

O controle semafórico centralizado e a operação de campo

SUMÁRIO

Assunto	Página
1. APRESENTAÇÃO	3
2. SEMAFÓROS CENTRALIZADOS	3
3. O SISTEMA EM TEMPOS FIXOS	4
3.1. O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA EM TEMPOS FIXOS	4
3.1.1. As redes semafóricas	5
3.2. ARRANJOS FÍSICOS DAS REDES	6
3.2.1. Ponto a ponto	6
3.2.2. Comunicação via modem	7
3.2.3. Comunicação via concentrador	8
3.3. INTERRUPÇÃO NA COMUNICAÇÃO	8
4. O SISTEMA CTA	9
4.1. DETECTORES	11
4.2. O PROGRAMA DE COMPUTADOR SCOOT	12
4.3. AS OUTRAS CTAS	12
4.4. CIRCUITO FECHADO DE TV	12
5. CONCEITOS BÁSICOS DE OPERAÇÃO SEMAFÓRICA EM CAMPO	13
5.1. GARGALO	13
5.2. CORREDOR SATURADO	13
5.3. PORCENTAGEM DE VERDE	13
5.4. OPERAÇÃO MANUAL	14
BIBLIOGRAFIA	15

O controle semafórico centralizado e a operação de campo

1. APRESENTAÇÃO

Neste texto são tratados os semáforos centralizados, isto é, coordenados por computador, e a operação em campo. Ele traz, em linguagem simples, uma introdução ao tema, aproveitando a experiência do autor na Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, de São Paulo. O objetivo do texto é complementar o que é exposto em sala de aula ao longo da disciplina “[Engenharia de Tráfego Urbano](#)”, no curso de Engenharia Civil da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

A primeira versão desse texto é de 2001. Esta é a segunda versão, revisada e ampliada.

2. SEMAFÓROS CENTRALIZADOS

Você já está cansado de saber a que é um semáforo, certo? Mas, “semáforo centralizado” já é uma coisa menos comum. O que é isso, afinal?

O equipamento que fica em campo e é o responsável pela alteração das cores do semáforo é chamado de “controlador”. O sistema semafórico centralizado, de um modo geral, é formado por controladores eletrônicos, ligados fisicamente (por cabos) a um ou mais computadores. Com esse sistema, o controle dos corredores mais importantes de uma cidade pode ser feito de um único ponto – a sala da Central de Operações. Na Central, técnicos operam os computadores e acompanham o funcionamento dos semáforos. Desse modo é possível saber exatamente que tempos do semáforo estão ocorrendo na rua a cada instante, olhando nas telas do sistema de computadores. Além disso, é possível saber instantaneamente a ocorrência de falhas de controladores ou de detectores (ver item 4.1).

Uma das principais vantagens do sistema centralizado é poder alterar os tempos dos semáforos a partir da Central de Operações. Por meio de comandos dados diretamente nos computadores, é possível modificar a programação, adaptando os tempos semafóricos para situações inesperadas (veículos quebrados, buracos etc). Essas situações podem ser informadas via rádio (ou outra forma de comunicação) por equipes de campo ou detectados pelos próprios técnicos da Central através de outros recursos do sistema, como as câmeras de TV.

Existem vários tipos de sistemas semafóricos centralizados. Nos próximos itens, são feitas descrições desses sistemas.

3. O SISTEMA EM TEMPOS FIXOS

O primeiro sistema centralizado em tempos fixos a operar em São Paulo foi batizado como “Semco – Semáforos coordenados por computador”. Quando foi inaugurado, em 1982, tinha por volta de 450 cruzamentos sob seu controle.

O Semco foi desativado e substituído pelo sistema de Centrais de Tráfego em Área - CTA (item 4). Com a implantação do sistema CTA, São Paulo passou a ter cinco centrais semaforicas, denominadas CTA-1, CTA-2 e assim por diante, cada qual fazendo a gestão de parte dos semáforos da cidade. As redes das CTAs usam controladores de grande porte, isto é, dotados de recursos eletrônicos sofisticados, capazes de operar em tempo real (item 4).

3.1. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA EM TEMPOS FIXOS

Em geral, o volume do tráfego em uma via varia ao longo do dia. Existem os períodos de maior concentração de trânsito (os chamados “picos”) e os horários onde o fluxo cai bastante (à noite e de madrugada, por exemplo). Para tentar acompanhar essa variação no fluxo da melhor forma possível, os engenheiros de tráfego fazem vários estudos, que incluem pesquisas de contagens dos veículos ao longo do dia, observação da operação da via (existência de perturbações ao tráfego, como escolas, por exemplo) e outros elementos. Após a reunião desses dados e de uma série de cálculos, são estipulados os planos semaforicos. Esses planos semaforicos são compostos pelo tempo do ciclo, duração dos verdes de cada via, tempo de amarelo (e quando for o caso, vermelho geral) e defasagem. A defasagem é a diferença de tempo entre a abertura (ou fechamento) de dois cruzamentos consecutivos. Feitos os planos semaforicos, o próximo passo é elaborar as tabelas horárias. Nessas tabelas são estipuladas as entradas e a duração de cada plano ao longo do dia (Figura 1).

Troca	Plano	Período	Horário	Ciclo	Estágio A	Estágio B	Estágio C
1	01	Seg/Sáb	05h00	60	24	15	21
2	02	Seg/Sáb	07h00	72	32	15	25
3	01	Seg/Sáb	10h00	60	24	15	21
4	03	Seg/Sáb	11h00	72	29	15	28
5	01	Seg/Sáb	15h00	60	24	15	21
6	04	Seg/Sáb	17h00	80	34	15	31
7	02	Seg/Sáb	19h00	72	32	15	25
8	06	Todos	20h00	60	24	15	21
9	05	Todos	23h00	50	30	-	20
10	06	Domingo	07h00	60	24	15	21

Figura 1 - Exemplo de tabela horária - Av. Lacerda Franco X R. Sen. Carlos Teixeira de Carvalho (Cambuci, São Paulo) (vigente em dez/2012).

Como mostra a Figura 1, as tabelas horárias podem ter planos diferentes para os dias úteis, sábados e domingos. Uma vez elaboradas, essas tabelas horárias são inseridas nos computadores, que automaticamente vão implementando os planos na rua. Em um sistema centralizado, sempre é possível saber de um único ponto, a Central, que tempos semafóricos estão rodando em cada cruzamento. Outra vantagem importante desse tipo de sistema é a comunicação imediata das falhas dos controladores. Se um controlador apresenta um defeito e, por exemplo, vai para modo piscante (amarelo intermitente), no mesmo instante a Central recebe a informação pelo computador e pode tomar as medidas operacionais cabíveis, como acionar as equipes de manutenção e da operação de campo para o local.

Durante a operação normal, os planos semafóricos vão sendo trocados pelo computador ao longo do dia, seguindo os tempos predeterminados na tabela horária. Por isso esse sistema é chamado de tempos fixos.

3.1.1 AS REDES SEMAFÓRICAS

A maior parte dos sistemas centralizados é dedicada ao controle de agrupamentos de semáforos, chamados de redes semafóricas. Dentro de uma mesma rede, todos os cruzamentos devem ter o mesmo ciclo (ou múltiplos do ciclo). Isso é fundamental para que exista o sincronismo entre as intersecções semafóricas consecutivas e próximas e, desse modo, garantir-se o cumprimento das defasagens programadas. Tomemos como exemplo a Avenida Paulista. Todos os semáforos dessa avenida formam uma rede centralizada. Quando se estipula um ciclo para um determinado cruzamento da Paulista (digamos 120 segundos), todos os outros cruzamentos daquela rede trabalharão também com 120 segundos (ou múltiplos: dois ciclos de 60 segundos, por exemplo).

A Figura 2 mostra o desenho esquemático de uma rede.

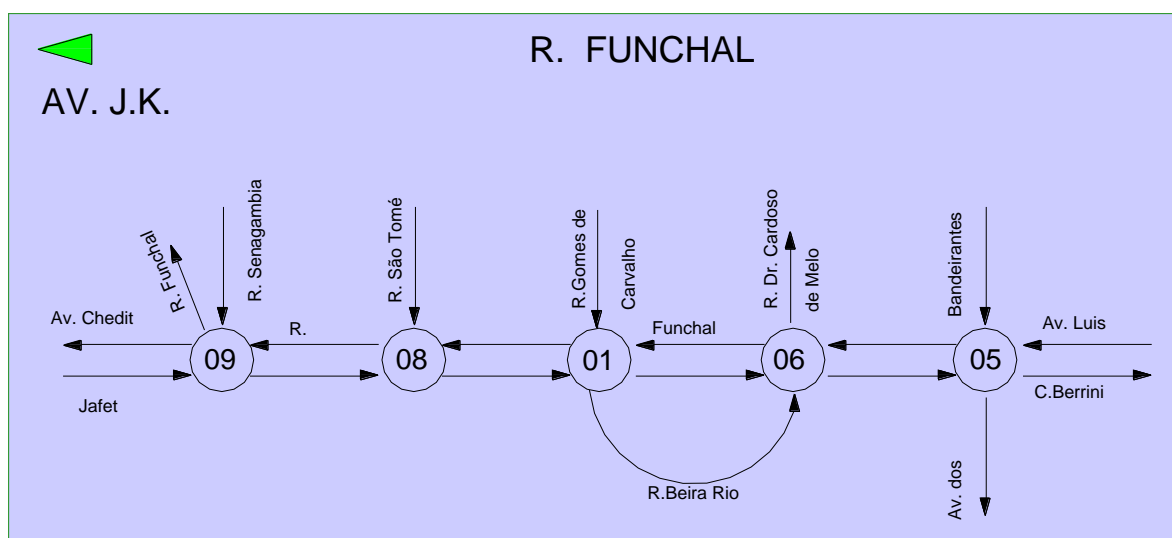


Figura 2 – esquema de parte da R. Funchal, Vila Olímpia, S. Paulo

Porém, sabemos que eventos imprevisíveis acontecem nas ruas, como veículos quebrados, acidentes etc. Esses eventos alteram a operação normal de trânsito e muitas vezes os planos semaforicos preestabelecidos na tabela horária não dão conta das lentidões que se formam. No sistema centralizado, é possível ajustar os tempos de um ou mais cruzamentos para essas situações inesperadas. Isso é feito pelos técnicos que ficam operando os computadores na Central. Baseados nas informações do pessoal de campo, eles modificam temporariamente os tempos da tabela horária até que o problema seja resolvido (remoção do veículo quebrado, do acidente etc). Esses comandos temporários são variações no plano corrente e tanto podem ser uma alteração de tempos, como também o forçamento da entrada de um plano diferente do previsto na tabela horária.

Em qualquer sistema centralizado, o desejável é que os controladores semaforicos permaneçam em comunicação com os computadores o tempo todo. Caso haja um problema e a comunicação entre as redes e o computador seja interrompida, os controladores passam a operar de forma isolada, sem conexão com a Central. A situação isolada (dizemos, nesse caso, que a rede está em “modo local”) é indesejável, por dois motivos principais:

- com o passar do tempo, perde-se o sincronismo (não se consegue garantir a defasagem entre dois cruzamentos);
- perde-se o controle das falhas que venham a ocorrer.

Sendo assim, a comunicação deve ser restabelecida prontamente. A interrupção pode ser gerada por defeitos eletrônicos nos equipamentos ou por descontinuidade nos cabos (por rompimentos, que, em geral, são consequências de obras na via); ou, por problemas em emendas (como mau contato, por exemplo). Mais sobre as interrupções é tratado em 3.3.

3.2. ARRANJOS FÍSICOS DAS REDES

Existem várias formas de conexão das redes centralizadas em relação aos controladores e ao computador. A seguir são descritos alguns casos:

3.2.1. Ponto a ponto

Esta era a configuração do sistema Semco e que permanece sendo usada pela CTA-1. Nessa configuração todos os controladores são conectados ao computador diretamente. As conexões entre os controladores e a CTA-1 é, na grande maioria dos casos, realizada por meio de cabos metálicos inseridos em uma rede de dutos. Essa rede é de propriedade da CET e é utilizada exclusivamente para a transmissão de dados e imagens.

A estrutura da rede de comunicação está mostrada na Figura 3. Podemos ver que os cabos partem da central e vão se ramificando conforme atingem os controladores. Portanto, cada controlador tem uma comunicação direta com o

computador (ponto a ponto). Quando há o rompimento do cabo de comunicação, todos os controladores do ponto rompido em diante deixam de se comunicar com o computador.

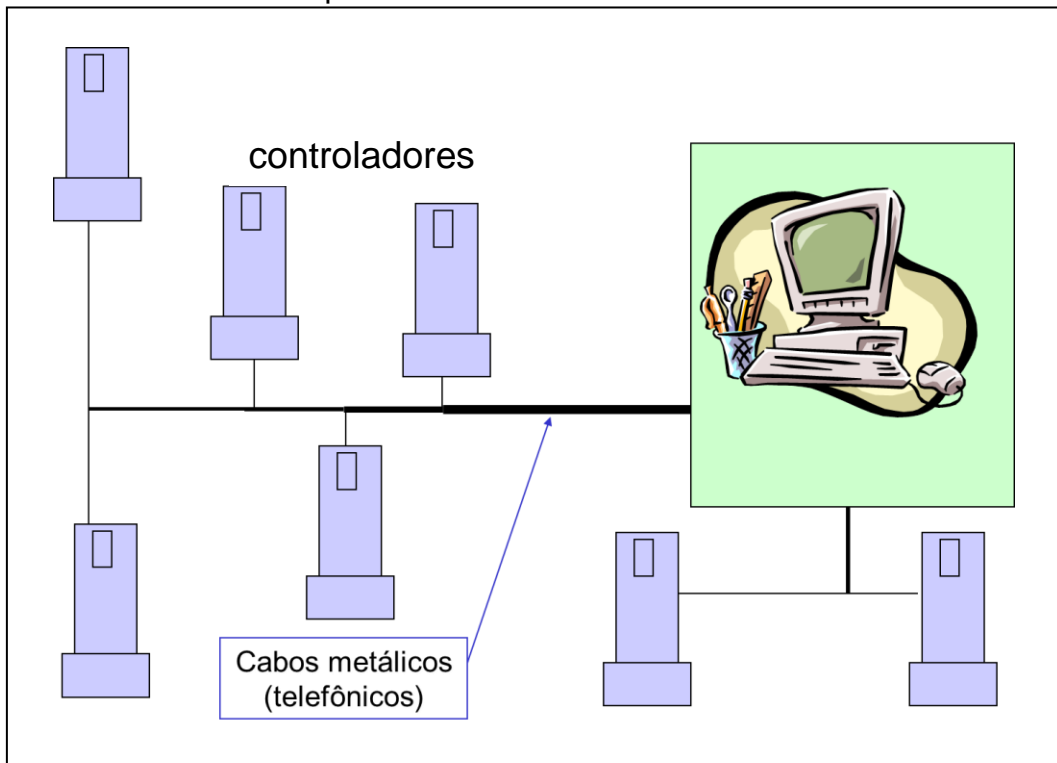


Figura 3 – estrutura de conexão ponto a ponto

3.2.2. Comunicação via modem

Neste tipo de arranjo, entre o computador central e as redes semafóricas existem interfaces de comunicação (modems ou mesmo interfaces ópticas), que intermediam a transmissão de dados. A conexão entre a central e o campo pode ser feita via linha telefônica privativa (Figura 4). Em geral este tipo de arranjo é aplicado em redes que contém controladores de médio porte.

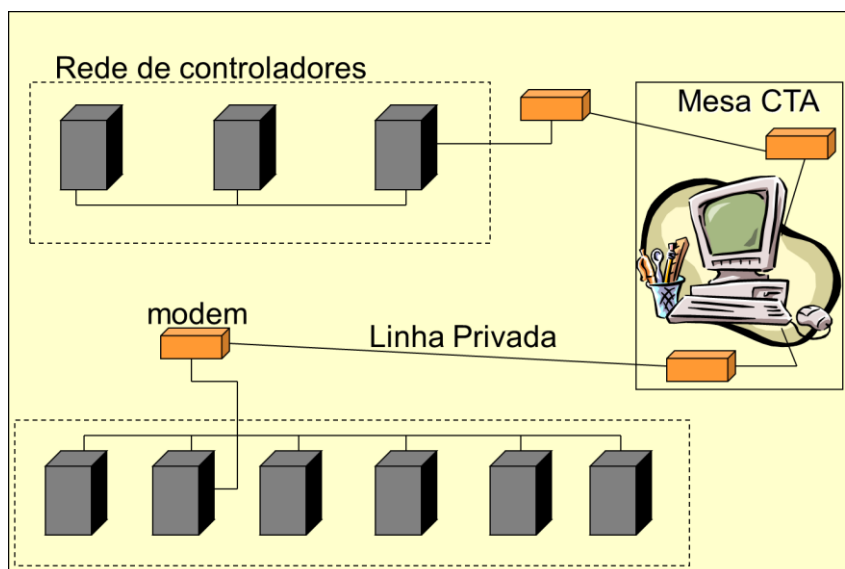


Figura 4 – esquema de comunicação via modem

3.2.3. Comunicação via concentrador

Esta configuração traz a figura do concentrador de comunicação. As conexões do computador central com o campo são feitas com os concentradores, normalmente via fibra óptica. Dos concentradores saem os cabos metálicos que permitem a comunicação com os controladores. Esse arranjo tem uma vantagem interessante: como os concentradores possuem um relógio interno, que passam a cumprir o papel de referência de tempo em caso de perda de comunicação ou falha de operação no computador.

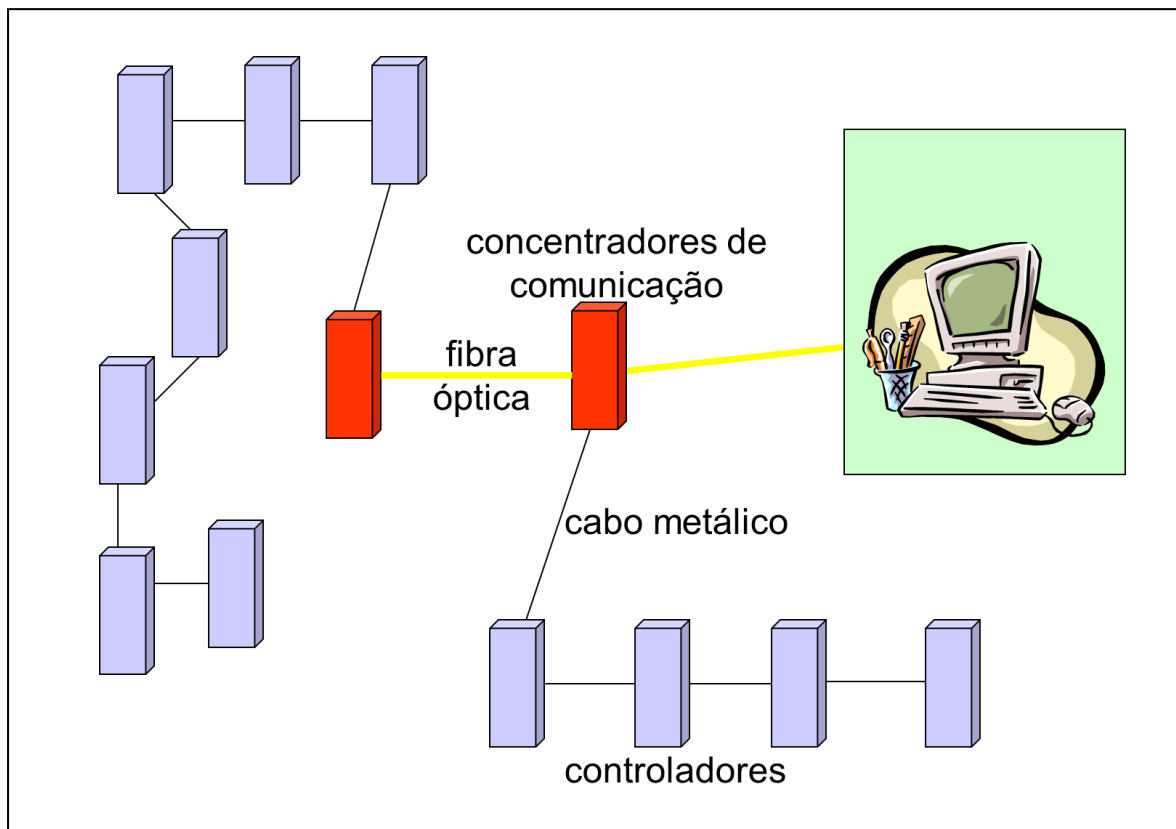


Figura 5 – Esquema de comunicação utilizando concentradores

3.3. INTERRUPÇÃO NA COMUNICAÇÃO

Quando os controladores de uma rede deixam de receber o relógio do computador (ou do concentrador), a referência de tempo passa a ser o relógio interno de cada equipamento, que começa a trabalhar de forma independente.

Esta situação é indesejável. Os relógios internos dos controladores rapidamente se defasam. Em muitos casos, uma diferença aparentemente pequena, da ordem de cinco segundos entre os relógios de dois controladores subsequentes é o suficiente para gerar transtornos graves ao trânsito.

Pela especificação técnica usada pela CET, a precisão mínima exigida para o fabricante do controlador é de 1/100.000, ou seja, é tolerada a diferença de um

segundo entre dois relógios a cada 100.000 segundos decorridos, o que dá aproximadamente 1 segundo por dia (um dia tem 86.400 segundos). É uma exigência, aparentemente, rigorosa, mas em seis dias podemos ter cinco segundos de diferença, o que, conforme citado, pode ser suficiente para comprometer a segurança e a fluidez do trânsito.

Os controladores semafóricos têm duas opções de ajuste de relógio: via rede elétrica ou por meio de cristal. A opção por um modo ou outro é programável no equipamento. Suas características são:

- a) Via rede elétrica: a variação da rede elétrica é utilizada pelo relógio interno do controlador como base para sua operação. A rede elétrica no Brasil tem uma frequência padronizada em 60 Hz (Hertz). Isso significa que a alimentação elétrica troca de polaridade (negativo/positivo) sessenta vezes em um segundo. Teoricamente, o fornecimento de energia elétrica comercial deveria garantir uma frequência estável, sem variações. O que se verifica na prática é que existem oscilações. Entretanto, dentro de um mesmo circuito da rede da Concessionária, as oscilações são iguais. Isso garantiria que os relógios, mesmo atrasando ou adiantando em relação a uma referência externa (o horário do observatório, por exemplo) se manteriam sincronizados, pois a variação seria uniforme para todos os controladores. Porém, os circuitos da Concessionária podem variar ao longo das vias e em geral não coincidem com as ligações físicas das redes semafóricas. Isso gera diferenças nas cadências dos relógios internos, que logo deixam de estar sincronizados;
- b) Cristal: os controladores tem um cristal de silício, elemento que tem uma vibração constante, o que permite usá-la como referência de tempo. Ocorre que cristais diferentes vibram em frequências diferentes (embora muito próximas, pois tem que atender à especificação do 1/100.000, que é justamente a precisão possível do cristal de silício). Caso controladores adjacentes tenham cristais com diferença de ritmo de vibração, em alguns dias o sincronismo será perdido.

Dependendo do caso, as redes semafóricas têm seus controladores ajustados para trabalhar em cristal ou pela rede elétrica. O fato é que qualquer um dos modos não sustenta o sincronismo por muito tempo.

4. O SISTEMA CTA

O sistema de controle que em São Paulo foi batizado como “Central de Tráfego em Área – CTA” é uma evolução tecnológica em relação aos de tempos fixos. O seu funcionamento básico é idêntico ao do sistema centralizado em tempos fixos, porém tem um item a mais, que faz uma grande diferença: o tempo real. “Tempo real” (ou “semáforos inteligentes”) é a expressão que foi consagrada para sistemas que modificam automaticamente os tempos semafóricos conforme varia o fluxo.

O Sistema CTA tem a estrutura mostrada na Figura 6, tendo três diferenças em relação ao sistema em tempo fixo: os laços detectores, as câmeras de TV e o programa que roda nos computadores.

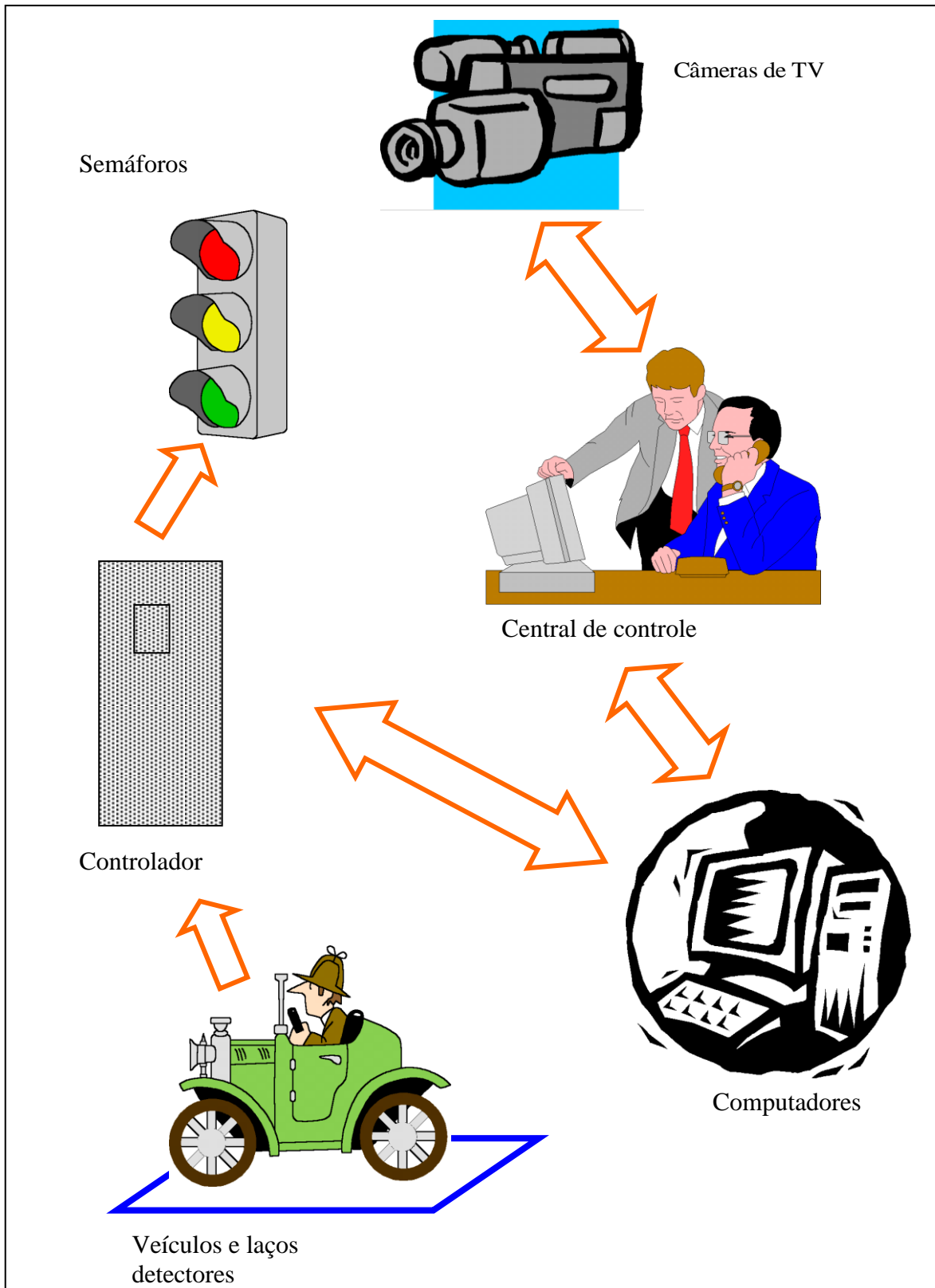


Figura 6 – Esquema operacional de uma Central de Controle

4.1. DETECTORES

Os detectores mais comuns são os laços indutivos. São fios metálicos enrolados (espiras), embutidos no asfalto a mais ou menos 7 cm de profundidade, por onde passa uma corrente elétrica. Quando um veículo passa pelo laço, produz uma alteração no campo magnético formado. O controlador registra e informa essa passagem ao computador da Central (os laços são ligados aos controladores), que vai contando os veículos.

Os detectores são fundamentais para o sistema CTA. Em São Paulo foram colocadas faixas azuis junto aos laços. A idéia é prevenir possíveis rompimentos por obras ou buracos. A Figura 7 mostra um laço detector e sua sinalização.

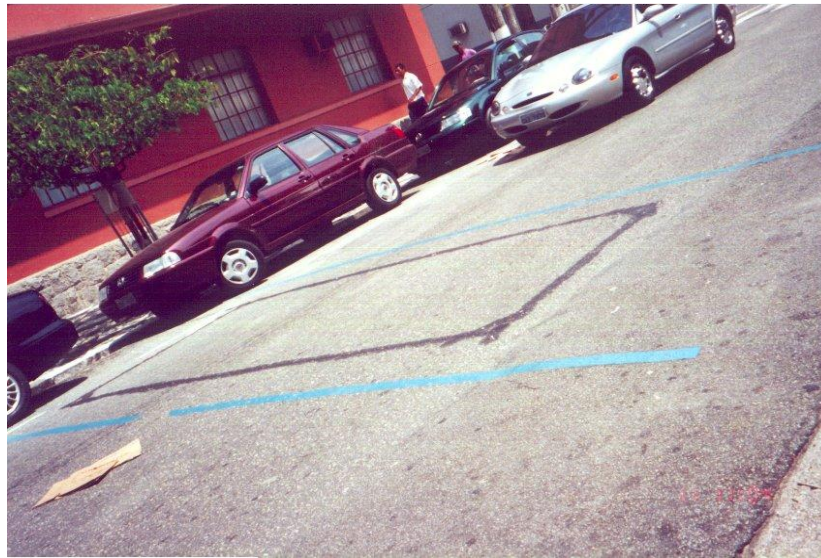


Figura 7 – foto de laço detector e sua sinalização

Em São Paulo existe outra forma de detecção, baseada em detectores virtuais. Essa forma de detecção utiliza câmeras de vídeo fixas, cujo campo visual corresponde à seção de detecção desejada para uma aproximação. Por meio de um software, seções retangulares de detecção são configuradas sobre a imagem (ver Figura 8). A passagem do veículo gera uma alteração na composição dos pixels que formam a imagem da seção de detecção, fazendo com que o software envie a informação de contagem ao computador. Somente os dados são enviados. Embora tecnicamente possível, as imagens das câmeras de detecção não são transmitidas à Central.

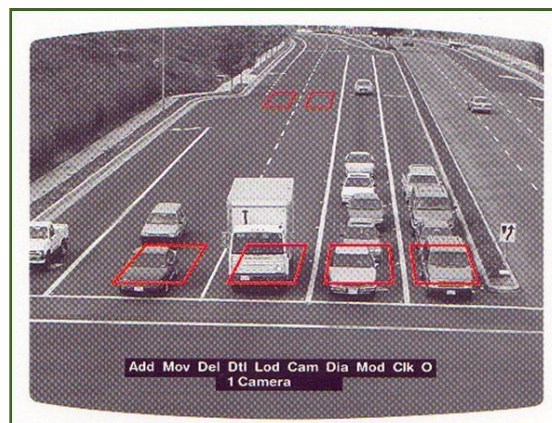


Figura 8 – imagem de detecção com laços virtuais

4.2. O PROGRAMA DE COMPUTADOR SCOOT

As informações vindas dos detectores são recebidas pelos computadores da CTA. Para operação em tempo real é necessário um programa específico. Existem vários no mercado. O que opera na CTA-1, responsável pela área central de São Paulo, é chamado Scoot (é uma sigla inglesa – “Split, Cycle and Offset Optimisation Technique” ou, “Técnica para Otimização de Fração de verde, Ciclo e Defasagem”). O Scoot calcula o fluxo em cada via a partir das informações dos detectores e vai adaptando os tempos semafóricos às condições de trânsito da via. Conforme o fluxo vai aumentando ou diminuindo, automaticamente o Scoot ajusta a distribuição de tempos (ciclo, divisão de verdes e defasagem), para reduzir as filas.

Isso significa que em tempo real não existe tabela horária. O programa vai modificando os tempos conforme a necessidade. Se um veículo quebra, por exemplo, a fila gerada vai ser detectada pelo sistema (por meio dos detectores) e ele inicia alterações de tempos, aumentando o verde para a via, até a normalização do problema.

Apesar de operar automaticamente, os programas de controle em tempo real oferecem a possibilidade de intervenção pelos técnicos da Central, alterando-se parâmetros temporariamente, para atender situações especiais. Esse sistema, certamente, tende a reduzir a execução de alterações operacionais, mas, de forma alguma, elimina a necessidade de acompanhamento técnico, tanto na via, quanto na Central.

O Sistema CTA, quando não está operando em tempo real, trabalha exatamente como o em tempo fixo.

4.3. AS OUTRAS CTAS

Todas as CTAs tem capacidade para operar em tempo real. O total de cruzamentos da cidade que estão ligados às CTAs é da ordem de 25% (1500 semáforos na cidade em um total de 6000, em números aproximados).

As CTAs trabalham com diferentes tecnologias e programas. As CTAs 2 e 5 também usam o Scoot, mas os equipamentos têm origem diferente dos da CTA-1. As CTAs 3 e 4 utilizam o programa “Itaca” e equipamentos distintos das demais CTAs.

4.4. CIRCUITO FECHADO DE TV

Outro grande avanço tecnológico que veio com as CTAs foi os Circuitos Fechados de TV - CFTV. Várias câmeras distribuídas nos principais locais permitem monitoração constante do trânsito, fornecendo informações operacionais em geral. O sistema de câmeras tem uma série de recursos como “zoom”, giro de 360⁰ telões, gravação em vídeo etc.

5. CONCEITOS BÁSICOS DE OPERAÇÃO SEMAFÓRICA EM CAMPO

Seguem alguns comentários destinados àqueles que eventualmente possam trabalhar em operação de campo. São conceitos que auxiliam na tomada de decisões em situações de congestionamento, aproveitando os recursos de um sistema semafórico centralizado.

5.1. GARGALO

Quando ocorre uma lentidão, sempre existe um ponto de gargalo, ou seja, o local onde existe uma restrição de capacidade, que impede uma maior fluidez na via. Para poder tomar medidas adequadas em termos semafóricos, é preciso identificar o gargalo. Se você adentra a um corredor com lentidão, antes de qualquer medida, é preciso saber o que está causando o problema. Pode ser um veículo quebrado, um semáforo ou um acesso à outra via. O gargalo é o ponto a partir do qual o trânsito flui melhor.

Identificado o gargalo, o que fazer? Se for algum semáforo, devem ser verificadas as condições da outra via e pedir para a Central uma variação nos tempos, caso isso seja viável - se a outra via estiver em piores condições, não adianta. Caso o gargalo seja uma obstrução do tipo obra ou carro quebrado, deve-se informar à Central o local exato em que ele se encontra em relação ao cruzamento e solicitar uma alteração semafórica. Após a remoção e normalização do trânsito, a alteração deve ser interrompida e iniciada outra, aumentando o tempo de verde do corredor no sentido onde está a lentidão.

5.2. CORREDOR SATURADO

Em ocasiões de congestionamento (saturação), onde as caixas dos corredores estão todas cheias e, também, o gargalo não é “manobrável” (p. ex.: a lentidão vem da pista expressa à frente), não adianta aumentar o tempo de verde para o eixo, porque ele será desperdiçado – o tráfego não fluirá! Nesse caso, é melhor privilegiar as transversais, para que, pelo menos, o fluxo que deseja cruzar a avenida possa fluir.

Outra possibilidade é reduzir o ciclo da rede, para facilitar o deslocamento pelas transversais.

Como em todas as providências relativas a semáforos centralizados, é fundamental o acompanhamento da evolução do tráfego. Se o corredor começar a fluir, devem ser feitas mudanças gradativas, para aproveitar o máximo possível a capacidade da via, até que a situação seja normalizada.

5.3. PORCENTAGEM DE VERDE

Para se ter uma base do quanto se deve pedir como variação no tempo de verde, é recomendável considerar o tempo do ciclo. Uma variação de 5 segundos no verde de uma intersecção (ou seja, tira-se 5 segundos de verde de uma via e passa-se para outra) quando o ciclo é de 60 segundos é muito

mais drástica em relação a um cruzamento que tem ciclo de 144 segundos. Essa comparação é interessante para uma primeira calibração no pedido inicial de variação.

Como sugestão de variação inicial sugere-se um aumento do verde equivalente a 4% do tempo de ciclo. Ou seja, para um ciclo corrente de 60 s, a variação máxima inicial seria de 3 segundos; para um ciclo de 100 s, a variação máxima inicial seria de 4 segundos e assim por diante.

5.4. OPERAÇÃO MANUAL

Por motivos de segurança, em geral, os sistemas centralizados impõe que para a operação manual, o controlador esteja em modo local. Ou seja, sem o controle do computador. Essa mudança de modo central para local só pode ser feita pelos técnicos da Central, mediante solicitação do agente que vai realizar a operação manual.

A operação manual deve ser encarada como uma anomalia. Ou seja, um recurso operacional para situações especiais. A repetição de uma operação manual em um mesmo local e horário é um indicador de que a programação deve ser revista.

Em intersecções complexas, a operação manual requer cuidados especiais, pois apresenta alto grau de dificuldade.

São vários os cuidados a serem observados. Seguem alguns exemplos:

- os controladores têm formas de operação manual diferentes. Existem os que têm uma sequência de estágios específica para operação manual, outros obrigam que todos os estágios configurados sejam cumpridos quando operados manualmente, entre outros detalhes. Portanto, é fundamental que o técnico de campo tenha o conhecimento funcional sobre o equipamento;
- às vezes, as transversais fazem parte de um retorno ao redor da quadra. Nesses casos, a operação manual pode gerar falta de verde em uma dessas transversais, gerando outra lentidão no próprio corredor principal;
- é frequente em grandes avenidas existirem travessias de pedestres semaforizadas que ocorrem paralelamente ao movimento da transversal. Em uma operação manual que se proponha a aumentar a fluidez da avenida, deve-se ficar atento para não reduzir o verde da transversal a ponto de impedir que os pedestres completem a travessia com segurança;
- em geral, praças e grandes rotatórias operam com ciclos relativamente baixos, pois o excesso de verde pode preencher as caixas intermediárias e gerar o travamento do tráfego. Esse princípio deve ser respeitado na operação manual. Muitas vezes, na ânsia de melhorar a fluidez de um ponto saturado, tende-se a trabalhar com tempos de verdes grandes, o que, como visto, não funciona em praças semaforizadas.

BIBLIOGRAFIA

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO – CET. *Noções de sinalização semafórica – operador II*. São Paulo, 2012.

VILANOVA, LUIS M. *O Controle de semáforos em tempo real*. Boletim Técnico Nº 38. Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, São Paulo, 2005.

Sites consultados

Sinal de Trânsito:

www.sinaldetransito.com.br

Engenharia de Tráfego Urbano – notas de aula:

http://meusite.mackenzie.com.br/professor_cucci