. 480 seções de detecção para a CTA-3 e 560 para a CTA-4 – laços indutivos e sua ligação com os controladores;**
- d. 21 câmeras de TV para a CTA-3 e 16 para a CTA-4;**
- e. Rede de transmissão de dados e sinais entre os equipamentos de campo (controladores e câmeras) e os dois centros de controle;**
- f. Obras civis necessárias.**

Os três contratos previam, também, a manutenção de todos os equipamentos, desde a sua instalação até dezoito meses após a aceitação global do respectivo sistema, bem como os serviços de treinamento e fornecimento da documentação técnica.

4. A IMPLANTAÇÃO

A implantação dos objetos contratados aconteceu, principalmente, entre 1995 e 1997. Esta etapa teve o acompanhamento estreito dos engenheiros de trânsito da CET que, dessa forma, foram se integrando paulatinamente à nova tecnologia.

Com o propósito de evitar que a sofisticação tecnológica do novo sistema se distanciasse das características práticas da nossa realidade, a CET teve o cuidado de reservar para si a execução dos projetos funcionais. Para que tal tarefa pudesse ser desempenhada a contento, houve um treinamento inicial dos seus técnicos no que diz respeito aos conceitos e recursos a serem implementados. Analogamente, e pelas mesmas razões, a elaboração das programações semaforicas foi de responsabilidade da CET. Quanto aos projetos executivos, considerou-se mais apropriado que fossem realizados pelas próprias empresas contratadas.

Infelizmente, problemas de cunho administrativo-jurídico, alheios à área técnica, impediram que os serviços fossem concluídos conforme especificado. Apenas o contrato que cuidava da implantação das CTAs 3 e 4 teve seu curso normal até a aceitação global do sistema. No caso das CTAs 2 e 5 ainda restaram cerca de 65 interseções para a conclusão total do objeto contratado.

Sem dúvida, o maior problema incidiu sobre a CTA-1: das 667 interseções contratadas, somente 175 foram efetivamente instaladas. Os principais corredores de trânsito de São Paulo não dispõem, ainda hoje, do controle em tempo real, conforme previsto no projeto original, devido à interrupção de sua implantação. Eixos como as avenidas Paulista, Rebouças e Nove de Julho ainda não operam no novo sistema. A falta de câmeras de TV em muitas vias importantes também impede que se possa monitorá-las com a agilidade necessária. São quase 500 cruzamentos que deixam de aproveitar as vantagens do SCOOT devido à paralisação das obras por motivos jurídico-administrativos. E o que é pior: praticamente toda a infra-estrutura já está pronta e todos os equipamentos necessários já foram adquiridos e estão armazenados no almoxarifado da CET.

4.1 DETALHES TÉCNICOS DO SISTEMA IMPLANTADO

A Figura 1 mostra, de forma sucinta, a configuração padrão da parte física que compõe uma CTA.

Optou-se por uma rede de transmissão própria, pois na época a melhoria do sistema de telefonia no Brasil ainda era incipiente. Tal decisão redundou na instalação de 650 quilômetros de cabos nas ruas da cidade. A solução padrão adotada foi a de utilizar par metálico para a transmissão dos dados de semáforos e fibra ótica para os sinais/dados do sistema CFTV, constituindo conjuntos independentes. Apenas nas CTAs 3 e 4 foi adotado um único cabo de fibra ótica, entre os concentradores e o centro de controle, para enviar tanto as informações semaforicas como as imagens e dados correlatos.

No início da implantação, uma das principais preocupações da CET foi a questão da preservação dos laços detectores, uma vez que o sistema depende completamente das informações por eles coletadas. Três providências foram tomadas no sentido de preservá-los:

- a. Acionou-se uma campanha de conscientização junto às concessionárias públicas para evitar que suas obras no pavimento viessem a danificar os sensores;*
- b. Demarcou-se a região ocupada pelos laços com sinalização de solo especial*

mente desenvolvida para esse fim (duas faixas em película refletiva na cor azul, transversais ao eixo da via, coladas externamente ao próprio laço).

c. Decidiu-se por uma mudança no projeto do encaminhamento dos cabos em relação ao utilizado até aquele momento. Anteriormente, os cabos de alimentação dos laços caminhavam em sulcos cortados no asfalto até o controlador, o que tornava o conjunto muito mais exposto à danificação, seja por obras ou por defeitos surgidos pelo desgaste natural do pavimento. No Projeto CTA, foi estabelecido que os cabos de alimentação caminhariam por dutos sob o passeio até atingir a lateral do laço detector.

Tais providências resultaram em que a durabilidade dos laços fosse bem maior do que a constatada, até então, em outras implementações que não tinham tomado esses cuidados. Boa porcentagem dos laços detectores executados em 1996 continua operando normalmente até hoje.

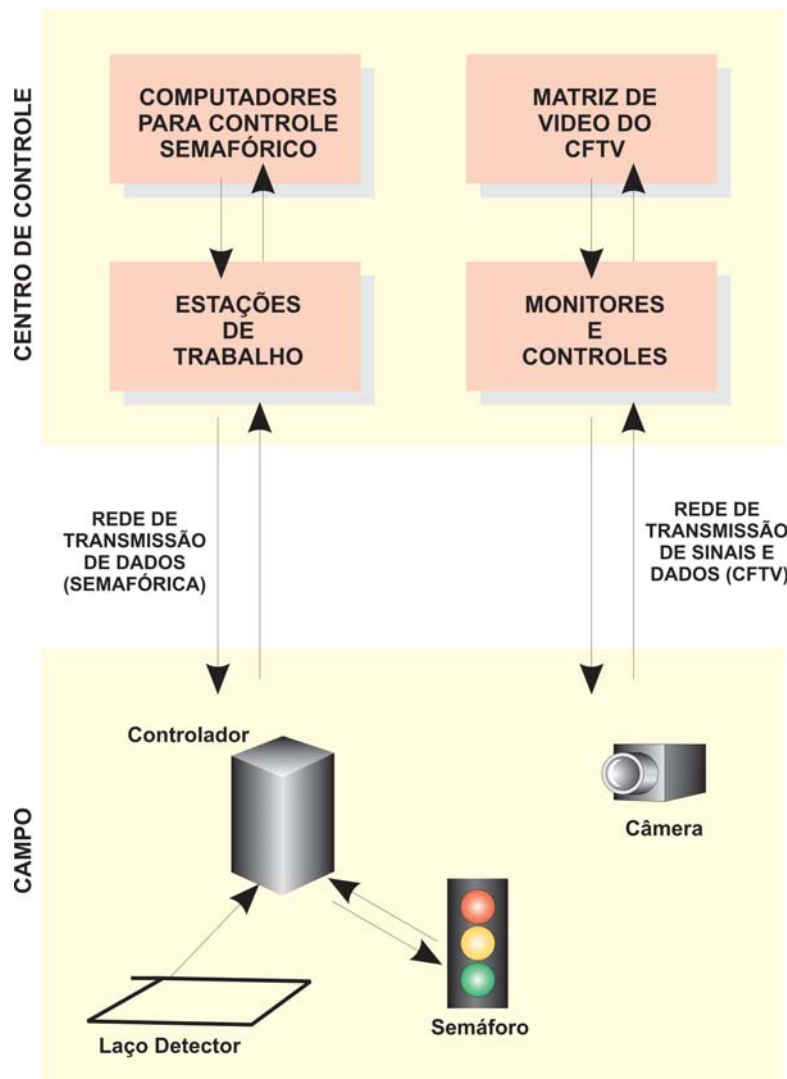


FIGURA 1
CONFIGURAÇÃO FÍSICA
DE UMA CTA

4.2. Os CINCO CENTROS DE CONTROLE DAS CTs



CTA 1



CTA 2



CTA 3



CTA 4



CTA 5



5. ARQUITETURA DE UM SISTEMA DE CONTROLE EM TEMPO REAL DE SEMÁFOROS

A Figura 2 apresenta o esquema principal do funcionamento de um sistema de controle de semáforos em tempos real. A demanda de veículos é coletada através de dispositivos de detecção, normalmente laços indutivos instalados no pavimento. Esta informação é encaminhada aos computadores localizados no centro de controle através dos mesmos controladores que comandam os semáforos.

Os computadores executam o programa aplicativo, que pode ser decomposto em três módulos principais:

- a. **MODELAGEM DE TRÂNSITO** – nesta etapa as informações recebidas dos laços detectores são

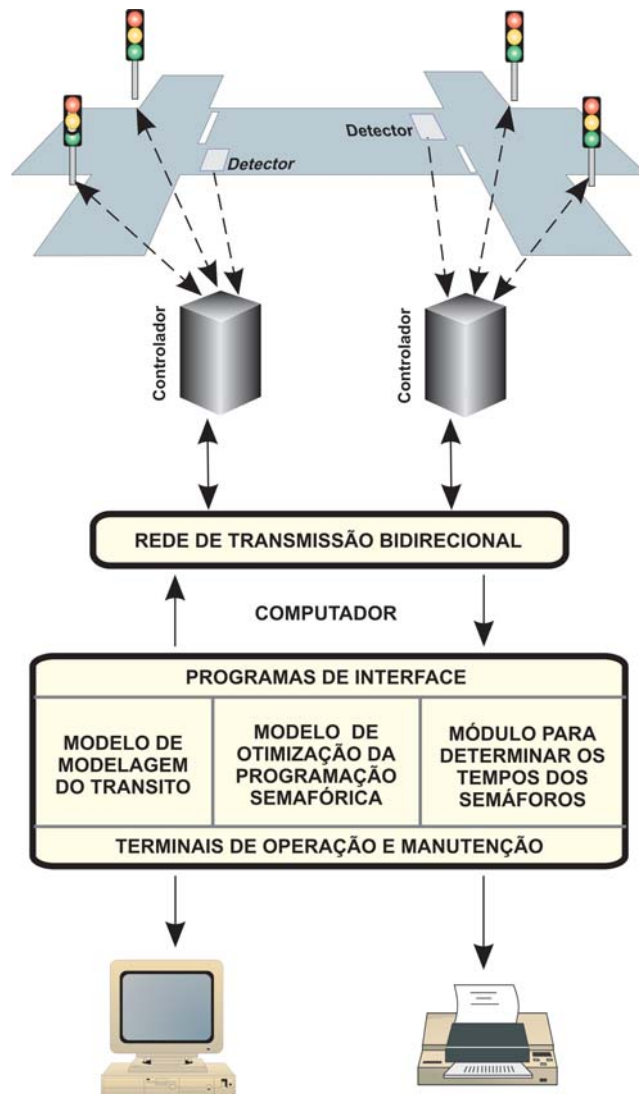


FIGURA 2
ARQUITETURA DE UM SISTEMA
DE CONTROLE EM TEMPO REAL

transformadas em parâmetros que irão representar o perfil de demanda presente em termos de fluidez e ocupação;

b. OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA – responsável por analisar a melhor alternativa de programação semafórica, segundo uma função que busca minimizar a espera dos veículos nos semáforos (atraso) e seu número de paradas; neste módulo são consideradas, também, as condições de contorno determinadas pelos tempos de segurança.

c. DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DOS SEMÁFOROS – cálculo dos valores a serem aplicados à programação semafórica, ou seja, tempo de ciclo, tempos de estágios e defasagens; tal determinação decorre da otimização desenvolvida no módulo anterior e consiste na sua tradução em comandos que serão obedecidos pelos controladores em campo.

A seguir, através da rede de transmissão de dados, a programação semafórica é enviada aos controladores, que cuidarão de implementar nos semáforos as ordens recebidas. Por outro lado, os dados calculados podem ser visualizados imediatamente pelos operadores do centro de controle.

A aplicação dos novos tempos, por sua vez, influenciará o perfil de demanda que se forma nas vias da rede controlada. Este perfil modificado será novamente registrado pelos laços detectores. Dessa forma, volta-se ao ponto inicial do sistema, configurando um sistema denominado sistema de anel fechado.

6. OS DIVERSOS MODOS DE OPERAÇÃO DE UMA CTA

O modo de operação normal do sistema de semáforos numa central CTA é o controle em tempo real. Neste modo, todos os recursos estão disponíveis e o sistema trabalha no patamar máximo de sua potencialidade. Num nível imediatamente inferior na hierarquia de operação, o modo seguinte é o controle central em tempos fixos, no qual os computadores centrais operam os semáforos utilizando planos previamente preparados. Estes planos podem ser ativados a partir de uma tabela horária de eventos ou pela imposição do operador do centro de controle. Na CTA-1, por exemplo, dispõe-se de 40 planos para este tipo de operação. Nos dois casos, como existe a comunicação entre centro de controle e equipamentos em campo, é possível monitorar as condições do trânsito e efetuar modificações nas programações dos semáforos, bem como acompanhar o estado dos equipamentos.

Na escala decrescente de recursos disponíveis, o próximo modo de operação é o controle local em tempos fixos. Neste caso, a programação do semáforo é comandada pelo controlador situado em campo, que possui seus próprios planos. Analogamente ao que ocorre no modo central em tempos fixos, tais planos podem ser acionados por tabela horária residente no controlador ou pela imposição de algum operador em campo. O controle local ocorre, normalmente, quando surge alguma falha que impeça a comunicação entre o centro de controle e o controlador, ou quando, por alguma circunstância especial, o operador do centro de controle resolve impor a ativação dos planos locais, preservando a monitoração remota do que acontece em campo. No caso da CTA-1, o controlador utilizado comporta 8 planos que podem ser utilizados neste modo de operação.

O modo de operação mais básico é o controle manual: neste caso, um operador em campo aciona manualmente, no próprio controlador, a mudança dos estágios do semáforo. Tal situação ocorre quando nem o controle em tempo real nem o controle em tempos fixos automático são capazes de enfrentar adequadamente algum problema inesperado.

Não configurando propriamente um modo de operação, tem-se ainda o funcionamento do semáforo em amarelo intermitente. Neste modo, não existe programação propriamente dita: os focos amarelos dos semáforos ficam piscando continuamente, alertando para uma situação de perigo e os focos dos pedestres permanecem apagados. Na maior parte dos casos, o amarelo intermitente entra em funcionamento quando ocorre uma falha no semáforo que impeça sua operação normal. Também é utilizado, propositalmente, nos períodos da madrugada e em algumas situações onde o volume de veículos é extremamente reduzido.

7. O CONTROLE EM TEMPO REAL SCOOT

7.1. O DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

O departamento responsável pela pesquisa e desenvolvimento do controle do trânsito na Inglaterra – Transport and Road Research Laboratory (TRRL) – em 1973 iniciou pesquisa para a construção de um novo método de controle de semáforos denominado SCOOT (Split, Cycle and Offset Optimization Technique). O trabalho foi conduzido por uma equipe de engenheiros de trânsito em Glasgow, coordenada por D. I. Robertson.

A primeira aplicação prática ocorreu nos inícios da década de 1980, na cidade de Coventry. A partir daí, o programa foi evoluindo com base nas observações tomadas a partir das aplicações práticas. Novas versões foram ocorrendo, incorporando novas opções e corrigindo dificuldades anteriores.

Atualmente, existem cerca de 170 cidades no mundo utilizando este aplicativo. No Brasil, tem-se o exemplo das cidades de São Paulo e Fortaleza.

7.2. Os CONCEITOS UTILIZADOS

O desenvolvimento do SCOOT foi norteador pelos seguintes conceitos:

- a. MINIMIZAÇÃO DE TRANSIENTES. O programa segue o modelo adaptativo, ou seja, aplica alterações pequenas, mas freqüentes, nos parâmetros tempo de ciclo, tempos de estágios e defasagens. Tal abordagem minimiza o problema dos transientes, mas é suficiente para acompanhar as alterações dos perfis de demanda ao longo do tempo;*
- b. PREDIÇÕES EM CURTO PRAZO. A maioria das decisões toma por base a situação monitorada no presente instante;*
- c. RESPOSTA ÁGEIS. A cada final de estágio, são recalculados os valores de suas durações para poder atender aos veículos reconhecidos nos últimos segundos;*
- d. DETECTORES EM FALHA. Os detectores são monitorados continuamente e, em caso de suspeita de falha, passam a ser ignorados; a conseqüente falta dos valores correspondentes pode ser substituída, caso desejado, por valores parametrizados pelo usuário;*
- e. MODELO DO PERFIL DO TRÂNSITO EM TEMPO REAL. O SCOOT utiliza os dados lidos pelos detectores para prever a fila na faixa de retenção. A construção do perfil real assim obtido irá subsidiar os módulos de otimização dos tempos dos semáforos. A par disso, o operador de trânsito pode visualizar o estado do trânsito nas vias que formam a rede de semáforos;*
- f. AUSÊNCIA DE PLANOS DE PARTIDA. O programa prescinde de planos de partida especificamente preparados para iniciar seu trabalho de adaptação dos tempos dos semáforos.*

7.3. ESTRUTURA DOS ELEMENTOS UTILIZADOS

A Figura 3 mostra as entidades utilizadas pelo SCOOT e seu inter-relacionamento.

ÁREA – conjunto de todos os elementos operados pelo SCOOT num determinado computador.

REGIÃO – conjunto dos nós que possuem o mesmo tempo de ciclo e que operam de forma coordenada entre si. Corresponde à noção de rede de semáforos.

Nó – entidade que corresponde, no SCOOT, a uma interseção semaforizada ou a um semáforo de pedestres em meio de quadra; em casos onde existem semáforos muito próximos, pode-se recorrer à figura do multi-nó, situação em que o programa “enxerga” apenas a chegada de veículos nos limites externos do multi-nó, enquanto as defasagens internas entre os cruzamentos próximos são fixadas pelo engenheiro de trânsito.

LINK – representa o movimento unidirecional de veículos entre dois semáforos: faz a ligação entre dois nós – o nó-origem, do qual parte, e o nó-destino, ao qual chega.

DETECTOR – elemento que registra a passagem dos veículos ao longo do tempo num determinado link.

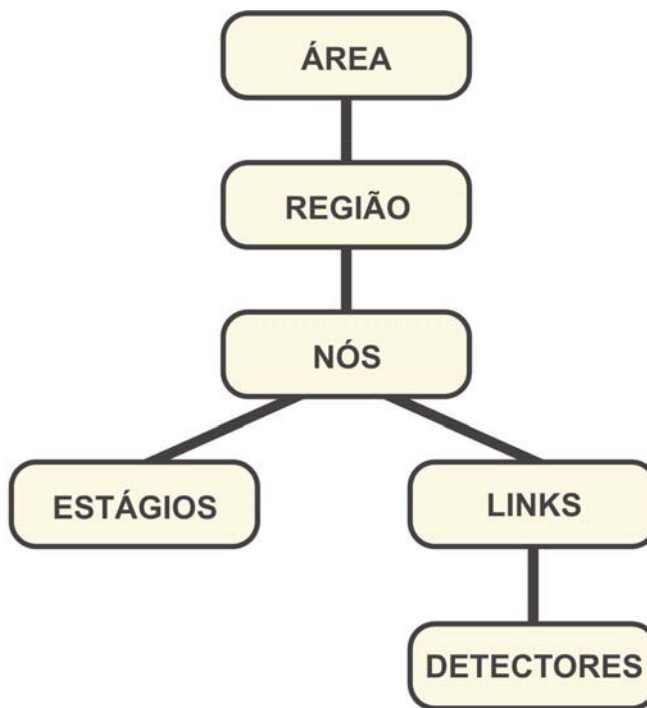


FIGURA 3
ESTRUTURA DAS ENTIDADES UTILIZADAS PELO SCOOT

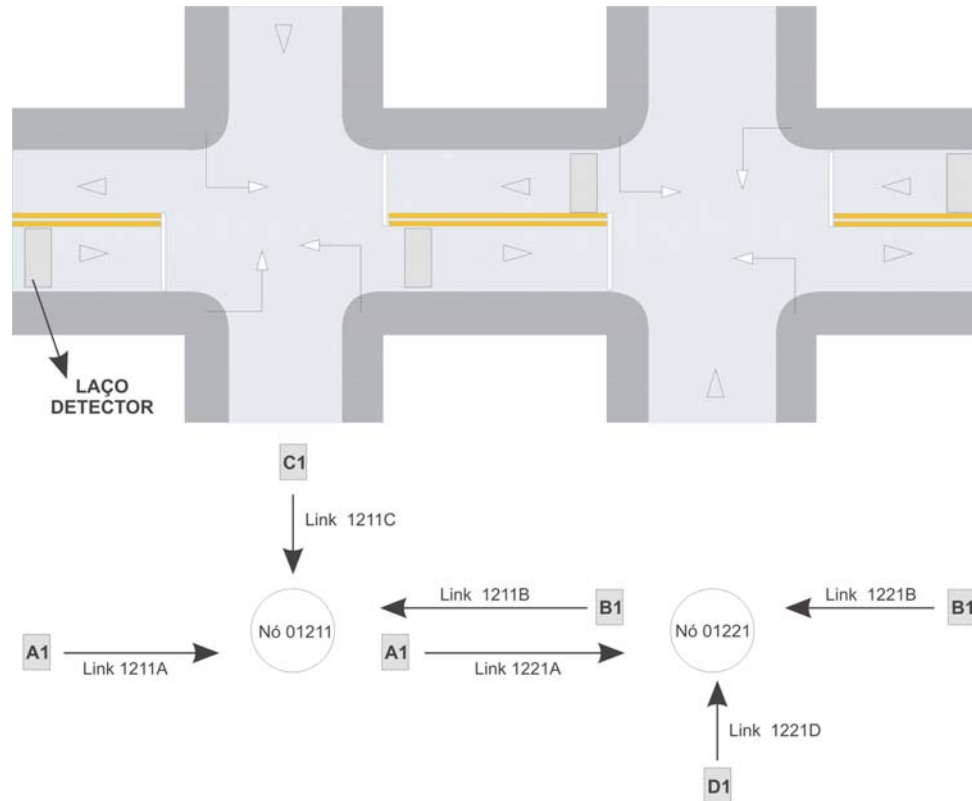


FIGURA 4
 DETALHAMENTO DA REPRESENTAÇÃO DE UM
 ESPAÇO DE DOIS CRUZAMENTOS NA FORMA
 DOS ELEMENTOS CITADOS

7.4. O MODELO DE TRÁFEGO

Os laços detectores são instalados para monitorar todas as vias que concorrem aos semáforos controlados. Eles são posicionados tão longe quanto possível da linha de retenção a fim de se obter, com a maior antecipação possível, o retrato do perfil de demanda que atingirá a faixa de retenção dali a poucos segundos. A principal restrição neste afastamento é que os laços não podem ficar atrás do cruzamento anterior.

Os dados são coletados a cada 250 milissegundos, processados e armazenados, para cada um dos links, sob a forma de elementos denominados perfis cíclicos de fluxo. Tais perfis contêm as informações necessárias tanto para decidir qual deve ser a melhor coordenação entre os dois nós extremos do link, como para calcular os respectivos tempos dos estágios.

Para cada link, o modelo de tráfego do SCOOT projeta o comportamento da fila na faixa de retenção para os próximos instantes. Um perfil de fluxo típico é apresentado na Figura 5. Considere-se que o veículo detectado percorrerá o trecho até a retenção numa velocidade constante, fornecida pelo usuário. Além disso, aplica-se ao pelotão de trânsito uma função do tipo amortecimento para representar o fenômeno prático de dispersão.

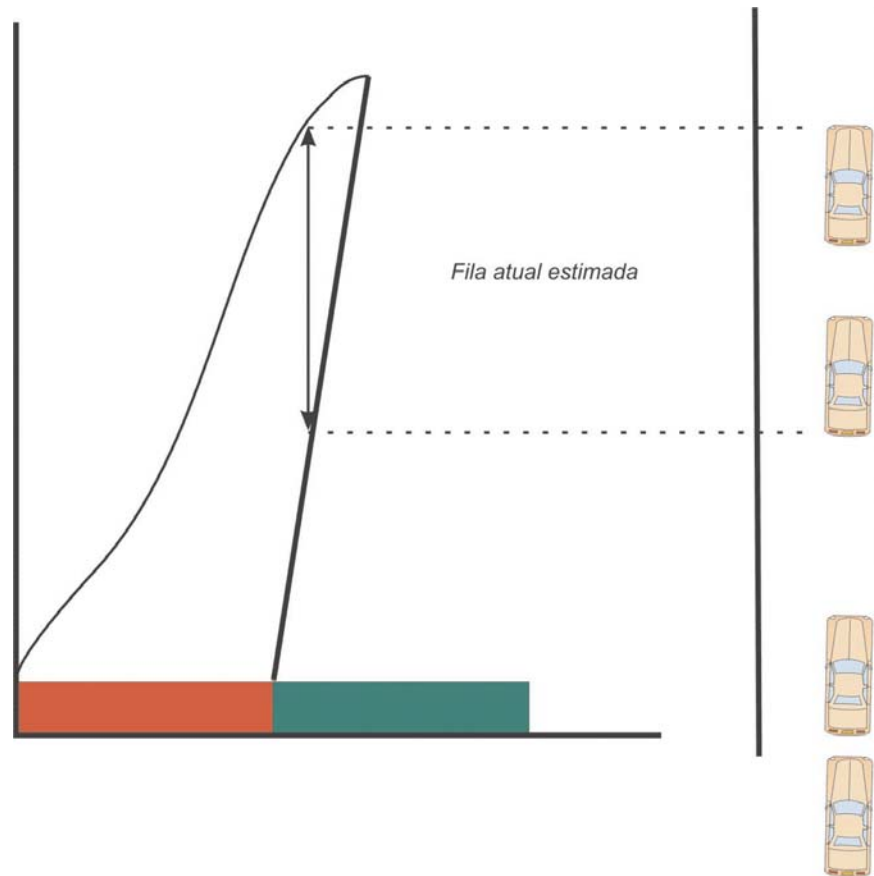


FIGURA 5
FORMAÇÃO E DESMANCHE DA FILA

Três casos típicos de perfis são mais comumente encontrados na prática:

Perfil A

Percebe-se um pelotão de veículos na primeira parte do ciclo seguido de valores mais baixos (que podem representar um fluxo de conversão) na segunda parte.

Perfil B

não se percebe a figura destacada de um pelotão concentrado, podendo, por exemplo, pertencer a um link de chegada na rede, sem outros semáforos próximos a montante.

Perfil C

pertence, provavelmente, a um link cujo semáforo de origem opera com ciclo duplo.

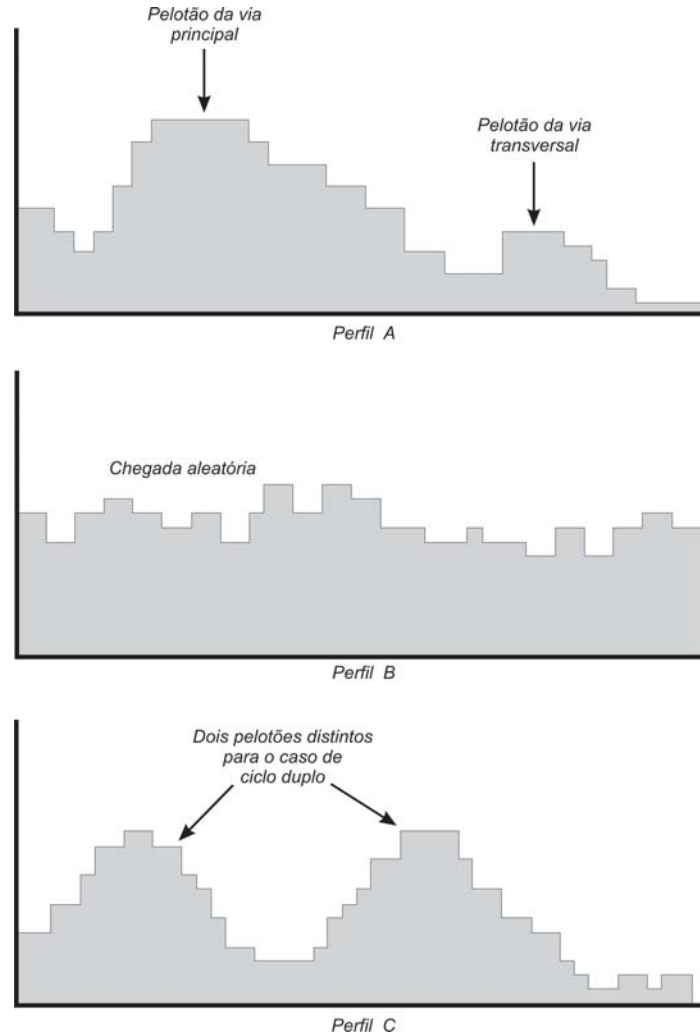


FIGURA 6
 PERFIS MAIS COMUMENTE ENCONTRADOS

7.5. A COMPOSIÇÃO DAS FILAS E A IDENTIFICAÇÃO DO CONGESTIONAMENTO

O programa avalia o comprimento da fila de veículos formada a cada instante, utilizando a informação do estado do semáforo correspondente, se aberto ou fechado, o perfil do fluxo detectado e um valor de fluxo de saturação associado a cada link.

O fator congestionamento é medido diretamente pelo detector. Como os laços detectores são posicionados além da extensão ocupada normalmente pela fila do semáforo, a identificação de presença constante de veículos sobre os laços poderá ser entendida como situação de congestionamento.

mento no *link*. Além disso, tal constatação pode servir para que o SCOOT corrija a modelagem teórica do comprimento da fila que estava se formando naquele *link* em função do perfil detectado e do fluxo de saturação correspondente.

Quando se percebe a presença constante de veículos sobre o laço durante quatro segundos consecutivos, registra-se uma unidade de congestionamento. A frequência da ocorrência destas unidades ao longo do tempo define o nível de congestionamento presente. Tal informação será crucial para que os módulos otimizadores possam calcular a melhor programação, pois as regras que valem para a situação não-congestionada não são mais válidas para a congestionada.

7.6. A OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA

A função básica do SCOOT é determinar o melhor conjunto de tempos para uma rede de semáforos e implementar as alterações para atingir estes tempos com o menor distúrbio possível para o trânsito.

A determinação do atraso e das paradas que irão ocorrer numa rede exige procedimentos de modelagem capazes de prever o deslocamento dos veículos nos próximos instantes. O programa possui um algoritmo que projeta o perfil de demanda para um curto período de tempo no futuro, a fim de estimar o perfil da demanda que ocorrerá no próximo ciclo. Para determinar o tempo de ciclo, a previsão avança num período mais longo.

Este algoritmo é utilizado para prever o efeito de pequenas variações dos tempos na programação vigente dos semáforos. O programa determina os pontos de ótimo dos parâmetros *tempo de ciclo*, *tempos de estágios* e *defasagem*. O cálculo de cada um desses valores independe do cálculo dos outros dois. A estratégia de promover a alteração da programação, paulatina e continuamente, através de pequenos incrementos de tempo garante que os distúrbios provocados no trânsito sejam mínimos.

Três módulos de otimização, independentes entre si, cuidam da determinação dos parâmetros tempo de ciclo, tempos de estágio e defasagens para o futuro próximo.

A. OTIMIZADOR DOS TEMPOS DOS ESTÁGIOS

O otimizador das durações dos estágios é acionado pouco tempo antes do fim de cada um deles. O algoritmo compara o efeito de avançar, retardar ou manter o fim do estágio vigente. O indicador utilizado para decidir qual a melhor solução é o grau de saturação dos *links* que chegam no semáforo para cada uma das três alternativas. O programa escolhe a alternativa que melhor aproxima os graus de saturação dos *links* críticos concorrentes.

A Figura 7 mostra de que forma o algoritmo da versão 2.4 processa um exemplo de avanço. O processamento e conseqüente decisão ocorrem 5 segundos antes do fim previsto do estágio vigente. Três alternativas são confrontadas entre si: *antecipar o fim do estágio* de 4 segundos, *permanecer com o fim do estágio* no ponto previsto anteriormente e *retardar o fim do estágio* de 4 segundos. A alternativa escolhida será a que melhor equalizar os graus de saturação dos *links* concorrentes ao nó. A Figura 7 ilustra o caso da antecipação: o estágio que estava previsto para durar 26 segundos passou para 22 segundos no ciclo considerado. Entretanto, o valor previsto para o próximo ciclo não vai continuar a ser 22, mas sim 25 segundos.

Ou seja, no mesmo ciclo em que foi feito o cálculo, o modelo altera imediatamente o comprimento do estágio de 4 segundos para poder atender a alguma eventual aleatoriedade, mas conserva apenas um segundo para o próximo ciclo, com o intuito de poder acompanhar paulatinamente tendência mudança no perfil do fluxo de caráter mais permanente.

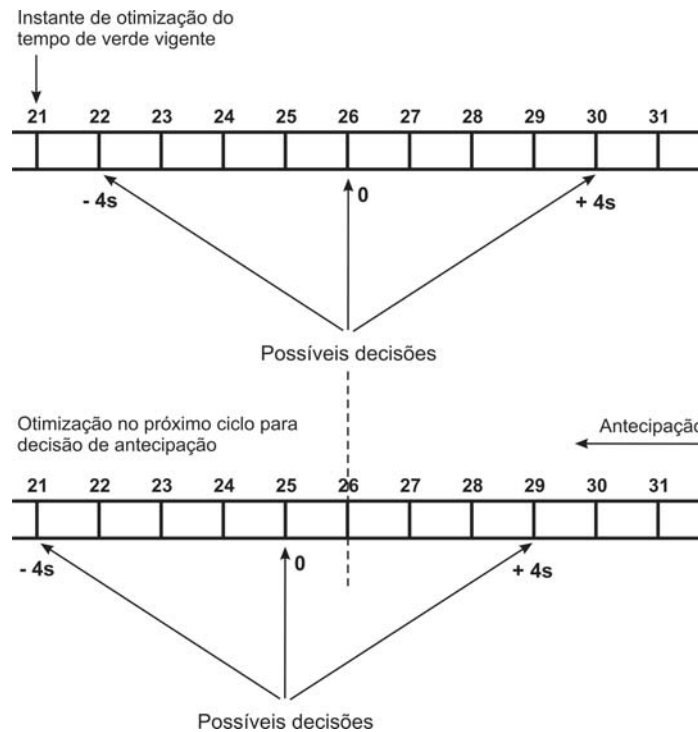


FIGURA 7
EXEMPLO PARA DECISÃO
DE AVANÇO

A Figura 8 apresenta o exemplo análogo para o caso em que a decisão tenha sido retardar o fim do estágio.

O otimizador deve, também, considerar eventual ocorrência de congestionamento no *link*. Assim, a decisão que escolhe a melhor das três alternativas sopesa não apenas a equidade dos graus de saturação, mas também a porcentagem do último tempo de ciclo que permaneceu congestionada. O termo que incorpora o fator congestionamento permite que um *link* congestionado venha a ter mais tempo de verde do que teria se fosse considerado apenas o parâmetro grau de saturação. Mais importante, porém, é a tendência que o SCOOT adota de reduzir os tempos de verde dos *links* a montante, que contribuem para o *link* congestionado, a fim de não desperdiçar tempo de verde e, principalmente, de minimizar o problema de bloqueio de interseções.

B. OTIMIZADOR DE DEFASAGENS

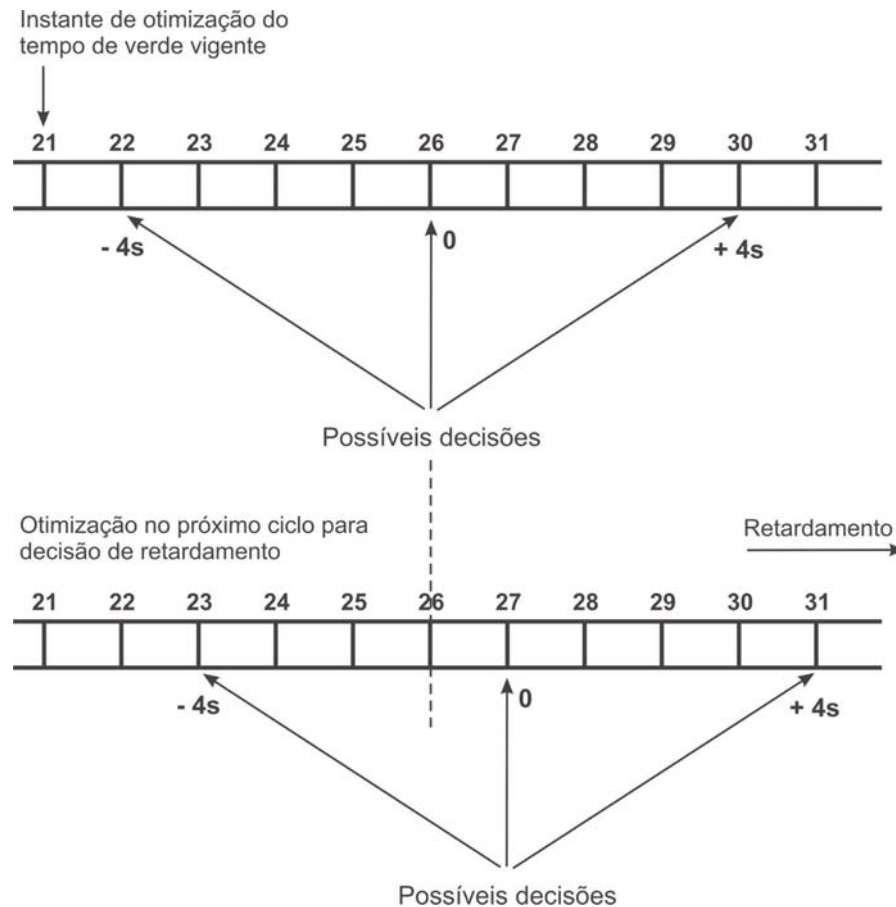


FIGURA 8
EXEMPLO PARA DECISÃO DE
RETARDAMENTO

O perfil de fluxo cíclico é utilizado pelo otimizador de defasagens para prever o comportamento das filas ao longo do ciclo. Uma vez por ciclo, o algoritmo calcula os comprimentos das filas de todos os links que chegam e saem de um determinado nó. É avaliado o efeito de defasar o próximo ciclo de alguns segundos para trás, para frente, ou então de permanecer na situação atual. Neste otimizador, a melhor alternativa será aquela que implicar no menor atraso e número de paradas para os links que chegam e saem do nó analisado.

Tal metodologia pode ser facilmente compreendida consultando a Figura 9, que mostra o perfil cíclico na seção do detector e na faixa de retenção, sendo este último construído a partir do primeiro, devidamente corrigido pelo tempo de percurso entre as duas seções e pela dispersão assumida no trecho. Caso o início do estágio seja postergado de alguns segundos, os poucos veículos que começam a formar fila no início do vermelho não precisarão mais se deter. Em contrapartida, o otimizador tem de considerar que o maior volume de veículos que estão na fila no início do verde terá de esperar um tempo extra para seguir adiante.

O algoritmo faz essa análise para cada um dos *links* afetados e soma algebricamente os resultados individuais obtidos para cada uma das três possíveis alternativas. É escolhida a solução que implicar em menor atraso e número de paradas para o conjunto dos *links* que chegam e saem do nó.

O fator congestionamento também é levado em conta neste otimizador. Aplica-se maior prioridade a um *link* que apresente congestionamento. A defasagem entre seu nó-origem e seu nó-destino assume um valor especial, preparado para reduzir a chance da ocorrência de bloqueio no cruzamento anterior.

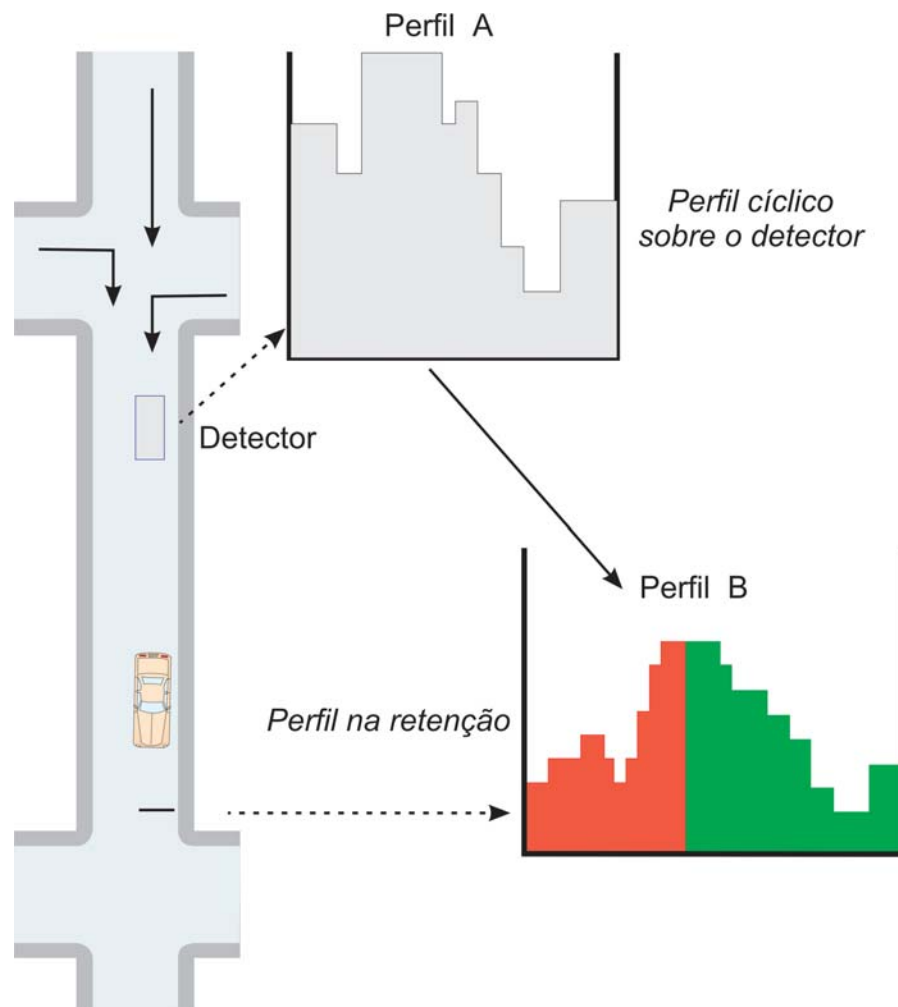


FIGURA 9
PERFIL DE FLUXO CÍCLICO NA SEÇÃO DE
DETECÇÃO E NA RETENÇÃO

C. OTIMIZADOR DO TEMPO DE CICLO

O otimizador do tempo de ciclo opera num conjunto de semáforos denominado região, conjunto este escolhido pelo engenheiro de trânsito. O tempo de ciclo será único para todos seus nós.

Este otimizador é acionado, normalmente, a cada cinco minutos. Neste instante ele calcula o grau de saturação em todos os links. Se qualquer um deles apresentar uma taxa superior a determinado grau de saturação limite, o tempo de ciclo será incrementado de um pequeno valor, não sendo permitido ultrapassar, entretanto, o tempo de ciclo máximo estabelecido para a rede. Se todos estiverem abaixo do patamar limite, o ciclo será diminuído de um pequeno decremento. O valor padrão utilizado pelo SCOOT como grau de saturação limite é igual a 90%. O usuário pode estabelecer outros valores para este parâmetro.

Nas situações em que ocorre uma variação muito rápida no fluxo do trânsito como por exemplo, costuma acontecer no início do pico da manhã, o otimizador passa a ser processado automaticamente a cada dois minutos e meio, a fim de poder acompanhar mais de perto a evolução da curva de demanda.

Nos nós que apresentam taxas de ocupação muito inferiores às do nó crítico da rede, o SCOOT aplica a solução de ciclo duplo com o intuito de reduzir os atrasos no local, desde que o engenheiro de trânsito não tenha proibido, no banco de dados, que aquele nó possa vir a operar com tal solução.

O cálculo do tempo de ciclo não é diretamente influenciado pelo congestionamento. Isso ocorre porque uma fila pode atingir a seção crítica do laço detector ou quando há capacidade insuficiente na interseção (nesse caso, um tempo de ciclo maior pode ser necessário), ou quando o período vermelho é muito longo (indicando a provável necessidade de um tempo menor de ciclo). Não há correção óbvia para o tempo de ciclo quando o congestionamento é detectado. Assim, no SCOOT, apenas os otimizadores de tempos de estágios e de defasagem tomam ações diretas para tratar situações congestionadas.

***AO LADO, VISTA GERAL DA RUA DA
CONSOLAÇÃO, UM DOS PRINCIPAIS
CORREDORES EM TEMPO REAL***



8. O CONTROLE EM TEMPO REAL ITACA

8.1 O DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Em 1987, a empresa espanhola Sainco Trafico (atualmente Telvent Trafico y Transporte), iniciou o desenvolvimento do Sistema ITACA em conjunto com a Universidade de Oviedo. Em 1995, o novo sistema foi instalado na cidade de Madrid. Atualmente, existem outras cidades no mundo utilizando este sistema.

No Brasil, o ITACA opera em São Paulo e está sendo instalado em Belo Horizonte. A cidade de Salvador contratou sua implantação em dezembro de 2003. No exterior, alguns exemplos são as cidades de Kuala Lumpur, Santo Domingo e Pequim.

8.2 CONCEITOS UTILIZADOS

Os conceitos aplicados no desenvolvimento do Sistema ITACA são semelhantes aos do SCOOT, pois ambos são sistemas adaptativos em tempo real, ou seja, procuram a melhor programação dos semáforos através de pequenas e freqüentes alterações dos tempos de verde, de ciclo e defasagens, em função do padrão de trânsito reconhecido pelos detectores.

Dessa forma, os tópicos minimização de transientes, previsões de curto prazo, respostas ágeis, detectores com falha, modelo do perfil do trânsito em tempo real e ausência de planos de tráfego de partida seguem os conceitos gerais do programa inglês, embora ocorram algumas diferenças na forma de colocá-los em prática.

8.3 ESTRUTURA DOS ELEMENTOS UTILIZADOS

Os elementos utilizados pelo ITACA são funcionalmente idênticos aos do SCOOT, variando apenas sua denominação.

8.4 O MODELO DE TRÁFEGO

No sistema ITACA, são instalados laços detectores para monitorar todos os links dos cruzamentos controlados, seguindo o padrão de um laço detector para cada faixa de rolamento. Normalmente, os laços são instalados o mais distante possível da linha de retenção do semáforo. Em locais onde não é possível a locação anterior, pode-se posicionar os laços após a linha de retenção.

A cada 5 segundos, os computadores recolhem as informações coletadas de fluxo e de ocupação. Diferentemente do SCOOT, o fluxo é representado pelo número de veículos real e não pela transformação na unidade lpu que incorpora simultaneamente os dados de fluxo e de ocupação.

O valor do fluxo de um link é igual à soma dos valores lidos para cada uma das suas faixas de rolamento. O valor de ocupação de um link é igual à menor ocupação reconhecida entre todas as faixas, a fim de contornar o problema do estacionamento irregular sobre um laço detector.

As informações registradas pelos detectores são enviadas através da rede de transmissão de dados aos computadores centrais, onde são processadas e armazenadas sob a forma de perfis cíclicos de fluxo e ocupação. Tais perfis contêm as informações necessárias para que o ITACA decida qual a melhor coordenação entre os cruzamentos, bem como para calcular o tempo do ciclo e dos estágios.

Para cada link, o modelo de tráfego do ITACA projeta o comportamento da fila na faixa de retenção para os próximos instantes. Considera-se que o veículo detectado percorrerá o trecho até a retenção numa velocidade constante, parametrizada pelo engenheiro de tráfego.

8.5. A COMPOSIÇÃO DAS FILAS E A IDENTIFICAÇÃO DO CONGESTIONAMENTO

A simulação do tamanho das filas é realizada da mesma forma já explicada para o SCOOT. Em relação ao modelo de identificação de situações congestionadas há uma pequena diferença: enquanto o programa inglês trabalha com um parâmetro específico para tratar o problema, o espanhol deduz a situação congestionada a partir do nível de ocupação verificado.

8.6. A OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA

O programa trabalha, também, com três módulos otimizadores, independentes entre si:

A. OTIMIZADOR DOS TEMPOS DOS ESTÁGIOS

Normalmente, este otimizador é acionado seis segundos antes do fim previsto para o estágio vigente. O ITACA analisa três alternativas de decisão e escolhe aquela que melhor equalizar o grau de saturação e o índice de congestionamento dos links críticos: antecipar o fim do estágio de 5 segundos, retardar o fim do estágio de 5 segundos ou permanecer com o fim do estágio no ponto previsto anteriormente.

B. OTIMIZADOR DE DEFASAGEM

Uma vez por ciclo, o sistema calcula qual deve ser a defasagem de cada semáforo que compõe a rede. Tal verificação é processada entre os segundos 16 e 22 do maior estágio existente. São estudadas onze alternativas de defasagem, num intervalo que varia entre -5 e + 5 segundos da defasagem vigente. A alternativa escolhida será aquela que implicar no menor atraso e número de paradas do conjunto de todos os links que chegam e que saem do nó estudado.

C. OTIMIZADOR DO TEMPO DE CICLO

Este módulo é o que apresenta maior diferença em relação ao utilizado pelo SCOOT. Aqui, o conceito básico adotado é o de calcular, para o nó mais saturado da rede, o valor igual a $075 * T_{cot}$, sendo T_{cot} o tempo de ciclo decorrente da fórmula clássica de Webster.

Este valor é calculado a todo o ciclo e o programa considera apenas os sete últimos tempos de ciclo computados. O tempo de ciclo só será aumentado se, pelo menos, três dos sete últimos valores forem superiores ao tempo de ciclo vigente. Procedimento análogo é utilizado para a decisão de diminuir o tempo de ciclo.

9. O PONTO DE VISTA DO OPERADOR DO SISTEMA

Este item relata a opinião técnica dos engenheiros de trânsito responsáveis pela parametrização e operação dos semáforos da CTA-1, que funciona com o controle em tempo real SCOOT, após seis anos de convivência com o novo sistema.

9.1. OS RECURSOS OPERACIONAIS MAIS IMPORTANTES

MONITORAÇÃO DO TRÂNSITO

A interface do usuário com o sistema permite que os técnicos do centro de controle observem as redes de semáforos em tempo real com grande nível de profundidade. As redes são apresentadas, nas telas dos monitores, sob a forma de desenhos unifilares compostos basicamente de círculos, denominados nós, que representam os semáforos, e de setas, denominadas links, que representam os movimentos dos veículos que se aproximam dos semáforos.

Nos desenhos unifilares é possível visualizar a situação de saturação de cada link em três níveis: trânsito livre, lento ou congestionado. Esta informação é deduzida a partir da porcentagem de tempo em que os detectores estiveram ocupados por veículos durante um certo período. Com base em tais dados pode-se inferir os pontos de estrangulamento e suas repercussões e tomar as providências operacionais que couberem.

A Figura 10 traz o exemplo da tela que mostra a situação da fluidez do trânsito em função de uma convenção em que cada cor representa um diferente nível de saturação. A situação dos semáforos também é representada através das cores verde, amarela e vermelha.

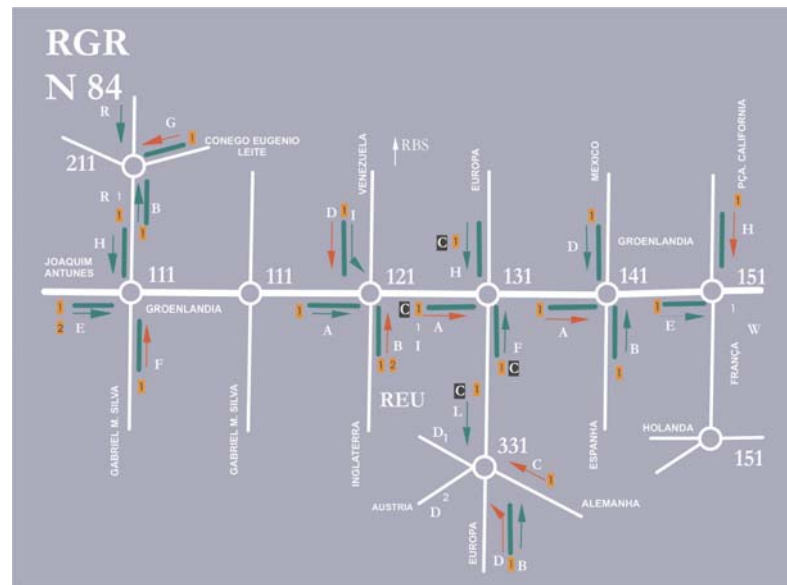


FIGURA 10
FLUIDEZ DO TRÂNSITO EM FUNÇÃO
DO NÍVEL DE SATURAÇÃO

É possível também acompanhar a seqüência de abertura e fechamento de semáforos em rede, o que permite visualizar com facilidade sua estrutura de defasagens.

Janelas no monitor mostram os tempos de estágio que ocorreram nos últimos ciclos para cada semáforo controlado. O acompanhamento desta evolução auxilia no entendimento de como o sistema está respondendo ao perfil de tráfego presente.

Existe outra apresentação em tempo real, também de grande utilidade. Trata-se da visualização, atualizada a cada segundo, dos estados de cada um dos links (aberto ou fechado), bem como o correspondente tamanho da fila. Através deste recurso, é possível perceber a formação e a dissipação das filas ao longo do tempo.

O acompanhamento de todas essas informações é um recurso precioso para garantir um bom monitoramento das condições do trânsito e das reações do sistema diante das demandas.

As figuras abaixo mostram duas telas com informações sobre o comprimento das filas dos links de um semáforo nos últimos minutos e os tempos dos estágios que ocorreram no último ciclo.

The screenshot shows a terminal window with a menu bar (File, Edit, Commands, Options, Print, Help) and a header line: N144210 RFC IMPL=LIG RPLY=LIG SOFT=DESL MPB1=HÃO -VAL= 28-Fev-97 16:56:54. Below the header, there are several lines of data including R 4 and a table with columns: SCOOT, Risc, DclinT, PUA, DclinT, Est, SIOC, Válid, and Comenta. The table contains 10 rows of data representing different stages and their durations.

SCOOT	Risc	DclinT	PUA	DclinT	Est	SIOC	Válid	Comenta
16:49:44	007	013	010	015	008	Y		
16:50:32	007	014	009	015	009	Y		
16:51:30	010	-01				N		
16:52:04	005	010				N		
16:53:01	007	015				N		
16:53:47	004	009				N		
16:54:41	005	010				N		
16:55:34	005	012				N		
16:56:29	005	011				N		

The screenshot shows a terminal window with a menu bar (File, Edit, Commands, Options, Print, Help) and a header line: N13211 REGIÃO PR IMPL=LIG REPL=LIG 17-Fev-98 14:44:13. Below the header, there are several lines of data including R 4 and a table with columns: LINK, VRD, FIL, Fatra, FavRD, Tc1rF, T5MT, Fc1ra, DEFASA, and STOC. The table contains 5 rows of data representing different links and their queue lengths and stage times.

LINK	VRD	FIL	Fatra	FavRD	Tc1rF	T5MT	Fc1ra	DEFASA	STOC
H	112	10	10	3	4	63	63	-129	18
G+	20	27	58	53	-1	122	132		30
F	112	15	15	21	64	83	3		17
X									29

FIGURA 11
TELAS COM INFORMAÇÕES DAS FILAS E DOS
TEMPOS DOS ESTÁGIOS

MONITORAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Em termos de monitoração do estado dos equipamentos, existem vários relatórios a que se pode recorrer para confirmar se existe algum problema de falha. É possível, por exemplo, ativar uma tela de monitoração em que se acompanha, através de bits enviados pelo detector a cada 250 metros, a presença de algum veículo naquele instante. A confrontação destas mensagens com a situação real permite aquilatar a confiabilidade do laço detector analisado.

*Costuma-se deixar ativa, no monitor, uma tela que mostra imediatamente a ocorrência de alguma falha. Todas as falhas ocorridas durante o dia são registradas em relatório (log) que documenta os horários em que os problemas ocorreram. Tais informações são importantes para que o setor de manutenção acompanhe os índices de MTBF (*mean time between failures*), que traduzem a confiabilidade e a durabilidade de cada componente e de cada equipamento. O registro do histórico das falhas também é utilizado para atender a questionamentos judiciais decorrentes de ações de motoristas de veículos que se envolveram em acidentes e que alegam, por vezes, que o semáforo não estava funcionando corretamente.*

INTERVENÇÕES OPERACIONAIS NAS PROGRAMAÇÕES

Sob circunstâncias especiais, pode-se retirar o controle em tempo real, passando para o controle em tempo fixo. Tal decisão acontece, geralmente, quando ocorre uma variação inesperada e muito abrupta do trânsito. Por exemplo, uma passeata que toma conta de metade da via de uma importante artéria de trânsito: ela aparece de repente e vai atravessar o local em alguns minutos. O algoritmo de controle não consegue reagir com a rapidez necessária devido ao seu caráter intrinsecamente adaptativo e, por conseguinte, paulatino. Nesses casos, é aconselhável impor uma programação em tempos fixos adequada para enfrentar a anomalia existente.

É possível intervir nos tempos calculados pelo tempo real através da modificação de seus parâmetros intrínsecos. Existem alguns parâmetros mais convenientes para tal finalidade, conforme aprendido durante estes anos de experiência na CTA-1.

*Tomando-se como exemplo a situação de um veículo quebrado na via, ocupando uma faixa de rolamento, tem-se um caso de redução na capacidade da aproximação e, conseqüentemente, do respectivo *link*. O sistema não consegue perceber, por si mesmo, essa redução na capacidade, e só vai aumentar o tempo de verde do *link* quando a fila formada atingir o laço detector e indicar condição de congestionamento, o que pode levar algum tempo. Nesse caso, sabendo da ocorrência do veículo quebrado (por informação do pessoal de campo ou das câmeras de TV), o técnico do centro de controle pode modificar o parâmetro referente ao fluxo de saturação do *link* de modo a informar ao sistema que a capacidade daquela via foi reduzida. Como resposta, o SCOOT vai aumentar o tempo de verde daquele *link* antes mesmo que se inicie o processo de congestionamento.*

*Da mesma forma, outros parâmetros poderão ser alterados em função das características de cada problema que surgir. Em situações de congestionamento em todas as aproximações de um cruzamento, pode-se priorizar uma delas, alterando o parâmetro que representa a *importância de congestionamento do link*, o que fará com que o SCOOT favoreça a aproximação com o parâmetro de maior valor.*

Pode-se ainda priorizar um eixo principal em relação a suas transversais, permitindo que as mesmas atinjam valores de grau de saturação maiores do que o eixo, o que acarretará que o SCOOT reduza o tempo de verde nas transversais.

A intervenção pode ocorrer também nas programações de tempo fixo que residem nos controladores em campo. A programação local do controlador pode ser trazida para o centro de controle (upload), alterada e descarregada novamente para o controlador (download). Este recurso evita que o técnico precise se deslocar até o local quando há necessidade de atualizar a programação. Realizar tal tarefa em campo, muitas vezes em situação ambiental desfavorável, aumenta consideravelmente a possibilidade de erros, risco este diminuído com a digitação no centro de controle, em condições mais adequadas.

O acerto do relógio do controlador devido à entrada/saída do horário de verão é um bom exemplo da maior facilidade com que se pode alterar remotamente os valores residentes no controlador. Nos casos em que este não está centralizado, é necessário que um operador se desloque até cada um dos equipamentos em campo a fim de acertar seu relógio.

9.2. FATORES ESSENCIAIS PARA O FUNCIONAMENTO DO CONTROLE EM TEMPO REAL

A princípio, pode-se crer que o controle em tempo real, devido ao seu alto grau de automatização, prescinde de uma maior preocupação por parte de seus responsáveis técnicos, visto que “tudo funciona sozinho”. Isso só é verdade na medida em que seus equipamentos estiverem operando corretamente e os parâmetros do sistema adequadamente quantificados. Justamente por ser um sistema bastante sofisticado do ponto de vista técnico, é que necessita que suas partes componentes se mantenham em perfeito estado de funcionamento.

Sob este ponto de vista, a maior dificuldade reside, sem dúvida, na conservação do subsistema de detecção. É sempre bom ter em mente que o tempo real se utiliza, basicamente, de dados reais, ou seja, da identificação dos veículos que estão passando nos laços detectores para alimentar seu algoritmo de controle. É com base em tais medições que o modelo matemático compõe a formação e desmanche das filas, calcula o atraso decorrente e o número de paradas e, a partir daí, determina qual deve ser o tempo de ciclo, os tempos de verde e as defasagens entre os semáforos vizinhos para obter o melhor desempenho de toda a rede analisada. Assim, a percepção da realidade que está ocorrendo em campo é obtida através dos laços detectores. As reações do sistema ocorrem em função desta realidade medida e das prioridades definidas pelos técnicos que o operam. Obviamente, se a premissa estiver errada, isto é, se as leituras das variáveis do trânsito ultrapassarem uma margem de erro tolerável, o resultado final ficará prejudicado.

Os cuidados com o sistema de detecção têm de começar já na fase do projeto inicial. Por exemplo, deve-se evitar o posicionamento dos laços detectores na região da aproximação normalmente ocupada pela fila de espera do semáforo, caso contrário, não será possível deduzir que veículos parados sobre o laço significam situação congestionada. Mas, indubitavelmente, a tarefa mais complexa é a de manter os laços funcionando no dia-a-dia. As obras na via pública, principalmente as de emergência, são o principal fator de risco. Evitar sua ruptura e viabilizar rapidamente sua recuperação exigem atenção permanente por parte dos técnicos envolvidos.

Outro fator essencial para alcançar um bom aproveitamento do controle em tempo real reside na parametrização dos valores que representarão a realidade do campo, principalmente no que tange aos trabalhos de validação. Chama-se de validação ao processo de medição e atribuição de valores aos parâmetros que caracterizam cada um dos links. O parâmetro mais importante, e que exige maior precisão na sua quantificação, é o fluxo de saturação. No caso do SCOOT, as unidades utilizadas para medir o fluxo e o fluxo de saturação não são veículos ou veículos-equivalentes. É utilizada uma outra unidade, denominada lpu (link profile unity), que possui um sentido mais apurado. Por isso, o processo de medição do fluxo de saturação tem de se valer de meios

indiretos para determinar o valor representativo de cada link em particular. É uma tarefa bastante trabalhosa, que exige a participação tanto de técnicos em campo, acompanhando a realidade do trânsito, como de outros no centro de controle, verificando como o sistema está “entendendo” a realidade enviada pelos laços e a velocidade de descarga dos veículos na retenção. Somente após a calibração de todos os parâmetros de cada um dos links, calibração esta conhecida como validação, é que a rede de semáforos pode passar a operar em tempo real. A correta validação dos links componentes da rede é essencial para que se possa confiar no automatismo do sistema.

Além dessas tarefas, ainda é necessário determinar os parâmetros fixos dos semáforos (tempos de segurança, estruturas estágio versus grupo, correlação links versus grupos, etc) e inseri-los tanto na memória dos controladores como no banco de dados dos computadores centrais. São cerca de 100 parâmetros para cada semáforo analisado.

Em resumo, existe um trabalho bastante grande para alimentar o sistema com os dados necessários. Para se ter uma idéia do trabalho envolvido, pode-se dizer que dois engenheiros demoram cerca de dois meses para colocar uma rede de dez semáforos operando em tempo real.

9.3. SUBSISTEMA CFTV

Apesar de constituir um subsistema independente do sistema de semáforos inteligentes, o acesso às imagens externas pelos operadores do centro de controle revelou-se um componente de peso para seu bom desempenho.

Várias câmeras previstas no projeto inicial ainda não foram instaladas, apesar de já terem sido adquiridas há vários anos, conforme descrito anteriormente. A conseqüência da não-implantação em várias avenidas importantes da cidade é que elas não têm o mesmo padrão de monitoramento e não participam dos bons resultados verificados nos locais em que as câmeras já foram implantadas.

Como sempre, o grau de qualidade de um sistema de CFTV já começa na etapa do projeto inicial. É desejável que todos os eixos importantes de trânsito sejam monitorados. A princípio, pode-se considerar que cada câmera monitora adequadamente um círculo de raio que varia entre 700 e 1500 metros, dependendo da qualidade do equipamento utilizado. Muitas vezes, é difícil antever qual será o campo de visão propiciado por um determinado posicionamento da câmera. Isso ocorre, principalmente, em regiões densamente edificadas, onde é conveniente realizar um teste prévio. Na fase de projeto do CTA-1, a empresa instaladora dispunha de um caminhão especialmente preparado onde era montada uma câmera e um monitor associado, o que permitia testar e observar o campo de visão resultante para diversas alternativas de posicionamento. Geralmente, no meio urbano, o que restringe o campo de visão de uma câmera não é seu alcance propriamente dito, mas o obstáculo causado pelas edificações. Conforme as condições locais, as CTAs utilizaram, inicialmente, postes entre 8 e 15 metros de altura. É interessante observar que em regiões onde existem muitas árvores, é preferível adotar postes mais baixos para que suas copas não atrapalhem o campo de visão. Nesses casos, a CTA-1 tem adotado postes de 6 metros de altura.

A tarefa de monitoração por CFTV foi incorporada às atividades do centro de controle através de procedimento padronizado. Frequentemente, são identificadas interferências nas vias como, por exemplo, veículos quebrados, acidentes, obras, etc. Nos locais não visualizados pelas câmeras, tais problemas, geralmente, são percebidos somente muito tempo depois, quando a situação de congestionamento atinge pontos monitorados por operadores da CET em campo, ou quando algum munícipe contata o serviço de reclamações da CET.

O sistema de CFTV permite visualizar não só regiões contempladas com o controle em tempo

real como também áreas controladas pelo sistema SEMCO, de tempos fixos. Nestas últimas, o operador do centro de controle precisa reprogramar diretamente os semáforos quando percebe algum problema pelos monitores de TV.

Outra aplicação muito útil é a retransmissão das imagens por emissoras de TV em boletins de trânsito diários. O usuário pode evitar vias problemáticas, adiar temporariamente uma viagem, escolher um caminho alternativo, enfim, gerenciar melhor seus deslocamentos pela cidade na medida em que é informado do que está acontecendo. Nesse sentido, o próximo passo é disponibilizar as imagens na rede da Internet. Dessa forma, o usuário interessado poderia acessar qualquer câmera no instante em que necessitasse da informação, ao invés de ter de esperar pelo boletim da TV. Algumas cidades brasileiras já dispõem deste serviço que tem-se mostrado extremamente útil.

Existe outro emprego das câmeras que é bastante discutível. Trata-se de sua utilização para fins de segurança pública. Durante alguns meses, a Polícia Militar do Estado de São Paulo manteve um policial no centro de controle da CTA-1 acompanhando as imagens das câmeras. A tentativa mostrou-se pouco eficaz: nenhuma ocorrência significativa foi constatada e o serviço foi desativado. Os motivos que explicam a baixa eficácia já começam a aparecer na fase de projeto. Os locais das câmeras, a sua altura e o tipo de equipamento foram escolhidos para atender ao enfoque trânsito. A dificuldade do trabalho conjunto continua na etapa de operação, pois enquanto o interesse maior do policiamento está no que acontece nas calçadas e nos edifícios lindeiros, de preferência com a imagem fechada sobre o ponto de interesse, a operação do trânsito necessita visualizar as vias públicas com a imagem bem aberta, de forma a obter o maior campo de visão possível.

9.4. A RECICLAGEM DOS TÉCNICOS

Um dos temas mais controvertidos, e que necessita ser repassado aqui, é o impacto de um novo instrumento na cultura do meio técnico. O controle em tempo real representa uma tecnologia bastante complexa e possui muitos conceitos que são desconhecidos na estratégia tradicional do controle em tempos fixos. À primeira vista poderia parecer que seu manuseio seria simplificado devido às suas características de automatização. Entretanto, “pilotar” um equipamento mais sofisticado sempre acaba exigindo maior, ou pelo menos diferente, qualificação profissional.

No que diz respeito à programação dos semáforos, surgem novos elementos, como, por exemplo, a figura do multi-nó e da defasagem específica para atender congestionamento no link. São ferramentas poderosíssimas, mas que por isso mesmo devem ser empregadas com extremo discernimento.

No que tange à operação do trânsito é que aparecem os maiores problemas, pois o tipo de intervenção muda radicalmente. Na estratégia convencional, situações problemáticas são remediadas com alteração do tempo do ciclo ou redistribuição dos tempos dos estágios. Vinte anos de Sistema SEMCO acostumaram as equipes que operam o trânsito em campo a solicitar alterações na programação semaforica ao operador que está no centro de controle. Todo esse esforço ajudou a manter a operação da CET de São Paulo num grau considerado excelente por todos que a conhecem. Mas agora, quem convence a engenharia e os técnicos de campo de que o novo sistema pode lidar sozinho com a maior parte das situações e que, muitas vezes, a interferência humana só vai servir para perturbar a correção automática? Existem situações em que uma intervenção externa se faz necessária, mas tal decisão tem de ser tomada criteriosamente, avaliando não só aquele ponto isolado onde o operador se encontra, mas o conjunto de todo o entorno envolvido.

Em qualquer setor de atividades, a área de operação é a responsável maior pela preservação

continua do bom desempenho de um sistema. No setor de trânsito essa faceta se mostra particularmente verdadeira, pois as conseqüências negativas de um congestionamento ou de um acidente repercutem fortemente em toda a sociedade. Todos os que trabalham na área sentem a pressão, diariamente. Por conseguinte, não é nada fácil convencer um operador, responsável pelo bom desempenho ininterrupto do trânsito de uma região, a deixar de agir quando ocorre um problema de porte e confiar que um programa de computador vai conseguir resolver as dificuldades sozinho. Pode-se dizer que tão importante, ou mais, do que o treinamento técnico é a reeducação da postura operacional.

A questão é agravada porque, logo no início da implementação do novo sistema, os responsáveis pelo seu funcionamento ainda não dominam satisfatoriamente sua parametrização. Evidentemente, apenas o treinamento teórico não é suficiente para assegurar a plena competência técnica. Por um lado, tem-se a complexidade da nova tecnologia e por outro, existe a conhecida irregularidade do comportamento do trânsito e a conseqüente dificuldade de modelagem. Dessa forma, é inevitável que, nos primeiros tempos da implantação, surjam transtornos que serão evitados facilmente no futuro.

De qualquer forma, a intervenção operacional no controle em tempo real é também possível. Em termos bastante simplificados, o caminho a ser seguido, neste caso, é o de apontar para o programa o resultado final que se deseja obter em determinado local e este se encarregará de implementar os meios para alcançá-lo. Pode-se imaginar que no controle em tempos fixos o operador aplica o remédio que julga mais conveniente (forçar um plano, aumentar um tempo de verde, etc). No caso do novo sistema, o operador determina, ao programa, o resultado que pretende que seja atingido (por exemplo, impor que uma situação de saturação incida mais sobre determinadas vias do que sobre outras). Pode-se dizer que a intervenção mais radical é a de remover o controle em tempo real e passar ao nível de controle em tempos fixos. Nessa hora, o operador retoma, evidentemente, o comando total da programação semaforica.

Em resumo: a integração entre as necessidades do setor de operação e as características de uma nova tecnologia, de viés voltado para a automação, é uma tarefa complexa e tem de ser tratada com atenção; é um problema que só pode ser resolvido com o passar do tempo, na medida em que a experiência com o novo sistema mostra suas potencialidades e limitações. É normal que usuários acostumados com sistemas mais simples tenham resistência às novas tecnologias. O próprio sistema SEMCO, atualmente adotado por todos como um padrão de referência, demorou alguns anos para ser assimilado e suas potencialidades plenamente utilizadas.

9.5. DIFICULDADES ENCONTRADAS

O fator que mais prejudica o bom rendimento do controle em tempo real reside não nas limitações tecnológicas propriamente ditas, mas nas limitações humanas relatadas no item anterior.

Sob o prisma dos componentes físicos do sistema, a maior dificuldade está na manutenção do subsistema de detecção. Falhas de laços detectores prejudicam o bom desempenho do modelo. Ainda que o SCOOT tenha recursos para compensar algumas das conseqüências negativas, há casos em que tal compensação não é suficiente. Quando o número de laços detectores inoperantes é muito grande, torna-se necessário abandonar o controle em tempo real e passar a operar no modo em tempos fixos. Por isso, é essencial cuidar que os laços não sejam destruídos pelas obras nas vias públicas e garantir sua rápida substituição quando atingem o fim de sua vida útil.

Outro sério problema decorreu da forma abrupta e intempestiva com que o contrato da implantação da

CTA-1 foi encerrado. Informações importantes a respeito da operacionalização, configuração e manutenção dos equipamentos ficaram incompletas. As equipes de engenharia da CET, tanto de trânsito como de manutenção, conseguiram, aos poucos, destrinchar informações que faltavam à medida que as necessidades do dia-a-dia assim o exigiam, mesmo sem o suporte da documentação técnica que teria sido entregue caso o contrato tivesse tido seu prosseguimento normal. Entretanto, ainda restam alguns pontos a elucidar para atingir o domínio técnico adequado sobre o sistema.

10. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROJETO NO ASPECTO FLUIDEZ

A fim de aferir o impacto causado, a CET de São Paulo realizou pesquisa comparativa do tipo antes-depois em três redes contempladas pelo novo sistema.

10.1 METODOLOGIA UTILIZADA

A pesquisa foi realizada por veículos do departamento de pesquisa da CET, que anotaram o tempo total do percurso e a parcela de espera nos semáforos. Foram medidos dois dias para representar a situação antes e outros dois para configurar a situação depois.

Foram selecionadas três áreas com distintas características de tráfego a fim representar melhor o universo contemplado pelo projeto. Cada uma das três regiões pesquisadas foi implementada por um fornecedor diferente.

10.2 PESQUISA DA REDE DE SEMÁFOROS DAS AVENIDAS RIO BRANCO E NORMA GIANOTTI

As duas avenidas constituem importante eixo arterial, com duas pistas de três faixas de tráfego cada, separadas por canteiro central, que liga o centro da cidade à região norte. As faixas da esquerda são reservadas ao trânsito exclusivo de ônibus. Têm, em conjunto, 2700 metros de extensão e comportam dez interseções semaforizadas, apresentando, principalmente, trânsito de passagem de modalidade pendular, com o horário de pico da manhã ocorrendo entre as 7:00 e 10:00 hs e o da tarde entre 17:00 e 20:00 hs. O volume diário médio, à época da pesquisa, era de 31000 veículos, contabilizando ambos os sentidos. Previamente, operava no local programa em tempos fixos do Sistema SEMCO. A área corresponde a CTA-1 e o programa aplicado é o SCOOT versão 2.4.

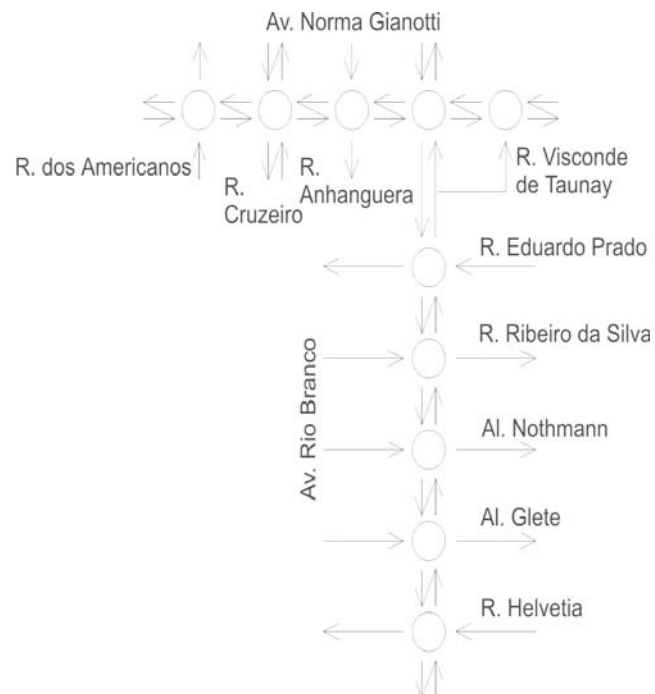
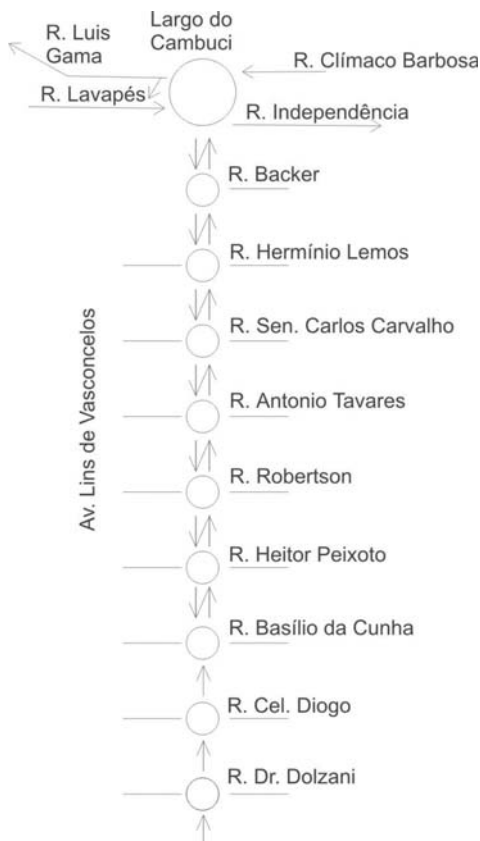


FIGURA 12
REDE RIO BRANCO E
NORMA GIANOTTI

A tabela a seguir apresenta os resultados encontrados. A coluna “Atraso médio por veículo no corredor” informa o tempo total gasto pelos veículos devido à espera semafórica:

Período (h)	Atraso médio por veículo no corredor (s)		Redução (%)
	Antes	Depois	
07:00 – 10:00	265	160	40
17:00 – 20:00	256	259	0

10.3 PESQUISA DA REDE DE SEMÁFOROS DA AVENIDA LINS DE VASCONCELOS



A avenida Lins de Vasconcelos possui características de via coletora com forte atividade comercial. Tem dois sentidos de circulação, sem canteiro central.

O estacionamento é permitido ao longo da via, o que reduz a circulação para apenas uma faixa de tráfego por sentido. Mede 1900 metros e possui dez interseções semaforizadas.

O horário de pico ocorre entre as 10:00 e as 16:00 hs. O volume diário médio, considerando ambos sentidos, chegava a 12000 veículos quando foi realizada a pesquisa. Anteriormente operavam no local controladores eletromecânicos com um único plano em tempos fixos.

A região é comandada pela CTA-4 e o programa de tempo real aplicado é o ITACA.

FIGURA 13
REDE LINS DE
VASCONCELOS

Foram encontrados os seguintes resultados:

Período (h)	ATRASSO MÉDIO POR VEÍCULO NO CORREDOR (s)		REDUÇÃO (%)
	ANTES	DEPOIS	
07:00 – 10:00	186	174	6
10:00 – 16:00	329	230	30
16:00 – 21:00	244	205	16

10.4 PESQUISA DA REDE DE SEMÁFOROS DAS RUAS ALVARENGA E CAMARGO

Ambas são vias com sentido único de circulação que fazem a ligação com duas importantes estradas. Medem, em conjunto, 1800 metros e contam com oito interseções semaforizadas. Cada uma delas possui quatro faixas de tráfego.

Seu volume diário médio, à época da pesquisa, era de 68000 veículos, com características de trânsito de passagem e elevado índice de caminhões.

Faz parte da CTA-5 e seu programa de controle é o SCOOT na versão 3.1. Antes do novo projeto, as vias eram controladas por uma central do tipo PC, que operava em tempos fixos.

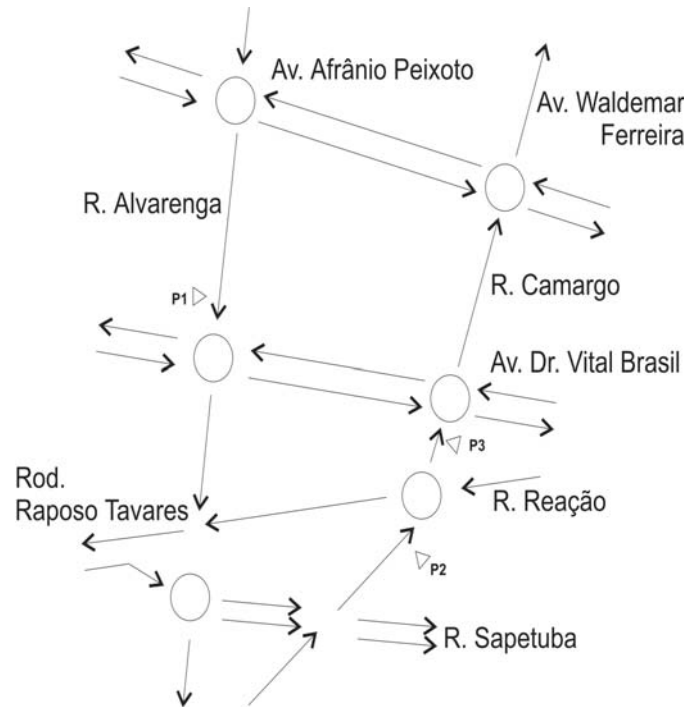


FIGURA 14
REDE ALVARENGA E
CAMARGO

A tabela a seguir apresenta os resultados verificados:

PERÍODO (h)	ATRASSO MÉDIO POR VEÍCULO NO CORREDOR (s)		REDUÇÃO (%)
	ANTES	DEPOIS	
07:00 – 10:00	181	106	41
10:00 – 16:00	102	48	53
16:00 – 20:00	79	79	0

10.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A comparação entre os valores encontrados mostra que os melhores resultados foram obtidos na região das ruas Alvarenga e Camargo. O ganho obtido pelo SCOOT foi excepcional. O fato pode ser explicado pela característica do trânsito dessas vias, receptoras do tráfego de caminhões que fazem a conexão mercantil de São Paulo com outras cidades. Tal tipo de atividade oscila sobremaneira em função de diversos fatores que não conseguem ser previstos numa tabela de controle em tempos fixos. Além disso, tratava-se de uma região bastante saturada e, portanto, extremamente sensível à ocorrência de incidentes, que geravam a propagação rápida de ondas de congestionamento devido ao bloqueio de cruzamentos. Este tipo de problema é identificado e minimizado em programas de controle em tempo real.

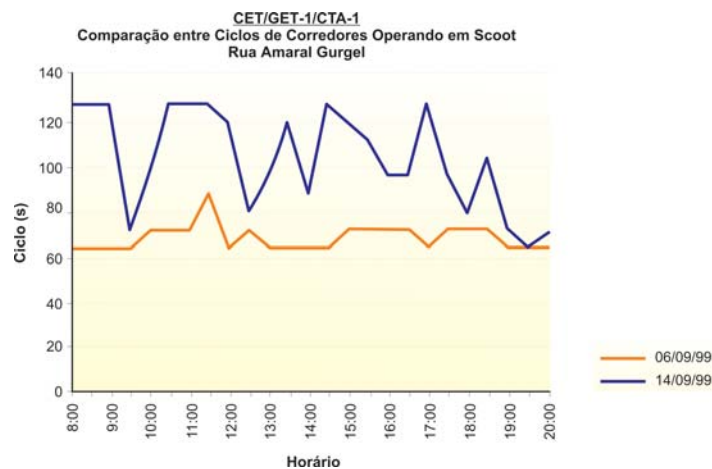
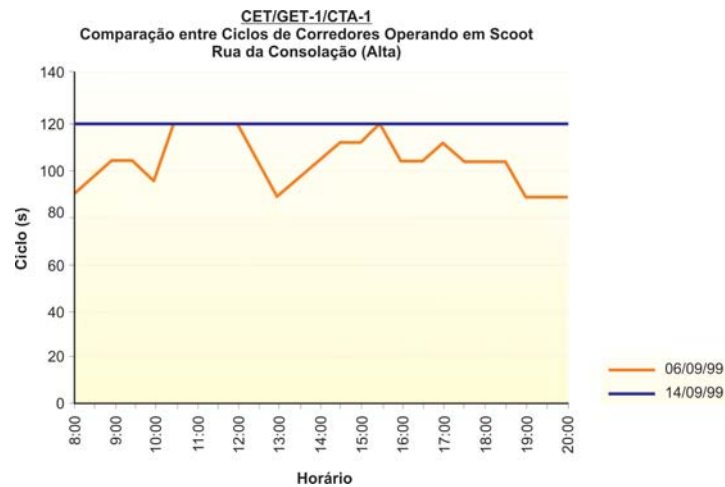
Na média entre as três amostras pesquisadas, constatou-se uma economia do tempo de espera nos semáforos da ordem de 20%, representando um ganho extremamente significativo. O benefício medido em outras cidades que implementaram o controle em tempo real ficou entre 10 e 15%. Pode-se atribuir o alto índice obtido em São Paulo a três fatores:

- a. Algumas redes operavam anteriormente com equipamentos bastante limitados;*
- b. A intensidade da saturação em São Paulo é muito mais elevada do que na maioria das outras cidades, o que propicia melhor aproveitamento da sofisticação tecnológica implementada;*
- c. A engenharia da CET de São Paulo tem forte tradição na operação prática do trânsito. O conhecimento acumulado nesta área permitiu identificar claramente a melhor forma de aplicar uma tecnologia inédita às características de cada uma das vias contempladas.*

11. EXEMPLOS DA EVOLUÇÃO DO TEMPO DE CICLO NO CONTROLE EM TEMPO REAL

Nas programações em tempos fixos, os valores atribuídos aos tempos de ciclo têm de ser um pouco mais altos do que exigiria a situação usual do trânsito, pois é necessário garantir uma certa margem de segurança que possa absorver picos de demanda em dias especiais. Entretanto, o efeito colateral deste cuidado é que sobrevém um atraso adicional àquele que seria normalmente necessário.

Foram anexados alguns exemplos de situações registradas em campo para ilustrar a importância de se valer de um mecanismo que possa ajustar o tempo de ciclo ao real perfil de demanda presente.



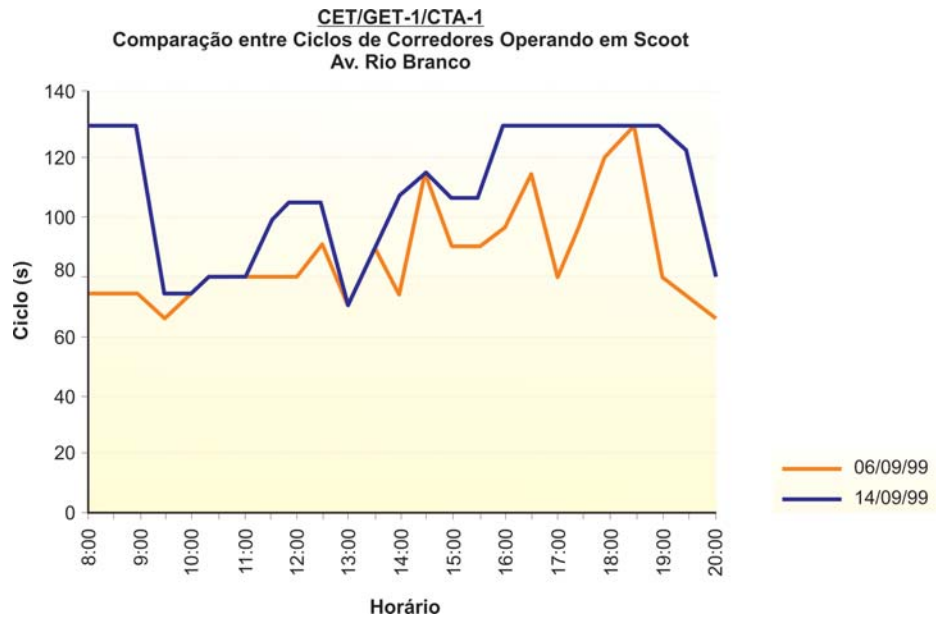
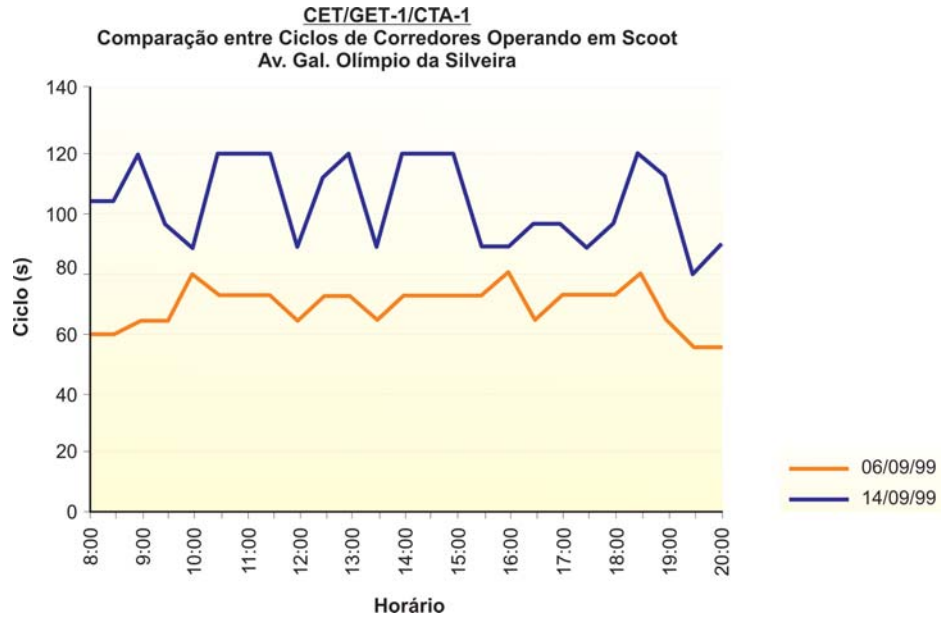


FIGURA 15
EVOLUÇÃO DE TEMPO
DE CICLO

A Figura 15 mostra gráficos com a evolução comparativa dos resultados encontrados em quatro corredores da região central da cidade (CTA-1) durante dois dias, com características distintas entre si. O dia 6 de setembro de 1999, uma segunda-feira, véspera de feriado, ocasião em que o trânsito ficou aquém do normal devido à “ponte” entre o domingo e o feriado e o dia 14 de setembro de 1999, uma terça-feira, com características de um dia típico.

Percebe-se a adequação da programação semaforica ao decréscimo do fluxo no dia 6, ação que seria impensável numa programação tradicional. Tal tendência é percebida, com maior ou menor intensidade, em todos os quatro casos.

Ao mesmo tempo, pode-se aproveitar o exemplo para analisar a curva de evolução do tempo de ciclo, sob controle em tempo real, num dia típico como foi o dia 14.

Nas avenidas General Olímpio da Silveira e Amaral Gurgel, a variável oscila bastante ao longo do dia, como resposta ao maior ou menor fluxo existente. Note-se que são vias de grau de saturação médio.

Na avenida Rio Branco, com propriedades de trânsito pendular, a demanda se concentra nos picos, intervalo em que o programa atingiu o tempo de ciclo máximo imposto de 128 segundos.

Já na rua da Consolação, o patamar máximo de 120 segundos permaneceu inalterado durante todo o período considerado. Trata-se uma via com alto grau de saturação, devido ao fluxo elevado de veículos e a estágios exclusivos para pedestres. Neste caso, deveriam ser pesquisadas as variações da distribuição dos tempos dos estágios para poder perceber a ação do controle em tempo real.

12. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROJETO NO ASPECTO SEGURANÇA

Em fevereiro de 1999, foi elaborado um estudo comparativo de acidentes entre as situações antes e depois da implantação do projeto em 133 interseções semaforizadas da área da CTA-1, com o propósito de analisar o efeito deste sistema no aspecto segurança.

12.1 METODOLOGIA UTILIZADA

A situação antes foi representada pelo período compreendido entre janeiro/1994 até maio/1996, enquanto que a situação depois foi retratada pelo ano de 1997. Apesar de ter ocorrido forte diminuição do número de colisões sem vítimas, decidiu-se não incluir este tipo de dado no estudo, pois trata de indicador não confiável em estudos desta natureza, por não representar adequadamente a efetiva realidade, já que boa parte das colisões sem vítimas não são sequer registradas. Os parâmetros analisados foram as colisões com vítimas e os atropelamentos.

A fim de evitar que o efeito de outras medidas contemporâneas – principalmente a entrada em vigor do novo Código Brasileiro de Trânsito, que reduziu significativamente a incidência de acidentes – levasse a conclusões equivocadas, tomou-se o cuidado de normalizar os dados correspondentes à situação depois, adotando-se como base de referência para este procedimento os números totais de acidentes que ocorreram na cidade por ocasião dos dois períodos envolvidos, antes e depois da implantação de referido código. Assim, tomado este cuidado, pode-se aceitar que os resultados obtidos neste trabalho foram, exclusivamente, resultado do impacto da nova programação semafórica.

12.2 COLISÕES COM VÍTIMAS

- *Quantidade na situação antes: 210 colisões/ano*
- *Quantidade da situação antes projetada para a situação depois, considerando apenas o novo código: 200 colisões/ano*
- *Quantidade que efetivamente ocorreu após a implantação do Projeto CTA-162 colisões/ano*
- *Porcentagem de redução de acidentes: $(162 - 200) / 200 = -19\%$*

12.3 ATROPELAMENTOS

- *Quantidade na situação antes: 141 atropelamentos/ano*
- *Quantidade da situação antes projetada para a situação depois, considerando apenas o novo código: 125 atropelamentos/ano*
- *Quantidade que efetivamente ocorreu após a implantação do Projeto CTA-1: 70 atropelamentos/ano*
- *Porcentagem de redução de atropelamentos: $(70 - 125) / 125 = -44\%$*

12.4 CONCLUSÃO

Os elevados índices de redução constatados (19% para as colisões com vítimas e 44% para os atropelamentos) indicam, claramente, que existiu uma relação estatisticamente significativa entre a implementação do projeto e a melhoria das condições de segurança.

Em princípio, pode-se atribuir a melhoria às modificações que foram feitas nos tempos de segurança (amarelo, vermelho intermitente, vermelho de limpeza e verde de segurança) e a uma distribuição de tempos mais adequada promovida pelo controle em tempo real. Sobre este último diagnóstico, é interessante citar o exemplo de uma avenida que permanece com tempo de verde excessivamente longo, sem passar nenhum veículo, situação esta que acaba incentivando a travessia de pedestres fora do estágio mais apropriado e o desrespeito ao sinal vermelho por parte dos veículos das transversais. As programações oriundas dos sistemas responsivos, como o SCOOT, perseguem tempos de estágios condizentes com a identificação do trânsito presente no momento, evitando longos períodos ociosos de verde.

13. PRÓXIMOS PASSOS

Indiscutivelmente, a tarefa mais urgente a ser realizada pela cidade de São Paulo no que tange ao projeto, é a conclusão do sistema CTA-1. Falta ainda implantar cerca de 500 cruzamentos em regiões cruciais da cidade, aos quais é imprescindível estender os benefícios percebidos nas regiões já contempladas. Reforçando este enfoque, existe o fator adicional de que tal implantação tem um custo apenas marginal, pois boa parte da infraestrutura já está pronta e os controladores, sempre um item de porte neste tipo de projeto, já estão adquiridos e disponíveis para implantação.

Um outro caminho que vale a pena seguir é o da criação de um novo programa de controle em tempo real. A experiência que nossos técnicos adquiriram ao lidar com os aplicativos importados nos permite recomendar a construção de um modelo voltado para as características da realidade brasileira. Uma parceria entre órgãos públicos detentores do conhecimento da área de engenharia de trânsito, como a CET de São Paulo, que seria responsável pelo desenvolvimento do aplicativo, com a indústria nacional que tem comprovada tradição na fabricação de controladores semafóricos, resultaria em enormes benefícios para todos os participantes.



14. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência na cidade de São Paulo mostrou que o controle de semáforos em tempo real é uma tecnologia de elevado potencial técnico e que pode melhorar em muito a fluidez e a segurança do trânsito. Esta conclusão já havia sido observada em muitas outras cidades do mundo, mas a aplicação num conglomerado urbano tão complexo quanto a capital paulista referendou a idéia de que esta tecnologia consegue lidar adequadamente com situações congestionadas e com pontos críticos.

Este Boletim preocupou-se não só em abordar as vantagens do sistema como também as dificuldades encontradas. Tal cuidado foi tomado para que outras cidades, que resolverem adotar o tempo real, não precisem passar pelos mesmos transtornos que São Paulo teve de enfrentar.

A descontinuidade administrativa que causou a paralisação da implantação da CTA-1 tem de ser evitada. Este é um fator que, infelizmente, compromete os resultados de inúmeros bons projetos no Brasil.

A manutenção do sistema tem de ser preservada. Como todos nós que trabalhamos na área de trânsito estamos fartos de verificar, implantar um projeto é relativamente fácil, mas conservá-lo através de uma operação e manutenção adequadas é tarefa muito mais árdua.

É necessário haver uma perfeita sintonia entre os setores que cuidam da operação com aqueles encarregados de implantar e gerenciar o controle em tempo real. Estes últimos têm de reconhecer e respeitar as necessidades do dia-a-dia, enquanto que a operação, por sua vez, tem de adotar uma postura renovadora e ser capaz de incorporar novas técnicas ao seu trabalho.

Outro ponto essencial diz respeito ao preparo do pessoal técnico encarregado de estabelecer os parâmetros do sistema e de operar o centro de controle. Trata-se de um sistema complexo e que exige qualificação técnica aprimorada. Caso não haja possibilidade de manter, no futuro, pessoal suficientemente preparado, recomenda-se firmemente que não se perca tempo e dinheiro com a aquisição deste tipo sofisticado de controle.

E, finalmente, é importante ressaltar a convicção de que o controle em tempo real é uma ferramenta operacional que pode trazer excelentes resultados e que é capaz de resolver satisfatoriamente os complexos problemas de trânsito, mas que, por outro lado, é um projeto caro, tanto para implantação como para manutenção. Portanto, a decisão sobre a aquisição de um sistema deste tipo tem de ser detalhadamente analisada sob o prisma de custo/benefício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Traffic Signals*. Webster, F V and B M Cobbe. Ministry of Transport and Road Research Technical Paper n° 56. London (H M Stationery Office). 1966.
2. *Projeto SEMCO – Sistema de Controle de Tráfego em Área de São Paulo*. Pedro Cury. Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, S. Paulo, Boletim Técnico N° 7. 1977.
3. *Development and testing of advanced control strategies in the urban traffic control system*. MacGowan, J., and I. J. Fullerton. *Public Roads* 43, no. 2, 3, and 4. 1979.
4. *Co-ordinating traffic signals to reduce fuel consumption*. Robertson, D. I., C. F. Lucas and R. T. Baker. Department of the Environment, Department of Transport, TRRL Report LR 934. Crowthorne, (Transport and Road Research Laboratory). 1980.
5. *SCOOT - A traffic responsive method of coordinating signals*. Hunt, P.B., D. I. Robertson, R. D. Bretherton, and R. I. Winton. Laboratory Report 1014. Transport and Road Research Lab, Crowthorne, Berkshire, U.K. 1981.
6. *The SCOOT on-line traffic signal optimization technique*. P.B. Hunt, D.I.R. and R.D. Bretherton. *Traffic Engineering and Control*: p. 190-192. April 1982.
7. *The effect of an incident in a SCOOT system - In simulation and on street*. Hunt P.B. and Holland, T.R. *Traffic Engineering and Control*, Volume 26. (No.2). February 1985.
8. *Research on the TRANSYT and SCOOT Methods of Signal Coordination*. Robertson D.I., *ITE Journal*, Vol. 56, No. 1, pp. 36 – 40. 1986.
9. *Ageing of fixed-time traffic signal plans*. Bell, M.C., and R. D. Bretherton. Paper presented at the IEE 2nd International Conference on Road Traffic Control. 1986.
10. *TRANSYT: A traffic network study tool*. Robertson, D.I. 1969. Laboratory Report 1014. Transport and Road Research Lab, Crowthorne, Berkshire, U.K. 1987
11. *Recent enhancements to SCOOT - SCOOT version 2.4*. Bretherton, R.D. and G.T. Bowen. Paper presented at the 3rd IEE International Conference on Road Traffic Control. 1990.
12. *The application of SCOOT in developing countries*. Peck, C., P.T.W. Gorton, D. Liren. Paper presented at the 3rd International IEE Conference on Road Traffic Control at London, U.K. p.104-109. 1990.
13. *SCATS – A Traffic responsive Method of Controlling Urban Traffic*. P. R. Lowrie. Roads and Traffic Authority Sydney NSW Australia. September, 1992.
14. *Congestion in Urban areas caused by incidents*. Leonard R.D. TRL Project Report PR/TF/018/93. 1993.

15. *Latest developments in SCOOT - Version 3.1.* Bowen, G.T., and R.D. Bretherton. Paper presented at the 8th IEE International Conference on Road Traffic Monitoring and Control. 1996.

16. *Public Transport Priority Within SCATS – a Simulation Case Study in Dublin.* Fellendorf. M. 67th Annual Meeting of the institute of transportation engineers, Boston. 1997.

17. *Benefits gained by responsive and adaptive systems in São Paulo.* Mazzamatti, M.V., D.V.V.F. Netto, L.M. Vilanova and S.H. Ming. Paper presented at the IEE Road Transport Information and Control, Conference Publication No. 454. 1998.

18. *Avaliação Antes/Depois – Semáforos Inteligentes – Eixos Alvarenga e Camargo.* Sun Hsien Ming, Nota Técnica 202, Companhia de Engenharia de Tráfego, São Paulo, Brasil. 1998.

19. *SCOOT User Guide, version 3.1.* SIMENS Traffic Controls Limited. 1999.

20. *Redução de Acidentes devido à Reprogramação Semafórica.* Luis Molist Vilanova e João Cucci Neto, Companhia de Engenharia de Tráfego, São Paulo, Brasil. 2.000.

21. *Resultados da pesquisa antes e depois – Corredor Pompéia.* Denise de Campos Bittencourt, Nota Técnica 205, Companhia de Engenharia de Tráfego, São Paulo, Brasil. 2.000.

22. *Bus Priority in SCOOT, Siemens Traffic Controls Ltd., Peek Traffic Ltd. and TRL Ltd.* <http://www.scoot-utc.com/SCOOTFacilities/busprior.htm>. 2001.

23. *Results from SCOOT's Commercial Systems.* Siemens Traffic Controls Ltd., Peek Traffic Ltd. and TRL Ltd. <http://www.scoot-utc.com/results.htm>. 2001.



TÍTULOS PUBLICADOS

1. Redução do Consumo de Combustível: Ações na circulação e no transporte (1977)
2. Redução dos Acidentes de Tráfego: Proposta de medidas para um Plano de Ação (1977)
3. São Paulo e a Racionalização do uso de Combustível (1977)
4. Pesquisa Aerofotográfica da Circulação Urbana: Análise de um Projeto Piloto (1977)
5. Noções Básicas de Engenharia de Tráfego (1977)
6. Engenharia de Campo (1977)
7. Projeto SEMCO: Sistema de Controle de Tráfego em Áreas de São Paulo (1977)
8. Ação Centro (1978)
9. COMONOR: Comboio de Ônibus Ordenados (1978)
10. Sistema de Controle de Tráfego – Aplicação de Programa Transyt (1978)
11. POT – Programa de Orientação de Tráfego (1978)
12. Controlador Atuado (1978)
13. Sinalização Vertical: Montagem e Implantação (1978)
14. Fiscalização da Sinalização Horizontal (1978)
15. Projeto de Intersecções em Nível – Canalização (1978)
16. Métodos para Cálculos da Capacidade de Intersecções SemafORIZADAS (1978)
17. Áreas de Pedestres (1978)
18. Transportes por Ônibus Contratado (1978)
19. Áreas de Pedestres: Técnicas e Aplicações (1978)
20. Impacto de Investimento do Sistema Viário (1979)
21. Um Estudo sobre os Problemas de Estacionamento de Veículos (1979)
22. COMONOR II: Comboio de Ônibus Ordenados nas avs. Rangel Pestana e Celso Garcia (1979)
23. Educação de Trânsito via Comunicação Social (1979)
24. Projeto Piloto: Deficientes Físicos e Visuais (1980)
25. Projeto Brigadeiro – Faixa Exclusiva de Ônibus no Contra-fluxo (1980)
26. Operação Especial – Visita do Papa João Paulo II (1981)
27. Iluminação e Visibilidade (1982)
28. Sistema de Administração de Multas – DSV (1982)
29. Atividades Básicas da Operação de Trânsito (1982)
30. Impacto de Obras na Via Pública (1982)
31. Pesquisa e Levantamento de Tráfego (1982)
32. Pólos Geradores de Tráfego (1983)
33. Áreas de Estacionamento e Gabaritos de Curvas Horizontais (1984)
34. Tarifa de Ônibus Urbano (1985)
35. Análise e Dimensionamento da oferta de Transportes por ônibus – Metodologia (1985)
36. Pólos Geradores de Tráfego II (2000)
37. Operação Horário de Pico (2005)