

CET

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO
boletim técnico



Projeto SEMCO

Sistema de Controle de Tráfego em Área de São Paulo

7

Projeto SEMCO

Sistema de Controle de Tráfego em área de São Paulo

Ficha Catalográfica

Pedro Cury — 1946

Projeto SEMCO: sistema de controle de tráfego em área de São Paulo.
São Paulo, Companhia de Engenharia de Tráfego. 1977.

64 p. il. (Série: Boletim Técnico da CET n.º 7)

1. Tráfego Urbano — Controle. 2. Sinalização Semafórica — Controle.

I. Título. II. Série.

Boletim Técnico da CET n.º 7

Projeto SEMCO

Sistema de Controle de Tráfego em área de São Paulo

Pedro Cury

Companhia de Engenharia de Tráfego



Este trabalho foi elaborado e publicado pela
Companhia de Engenharia de Tráfego — CET, por
solicitação e autorização da Secretaria Municipal
de Transportes — SMT.

Publicação da
Companhia de Engenharia de Tráfego — CET
Av. Nações Unidas n.º 7.163
05477 — São Paulo — SP

O Projeto SEMCO (semáforos coordenados), objeto do Boletim Técnico da CET n.º 7, tem por finalidade implantar um sistema de controle de tráfego em área, baseado em computadores, para proporcionar o controle centralizado de cerca de 500 cruzamentos sinalizados, localizados, em sua maior parte, no centro expandido de São Paulo.

Este trabalho descreve os princípios de controle, a estrutura, as principais características e o funcionamento do sistema a ser implantado. Descreve também os benefícios que tal sistema proporcionará à circulação de veículos na área por ele coberta.

Apresenta ainda, no final, um glossário dos termos técnicos utilizados.

São Paulo, novembro de 1977

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	9
2. O CONTROLE DE SEMÁFOROS	15
Parâmetros de Controle	17
Tempo de Espera x Parâmetro de Controle	20
Princípios de Controle	22
3. DESCRIÇÃO SUCINTA DO SISTEMA DE CONTROLE DE TRÁFEGO EM ÁREA DE SÃO PAULO (CTA)	25
Configuração do CTA	29
Principais características funcionais do CTA	38
Capacidade do Sistema	40
Confiabilidade	40
4. OPERAÇÃO DO CTA	41
Ciclo Básico do Sistema	43
Operacionalização do Controle Centralizado	43
Monitoração dos equipamentos instalados nas vias públicas	48
Processamento dos dados coletados pelos MDV's	48
Operação dos controladores locais	49
5. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	51
Implantação por subárea	53
Índice de nacionalização	53

Boletim Técnico da CET

Padronização	54
Programação dos Serviços das Obras Cíveis	54
Programa de Treinamento	54
6. BENEFÍCIOS ESPERADOS	55
Experimentos realizados no Japão	58
Experimentos realizados na Grã-Bretanha	59
Experimento realizado nos Estados Unidos	60
Benefícios esperados para São Paulo	60
GLOSSÁRIO	61
BIBLIOGRAFIA	63

O desenvolvimento de equipamentos para controle de tráfego foi sempre conseqüência do incremento de veículos em circulação nos sistemas viários das grandes cidades.

Visando apenas garantir, com segurança, o direito de passagem dos veículos nos cruzamentos, foram inicialmente desenvolvidos controladores de semáforos para operação em tempo fixo, substituindo a sinalização anteriormente realizada pelos guardas de trânsito.

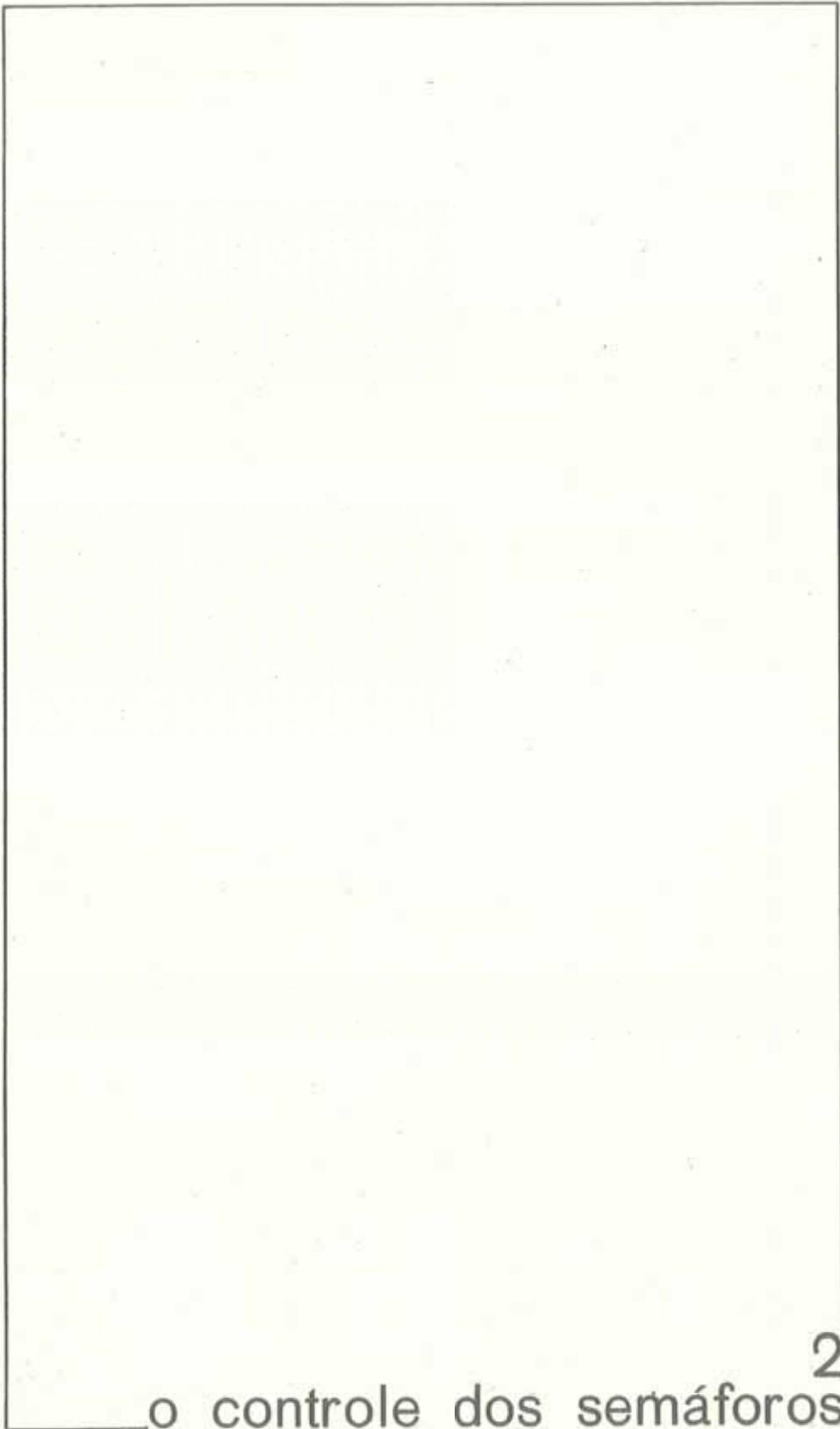
Controlar em tempo fixo significa dar sempre o mesmo tempo de verde, amarelo e vermelho a cada corrente de tráfego no cruzamento, durante o dia todo. Assim, a duração de cada estágio, isto é, de cada sinalização que dá direito de passagem a uma ou mais correntes e proíbe as demais, é constante ao longo do tempo, não considerando a evolução diária, semanal ou anual do fluxo de veículos no cruzamento.

Os tempos de estágios, calculados em função do tráfego existente num determinado horário, se por um lado auxiliam quando o volume de veículos se encontra próximo àquele considerado, transformam-se em elementos de congestionamento à medida que ocorrem alterações no tráfego, uma vez que não se adaptam às mesmas.

O aumento do número de veículos em São Paulo durante os últimos anos, não acompanhado devidamente pela expansão do sistema viário, tem sido de tal vulto a ponto de tornar, ano a ano, mais sérios os problemas de congestionamento, acidentes de trânsito e poluição do ar.

Para reduzir estes problemas e utilizar mais eficientemente o sistema viário existente, concorre como melhor solução para São Paulo, a curto prazo e a baixo custo, a implantação de um sistema de controle de tráfego em área, que é a finalidade do projeto SEMCO.

O projeto SEMCO é antes de tudo um projeto de racionalização do tráfego. As recentes medidas de interdição das ruas centrais ao trânsito de veículos particulares, só vêm ressaltar a necessidade de sua implantação na enorme área restante, que suporta todo o tráfego central. Evidentemente, não se trata de obter altas velocidades de percurso ou dissolver congestionamento por meios fantásticos, mas apenas reduzir interrupções e atrasos desnecessários (que constituem, enfim, um custo de transporte), através de um sistema racional de controle.



o controle dos semáforos²

2.1. PARÂMETROS DE CONTROLE

Os parâmetros que regem o controle de semáforos são o ciclo, o "split" e a defasagem.

CICLO — é o período de tempo compreendido entre duas passagens sucessivas pelo mesmo estágio.

"SPLIT" — associado a cada estágio, é a relação entre a duração do estágio e o ciclo.

DEFASAGEM — é relação da diferença entre os horários de acionamento do estágio de duas interseções vizinhas com o ciclo.

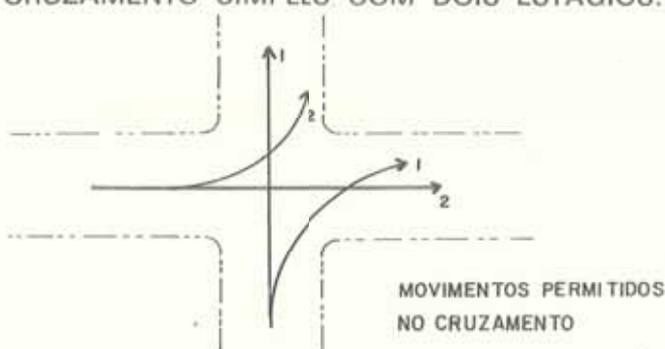
Os exemplos (1 e 2) ilustram o emprego destes parâmetros e se encontram nas páginas seguintes.

Como critérios de controle, podem ser empregados o tempo total de viagem, o tempo total de espera em semáforos, o número de paradas em semáforos, a capacidade de tráfego etc. Em condições normais de trânsito, ou seja, quando um veículo se movimenta com velocidade praticamente constante, as vantagens obtidas com a aplicação dos critérios **tempo total de espera em semáforos** e **tempo total de viagem** são equivalentes. Quando se minimiza, por intermé-

dio de uma estratégia apropriada, o tempo total de espera em semáforos pode-se, concomitantemente, maximizar a **capacidade de tráfego** e minimizar o **número de paradas em semáforos**. Por esta razão o **tempo total de espera em semáforos** é geralmente aceito como um critério conveniente para o controle de semáforos.

EXEMPLO 1

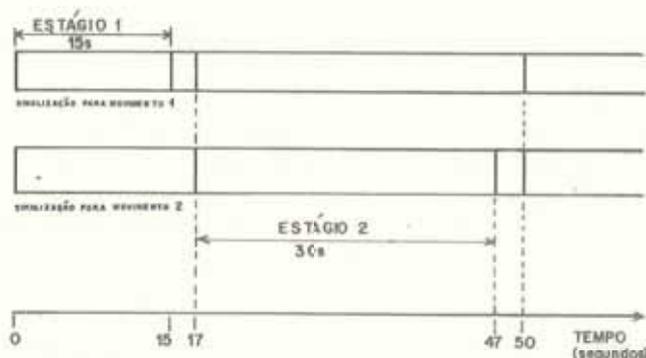
CRUZAMENTO SIMPLES COM DOIS ESTÁGIOS.



MOVIMENTOS PERMITIDOS E PROIBIDOS EM CADA ESTÁGIO

ESTÁGIO 1	ESTÁGIO 2

PLANO DE TRÁFEGO NO CRUZAMENTO



CICLO: 50 segundos

"SPLIT" ESTÁGIO 1: 15/50 (30%)

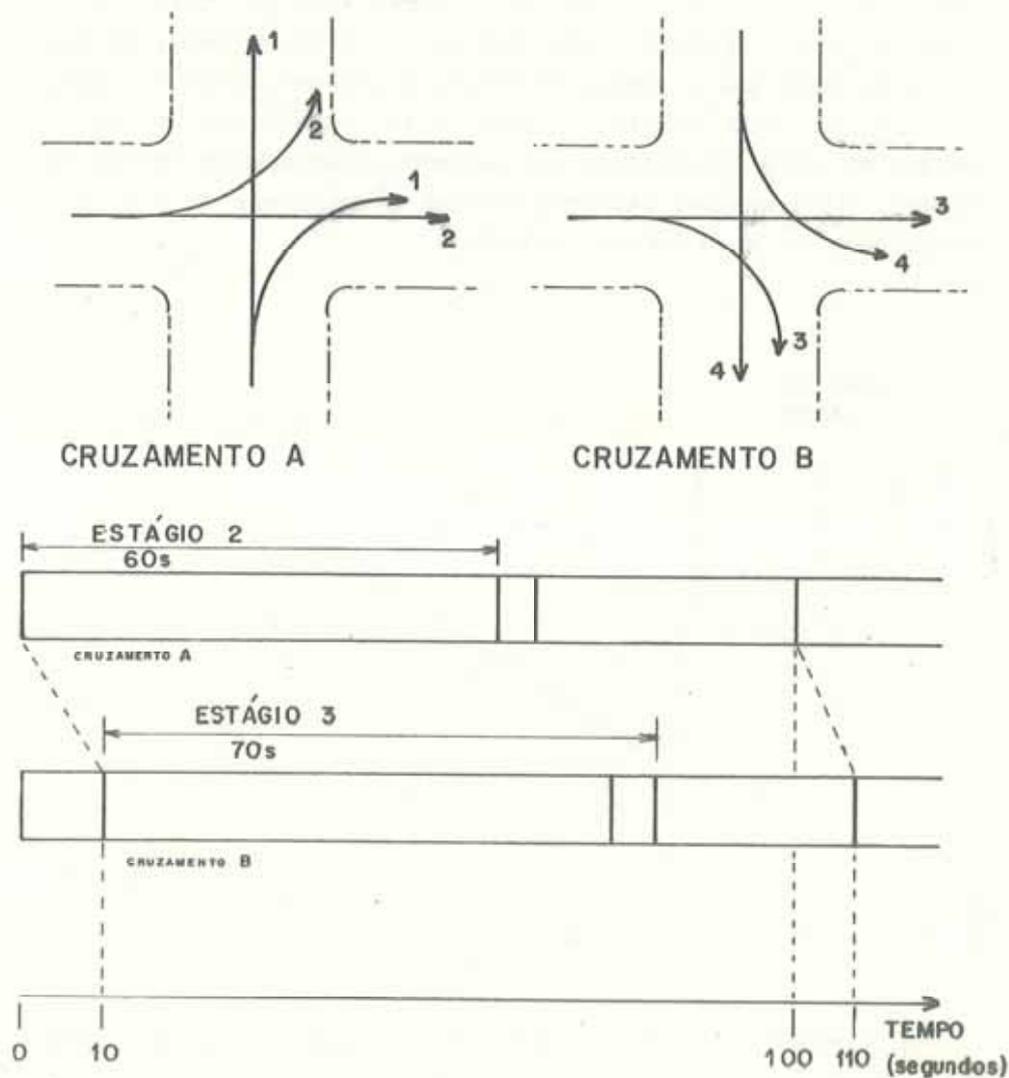
"SPLIT" ESTÁGIO 2: 30/50 (60%)

Os 10% restantes se referem ao tempo total de amarelo.

Os "splits" são determinados a partir das capacidades das vias (veículos/hora) e dos fluxos de veículos (veículos/hora) em cada estágio. Os tempos de amarelo são proporcionais às larguras das vias.

EXEMPLO 2

DOIS CRUZAMENTOS VIZINHOS, CADA UM COM DOIS ESTÁGIOS DE SINALIZAÇÃO.



CICLO "A" = CICLO "B" = 100 segundos

DEFASAGEM DE "B" EM RELAÇÃO A "A" = $\frac{10}{100} = 0,1$

A defasagem é determinada a partir da distância entre os cruzamentos, da capacidade da via e do fluxo de veículos.

2.2. TEMPO DE ESPERA X PARÂMETROS DE CONTROLE

A Fig. 4 mostra o efeito da variação do ciclo, no tempo de espera, **mantendo-se constante o "split"**. Quanto maior é o ciclo, maior é o tempo de vermelho e, em conseqüência, o tempo de espera é maior.

Diminuindo-se o tempo de vermelho, através da redução do ciclo, o tempo de espera torna-se proporcionalmente menor. Este efeito prevalece até um certo valor do ciclo. Para ciclos inferiores a este valor, o tempo necessário para o veículo se deslocar (tempo de resposta do motorista + tempo necessário para o veículo se movimentar após ter sido acelerado), passa a ser significativo diante do tempo de verde, implicando em aumento acentuado do tempo de espera. As situações expostas indicam a existência de um ciclo ótimo para um dado volume de tráfego.

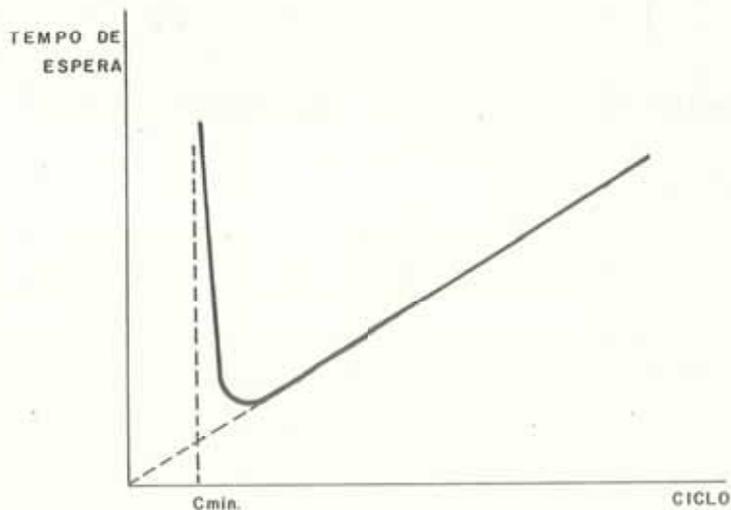


FIG. 4 — TEMPO DE ESPERA X CICLO ("SPLIT" CONSTANTE).

A Fig. 5 mostra o efeito do "split", **mantendo-se constante o ciclo**. A curva foi traçada com base no fato de que o tempo de espera é quase **proporcional ao quadrado do tempo de vermelho** (Referência 2). É conveniente notar que o tempo de vermelho para o tráfego na direção Leste-Oeste é o tempo de verde para o tráfego na direção Norte-Sul. A curva do tempo total de espera demonstra a existência de um "split" ótimo.

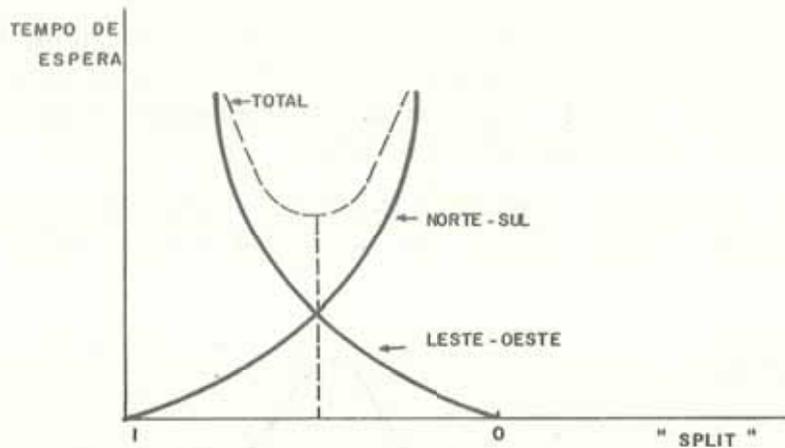
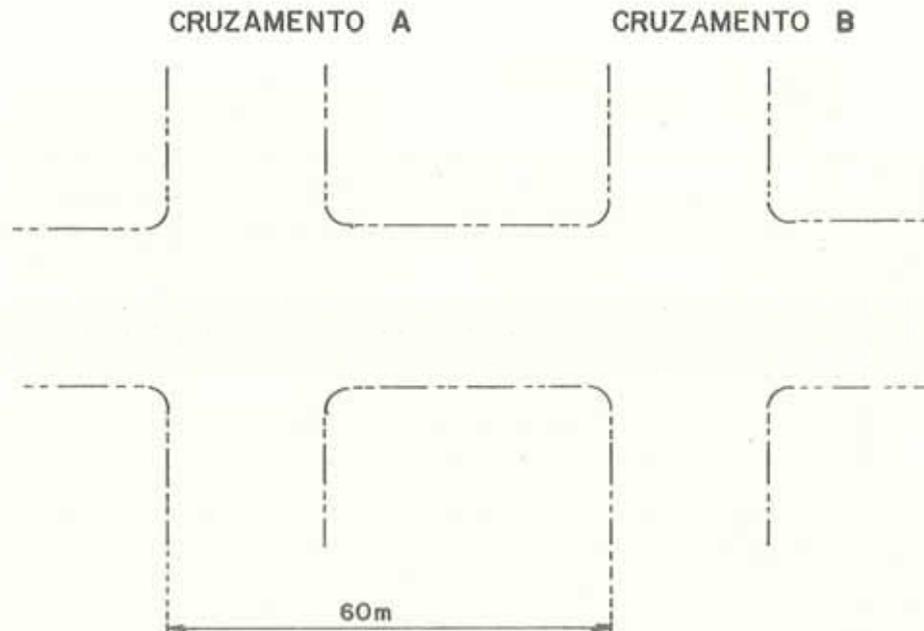


FIG. 5 — TEMPO DE ESPERA X "SPLIT" (CICLO CONSTANTE).

O tempo de espera numa interseção sinalizada depende significativamente do instante da chegada dos veículos provenientes de outra interseção vizinha sinalizada, desde que a distância entre elas não seja muito grande.

Considere-se, por exemplo, a seguinte situação:



Se a velocidade média de percurso entre os cruzamentos "A" e "B" for de 18km/h (5m/s), um veículo, para chegar em "B", levará cerca de 12 segundos após ter saído de "A". Se pouco antes deste instante (p.e., 8 segundos após a partida do cruzamento "A") for acio-

nado o verde do cruzamento "B" para o veículo que se aproxima, o tempo de espera neste cruzamento ("B") poderá até ser anulado. Ao contrário, se o verde for acionado após a chegada do veículo, evidentemente, o tempo de espera será maior.

O tempo de espera é, portanto, função do sincronismo entre dois controladores vizinhos, função esta apresentada na Fig. 7 (REF. 2).

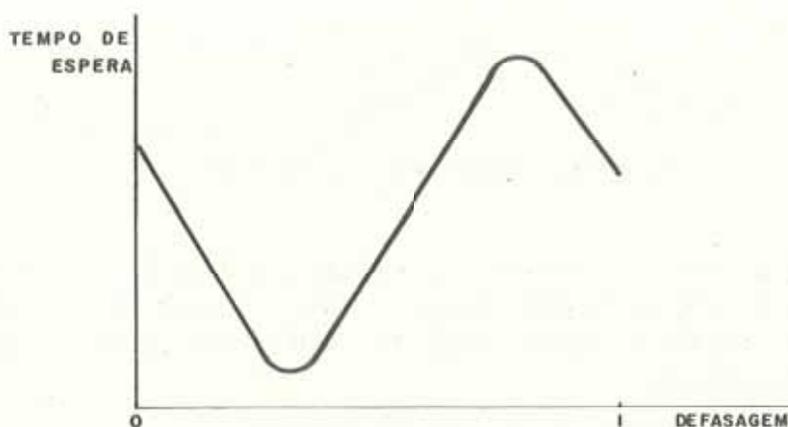


FIG. 7 — TEMPO DE ESPERA X DEFASAGEM.

2.3. PRINCÍPIOS DE CONTROLE

A otimização do controle de uma **interseção isolada** pode ser obtida designando-se ciclos e "splits" ótimos em função das variações do volume de tráfego. Para se implementar este controle, há duas estratégias possíveis:

- determinar, continuamente, o ciclo e o "split" a partir de medições de tráfego no cruzamento; e
- ajustar, continuamente, o **tempo de verde** ao comportamento real do trânsito no cruzamento.

A primeira delas requer equipamentos sofisticados para o processamento das medições de tráfego, razão pela qual é raramente aplicada no controle de uma interseção isolada. O ciclo e o "split" que serão efetivamente utilizados na operação de semáforos, são selecionados de acordo com o comportamento do tráfego ou com a hora do dia e dia da semana, dentre um conjunto de valores previamente calculados e armazenados no sistema responsável pelo controle. Estas técnicas são análogas às utilizadas pelo sistema de controle de tráfego em área, objeto do presente trabalho.

A segunda é realizada por controladores atuados pelo tráfego. O princípio básico de funcionamento deste equipamento é o da variação do tempo de verde entre um valor mínimo e um máximo.

O tempo de verde, situado neste intervalo, é definido pelo controlador em função das solicitações de demandas enviadas pelos detectores de veículos instalados no cruzamento. O tempo de verde é estendido, a partir de seu valor mínimo, conforme a demanda, até seu valor máximo.

O controle de defasagem é um importante fator na **coordenação de semáforos de uma artéria** (controle unidirecional). O ciclo é escolhido de modo que seja o menor valor que pode dar vazão ao volume máximo de tráfego na artéria. Os "splits" são determinados para cada interseção individualmente, de maneira a propiciar os menores tempos de verde às transversais, suficientes para dar vazão ao tráfego nestas vias. Por outro lado, a defasagem é determinada por meio de comparação dos volumes de tráfego nos dois sentidos da artéria. Se a diferença é suficientemente grande, é designada defasagem prioritária para o sentido de tráfego mais intenso. Caso contrário, os valores das defasagens podem, por exemplo, ser escolhidos de maneira a minimizar o número de paradas nos dois sentidos. Os parâmetros envolvidos na coordenação ótima de uma artéria são determinados, como no caso de interseções isoladas, pela seleção dentre um conjunto de valores previamente calculados e armazenados ou através de ajustes às variações de fluxo de tráfego. A primeira estratégia é ineficiente quando há grandes variações no comportamento de tráfego e a segunda tende a tornar o controle instável quando o volume de tráfego é baixo. Por isto, recentemente, tem-se utilizado uma combinação das duas.

Nos centros das cidades o fluxo de tráfego geralmente é bidimensional. Esta tendência está se propagando para os bairros e subúrbios em vista do acentuado aumento de número de veículos. Como resultado, **o controle bidimensional, ou em área**, da rede viária, abrangendo uma grande região, tem se traduzido como indispensável. Nos primeiros sistemas, combinava-se a coordenação de diversas artérias para controlar, bidimensionalmente, uma área. A inflexibilidade deste enfoque levou ao desenvolvimento de sistemas centralizados de controle.

A minimização do tempo total de espera, numa rede viária bidimensional, pode ser alcançada pelo ajuste da defasagem em cada secção da rede (de modo a reduzir o tempo de espera em cada uma delas).

uma a uma, até abranger a rede toda. Em seguida, otimiza-se a defasagem para a rede como um todo, tendo em vista a redução do tempo de espera na área. Esta otimização é realizada para cada situação de tráfego observada na área. Assim, para cada situação do tráfego, representada mediante padrões (volume, ocupação, velocidade etc.), corresponde um conjunto de defasagens relativas à cada secção da rede.

Como nos casos anteriores, o controle pode ser otimizado através de seleção dos parâmetros dentre um conjunto de valores pré-calculados ou através da adaptação em tempo real destes parâmetros às condições de tráfego. No entanto, sistemas voltados para esta segunda estratégia não são ainda utilizados, em virtude do tempo de computação necessário para determinação em tempo real, dentro do critério de minimização do tempo de espera, dos parâmetros relativos à cada intersecção controlada.

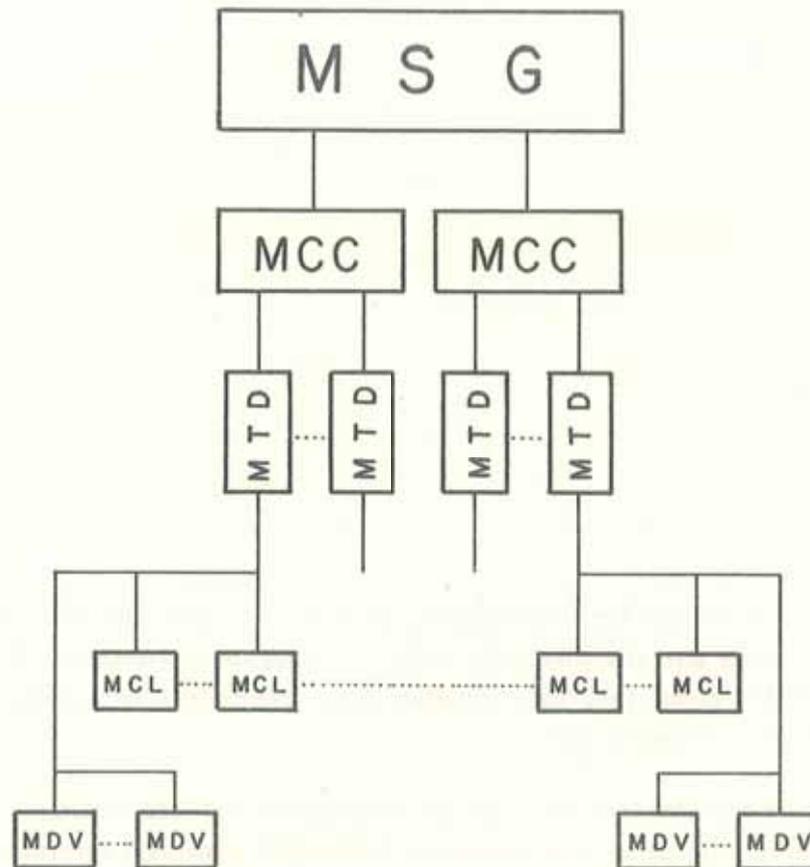
3
descrição sucinta do sistema
de controle de tráfego em área
de São Paulo (CTA)



O funcionamento dos sistemas centralizados de controle de tráfego se processa por intermédio da troca contínua de mensagens ("diálogo") entre computadores e equipamentos remotos (controladores e detectores de veículos).

Os equipamentos remotos geram mensagens que são enviadas aos computadores, ditas **mensagens de indicação**, contendo informações relativas ao controle de semáforos e à detecção de veículos. Os computadores processam as mensagens de indicação recebidas e geram mensagens que são enviadas aos controladores, ditas **mensagens de controle**. Estas contêm informações relativas ao comando dos semáforos. Os controladores executam as mensagens de controle recebidas e geram mensagens de indicação que são enviadas aos computadores. Ao mesmo tempo, são enviadas também as mensagens de indicação geradas nos detectores. Daí em diante, as operações expostas acima repetem-se ciclicamente.

O sistema de controle de tráfego em área de São Paulo, CTA, é a seguir descrito, tendo por base o processo de funcionamento apresentado.



MSG- MÓDULO DE SUPERVISÃO GERAL
MCC-MÓDULO DE CONTROLE CENTRAL
MCL-MÓDULO DE CONTROLE LOCAL
MTD- MÓDULO DE TRANSMISSÃO DE DADOS
MDV- MÓDULO DE DETECÇÃO DE VEÍCULOS

FIGURA 8
ESTRUTURA MODULAR DO CTA

3.1. CONFIGURAÇÃO DO CTA

A configuração do CTA, mostrada esquematicamente na Fig. 8, é estruturada em módulos, com funções específicas e distintas entre si.

3.1.1. Módulo de Controle Local (MCL)

Um MCL compreende os equipamentos associados a um cruzamento a ser controlado pelo CTA:

- controladores de semáforos;
- semáforos; e
- detectores de pedestres.

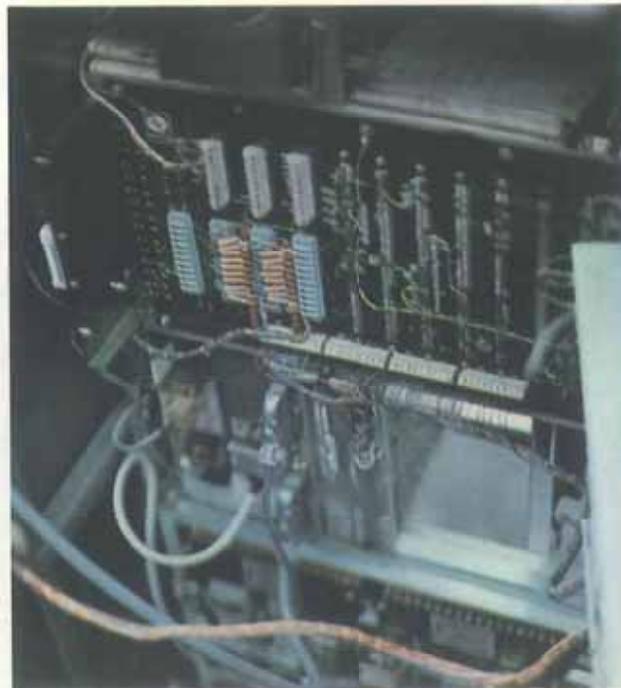


FIG. 9 — VISTA DE UM CONTROLADOR ELETRÔNICO DE SEMÁFOROS, CONTROLADO POR COMPUTADOR, EM LONDRES.

Este módulo possui, basicamente, dois modos exclusivos de operação: modo central e modo local.

Operando no modo central, deverá subordinar-se ao centro de controle (onde estarão alojados os computadores do sistema), e desempenhar as seguintes funções:

- atuação sobre as lâmpadas dos semáforos, conforme a mensagem de controle recebida; e

- geração da mensagem de indicação, que será transmitida ao centro de controle, contendo informações sobre o estado operacional do MCL.

O MCL deverá operar no modo local quando for isolado do centro de controle por uma das seguintes razões:

- falha do computador do centro de controle;
- falha no sistema de transmissão entre MCL e o centro de controle; e
- por intervenção do operador do centro de controle.

Neste modo, a atuação sobre as lâmpadas dos semáforos se realizará conforme planos de controle armazenados no controlador do MCL.



FIG. 10 — SEMÁFORO CONTROLADO POR COMPUTADOR, LONDRES.

Os controladores integrantes dos MCL's são de dois tipos: controladores locais e controladores mestres. A cada subárea da região abrangida pelo CTA corresponde um controlador mestre que proporcionará a coordenação dos semáforos quando os MCL's de uma subárea estiverem operando em modo local. Um controlador mestre poderá coordenar os semáforos em mais de uma subárea.

O MCL será dotado de detectores de pedestres (botões de pedestres), que ao serem pressionados, transmitem ao controlador local uma solicitação de "verde" para pedestres. O "verde" para pedestres, quando acionado, será coordenado com o plano de tráfego vigente para o local.



FIG. 11 — SEMÁFORO CONTROLADO POR COMPUTADOR, LONDRES.

3.1.2. Módulo de Detecção de Veículos (MDV)

Este módulo consiste de um ou mais laços indutivos enterrados sob a faixa de rolamento e de um conjunto de circuitos eletrônicos. O laço indutivo se constitui de um fio condutor, em forma de laçada, por onde circula um sinal elétrico enviado pelo conjunto de circuitos eletrônicos. A passagem de um veículo sobre o laço indutivo faz com que o sinal elétrico sofra uma alteração que é interpretada, pelos circuitos eletrônicos, como uma informação de **veículo detectado**. Tal informação é processada para realizar as funções abaixo:

- contagem de veículos, medição da ocupação das vias e indicação de congestionamentos; e
- geração da mensagem de indicação, que será transmitida ao centro de controle, contendo as informações processadas.



FIG. 12 — DETALHE DE UM DETECTOR DE VEÍCULOS POR LAÇO INDUTIVO INSTALADO EM TÓQUIO.

3.1.3. Módulo de Transmissão de Dados (MTD)

Este módulo possibilitará a comunicação bidirecional entre o centro de controle de um lado e os MCL's e os MDV's de outro, através de canais multiplexados sobre pares de fios telefônicos.

O MTD deverá desempenhar as seguintes funções:

- transmissão das mensagens de controle geradas no centro de controle para os MCL's; e
- transmissão das mensagens de indicação geradas nos MCL's e MDV's para o centro de controle.

3.1.4. Módulo de Controle Central (MCC)

O CTA, na sua configuração inicial, contará com dois MCC's. Fisicamente, a região a ser controlada pelo sistema será dividida em duas áreas, ficando cada uma delas sob o controle de um MCC. Cada MCC compreende um computador e seus periféricos, painel mímico correspondente à área a ele subordinada e um "console" de operação (composta por duas unidades de vídeo-VDU). A Fig. 14 apresenta esquematicamente este módulo.

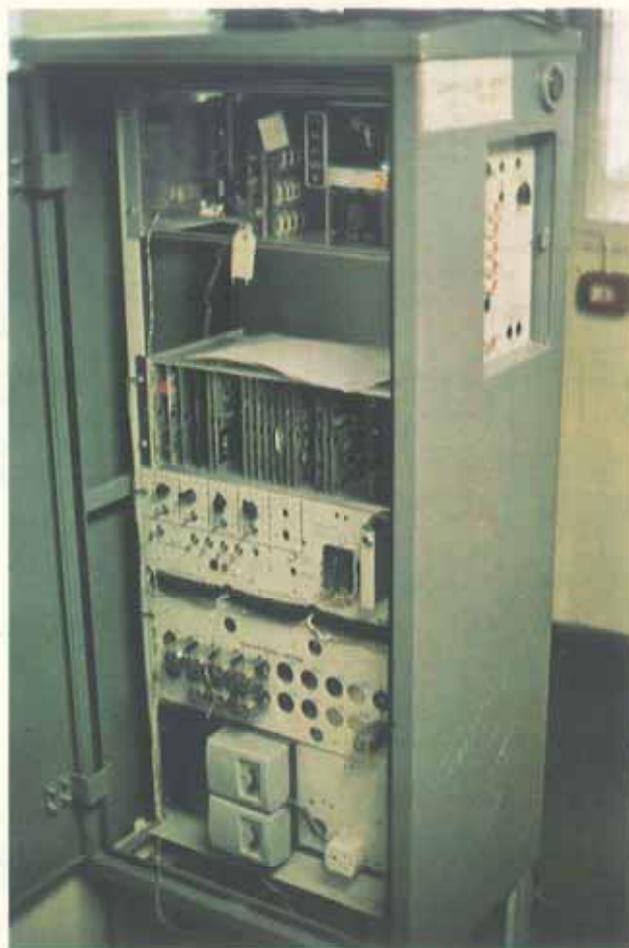


FIG. 13 — UNIDADE REMOTA DE TRANSMISSÃO DE DADOS, NOTTINGHAN.

As principais funções a serem executadas pelo MCC são as seguintes:

- recepção e processamento das mensagens de indicação enviadas pelos MCL's e MDV's;
- geração das mensagens de controle para comando dos MCL's;
- operação do painel mímico; e
- envio de mensagens para o módulo de supervisão geral (MSG) e recepção de suas mensagens.

Estes módulos, juntamente com o MSG descrito a seguir, estarão alojados no centro de controle do CTA.

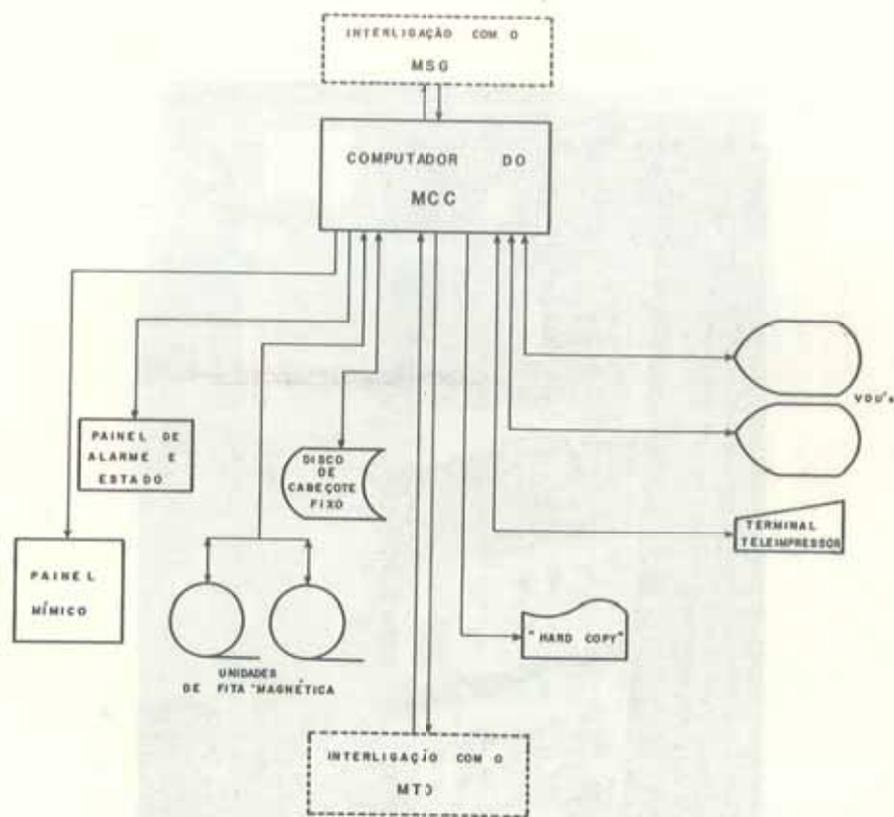


FIG. 14 — DIAGRAMA DE BLOCOS DO MCC.

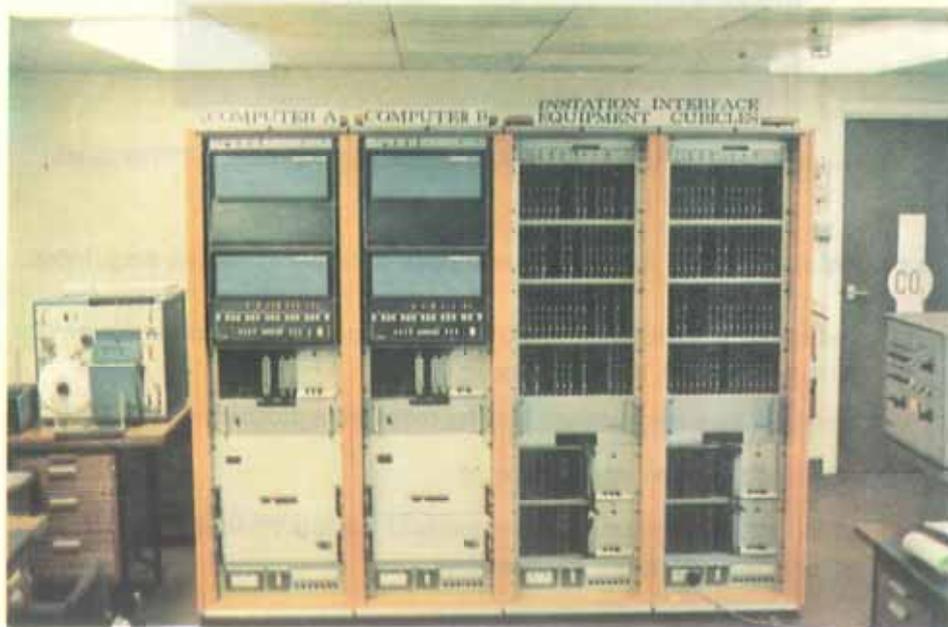


FIG. 15 — COMPUTADORES DE CONTROLE DE TRÁFEGO EM NOTTINGHAM.

O centro de controle terá duas salas distintas, uma para o conjunto de computadores e outra para o controle de tráfego, que será equipada com os "consoles" de operação, painéis mímicos e painéis de alarmes.

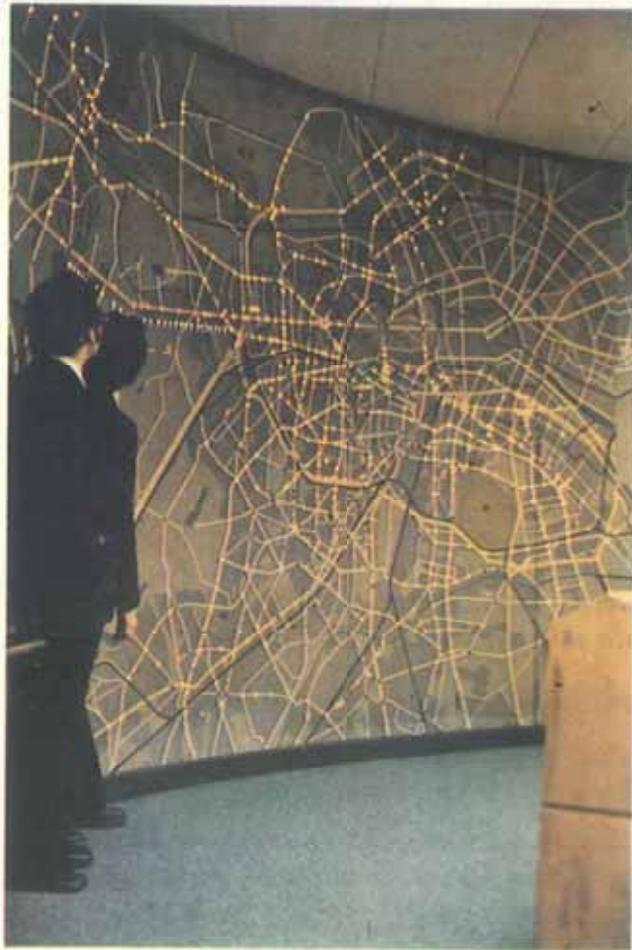


FIG. 16 — PAINEL DE CONTROLE DE BERLIM OCIDENTAL, INDICANDO OS CRUZAMENTOS CONTROLADOS

3.1.5. Módulo de Supervisão Geral (MSG)

O MSG compreende um único computador e os periféricos associados, sendo conectado por unidade de interligação de computadores (de alta velocidade) com os MCC's.

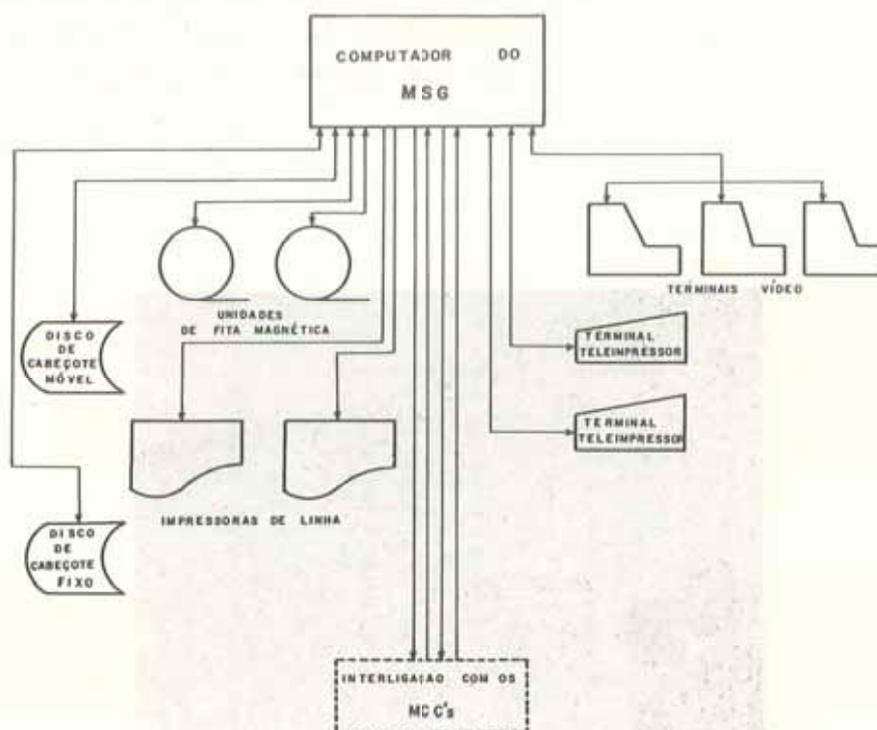


FIG. 17 — DIAGRAMA DE BLOCOS DO MSG.

A Fig. 17 mostra esquematicamente esta configuração. Cabem a este módulo as seguintes funções:

- registro de todos os dados enviados pelos MDV's;
- geração ("off-line") de planos de controle a partir dos dados armazenados mencionados acima;
- manutenção e atualização de banco de dados, contendo informações sobre planos de controle, dados históricos de volume e ocupação das vias etc.;
- elaboração de estatísticas de falhas de equipamentos e de fluxo de veículos; e
- execução de programas de simulação (simulador de tráfego) necessários ao desenvolvimento do "software" de aplicação.

Caso o MSG venha a falhar, ou mesmo quando for desligado, isto não afetará o controle dos semáforos, que deverá ser exercido totalmente pelos MCC's. Por outro lado, um MCC estando inativo, poderá ser substituído pelo MSG, que passa, então, a exercer o controle centralizado.

3.1.6. Módulo de Comunicação por Rádio e Telefone (MCRT)

Este módulo abrange os seguintes sistemas:

1. Sistema de telefonia operacional, que se destina a atender às necessidades de telecomunicação durante os testes, operação e manutenção do CTA;
2. Sistema de telefonia administrativo, que se destina a atender às necessidades de telecomunicação na administração do centro de controle do CTA;
3. Sistema de radiocomunicação, que se destina a interligar bilateralmente o centro de controle do CTA:
 - a) com as viaturas de manutenção; e
 - b) com a Central de Informação do DSV.

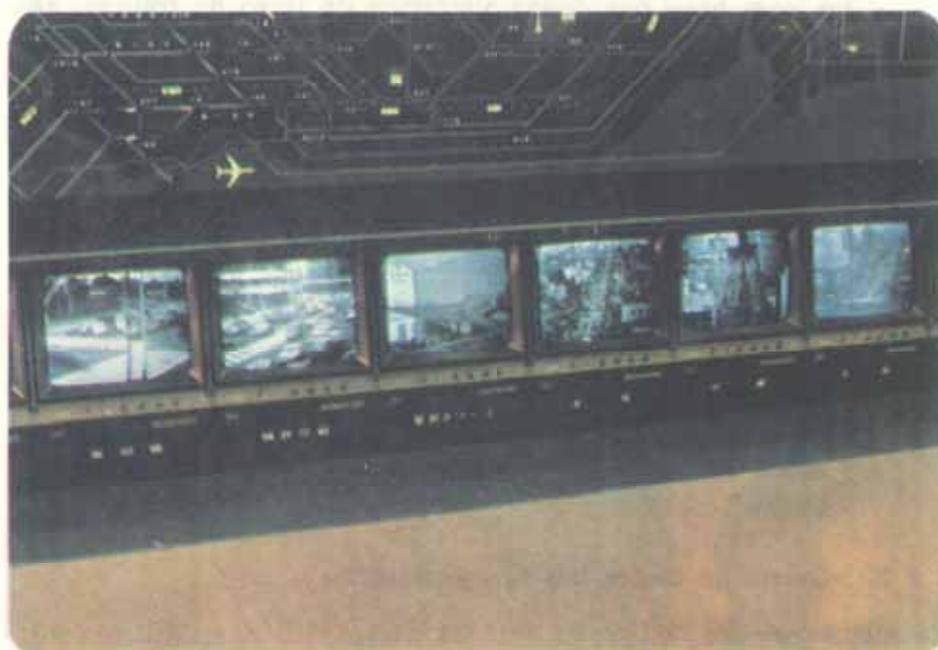


FIG. 18 — DETALHE DAS CÂMERAS DE TELEVISÃO PARA SUPERVISÃO DO TRÁFEGO, TÓQUIO.

3.1.7. Módulo de Alimentação Elétrica (MAE)

Compreenderá a rede de fornecimento de energia elétrica a todos os módulos do sistema, a partir de derivações da rede elétrica pública e a alimentação elétrica de emergência aos equipamentos instalados no Centro de Controle.

3.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DO CTA

3.2.1. Controle Centralizado

O controle centralizado do CTA será implementado através de planos de tráfego armazenados nos MCC's.

Os planos conterão dados relativos aos tempos de ciclo e os instantes de início de cada estágio referentes a cada controlador (defasagens).

Compete aos MCC's selecionar um plano dentre os armazenados para comandar a operação dos semáforos. Esta seleção permite exercer o controle centralizado por um dos modos abaixo:

- manualmente, por comando de seleção de um plano enviado pelo operador do "console" ao computador de controle;
- automaticamente, através da seleção de planos de tráfego em função da hora do dia e dia da semana. Os planos, elaborados com base nos dados históricos de fluxo de tráfego, são automaticamente selecionados pelo computador de controle. Neste caso, as mensagens de indicação enviadas pelos MDV's não influem no controle exercido sobre os semáforos; e
- automaticamente, através da seleção de dados de tráfego por reconhecimento de padrões de tráfego. Os computadores comparam, com base nas informações enviadas pelos MDV's, os padrões que caracterizam o comportamento do tráfego na área sob controle com os padrões previamente armazenados nos MCC's. Desta comparação, resulta a seleção do plano de tráfego mais apropriado para a situação real.

O modo de controle vigente será definido pelo operador do "console".

3.2.2. Coleta de Dados em Tempo Real

As mensagens de indicação geradas pelos MDV's e MCL's serão enviadas ao centro de controle por meio de linhas de transmissão de dados. Após o processamento pelos computadores, os dados, além de poderem ser utilizados para seleção automática de planos, serão apresentados no painel mímico para:

- supervisão do tráfego na área;
- monitoração do estado operacional dos equipamentos dos sistemas instalados nas vias públicas;
- permitir uma possível intervenção do operador do "console" no controle dos semáforos; e



FIG. 19 — DETALHE DO "CONSOLE" DE CONTROLE DE TRÁFEGO, TÓQUIO.

- dar informações aos representantes das emissoras de rádio, sobre as condições de tráfego.



FIG. 20 — CABINES DAS ESTAÇÕES DE RÁDIO PARA DIVULGAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO AO PÚBLICO, TÓQUIO.

3.2.3. Degradação do controle

Em condições normais, o sistema estará sob controle dos computadores dos MCC's. Ocorrendo falhas nos computadores ou nos módulos de transmissão, os controladores locais passam a subordinar-se, automaticamente, aos controladores mestres associados. Neste caso, mantém-se ainda o controle de semáforos de forma coordenada, de acordo com planos armazenados nos controladores mestres.

Falhas nos controladores mestres ocasionarão a operação isolada dos controladores locais. Havendo falhas nos controladores locais, os semáforos apresentarão, imediatamente, amarelo intermitente. As operações descritas acima são automáticas, podendo ainda os semáforos serem controlados manualmente, a partir dos controladores locais.

Tendo sido sanadas as falhas, o sistema recuperará, automaticamente, os níveis de controle mais altos, mediante rotinas específicas.

3.3. CAPACIDADE DO SISTEMA

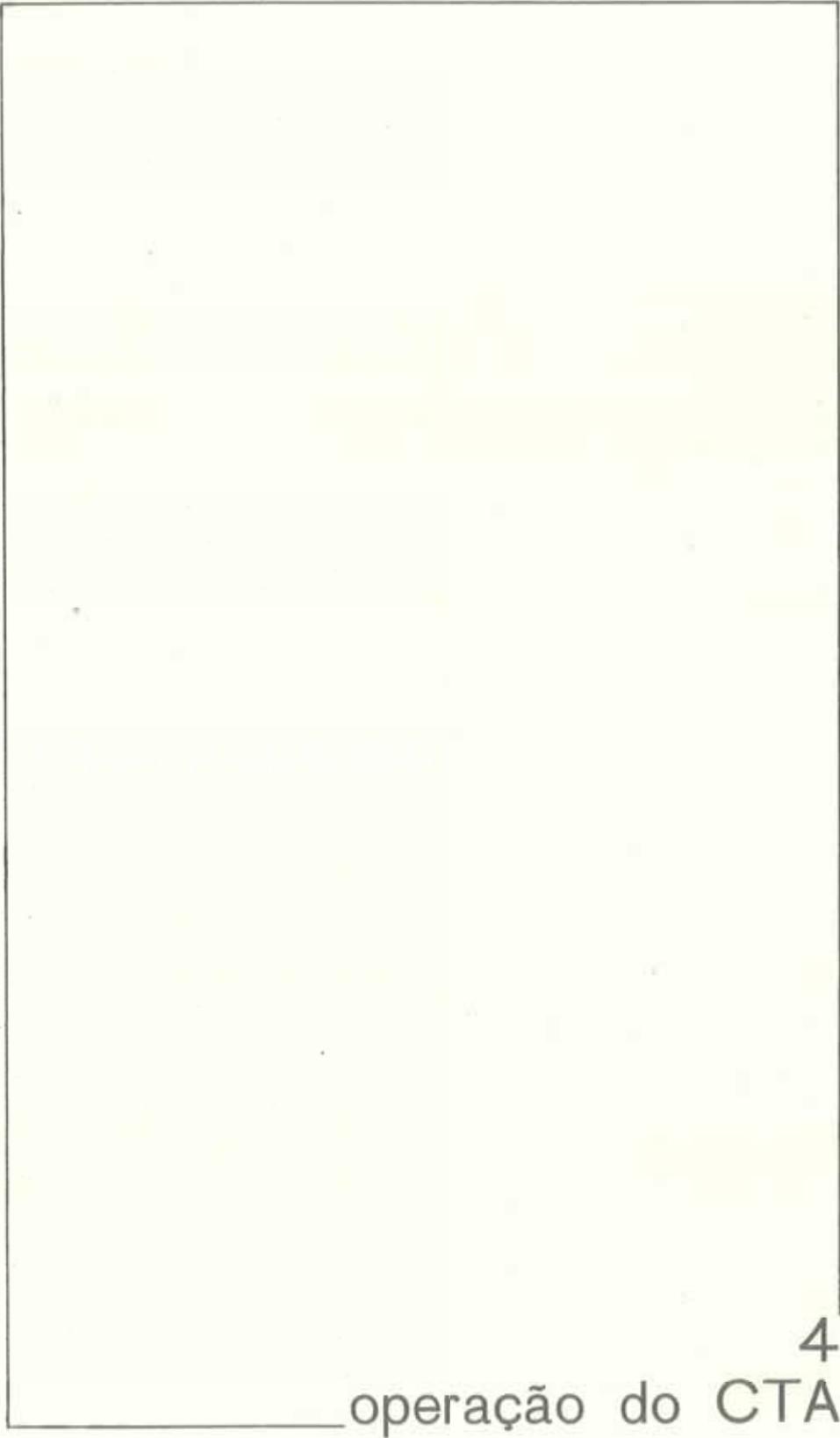
Cada computador dos MCC's deverá ter capacidade para enviar, receber e processar dados para um conjunto de até 500 MCL's e 250 MDV's, além dos equipamentos associados das salas de computadores e de controle. O prédio do centro de controle está sendo dimensionado para comportar até 8 MCC's, o que determina a capacidade máxima de controle do CTA.

A estrutura modular do sistema possibilitará sua expansão, ou mesmo modificações em sua configuração, por meio de acréscimos ou substituições do módulos necessários.

3.4. CONFIABILIDADE

O CTA foi concebido para funcionar com uma alta confiabilidade, que é conferida, principalmente, pelos seguintes fatores:

- os equipamentos que integram o CTA são todos eletrônicos, constituídos de circuitos em estado sólido, menos sujeitos a falhas (não há desgastes mecânicos);
- a configuração hierarquizada do sistema permite a degradação gradual do controle como já descrito;
- monitoração centralizada dos equipamentos, permitindo um rápido acionamento das equipes de manutenção; e
- os equipamentos de controle envolvidos no projeto deverão, obrigatoriamente, atender a requisitos de segurança. Estes requisitos estipulam que, em presença de falhas ou influências externas, o sistema deverá reverter sempre para um estado previsto de segurança.



4
operação do CTA

4.1. CICLO BÁSICO DO SISTEMA

A troca de mensagens entre computadores e equipamentos remotos deverá ser realizada, continuamente, num intervalo de tempo fixo, denominado ciclo básico do sistema. Durante o ciclo básico são executadas as seguintes operações:

- geração de mensagens de indicação em todos os MCL's e MDV's;
- transmissão destas mensagens ao centro de controle;
- processamento destas mensagens pelos computadores;
- geração de mensagens de controle destinadas a todos os MCL's; e
- transmissão destas mensagens aos MCL's.

O ciclo básico do sistema, assim definido, será de 1 segundo.

4.2. OPERACIONALIZAÇÃO DO CONTROLE CENTRALIZADO

O controle centralizado é fundamentalmente executado a partir de 3 programas:

- programa de implementação de planos;
- programa de controle de planos; e
- programa de troca de planos.

O programa de implementação de planos será executado a cada ciclo básico do sistema, devendo gerar as mensagens de controle. Esta implementação será feita utilizando-se contadores em "software" associados a cada controlador local. Quando, pela comparação dos contadores com os instantes de início de estágios dos controladores (informação contida nos planos de tráfego), for verificada a necessidade de mudança de estágios, será gerada e enviada uma mensagem para acionar o estágio desejado.

O programa de controle de planos tem por função verificar a necessidade de se efetuar uma troca de planos. A troca de planos deverá se realizar automaticamente (pela hora do dia e dia da semana ou por reconhecimento de padrões de tráfego), ou por solicitação do operador do "console".

Cada computador de controle deverá conter em sua memória principal um plano de tráfego completo e até vinte na memória auxiliar. A substituição do plano armazenado na memória principal (plano em implementação) por outro armazenado na memória auxiliar será executada, quando necessária, pelo programa de troca de planos.

Estando em implementação um plano de tráfego, serão geradas, então, mensagens de controle para todos os controladores, a cada ciclo básico do sistema. A mensagem de controle pode conter as seguintes informações:

- forçar mudança de estágio ou mudar para um estágio selecionado;
- reter o estágio;
- impor o modo central de operação; e
- impor o modo local de operação.

No mesmo segundo em que for recebida a mensagem de controle, será transmitida uma mensagem de indicação para o centro de controle. A mensagem de indicação pode conter as seguintes informações:

- confirmação do recebimento da mensagem de controle;
- indicação do modo de operação do MCL;

- indicação do estágio corrente do controlador local; e
- indicação de falhas em MCL's e MDV's.

O não recebimento de mensagens de controle por parte do MCL, ou verificação de erros nesta mensagem, verificação esta que será efetuada pelos MTD's, acarretam a degradação do sistema.

4.2.1. Intervenção do operador do "console"

O operador do "console" atuará sobre o controle exercido pelo MCC para:

- mudar e alterar planos de tráfego;
- isolar MCL do controle do MCC;
- requerer e obter relatórios abrangendo as condições vigentes, tais como:
 - relação de MCL's sob controle central ou local;
 - relação de falhas existentes, indicando os equipamentos afetados e a hora da ocorrência das falhas; e
 - volumes em veículos/h medidas pelos MDV's.

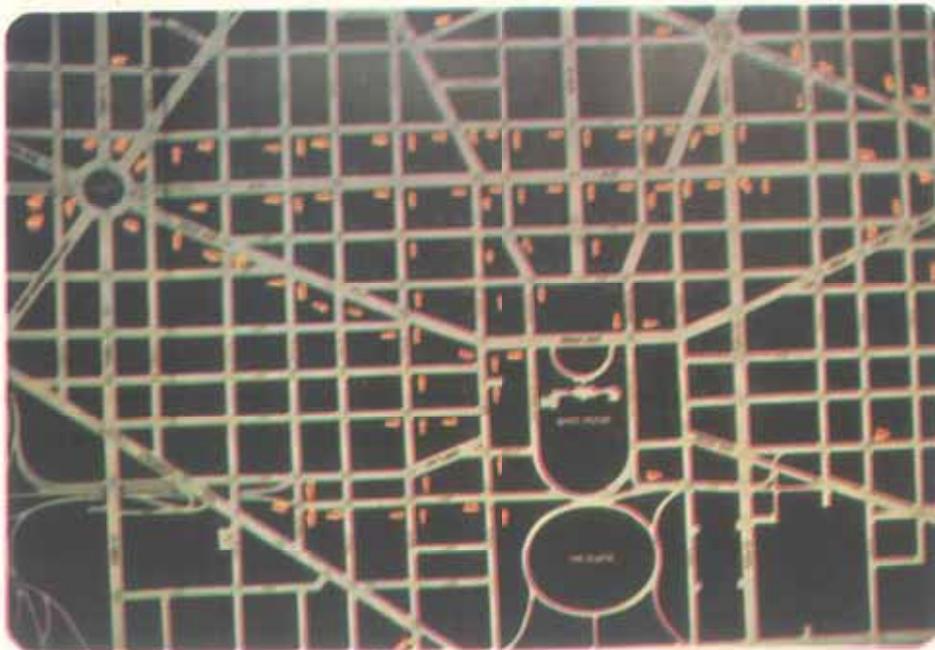


FIG. 21 — VISTA GERAL DO PAINEL DE CONTROLE DE TRÁFEGO, WASHINGTON.

4.2.2. Operação do Painel Mímico

Para possibilitar ao operador do "console" a supervisão da área em controle, o painel mímico mostrará:

- todas as vias em forma simplificada;
- todas as interseções controladas;
- localização dos detectores de veículos;
- indicação de vias com mão única; e
- hora em que se baseia o CTA.

Para todas as interseções e travessias de pedestres controladas, deverá haver, no painel mímico, uma indicação dinâmica e atualizada dentro de 1 segundo de ocorrência para mostrar:

1. falha em equipamento (uma lâmpada vermelha); e
2. modo de controle (uma lâmpada amarela e outra verde), para indicar claramente as seguintes situações:
 - a) plano de controle imposto pelo computador (amarela e verde apagadas);
 - b) interseções sob controle local isoladas pelo computador (amarela acesa e verde apagada);
 - c) interseções sob plano de controle imposto pelo operador (amarela apagada e verde acesa); e
 - d) interseções sob controle local, isolada pelo operador (amarela e verde acesas).

Para todos os ramos com detectores de veículos deverá haver uma indicação dinâmica para mostrar:

1. Falha no equipamento dentro de 1 segundo da ocorrência;
2. Parâmetros de tráfego (uma lâmpada amarela). As funções desta lâmpada deverão ser selecionáveis pelo operador através da VDU e deverá ficar acesa para mostrar os ramos onde:
 - a) a ocupação ultrapassar um dado valor limite;
 - b) o volume ultrapassar um dado valor limite;
 - c) a velocidade não atingir um dado valor limite; e
 - d) a fila ultrapassar um dado valor limite.

O valor limite citado acima será um parâmetro escolhido pelo operador do "console".

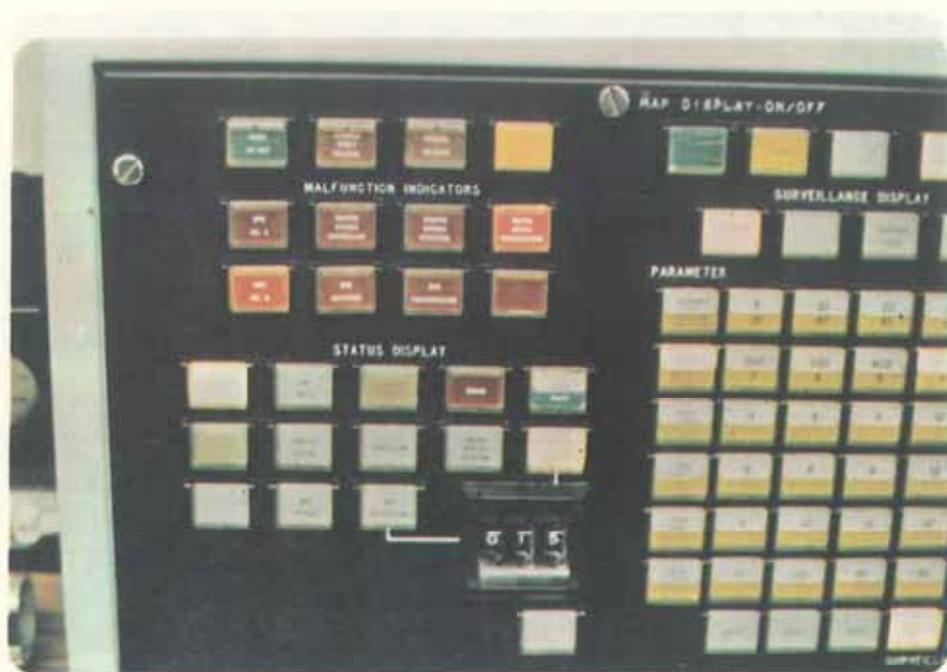


FIG. 22 — DETALHE DO "CONSOLE" DE CONTROLE DE TRÁFEGO, WASHINGTON.



FIG. 23 — DETALHE DO "CONSOLE" DE CONTROLE DE TRÁFEGO, WASHINGTON.



FIG. 24 — DETALHE DO "CONSOLE" DE CONTROLE DE TRÁFEGO, MIAMI.

4.3. MONITORAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS INSTALADOS NAS VIAS PÚBLICAS

As mensagens geradas pelos MCL's e MDV's, dentre diversas funções, indicarão a ocorrência de falhas nestes módulos. Estas mensagens estarão sendo analisadas a cada segundo pelos computadores dos MCC's, exceto quando houver falhas no MTD ou nos próprios MCC's.

Constatada uma falha, os operadores das "consoles" serão informados através das unidades de vídeo e dos painéis mímicos, possibilitando deste modo uma correta atuação sobre os cruzamentos nas vizinhanças de onde tenha ocorrido. A informação será também enviada ao MSG, que acionará a equipe da manutenção, através de um terminal a ela conectado com esta finalidade.

As informações de falhas serão armazenadas na memória auxiliar do MSG, formando assim um banco de dados, que será utilizado para a elaboração de estatísticas.

4.4. PROCESSAMENTO DOS DADOS COLETADOS PELOS MDV's

Os dados enviados pelos MDV's serão recebidos pelos MCC's, que deverão convertê-los em número de veículos e acumulá-los em períodos de tempos predeterminados. Os dados armazenados serão identificados pela hora inicial e final da coleta, como também pela indicação do MDV correspondente.

4.4.1. Processamento pelos MCC's

Os dados dos MDV's poderão ser utilizados pelos MCC's para:

- cálculos de volume e ocupação correntes;
- seleção de planos por reconhecimento de padrões de tráfego;
- atuação sobre o painel mímico; e
- transmissão de mensagens ao operador do "console". Os valores correntes de fluxo e ocupação serão comparados com parâmetros armazenados para cada detector, indicando-se as variações ao operador do "console", através da VDU, que poderá decidir sobre a conveniência da aplicação de um determinado plano.

4.4.2. Processamento pelo MSG

O arquivo de dados dos MDV's será transferido do MCC para o MSG. O MSG deverá ajustar os dados coletados e, a partir deste ajuste, preparar os parâmetros necessários à geração de novos planos de tráfego, que serão elaborados através de um programa específico, e incorporados aos MCC's para implementação.

4.5. OPERAÇÃO DOS CONTROLADORES LOCAIS

O controlador local poderá funcionar num dos seguintes modos de operação, em ordem decrescente de prioridade:

1. Intermitente: todos os semáforos de veículos são mantidos em amarelo intermitente e os de pedestres são desligados;
2. Automático isolado: o controlador obedece a um plano interno de tempos fixos, sem nenhuma sincronização com os controladores da subárea a que pertence;
3. Automático coordenado: o controlador será atuado através de sinais de comando originários de um controlador mestre, que prevê a operação da subárea; e
4. Central: o controlador será atuado através das mensagens de controle provenientes dos MCC's.

Os três primeiros modos são designados genericamente como modo local.

O controlador deverá operar no modo intermitente sempre que for detectada uma situação de **verdes conflitantes** (sinais verdes que permitem movimentos conflitantes de veículos, podendo ocasionar acidentes), ou falhas em seu funcionamento (degradação). Também poderá operar neste modo por solicitação do operador do "console" no centro de controle ou por atuação manual em uma chave interna. O controlador estará operando no modo local isolado ou por degradação do sistema ou por solicitação do operador do "console". Para

tanto, possuirá programas que forneçam os tempos de cada estágio, programas estes selecionáveis pela hora do dia e dia da semana.

Estando o controlador local subordinado ao mestre, este proporcionará a sincronização dos semáforos da respectiva subárea conforme planos de controle nele armazenados.

Em qualquer dos modos automáticos de operação, os períodos de tempo para cada estágio poderão ser ajustados na faixa de 0 a 120 segundos, em passos não maiores que 1 segundo.



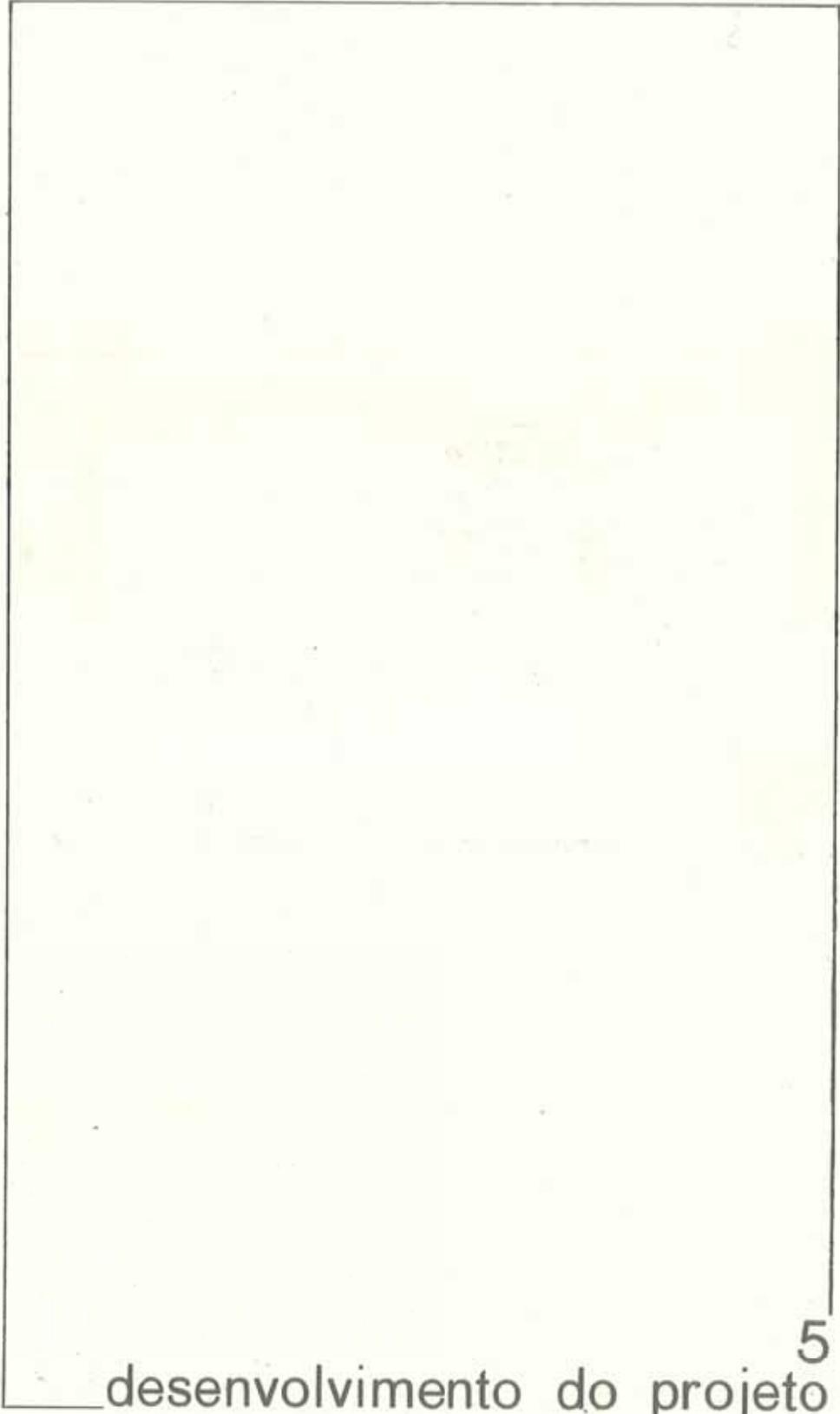
FIG. 25 — EQUIPAMENTOS DE TESTE DE CONTROLADOR ELETRÔNICO, LONDRES.

No modo central, quando os controladores se subordinarão aos respectivos MCC's, cada estágio poderá ser ajustado entre 0 e 600 segundos, em passos de 1 segundo.

Além dos modos acima descritos, o controlador poderá ser acionado manualmente, por atuação em seu painel. A passagem ao modo manual somente será possível se o controlador estiver operando no modo automático, tanto isolado como coordenado.

Dentro de uma mesma área subordinada a um determinado MCC, poderá ocorrer a seguinte situação:

- algumas subáreas sob controle do MCC;
- outras operando em modo local; e
- outras em modo local, porém sendo monitoradas pelo centro de controle.



5

desenvolvimento do projeto

Além dos requisitos funcionais já descritos, o desenvolvimento do projeto deverá orientar-se por diretrizes preestabelecidas nas especificações técnicas do CTA. Entre elas, destacam-se:

5.1. IMPLANTAÇÃO POR SUBÁREA

O CTA, cujo prazo total de implantação previsto é de 3 anos, deverá estar funcionando mesmo antes da instalação do centro de controle, operando da mesma forma que o sistema completo operaria após sofrer degradação para o modo local. Com este objetivo, paralelamente à construção do centro de controle, serão implantadas subáreas em etapas sucessivas, até cobrir toda a área do SEMCO. À medida que cada etapa se realizar, a subárea respectiva entrará em operação, provendo a coordenação dos semáforos nela instalados.

5.2. ÍNDICE DE NACIONALIZAÇÃO

O índice de nacionalização será superior a 80% do preço global de projeto, aplicando-se também este índice ao controlador de semáforos e ao detector de veículos.

5.3. PADRONIZAÇÃO

Durante a elaboração e execução dos projetos, serão observados padrões próprios, normas nacionais e internacionais.

Os semáforos, por exemplo, quanto a suas dimensões e localização nos cruzamentos, serão padronizados dentro de critérios que garantam sua visibilidade, havendo também facilidade de inversão do sentido de movimento na via, sem mudança da localização dos postes.

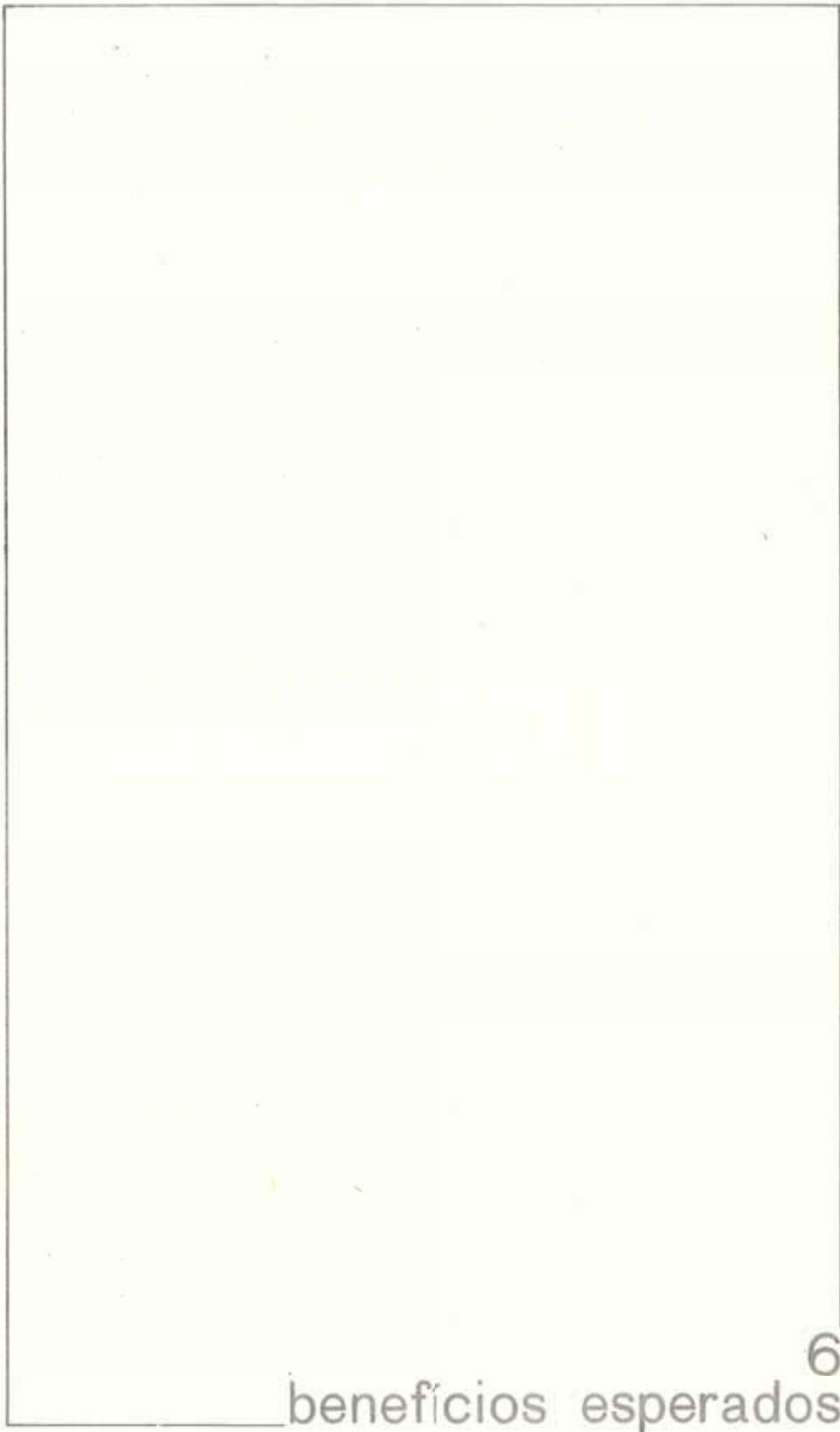
5.4. PROGRAMAÇÃO DOS SERVIÇOS DE OBRAS CIVIS

As redes para instalações dos cabos, tanto de transmissão de dados como de alimentação elétrica dos controladores, semáforos e detectores, serão subterrâneas, com extensão total estimada em cerca de 150km. Para reduzir os transtornos à circulação de veículos e pedestres decorrentes dos serviços de construção destas redes, além das normas de segurança que serão observadas, as obras serão programadas por trechos e, para as vias mais importantes, em horários convenientes.

5.5. PROGRAMA DE TREINAMENTO

Um programa de treinamento, visando a formação e qualificação do pessoal técnico que será encarregado da manutenção e operação do sistema, será executado desde a fase inicial de concepção dos projetos até 12 meses após a entrada do CTA em regime permanente de operação.

Durante o desenvolvimento deste programa, o fornecedor do sistema, e será responsável pela sua operação e manutenção.



beneficios esperados⁶

A coordenação contínua dos semáforos da área a ser controlada pelo CTA redundará nos seguintes benefícios:

- redução do tempo de viagem;
- redução do número de paradas em semáforos;
- economia no consumo de combustíveis;
- redução dos acidentes de trânsito; e
- redução da poluição atmosférica.

A quantificação destes benefícios é estimada com base nas experiências de outras municipalidades que implantaram o sistema centralizado. As experiências tinham por fim efetuar medições das variáveis envolvidas "antes" e "depois" da instalação do sistema e comparar os resultados. As conclusões de alguns deste experimentos são apresentadas a seguir.

6.1. EXPERIMENTOS REALIZADOS NO JAPÃO

Cidade de Sapporo

VARIÁVEL OBSERVADA	"ANTES" (1972)	"DEPOIS" (1973)	VARIAÇÃO
Tempo médio de percurso	7.457"	6.232"	- 16,4%
Paradas	81,7 vezes	50,4 vezes	- 38,3%
Tempo de parada total	2.454"	1.472"	- 40,0%
Velocidade média	21,5km/h	25,8km/h	+ 20,0%

VARIÁVEL OBSERVADA	DENTRO DA ÁREA DE CONTROLE			FORA DA ÁREA DE CONTROLE		
	"ANTES" (1972)	"DEPOIS" (1973)	VARIAÇÃO	"ANTES" (1972)	"DEPOIS" (1973)	VARIAÇÃO
Acidentes de tráfego	2.425	1.801	- 25,7%	3.660	3.325	- 9,2%
Pessoas mortas	20	11	- 45,0%	68	52	- 23,5%
Pessoas feridas	3.534	2.639	- 25,3%	5.189	4.639	- 10,6%

Cidade de Tóquio (R. Harumi — 4km)

SENTIDO DE MOVIMENTO		TEMPO MÉDIO DE PERCURSOS		VARIAÇÃO
		"ANTES" (1969)	"DEPOIS" (1970)	
OESTE-	manhã	33' 50"	25' 20"	- 25%
	tarde	21' 20"	11' 50"	- 45%
LESTE-	manhã	16' 10"	15' 25"	- 5%
	tarde	16' 30"	12' 55"	- 21%

Cidade de Kitakyushu

VARIÁVEL OBSERVADA	"ANTES" (1971)	"DEPOIS" (1972)	VARIAÇÃO
Tempo médio de percurso	12' 40"	10' 05"	- 20,4%
Paradas	6,4 vezes	3,3 vezes	- 48,4%
Velocidade média	26,8km/h	33,0km/h	+ 23,1%

Cidade de Yokohama

VARIÁVEL OBSERVADA	"ANTES" (1972)	"DEPOIS" (1973)	VARIAÇÃO
Tempo médio de percurso	8.651"	7.159"	- 17,2%
Paradas	104,0 vezes	77,5 vezes	- 25%
Comprimento de congestionamento	4.314m	475m	- 89,0%
Emissão de CO	8.006 ton	6.865 ton	- 14,3%
Emissão de HC	126,1 ton	108,4 ton	- 14,0%

6.2. EXPERIMENTOS REALIZADOS NA GRÃ-BRETANHA

Cidade de Leicester

Em maio de 1975, foram efetuadas medições durante duas semanas, "com" e "sem" controle centralizado, produzindo os resultados seguintes:

- redução média do tempo de percurso:
 - pico da manhã: 11,4%; e
 - pico da tarde: 12,1%;
- redução média do número de paradas em semáforos;
 - pico da manhã: 21%; e
 - pico da tarde: 30%.

Cidades de Londres (West London) e Glasgow

Estas medições foram feitas no período de 1967 a 1970. Os resultados são os seguintes:

- redução média no tempo de percurso: 9,2%; e
- redução média no tempo de parada em semáforos: 18,5%

Quanto ao número de acidentes, foi observada uma redução de 8% em GLASGOW e 18% em WEST LONDON.

6.3. EXPERIMENTO REALIZADO NOS ESTADOS UNIDOS

Cidade de Wichita Falls

Os experimentos desta municipalidade foram realizados em fins de 1968. Os resultados são os seguintes:

- redução média no número de paradas em semáforos: 16,3%; e
- redução média no tempo de paradas em semáforos: 31,1%.

6.4. BENEFÍCIOS ESPERADOS PARA SÃO PAULO

Para a estimativa dos benefícios a serem obtidos pelo controle centralizado de tráfego em São Paulo, há que se considerar que os resultados alcançados em outras cidades são relativos a um sistema antes existente, dotado de coordenação entre os controladores, que dispunham de 3 a 12 programas de controle selecionados pela hora do dia.

Adotando-se, para São Paulo, valores médios das melhorias alcançadas em outras cidades do seu porte, assume-se, então, uma condição conservadora, porque o sistema aqui existente não se equivale, em eficiência, ao que existia anteriormente naquelas cidades.

Neste contexto, seguem os benefícios estimados para São Paulo:

- redução do tempo de viagem — 10%;
- redução do número de paradas em semáforos — 15%;
- economia no consumo de combustíveis estimada em cerca de 10% do volume dispendido na área a ser controlada pelo CTA;
- redução dos acidentes de trânsito — 15%;
- a melhoria na fluidez do tráfego implicará em redução da poluição atmosférica e sonora.

GLOSSÁRIO

CENTRO DE CONTROLE — edifício onde serão alojados os computadores do CTA.

CONTROLADOR LOCAL — equipamento que atua diretamente numa interseção, determinando os estágios dos semáforos ali instalados.

CONTROLADOR MESTRE — equipamento que controla semáforos e controladores locais de uma subárea de controle.

CTA — Controle de Tráfego em Área, sistema a ser implantado em São Paulo para o controle de tráfego, visando supervisionar e controlar o tráfego.

DEGRADAÇÃO — processo pelo qual o CTA perde algumas dentre todas as suas funções de controle e supervisão, preservando as demais, por motivos de falhas de equipamentos ou mesmo por intervenção externa deliberada.

DETECTOR DE VEÍCULOS — dispositivo que detecta as mudanças nos parâmetros do laço indutivo causadas por um veículo (v. **Laço Indutivo**).

EM LINHA — ("ON-LINE") modo de operação de um dispositivo de entrada e/ou saída, como um componente do computador sob controle programado.

ESTÁGIO — situação dos sinais luminosos de uma interseção durante um intervalo de tempo que dá direito de passagem a uma ou mais correntes de tráfego, e no qual não há mudança de ou para verde.

HORA CENTRAL DO CTA — é a hora fornecida pelo relógio central ao qual estão conectados os MCC's e o MSG.

LAÇO INDUTIVO — dispositivo construído por um ou vários cabos elétricos em forma de laços enterrados sob o leito carroçável, que serve de elemento transdutor entre a massa metálica dos veículos em movimento e a variação do sinal elétrico injetado no cabo.

MENSAGEM DE CONTROLE — conjunto de dados que é enviado do centro de controle a qualquer módulo de controle local (MCL).

MENSAGEM DE INDICAÇÃO — conjunto de dados que é enviado por qualquer módulo de controle local, ou módulo de detecção de veículos, ao centro de controle.

OCUPAÇÃO — percentagem do tempo em que uma secção transversal da via está ocupada por veículos.

"ON LINE" — v. **Em Linha**.

OPERADOR DE "CONSOLE", OPERADOR DE TRÁFEGO — é o agente a quem tenha sido delegado autoridade para, por uso dos dispositivos existentes no "console" de controle de tráfego, influir na operação do CTA.

PLANO DE TRÁFEGO — conjunto de segmentos de planos de tráfego aplicáveis à área em controle (v. **Segmento de Plano de Tráfego**).

PROGRAMA — uma seqüência precisa de instruções codificadas para o computador, no propósito de solucionar problemas.

RAMO — via que liga dois cruzamentos.

- RECUPERAÇÃO** — processo pelo qual o CTA reassume novas funções dentre todas as previstas, por motivo de eliminação de falhas até então presentes no sistema, ou por intervenção externa deliberada.
- SEGMENTO DE PLANO DE TRÁFEGO** — conjunto de dados de controle relativos a um controlador. Estes dados, incluem: duração do ciclo da interseção associada; instantes de início dos estágios em relação ao início do ciclo e defasagem relativa do controlador em relação à sua subárea.
- SEMÁFORO** — dispositivo por meio do qual os motoristas e pedestres recebem ordem de interromper ou prosseguir seus movimentos.
- SINCRONIZADO** — dois ou mais equipamentos são ditos sincronizados, quando seus relógios internos mantêm a hora central do CTA (v. **Hora Central do CTA**).
- "SOFTWARE"** — aparato necessário na utilização do computador para solucionar problemas. Abrange todos os programas necessários para utilização do computador.
- SUBÁREA (SUBÁREA DE CONTROLE)** — parte da área abrangida pelo CTA, na qual os controladores aí instalados, quando em operação no modo local, mantêm seu sincronismo, segundo um dado plano de tráfego.
- VOLUME** — número de veículos que passam sobre uma via durante um intervalo de tempo.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — "Especificações técnicas do sistema de controle de tráfego em área de São Paulo".
Companhia de Engenharia de Tráfego
Julho 1977
- 2 — Road — Traffic Control With The Particular Reference to Tokyo Control And Surveillance System Proceedings of the IEEE Vol. 64 — Julho 1976 autor: Hiroshi Inose
- 3 — Efeitos Operacionais do Sistema de Controle de Tráfego em Área no Japão.
Revista **Kotsu Kansei** Agosto/1974.

Série BOLETIM TÉCNICO DA CET

Redução do Consumo de Combustível: Ações na Circulação e no Transporte	— publicado
Redução dos Acidentes de Tráfego: Proposta de Medidas para um Plano de Ação	— publicado
São Paulo e a Racionalização do Uso do Combustível	— publicado
Pesquisa Aerofotográfica da Circulação Urbana: Análise de um Projeto Piloto	— publicado
Noções Básicas de Engenharia e Tráfego	— publicado
Engenharia de Campo	— publicado
Projeto SEMCO Sistema de Controle de Tráfego em Área de São Paulo	— publicado
Ação Centro	— no prelo
Transyt	— no prelo
Projeto Comonor	— no prelo