



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GIULLIANO CAVALCANTI BEZERRA

# **SISTEMA DE CONTROLE SEMAFÓRICO POR DEMANDA DE TRÁFEGO UTILIZANDO TECNOLOGIA GPRS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande, Abril de 2010

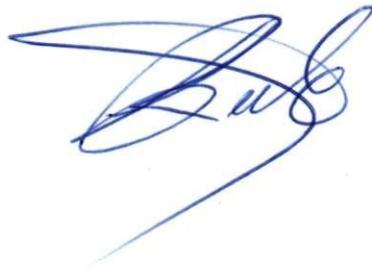
GIULLIANO CAVALCANTI BEZERRA

## **SISTEMA DE CONTROLE SEMAFÓRICO POR DEMANDA DE TRÁFEGO UTILIZANDO TECNOLOGIA GPRS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção da graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador

Prof. Luis Reyes Rosales Montero



Campina Grande, Abril de 2010

GIULLIANO CAVALCANTI BEZERRA

## SISTEMA DE CONTROLE SEMAFÓRICO POR DEMANDA DE TRÁFEGO UTILIZANDO TECNOLOGIA GPRS

Data de Aprovação: 05/05/2009

BANCA EXAMINADORA:



---

Prof. Luis Reyes Rosales Montero, D. Sc  
Universidade Federal de Campina Grande

**Orientador**

---

Prof.

Universidade Federal de Campina Grande

**Convidado**

Campina Grande, Abril de 2010

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Ser Supremo, por me ter dado a vida e a inteligência para realizar obras magníficas pra o bem comum.

Agradeço, aos meus pais Joaquim Bezerra e Maria de Lourdes Cavalcanti Bezerra que sempre acreditaram em mim e me deram forças nessa jornada.

Agradeço ao meu orientador prof. Luis Reyes Rosales Montero pelo seus conselhos, atenção e paciência e ao prof. convidado da banca examinadora.

Agradeço a todos as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento e a conclusão deste trabalho.

## **EPÍGRAFE**

“A ferrovia que leva ao sucesso é construída em cima de um solo de humildade com pesados trilhos chamados erros que somente são fixados numa linha reta com maciços pregos de perseverança”.

Eduardo Siqueira Filho



## RESUMO

Os *semáforos* podem ser programados de diferentes maneiras, dependendo das condições do tráfego e da via. Na *Operação em Tempo Fixo*, os semáforos são programados a partir de dados históricos das condições do tráfego no local. A *Operação Atuada ou Por Demanda de Tráfego*, os semáforos respondem às condições reais do tráfego no local. Estrategicamente, os semáforos podem operar *isoladamente* ou *em rede* com os semáforos adjacentes. O manual oficial sobre a  *sinalização semáforica*, com enfoque no cálculo e programação dos tempos, foi publicado pelo DENATRAN (*Departamento Nacional de Trânsito*) em 1979, e sua segunda edição publicada em 1984. Um novo Manual está em elaboração, por um Grupo Técnico formado pelo DENATRAN. Para fins deste trabalho, a *Operação Atuada* é a que pode responder às condições reais do trânsito, pois os semáforos programados em *Tempo Fixo* não são capazes de prever uma situação nova que venha a ocorrer e tomar uma decisão coerente com a situação. Em locais onde existam bruscas variações de tráfego – horas de pico, entre picos e flutuações -, a operação em *Tempo Fixo* não é interessante. De acordo com Kell e Fullerton (1991), o *Princípio da Extensão* é amplamente aplicado às estratégias de controle atuado cujo objetivo principal é otimizar a travessia de uma interseção quanto ao tempo e ao gasto de combustível. A proposta do presente trabalho é: desenvolver um *algoritmo* e um *programa em C* para implementação do *Princípio da Extensão* em uma arquitetura microcontrolada, onde a rede GSM através da Tecnologia GPRS dão suporte à comunicação entre os *Controladores Semafóricos* e um sistema *Supervisório de Controle Remoto*. Um Módulo TC 65 da SIEMENS é proposto para conectar cada controlador a rede GSM. Neste documento também são apresentadas todas as dificuldades encontradas durante o seu desenvolvimento, bem como propostas para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Controle Semafórico, Controlador Atuado, Sistema de Controle Remoto, TC 65

## ABSTRACT

The lights can be programmed in different ways, depending on traffic conditions and route. In Operation in Fixed Time, the lights are programmed from historical data on traffic conditions on site. Operation or Acted On Demand Traffic, traffic lights respond to actual traffic on the site. Strategically, the lights can operate alone or networked with the traffic lights adjacent. The official manual on signaling traffic lights, with a focus on computing and programming of the times, was published by DENATRAN (National Traffic Department) in 1979 and its second edition published in 1984. A new manual is being drafted by a technical group formed by DENATRAN. For purposes of this study, Operation Acted is that which can respond to actual traffic because the traffic lights programmed in Fixed Time are not able to provide a new situation that might occur and make a decision consistent with the situation. In places where there are sudden changes in traffic - the peak hours, between peaks and fluctuations - the operation in Fixed Time is not attractive. According to Kell and Fullerton (1991), The Principle of Extension is widely applied to the actuated control strategies whose main objective is to optimize the crossing of an intersection as to time and fuel usage. The purpose of this paper is to develop an algorithm and a C program for implementation of the Principle of Extension in an architecture microcontroller, where the GSM network through GPRS technology to support communication between the traffic control system and a Supervisory Remote Control. A CT module 65 of SIEMENS is proposed to connect each controller to the GSM network. This document also presents all the difficulties encountered during its development, and proposals for future work.

Keywords: traffic control, Actuated Controller, Remote Control System, TC 65

## **SUMÁRIO**

### **LISTA DE FIGURAS**

### **LISTA DE TABELAS**

### **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

- 1.1 Objetivo
- 1.2 Motivação

### **CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

- 2.1 Conceitos Básicos
- 2.2 Elementos do Sistema de Tráfego

### **CAPÍTULO 3 - SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA**

- 3.1 Conceitos Básicos
- 3.2 Classificação
- 3.3 Elementos Constituintes
- 3.4 Movimentos Veiculares e Aproximação
- 3.5 Tempos Semafóricos
- 3.6 Capacidade de Aproximação e Fluxo de Saturação

### **CAPÍTULO 4 - CONTROLE SEMAFÓRICO**

- 4.1 Controlador Semafórico
- 4.2 Controle em Tempo Fixo
- 4.3 Controle por Demanda de Tráfego
- 4.4 Operação Isolada e Operação em Rede

### **CAPÍTULO 5 - MODELOS DE SISTEMA DE CONTROLE SEMAFÓRICO**

- 5.1 Introdução
- 5.2 Estratégias de Controle
- 5.3 Princípio da Extensão e Seleção Dinâmica de Planos
- 5.4 Modelos de Sistema de Tráfego por Demanda de Tráfego

### **CAPÍTULO 6 – PROJETO DE UM SISTEMA DE CONTROLE SEMAFÓRICO POR DEMANDA DE TRÁFEGO**

- 6.1 Introdução
- 6.2 Concepção do Sistema
- 6.3 Requisitos e Especificações
- 6.4 Desenvolvimento do Algoritmo e Programa em C
  - 6.4.1 Análise Em Tempo Fixo
  - 6.4.2 Análise Por Controle Atuado

## **CAPÍTULO 7 - A REDE DE COMUNICAÇÃO GSM**

- 7.1 Introdução
- 7.2 A Topologia das Células GSM
- 7.3 A Tecnologia GPRS
  - 7.3.1 Características da Rede GPRS
- 7.4 A Tecnologia EDGE

## **CAPÍTULO 8 – COMUNICAÇÃO REMOTA UTILIZANDO O MÓDULO TC 65 DA SIEMENS**

- 8.1 Objetivo
- 8.2 Plataforma GSM/GPRS TC65 Java
  - 8.2.1 Recursos do hardware do TC65
  - 8.2.2 Sistema Java do TC65
  - 8.2.3 Funcionamento do Modem TC65
  - 8.2.4 Funcionamento Via Comandos AT

## **CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES FUTURAS**

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Diagrama de um Sistema
- Figura 2 – Proporção dos serviços oferecidos pelas categorias das vias
- Figura 3 – Exemplos de sinalização semafórica para os pedestres
- Figura 4 – Elementos constituintes de um semáforo
- Figura 5 – Movimentos permitidos para a aproximação 1
- Figura 6 – Exemplos de movimentos permitidos para a aproximação 1 e de movimentos conflitantes para a aproximação 2 e 3.
- Figura 7 – Diagrama de Tempos em forma de barras
- Figura 8 – Diagrama de Tempos em forma de círculos
- Figura 9 – Diagrama de estágios para controle utilizando dois estágios
- Figura 10 – Taxa de descarga da fila em períodos verdes totalmente saturados.
- Figura 11 – Exemplo de controlador semafórico
- Figura 12 – Gráfico comparativo entre a operação semafórica em tempo fixo e o tempo real
- Figura 13 – Esquema de detecção por laço indutivo
- Figura 14 – Exemplo de secção de detecção por laço indutivo
- Figura 15 – Detecção veicular através de laço detector virtual, utilizando imagem de câmera de Vídeo
- Figura 16 – Localização de três semáforos isolados – a operação de cada um independe dos demais.
- Figura 17 – Esquema de intervalos de fase atuados
- Figura 18 – Localização dos detectores IN, X e OUT da estratégia MOVA para uma via regulamentada para 70 Km/h
- Figura 19 – Medidas horizontais e dimensões dos detectores em relação aos extremos de cada faixa para uma via regulamentada para 70 Km/h
- Figura 20 – Representação dos detectores em um via com interseção da estratégia de controle LHOVRA
- Figura 21 – Representação de um sistema de controle com função de transferência G em malha aberta
- Figura 22 – Representação de um sistema de controle com função de transferência G em malha fechada
- Figura 23 – Diagrama de blocos esquematizando a estrutura de um controlador e a central de controle.
- Figura 24 – Diagrama da estrutura da CPU do controlador de semáforo
- Figura 25 – Estrutura típica de comunicação entre os controladores e a central de controle
- Figura 26 – Estrutura típica de comunicação entre os controladores e a central de controle através da rede GSM/GPRS
- Figura 27 – Interseção de mão única semaforizada
- Figura 28 – Diagrama de Estágios da interseção anterior
- Figura 29 – Diagrama de Tempos
- Figura 30 – Aplicação do Princípio da Extensão em um intervalo de fase atuado
- Figura 31 – Casos de alteração do *Diagrama de Tempos* quanto ao *Tempo de Ciclo* e *Prioridades de Estágio*

- Figura 32 – Diagrama de Tempos do Caso 3
- Figura 33 – Via principal ou corredor intercedida por duas vias laterais ou secundárias
- Figura 34 – Elementos de uma Rede Celular
- Figura 35 – Interconexão com outras CCC's
- Figura 36 – Topologia do sistema de comunicação via GPRS
- Figura 37 – Topologia do Sistema de Telemetria e Automação Remota
- Figura 38 – Hardware do Módulo TC65
- Figura 39 – Esquema do Hardware do TC65
- Figura 40 – Relação dos recursos do TC65

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Exemplos de Trânsito e Tráfego
- Tabela 2 – Limites de velocidade segundo o Código de Trânsito Brasileiro
- Tabela 3 – Tempos de Amarelo regulamentados segundo as velocidades das vias.
- Tabela 4 – Tabela Horária de um controlador de tempo fixo
- Tabela 5 – Relação entre Movimentos, Estágios e Grupos Focais
- Tabela 6 – Celulares por tecnologia em abril de 2008 (ANATEL, 2008)
- Tabela 7 – Principais parâmetros das Tecnologias EDGE e GPRS
- Tabela 8 – Principais Diferenças entre GSM, GPRS e EDGE
- Tabela 9 – Comandos AT para discagem
- Tabela 10 – Comandos para ativar o cliente TCP

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

Através da sinalização no trânsito o cidadão orienta-se no deslocamento de um lugar para outro de forma segura, eficiente e confiável nas vias, tanto para os condutores quanto para os pedestres. Se existe o respeito à sinalização sempre o direito e o dever de quem transitam será assegurado. Neste aspecto a correta e eficiente sinalização é, obviamente, necessária para otimizar a ida e vinda de condutores e pedestres.

O problema da saturação das vias urbanas das grandes cidades mundiais é cada vez maior. Praticamente todas as pessoas que vivem em cidades pelo menos uma vez ao dia enfrentam o trânsito. O tráfego veicular caótico em algumas grandes capitais está chegando a um patamar que surpreende as previsões mais pessimistas. As implicações disso são inúmeras, tais como emissão de gases poluentes nocivos aos seres vivos e à camada de ozônio, perda desnecessária de tempo em trajetos curtos e *stress* dos motoristas são alguns exemplos.

Existem no sistema de tráfego freqüentes situações que exigem a presença de algum dispositivo eletrônico de controle para o gerenciamento dos conflitos entre veículos e/ou veículos e pedestres. A sinalização de tipo eletrônico pode exercer não apenas uma simples função meramente programada, mas sim ser capaz de pensar, decidir e determinar a melhor solução para várias situações no trânsito de maneira automática.

## **1.1 Objetivo**

O trabalho propõe soluções para o desenvolvimento de um sistema de automação e controle para semáforos. O sistema de controle semafórico deve ser capaz de se auto organizar de acordo com as condições do tráfego e que possa ser controlado, monitorado e reprogramado remotamente, através de uma central de controle utilizando tecnologias atuais de comunicação entre controladores e a central de comando.

Para alcançar a base teórica e prática para o presente projeto, foi realizada uma visita às dependências da SEMAFÓRICA – departamento da STTP (Superintendência de Trânsito e Transportes Públicos) de Campina Grande PB responsável pela sinalização semafórica deste município.

Esta visita permitiu averiguar os equipamentos que hoje são utilizados na sinalização semafórica de Campina Grande visando o seu entendimento e seu funcionamento. Estas etapas foram fundamentais para formar uma visão ampla do sistema.

Durante esta visita também foi apresentada toda a estrutura semafórica existente no município de Campina Grande.

## 1.2 Motivação

Cada dia mais o tráfego nas grandes cidades cresce, e a sinalização de trânsito continua tecnologicamente atrasada, principalmente os semáforos. A motivação surgiu a partir da análise do comportamento dos semáforos do trânsito do dia a dia, cujos desempenhos não são satisfatórios ao considerarmos fatores como tempo demasiado de espera no cruzamento, perda de combustível com o veículo parado no cruzamento, falta de “onda verde” para o motorista e pedestre, além do stresse para ambos, entre outras.

Nas grandes cidades, cerca de 50% dos tempos de viagens, 30% do consumo de gasolina são gastos com os carros parados nos cruzamentos, esperando que o sinal passe do estágio vermelho para o verde (Manual de Semáforos do DENATRAN/CONTRAN/ MINISTÉRIO DA JUSTIÇA (DENATRAN-CET,1978). Em cidades menores, essas porcentagens são mais reduzidas, porém sempre significativas. Num semáforo de porte médio, por onde passam em média 2.000 veículos por hora, perde-se, anualmente, em atrasos, aproximadamente, 40.000 horas.

São poucas empresas que atuam na área de controle semafórico no território brasileiro, sendo que os equipamentos oferecidos por estas são, em sua maioria, bastante simples (HOFFMANN e SOUZA, 2005). Poucas cidades brasileiras possuem sistema semafórico interligado, isso compromete uma eficiência ótima no fluxo de veículos.

## CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Conceitos Básicos

#### Tráfego e Trânsito

No dicionário Aurélio Buarque de Holanda encontra-se as seguintes definições:

**TRÁFEGO:** afã; trabalho; convivência; transporte de mercadorias em linhas férreas; repartição de pessoal que ocupa desses transportes.

**TRÂNSITO:** ato ou efeito de caminhar; marcha; passagem; trajeto; o movimento dos pedestres e dos veículos nas cidades; considerado em seu conjunto.

Para os objetivos deste trabalho, as definições trazidas pelo Aurélio não são muito esclarecedoras. Uma distinção mais usual associa a **TRÁFEGO** o movimento de veículos e a **TRÂNSITO** o movimento de veículos e pessoas (pedestres). De certa forma, os conceitos assim formulados encontram-se raízes etimológicas: **TRÂNSITO** significa originalmente passagem, enquanto que **TRÁFEGO** tem a mesma origem da palavra **TRÁFICO**, ou seja, comércio, troca de mercadorias, transporte/circulação de mercadorias.

A tendência que se observa ultimamente é a de considerar **TRÂNSITO** numa definição abrangente, como o deslocamento em geral de pessoas e/ou veículos. **TRÁFEGO**, por sua vez, embute a noção de via, refere-se ao deslocamento de pessoas, mercadorias ou veículos através de meios apropriados, com origens e destinos definidos, sujeito a algum tipo de ordenamento.

Seguindo esta tendência, o DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) diferencia **ACIDENTES DE TRÂNSITO** de **ACIDENTES DE TRÁFEGO**. Segundo este órgão, **ACIDENTES DE TRÂNSITO** são as ocorrências relacionadas à segurança dos deslocamentos, e **ACIDENTE DE TRÁFEGO** são perturbações nos fluxos que provocam conseqüências operacionais.

A *Tabela 1* ilustra bem o que está relacionado a **TRÂNSITO** e a **TRÁFEGO**, e nota-se que o se enquadra em **TRÁFEGO** também é **TRÂNSITO** devido ao conceito deste mais geral.

TRÂNSITO	TRÁFEGO
pessoas passeando num parque	travessia de pedestres numa faixa
passeio de jet-ski no Lago	navegação de cabotagem
vôo de ultraleve	aviação comercial

Tabela 1 – Exemplos de Trânsito e Tráfego

No que se refere ao tráfego em vias, a Engenharia de Tráfego tem como objetivo assegurar o movimento seguro, eficiente e conveniente de pessoas e bens. A Engenharia de Tráfego é a área do conhecimento que tem como objetos o planejamento, projeto geométrico e operação de tráfego em vias, suas redes, terminais, lotes lindeiros e relações com outros modos de transporte.

Diferentemente da maioria das outras áreas da Engenharia, a Engenharia de Tráfego trata dos problemas que não dependem apenas dos fatores físicos, mas freqüentemente incluem o comportamento humano do motorista e do pedestre e suas inter-relações com a complexidade do ambiente.

Neste sentido, a Engenharia de Tráfego caracteriza-se como uma área de conhecimento interdisciplinar. Uma equipe completa de projetos de tráfego deve ser composta, segundo alguns autores, por: engenheiros civis, engenheiros de estruturas, engenheiro eletricitista, engenheiros de tráfego, arquitetos, paisagistas, urbanistas, planejadores urbanos, sociólogos, geógrafos urbanos, economistas, matemáticos (matemática aplicada), advogados e analistas de mercado.

## 2.2 Elementos do Sistema de Tráfego

A literatura relativa a tráfego define três elementos componentes dos sistemas: o usuário, o veículo e a via.

### O usuário

São usuários dos sistemas de tráfego os ocupantes dos veículos, guiando-os ou não, e os pedestres, principalmente. Uma abordagem mais ampla incluiria também as demais pessoas que de alguma forma são afetadas pela operação do tráfego. Assim, por exemplo, seriam usuários de um sistema de tráfego os moradores de uma área residencial cortada por uma via que produz ruído e poluição do ar. Para efeito dos estudos pertinentes a este trabalho, atenção especial será dedicada aos motoristas, que são os usuários mais ativos (e mais perigosos) do sistema. Estes são, por exemplo, quem realmente, decidem avançar ou não um semáforo no vermelho.

O usuário do sistema de tráfego pode ser analisado como um sistema que, recebendo uma entrada, processa-a e produz uma saída, como no diagrama da *Figura 1* abaixo:

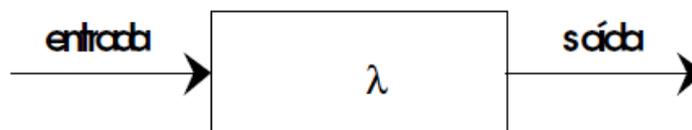


Figura 1 – Diagrama de um Sistema

A saída do sistema representado pelo diagrama acima depende dos valores da entrada e da grandeza  $\lambda$ , que por sua vez depende do estado do sistema. No caso específico, as entradas são os estímulos sofridos pelo usuário, as saídas são as suas reações correspondentes e  $\lambda$  é o tempo total decorrido entre a ocorrência do estímulo e a materialização da reação do usuário.

### O veículo

Os sistemas de tráfego incluem todos os tipos de veículo: automóveis, ônibus, caminhões, motocicletas, triciclos, bicicletas, carroças, bondes etc. Entretanto, é muito complexa a tarefa de estudar o veículo de uma forma tão abrangente. Para a imensa maioria dos estudos de tráfego é considerada suficiente a adoção de uma unidade veicular padrão, para qual são convertidos os outros tipos de veículos através de fatores de conversão apropriados. Esta unidade é simbolizada por ucp. Desta forma, obtêm-se uma representação padrão para qualquer veículo que transite na via. Os aspectos relativos ao veículo são: visibilidade, freios e aceleração.

### A via

A via é entendida como o espaço destinado à circulação. O conjunto estruturado de vias que servem a uma determinada região é conhecido como sistemas viário e tem como funções básicas assegurar mobilidade e acessibilidade ao usuário. Os conceitos de mobilidade e acessibilidade são objeto de inúmeras discussões, que fogem ao escopo deste trabalho, mas é importante estabelecer noções que serão aqui utilizadas.

Para os objetivos deste trabalho, mobilidade está associada à idéia de facilidade de deslocamentos, seja em número de veículos em movimento, seja em termos das velocidades por ele praticadas. Acessibilidade, por sua vez, traduz a proximidade entre os componentes do sistema viário e as origens e destinos dos deslocamentos.

Os sistemas viários em geral podem ser classificados segundo diversos critérios, como por exemplo:

- quanto ao ambiente: urbano e rural;
- quanto a esfera administrativa: federal, estadual e municipal;
- quanto à classificação físico-operacional: expressa, fluxo ininterrupto e fluxo interrompido.

Entretanto, a classificação que mais interessa ao planejamento de tráfego é a chamada classificação funcional, que determina a hierarquia do sistema viário. As categorias costumam ter ligeiras variações de acordo com o sistema de classificação. Em termos gerais, as categorias funcionais são as seguintes:

- sistema arterial
- sistema coletor

- sistema local

A *Figura 2* mostra a proporção dos serviços ofertados pelas três categorias funcionais de vias, em termos de mobilidade e acessibilidade. Como pode ser observado, quanto mais alto estiver na hierarquia funcional, maior a função do sistema viário de ofertar mobilidade; quanto mais baixo, maior a função de ofertar acessibilidade.

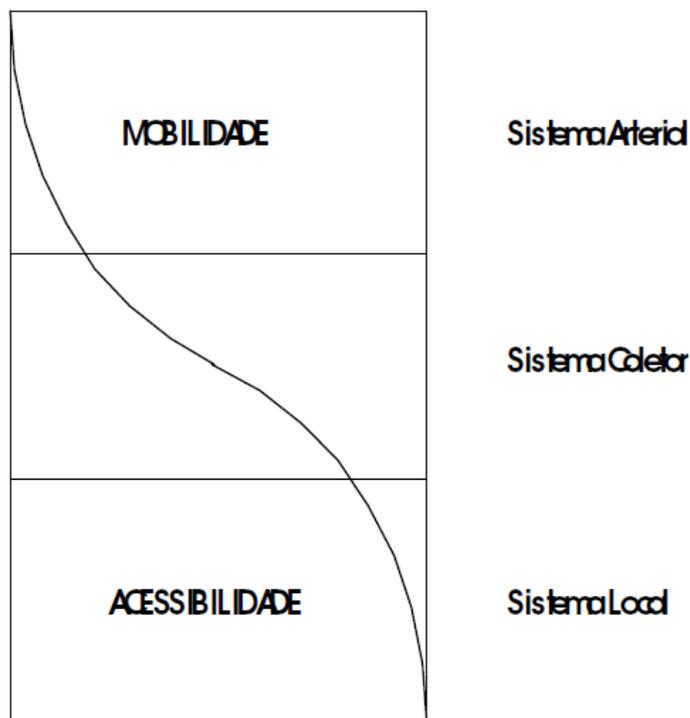


Figura 2 – Proporção dos serviços oferecidos pelas categorias das vias

Nos meios urbanos, os sistemas arteriais são responsáveis pelas ligações entre os principais centros de atividade da cidade; em geral as vias arteriais são, em boa parte, prolongamentos das ligações interurbanas oferecidas pelas vias rurais. As vias locais são responsáveis pelas ligações “capilares”, ou seja, aquelas que dão acesso aos lotes. Os sistemas coletores são responsáveis pela transição entre os outros dois, cabendo-lhes cumprir, eventual e localizadamente, funções de ligação ou de acesso.

Nos meios rurais a situação é análoga. Os sistemas arteriais são compostos pelas rodovias que fazem as ligações entre as cidades maiores, os sistemas locais garantem o acesso aos vilarejos, povoados e propriedades rurais, e os sistemas coletores fazem a transição.

O CTB, em seus artigos 60 e 61, adota a classificação e respectivos limites de velocidade constante na *Tabela 2*.

Área urbana		Área rural		
Categoria	Velocidade máxima (km/h)	Categoria	Veículo	Velocidade máxima (km/h)
Via de trânsito rápido	80	Rodovia	Automóveis e camionetas	110
Via arterial	60		Ônibus e microônibus	90
Via coletora	40		Demais veículos	80
Via local	30	Estrada	Todos	60

Tabela 2 – Limites de velocidade segundo o Código de Trânsito Brasileiro

As vias de trânsito rápido não admitem sinalização semafórica. Na prática, somente as vias arteriais e coletoras recebem este tipo de sinalização. Assim, de acordo com tabela acima, para os cálculos dos tempos semafóricos, a velocidade de 60 Km/h é o limite de velocidade utilizado como parâmetro nas fórmulas de tempos semafóricos, que serão abordadas em um capítulo posterior deste trabalho.

## CAPÍTULO 3 – SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA

### 3.1 Conceitos Básicos

**Sinalização semafórica** é um subsistema da sinalização viária que compõe-se de indicações luminosas acionadas alternada ou intermitentemente através de sistema elétrico/eletrônico, cuja função é controlar os deslocamentos (CTB e seu Anexo 2).

Os **semáforos** são dispositivos de controle de tráfego, os quais, através de indicações luminosas alternam o direito de passagem dos motoristas e pedestres nas interseções das vias. São compostos de focos luminosos agrupados e afixados junto às vias. Compõe-se de focos luminosos afixados em grupos ao lado da via ou suspensos sobre ela, através de elementos de sustentação (postes), são conhecidos como grupos focais (DENATRAN, 1984).

Os semáforos quando convenientes justificados projetados, corretamente projetados e efetivamente operados, podem realizar as seguintes tarefas:

- ordenar o movimento de tráfego através do controle do direito de passagem;
- providenciar o fluxo progressivo (onda verde) para o fluxo de tráfego de uma determinada rota;
- interromper o fluxo da via principal, para permitir a travessia de pedestres e/ou acesso ou cruzamento por parte dos veículos das vias secundárias;
- maximizar a capacidade da interseção;
- reduzir a ocorrência de determinados tipos de acidentes.

No entanto, quando implantados de forma inadequado ou não justificados, os semáforos podem resultar em:

- aumento da frequência de determinados tipos de acidentes;
- aumento do tempo perdido para atravessar a interseção e de consumo de combustível;
- stresse do motorista;
- desrespeito as indicações do semáforo;
- modificação das rotas, buscado evitar os semáforos.

### 3.2 Classificação

A sinalização semafórica classifica-se em dois tipos:

- *sinalização semafórica de advertência, e*
- *sinalização semafórica de regulamentação.*

A sinalização semafórica de advertência, conforme o Anexo 2 do CTB, tem a função de advertir da existência de obstáculo ou situação perigosa, devendo o condutor reduzir a velocidade e adotar as medidas de precaução compatíveis com a segurança para seguir adiante. É composta de uma ou duas luzes amarelas, intermitentes.



Figura 3 – Exemplo de Sinalização Semafórica de Advertência

A sinalização semafórica de regulamentação controla o trânsito, alternando o direito de passagem utilizando-se da seqüência de cores:

Para o *veículo*: vermelho; verde; amarelo; vermelho.

Para o *pedestre*: vermelho; verde; vermelho piscante; vermelho

As funções das cores na sinalização semafórica para os veículos são as seguintes:

**Vermelha**: indica obrigatoriedade de parar;

**Amarela**: indica “atenção”, devendo o condutor parar o veículo, salvo se isto resultar em situação de perigo;

**Verde**: indica permissão de prosseguir na marcha, podendo o condutor efetuar as operações indicadas pelo sinal luminoso, respeitando as normas gerais de circulação e conduta.

As funções das cores na sinalização semafórica para os pedestres são as seguintes:

**Vermelha**: indica que os pedestres não podem atravessar.



Figura 3 - Exemplos de sinalização semafórica para os pedestres

**Vermelha intermitente:** assinala que a fase durante a qual os pedestres podem atravessar está a ponto de terminar. Isto indica que os pedestres não podem começar a cruzar a via e os que tenham iniciado a travessia na fase verde se desloquem o mais breve possível para o local seguro mais próximo.

**Verde:** assinala que os pedestres podem atravessar

### 3.3 Elementos Constituintes

**Foco semafórico** é a unidade que fornece indicação luminosa.

**Grupo focal** é conjunto formado por dois ou mais focos.

**Controlador semafórico** é o equipamento que realiza as comutações dos focos.

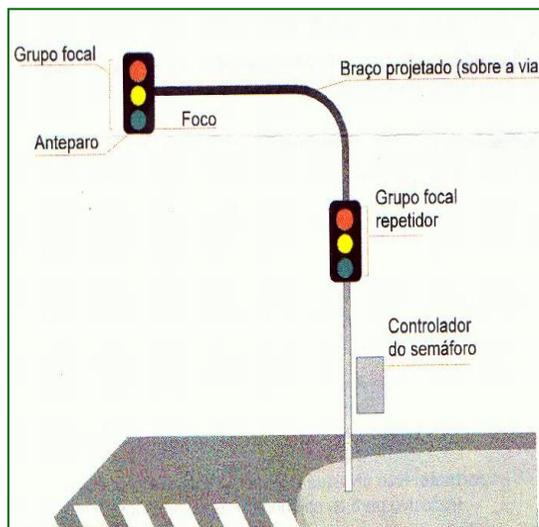


Figura 4 – Elementos constituintes de um semáforo

### 3.4 Movimentos Veiculares e Aproximação

*Movimentos conflitantes* são dois ou mais movimentos que se cruzam numa intersecção. *Movimento veicular conflitante* é o fluxo de veículos que não pode transitar simultaneamente pela intersecção de forma segura.

*Movimento veicular não conflitante* é o fluxo de veículos que tem determinada origem e determinado destino e são compatíveis, ou seja, podem ocorrer simultaneamente.

*Movimentos convergentes* são aqueles que possuem origens diferentes e mesmo destino.

*Movimentos divergentes* são aqueles que possuem destinos diferentes e mesma origem.

*Aproximações do cruzamento* são os trechos de via que convergem para a intersecção. *Aproximação* é a ação de entrada em uma intersecção, delimitada pela linha de retenção. Pode ter mais de um movimento.

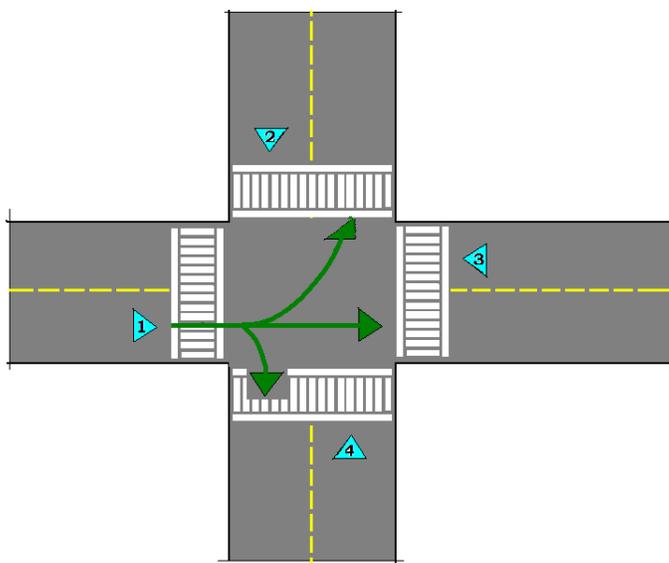


Figura 5 – Movimentos permitidos para a aproximação 1

No cruzamento ilustrado na da *Figura 5* acima, a aproximação 1 tem três movimentos permitidos: em frente, à esquerda ou à direita.

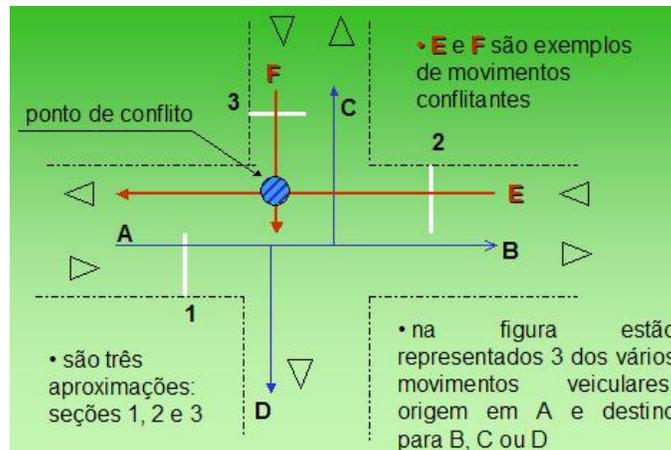


Figura 6 – Exemplos de movimentos permitidos para a aproximação 1 e movimentos conflitantes para a aproximação 2 e 3.

Neste outro cruzamento ilustrado na *Figura 6* acima, a aproximação 1 tem movimentos idênticos ao cruzamento da figura anterior, porém os movimentos permitidos A-C e A-D foram representados utilizando-se de ângulos de 90 do movimento principal A-B.

Nesta figura, observa-se ainda, o ponto de conflito gerado por dois movimentos conflitantes a partir de E e F, pertencentes as aproximações 2 e 3, respectivamente.

### 3.5 Tempos Semafóricos

**Fase** é a seqüência de indicação de cores de um semáforo (verde, amarelo, vermelho e, novamente, verde). Todos os grupos focais que seguem a mesma seqüência pertencem à mesma fase e estão ligados em paralelo em uma única saída do controlador.

**Grupo semafórico** é o conjunto mínimo de grupos focais necessários para a regulamentação do direito de passagem de um (ou mais) movimento(s) veicular(es) ou de pedestres. São do mesmo grupo semafórico os grupos focais que sempre tem o início e o final do verde ocorrendo simultaneamente. Os grupos focais que são do mesmo grupo semafórico devem receber a mesma denominação e pertencem a mesma fase. Em geral, os grupos semafóricos são representados e denominados por “Gn” (G1, G2, G3 etc)

**Período de entreverdes** é o tempo decorrido entre o fim do verde de uma fase, que está perdendo o direito de passagem, e o início do verde de outra, que o está ganhando. Esse período pode ser igual ao tempo do amarelo, ou o tempo do amarelo mais o vermelho de segurança ou vermelho geral (vermelho de limpeza do cruzamento).

**Entreverdes** é um tempo de segurança compreendido entre o término do tempo do verde de um grupo semaforico e o início do estágio do verde de grupo semaforico subsequente. É a soma do tempo de amarelo com o tempo de vermelho de segurança.

**Tempo de amarelo**  $T_a$ , (sempre ocorre),  $T_a > 0$ . É relativo à velocidade dos veículos. Para o dimensionamento do amarelo, deve-se usar a velocidade regulamentada para a via pela sinalização vertical ou a estabelecida pelo CTB, conforme a hierarquia da via:

Via de trânsito rápido (não tem semáforo) = 80 km/h

Via arterial = 60 km/h

Via coletora = 40 km/h

Via local = 30 km/h

A tabela abaixo informa os tempos de amarelo ( $T_a$ ) segundo as velocidades (considerando via sem rampa).

Velocidade máxima regulamentada (Km/h)	Tempo de amarelo calculado (s)	Tempo de amarelo arredondado (s)
< 40	2,98	3
50	3,48	4
60	3,98	4
70	4,47	5

Tabela 3 – Tempos de Amarelo regulamentados segundo as velocidades das vias.

**Tempo de vermelho de segurança**  $T_{vs}$ . É o tempo necessário para o veículo que cruzou a retenção saia da zona de conflito, tendo iniciado a travessia do cruzamento no final do amarelo.  $T_{vs}$  pode ser igual a 0, mas em geral, é usado em cruzamentos de grandes dimensões.

**Estágio** é o intervalo de tempo de cada indicação, ou seja, é a porção de tempo do verde, dos entreverdes (amarelo e vermelho de segurança) e do vermelho.

**Ciclo** é o tempo total, em segundos, para a completa seqüência de sinalização do semáforo. É o intervalo de tempo durante o qual todos os *estágios* do semáforo são acomodados. Em uma intercessão, seu semáforo obrigatoriamente deve possuir o mesmo ciclo para todos os seus *grupos focais*, mas seqüência de *estágios* diferentes.

**Ponto de início do ciclo** é o ponto do ciclo de um semáforo a partir o qual o ciclo é iniciado. Qualquer ponto do ciclo de um semáforo pode ser considerado ponto de

início do ciclo. Normalmente, o início do ciclo é determinado no início do estágio de verde de uma das fases.

**Offset** (defasagem) de uma fase de um semáforo relativo à outra fase de outro semáforo é definido como o intervalo de tempo entre seus inícios do tempo de verde para a mesma corrente de tráfego. Ou seja, é o retardo entre o início do sinal de verde entre interseções.

**Diagrama de tempos** é a representação gráfica, por círculos ou barras, dos tempos de verde, amarelo e vermelho de cada uma das fases de um semáforo de uma interseção. Pode-se visualizar neste diagrama onde se inicia e onde termina cada estágio para cada fase do semáforo.

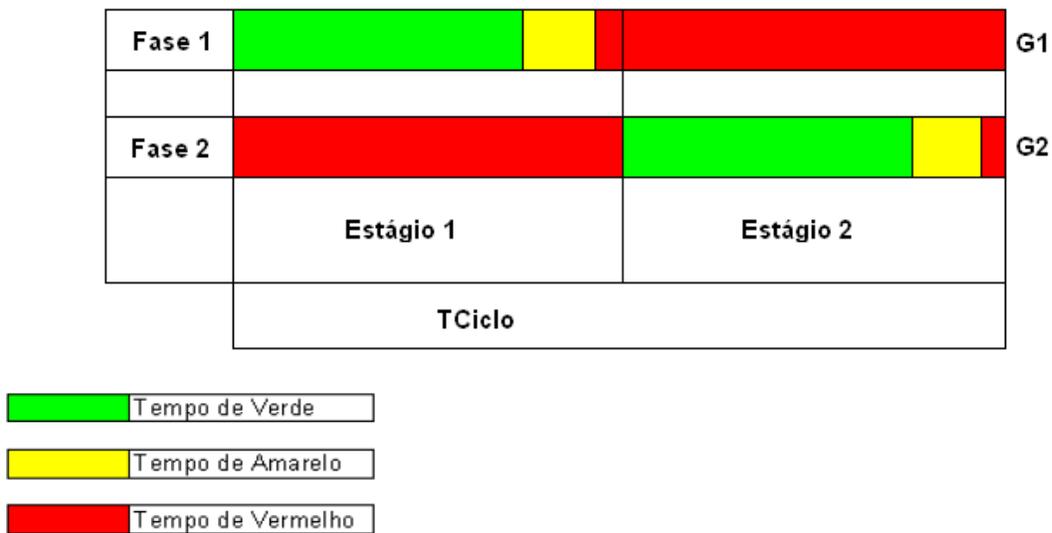


Figura 7 – Diagrama de Tempos em forma de barras

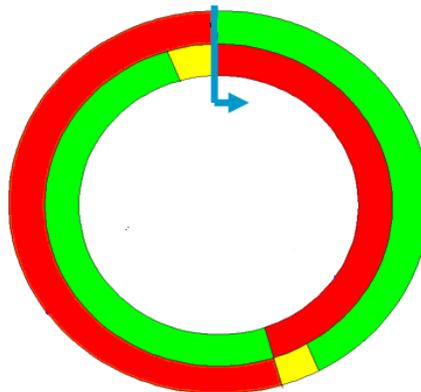


Figura 8 – Diagrama de Tempos em forma de círculos

**Diagrama de estágios** é a representação gráfica dos estágios em forma de movimentos veiculares cuja informação de tempo não é apresentada. Normalmente, neste diagrama, omite-se os estágios de entreverdes, pois estes não trazem nenhuma informação relevante aos movimentos veiculares.

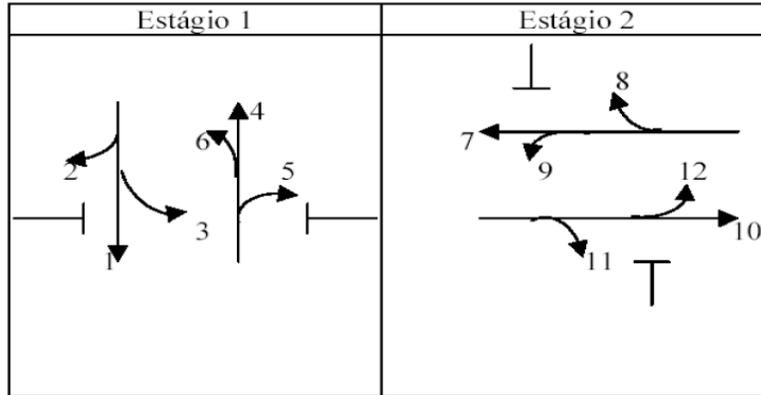


Figura 9 – Diagrama de estágios para controle utilizando dois estágios

**Plano semafórico** é o dimensionamento dos tempos de estágios, entreverdes, ciclo e offset. No diagrama de tempos, pode-se representar um plano semafórico.

### 3.6 Capacidade de Aproximação e Fluxo de Saturação

**Capacidade de uma aproximação sinalizada (C)** é definida como sendo o número máximo de veículos capazes de atravessar o cruzamento durante um período de tempo. Nesse conceito assume-se que a liberação de veículos da faixa de retenção ocorre na maior taxa possível, ou seja, a taxa de escoamento é igual ao fluxo de saturação.

O **Fluxo de Saturação** é definido como sendo o fluxo que seria obtido se houvesse uma fila de veículos na aproximação e a ela fossem dados 100% de tempo de verde do cruzamento (escoamento ininterrupto). Normalmente, o fluxo de saturação é expresso em unidade de veículos/hora de tempo verde (veic./htv).

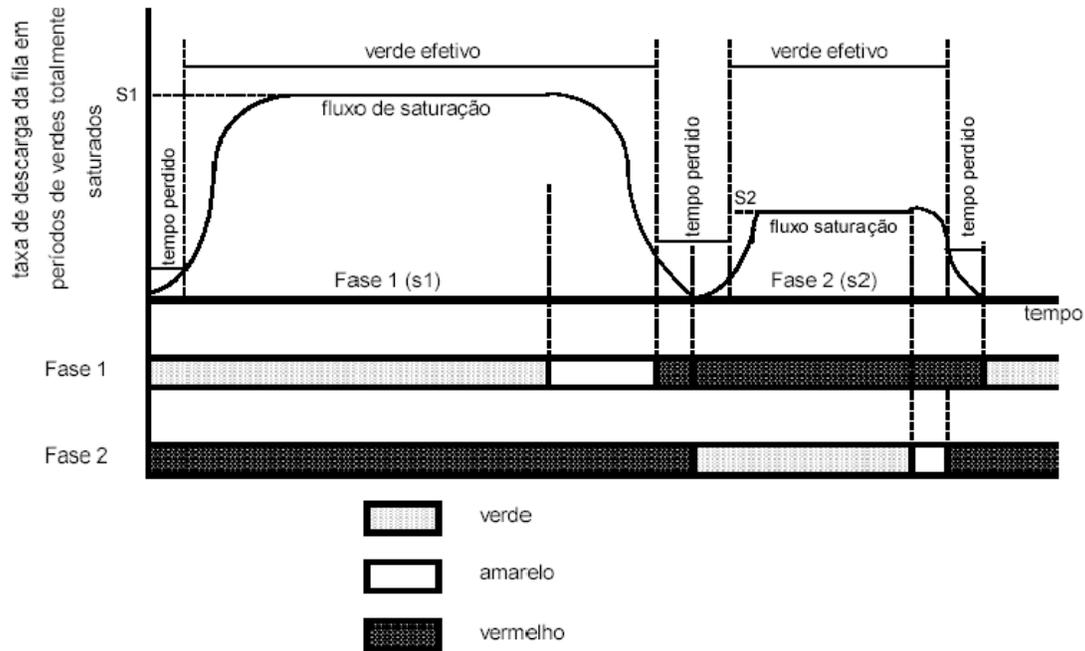


Figura 10 – Taxa de descarga da fila em períodos verdes totalmente saturados<sup>[4]</sup>.

O tempo do verde é formado por dois períodos: o primeiro deles corresponde ao período de verde efetivo, no qual ocorre o escoamento de veículos na taxa de saturação; o segundo refere-se ao tempo perdido (tempo morto) devido às reações dos motoristas no início e fim do tempo de verde e durante o qual não há travessia de veículos, ou seja, o fluxo é zero.

No início do verde da fase 1, os veículos encontram-se num processo de aceleração, para atingir a velocidade de operação. O período correspondente desde o início do verde até o instante em que os veículos atingem a velocidade de operação dá-se o nome de "tempo perdido". Nesse período (instantes iniciais do verde), a taxa de escoamento de veículos é baixa, porém, à medida que o tempo passa, ela vai aumentando, como se pode ver pela *Figura 10*, até atingir um valor máximo, razoavelmente constante, chamado "fluxo de saturação".

O fluxo máximo ainda continua por alguns segundos após o de término do verde e o início do amarelo, para então começa a decair, de acordo com o comportamento dos motoristas que se aproximam (alguns decidem parar, enquanto outros atravessam o cruzamento), até atingir o valor zero.

O mesmo processo ocorre para o tráfego da outra fase. Como há uma "perda" de tempo no início e um "ganho" no final, o tempo de verde oferecido não corresponde ao efetivamente utilizado.

## CAPÍTULO 4 – CONTROLE SEMAFÓRICO

### 4.1 Controlador Semafórico

O controle da comutação das luzes dos focos dos semafóricos é realizado por um equipamento elemento constituinte do semáforo chamado de *controlador semafórico*. O *controlador semafórico* é um equipamento que “comanda o semáforo através do envio de pulsos elétricos para comutação das luzes dos focos (DENATRAN, 1984)”. A determinação dos instantes em que os pulsos devem ser enviados pode ser feita manualmente ou automaticamente. Normalmente, o controlador localiza-se afixado em um dos postes de sustentação de um grupo focal no cruzamento.

Atualmente, utilizam-se controladores automáticos que podem ser programados de diferentes formas, dependendo da tecnologia utilizada no controlador. A ordem para geração dos pulsos pelo controlador depende do plano semafórico que o mesmo executa. Os planos são gravados previamente na memória do controlador a partir de dados históricos do tráfego no local ou são gerados por ele dependendo do tráfego, nos controladores mais inteligentes.

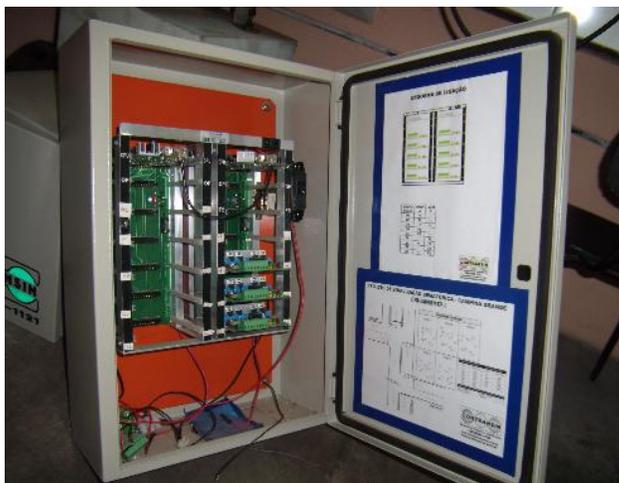


Figura 11 – Exemplo de controlador semafórico

FONTE: Cortesia da Superintendência de Trânsito e Transportes Públicos (STTP) de Campina Grande

### 4.2 Controle em Tempo Fixo

No *controle em tempo fixo*, o controlador seleciona um plano semafórico de uma tabela de planos para operar conforme a programação da tabela. A tabela é construída baseada nos dados amostrados ou históricos das condições do tráfego no local. Para cada plano, o tempo de ciclo é constante, e os instantes das mudanças de estágios são fixos em relação ao ciclo.

Os planos são estudados e implementados visando minimizar as saturações de tráfego nos cruzamentos.

A Tabela 4 abaixo ilustra uma tabela típica de um controlador de tempo fixo.

Horário Entrada/Saída	Nº do plano	Tempo de ciclo (segundos)	Tempos dos estágios (segundos) (inclui entreverdes)			
			A	B	C	D
00h10/05h00	8	50	14	12	12	12
05h00/07h00	9	72	28	12	20	12
07h00/08h00	1	90	43	12	20	15
08h00/13h00	2	120	50	12	34	24
13h00/14h00	3	120	52	12	40	16
14h00/15h00	4	135	55	12	38	30
15h00/17h00	5	120	42	12	33	33
17h00/20h00	6	135	46	12	38	39
20h00/00h10	7	90	43	12	20	15

Tabela 4 – Tabela horária de um controlador de tempo fixo  
FONTE: SEMAFÓRICA – STTP CAMPINA GRANDE

O controlador pode ser programado para executar um único plano durante determinado período ou mudar/pular de plano em instantes específicos, a depender da possibilidade e capacidade de programação do controlador.

Para obter resultados satisfatórios, esse tipo de operação semafórica depende de uma grande quantidade de dados (de demanda e oferta). As tabelas horárias seguem valores médios, onde são embutidas folgas nos tempos, para compensar as aleatoriedades. Mesmo assim, os resultados ficam longe do ideal.

Em uma situação de tráfego diferente da prevista, fora da média, ou numa situação especial, o controlador continuará a executar o plano horário para o qual foi programado. Para evitar este constrangimento, o controlador deveria alterar a sua programação de acordo com as condições do tráfego no local. É o que promete o controle por demanda de tráfego.

A operação semafórica em tempos fixos é a predominante no Brasil.

### 4.3 Controle por Demanda de Tráfego

No *controle por demanda de tráfego*, o controlador também seleciona um plano de uma tabela, porém este plano pode ser alterado a qualquer tempo. Essa mudança pode ser a execução de outro plano ou a mudança de características do plano, tais como, tempo de verde, tempo de vermelho, ciclo, entre outras, mas por instantes de

tempo somente os necessários para que a situação atípica do tráfego volte ao normal.

O controlador também pode executar um plano que não exista na tabela, inclusive alterar de planos em um mesmo ciclo. Isto vai depender da capacidade de programação do controlador.

O *controle por demanda de tráfego* é dito ser controle em tempo real porque ele se utiliza de dados coletados das condições reais atuais do tráfego na via e responde no menor tempo possível.

Os dados da passagem de veículos e pedestres coletados por dispositivos de detecção instalados estrategicamente nas vias são transmitidos para o controlador, que processa-os de acordo com a estratégia de controle para o qual foi programado e responde com a sinalização semafórica adequada para atender as variações exigidas da demanda veicular. O controlador se ajusta dinamicamente às flutuações do tráfego. Para isto, ele necessita apenas de parâmetros que são informados previamente, como tempos de ciclo e de verde máximos e mínimos e extensões de verde.

Os controladores atuados são mais complexos que os de tempo fixo, por serem providos de detectores de veículos e pedestres, algoritmos que analisam a demanda do tráfego e lógica de decisão.

A *Figura 12* abaixo ilustra um gráfico comparativo entre o controle em tempo fixo e o controle por demanda de tráfego.

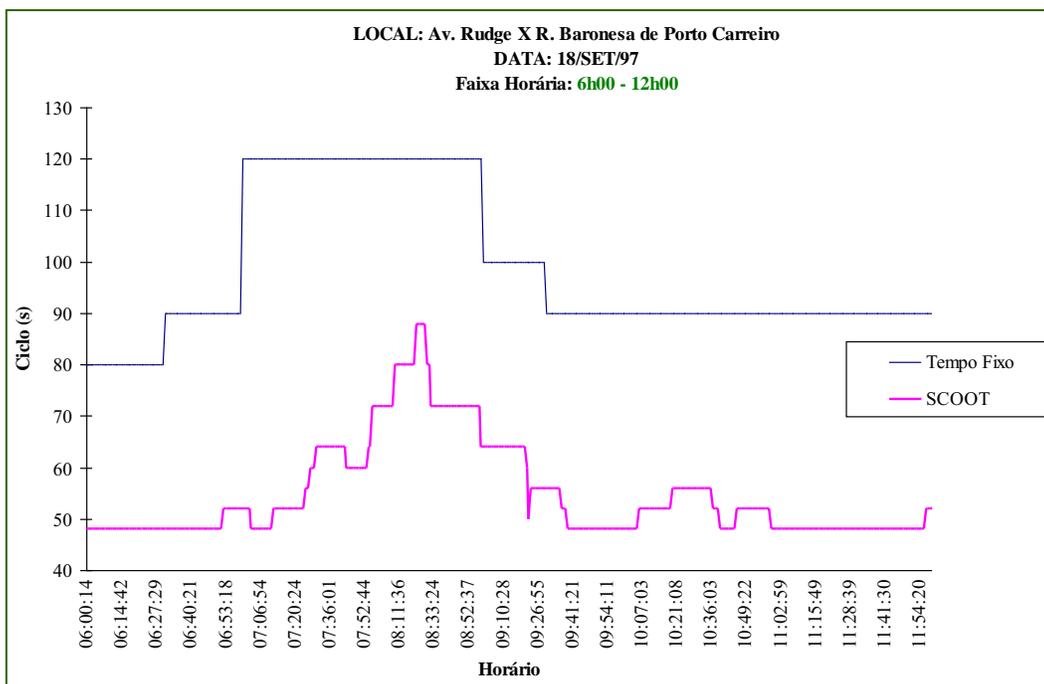


Figura 12 – Gráfico comparativo entre a operação semafórica em tempo fixo e o tempo real

FONTE: CET Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo

Os dispositivos de detecção de veículos instalados nas vias podem ser do tipo:

- Laço indutivo
- Laços virtuais em vídeo
- Microondas

O sistema de detecção por laço indutivo funciona com base na variação que a massa metálica de um veículo provoca no campo magnético gerado por uma corrente elétrica passando por uma espira embutida no pavimento (constituído por um cabo metálico enrolado em uma fenda retangular na pista).

As Figuras 13, 14 e 15 abaixo ilustram bem o funcionamento do laço indutivo.

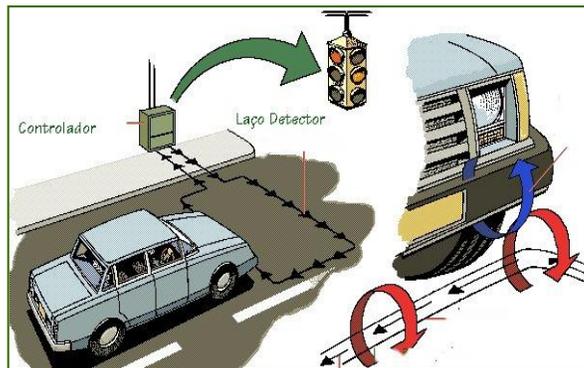


Figura 13 – Esquema de detecção por laço indutivo



Figura 14 – Exemplo de secção de detecção por laço indutivo

FONTE: Cortesia da Superintendência de Trânsito e Transportes Públicos (STTP) de Campina Grande

A figura abaixo ilustra o sistema de detecção por laços virtuais em vídeo

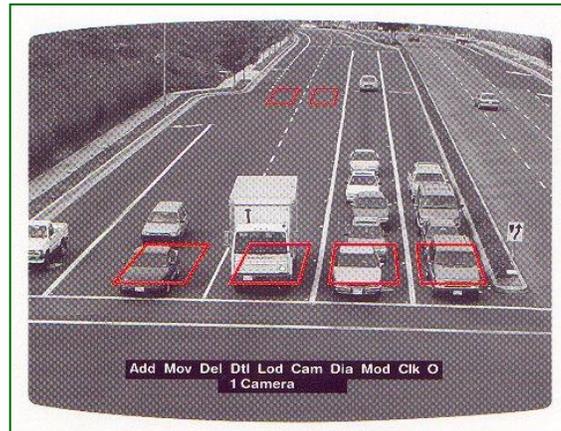


Figura 15 – Detecção veicular através de laço detector virtual, utilizando imagem de câmera de vídeo

#### 4.4 Operação Isolada e Operação em Rede

Na *operação isolada*, o semáforo executa seu trabalho independentemente dos demais. Em geral, é usada em locais de baixa densidade de semáforos ou em pontos que têm operação independente do resto da malha viária ao seu redor (grandes praças, por exemplo). No entanto, pode existir um semáforo operando isoladamente dentro de uma rede de semáforos.

Existem semáforos que embora estejam fisicamente isolados (não possuem ligação por cabo ou outro meio com outro semáforo), estão conectados logicamente com os semáforos da malha viária ao seu redor e portanto, não podem ser classificados como *operação isolada*.

A maioria dos semáforos do Brasil opera desta forma.

A *Figura 16* a seguir ilustra três semáforos operando isoladamente.

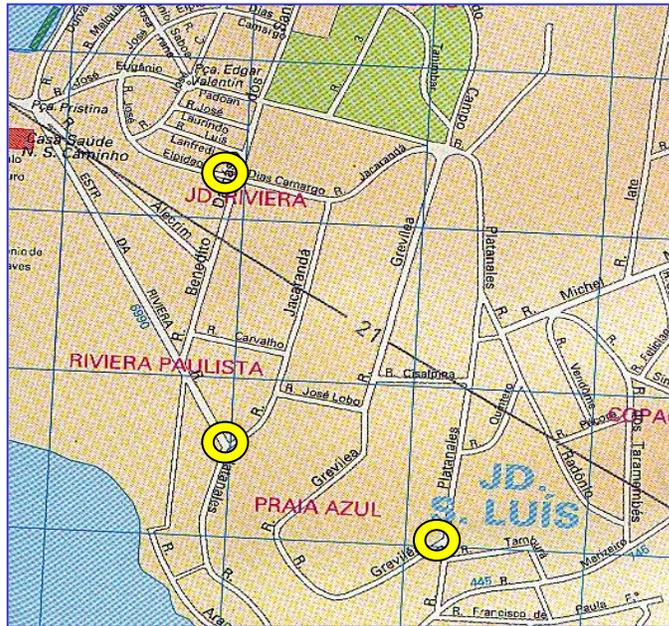


Figura 16 – Localização de três semáforos isolados – a operação de cada um independe dos demais.  
Fonte: CET

Na *operação em rede*, os semáforos atuam considerando a dependência do trabalho dos demais em uma área pré-definida. Para constituir rede, os semáforos podem estar interconectados entre si através de meios de comunicação que podem consistir de cabos, via rádio ou outro meio apropriado, ou estar interligados apenas logicamente com os semáforos adjacentes. A comunicação pode ser originada localmente ou provinda de uma central de controle remota, a depender da tecnologia utilizada.

## CAPÍTULO 5 – MODELOS DE SISTEMA DE CONTROLE SEMAFÓRICO

### 5.1 Introdução

Um sistema de controle semafórico é constituído de métodos, equipamentos e técnicas para coordenar os semáforos e controlar o fluxo de tráfego ao longo de uma via arterial ou sobre uma área controlada.

O principal objetivo de um sistema semafórico é controlar os movimentos conflitantes, permitindo a fluidez no tráfego e buscando minimizar os atrasos de vias arteriais e principais da área controlada. Outros objetivos podem e têm sido muitas vezes agregados, tais como: reduzir o consumo de combustível e a emissão de poluentes, propiciar a travessia segura de pedestres, priorizar a circulação de veículos de transporte público, etc.

O sistema de controle semafórico deve ser capaz de determinar, implementar e monitorar planos semafóricos, para cada semáforo por ele controlado, pertencente a sua região geográfica de circunscrição; e interconectar semáforos isolados definindo o melhor arranjo para a operação em rede.

### 5.2 Estratégias de Controle

Considerando a complexidade de operação de um sistema semafórico, existem três estratégias básicas de operação:

- *Interseção isolada* - o controle dos movimentos dos tráfegos baseia-se apenas nos volumes dos veículos existentes no cruzamento, não sendo consideradas as eventuais influências exercidas pela operação de interseções adjacentes. O semáforo opera isoladamente dos demais.
- *Em rede aberta* (controle arterial) – preocupa-se em dar continuidade de movimentos entre as interseções adjacentes em uma via principal (corredor). Os semáforos operam em rede.
- *Em rede fechada* (controle em área) – são consideradas todas as interseções sinalizadas de uma determinada região. O controle dos semáforos em áreas centrais de grandes cidades é um exemplo típico. Os semáforos operam em rede.

Uma técnica utilizada *Em rede Aberta* opera segundo a hierarquia Mestre-Escravo, onde os parâmetros dos semáforos da rede (escravos) são determinados ou ajustados baseados nos parâmetros de um semáforo de referência ou (mestre). Geralmente a comunicação é via cabo.

A utilização do tempo de ciclo e/ou o início do verde como parâmetro de referência do semáforo Mestre possibilita a implementação da “onda verde”, que tem sido definida como a abertura do sinal verde em semáforos subseqüentes em um trajeto da via, em que os tempos de início de verde em cada semáforo iniciam em instantes determinados de forma a permitir a travessia do percurso sem paradas durante o trajeto, isto é, objetiva o menor tempo de percurso e o menor gasto de combustível. O tempo de ciclo é ajustado para ser o mesmo para todos os semáforos que sinalizam a parte da via considerada.

Na estratégia de *rede fechada*, cada semáforo opera considerando a influência dos demais semáforos de uma determinada região. Assim, não existe um semáforo Mestre. Caso a rede fechada esteja operando em tempo fixo, os planos dos semáforos são selecionados de uma tabela prefixada, que foi calculada considerando os parâmetros dos outros semáforos. Caso operando por influência do tráfego, os planos de cada semáforo são calculados em tempo real, também considerando os parâmetros dos demais semáforos. Neste caso, a complexidade da rede é o que vai determinar o nível do algoritmo utilizado para o cálculo dos novos parâmetros.

Verifica-se que tanto o *Controle por Tempo Fixo* quanto por *Demanda de Tráfego* podem ser empregados, não simultaneamente, nas três estratégias de operação. Existem modelos de controle conhecidos para cada tipo de controle e estratégia já citada.

Serão tratados nos itens subseqüentes alguns modelos de controle semaforico por demanda de tráfego, implementados em sistemas de controle semaforico de muitos países. São eles: MOVA, LHOVRA, SCOOT, SOS e SCATS.

### **5.3 Princípio da Extensão e A Seleção Dinâmica de Planos**

De acordo com , o Princípio da Extensão é amplamente aplicado às estratégias de controle atuado. Este princípio considera, normalmente, três parâmetros de tempo (ver figura 17).

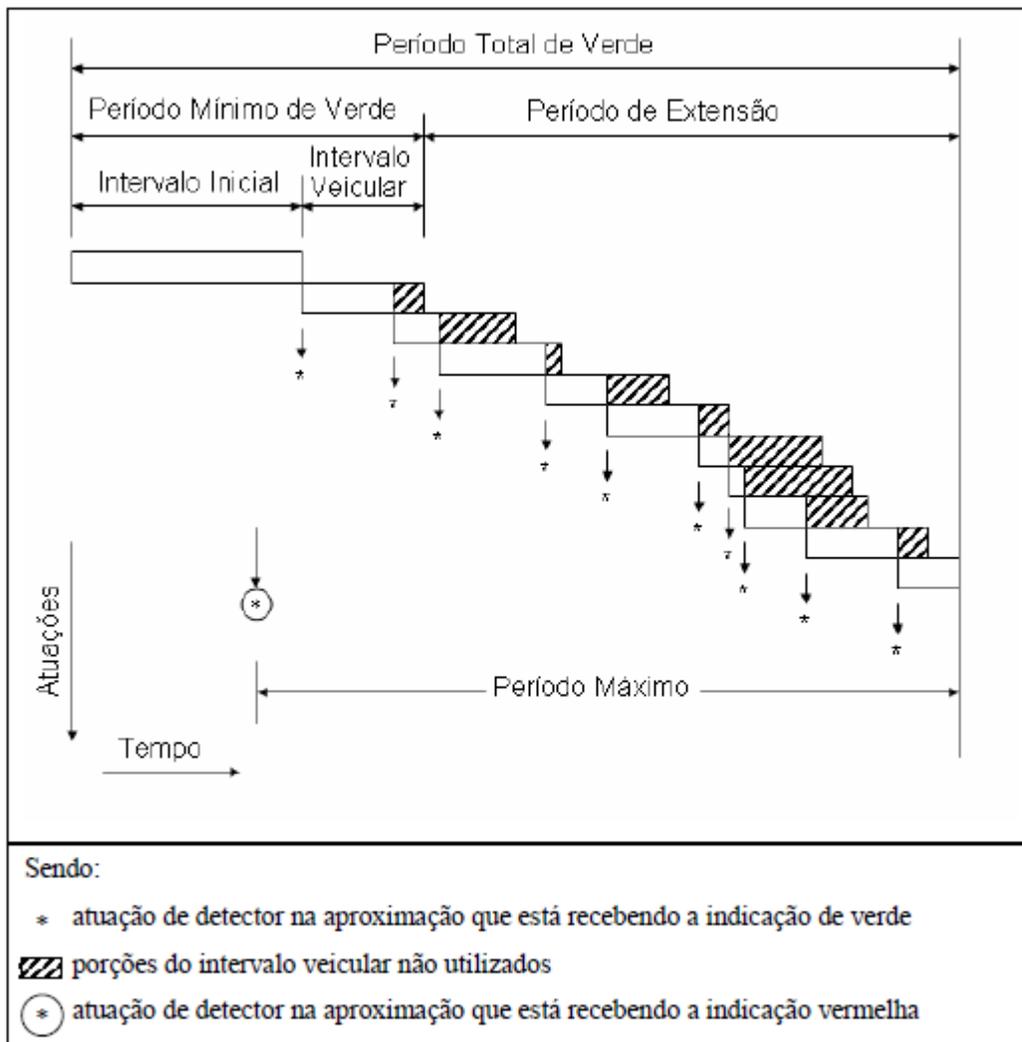


Figura 17 – Esquema de intervalos de fase atados  
 FONTE: Kell e Fullerton, 1991

- *Período Mínimo de Verde* – tempo mínimo requerido para atender com segurança a pelo menos um veículo. Esse período é formado pela soma dos tempos do intervalo inicial e do intervalo inicial.
- *Intervalo Veicular* – consiste no intervalo máximo de tempo entre atuações sucessivas que permite que o verde seja mantido. O intervalo veicular é contado após cada detecção.
- *Período de Máximo* – intervalo máximo de tempo que o verde pode ser mantido, contado a partir da atuação na aproximação que está recebendo o vermelho.

Um único veículo tem o tempo mínimo de verde para atravessar a Interseção. Se durante o intervalo veicular, outro veículo é detectado, o tempo correspondente a outro intervalo veicular será iniciado a partir da última detecção. Este processo se

repete até que aconteça um intervalo entre duas detecções maior que o intervalo veicular ou que o tempo restante do período máximo de verde seja menor do que um intervalo veicular.

A Seleção Dinâmica de Planos (Euler, 1987) é uma técnica de controle semafórico computadorizado, identificado como *Controle de Primeira Geração*, a qual utiliza uma biblioteca de planos semafóricos pré-definidos mediante a aplicação de otimizadores *off-line* sobre dados históricos (como exemplo, TRANSYT). Os planos da biblioteca são selecionados de acordo com a hora do dia, ou em resposta às condições do tráfego (controle responsivo).

No controle tipo responsivo, os planos semafóricos pré-determinados ficam armazenados e o sistema seleciona o plano mais adequado à condição de tráfego verificada no intervalo de tempo considerado (geralmente 15 minutos). Esta avaliação é normalmente baseada em medidas de ocupação da via ou de volume de tráfego, ou ainda baseada na comparação dos volumes de tráfego observados no período com os valores que geraram os planos da biblioteca.

## **5.4 Modelos de Sistema de Tráfego por Demanda de Tráfego**

Os modelos apresentados a seguir utilizam como base simples heurísticas (como o Princípio Clássico da Extensão) e como aperfeiçoamento técnicas mais desenvolvidas, tais como de inteligência artificial ou de otimização.

Serão introduzidos, inicialmente, modelos que adotam a lógica de otimização para determinar os elementos do plano semafórico. Posteriormente alguns modelos de inteligência artificial.

### **a) MOVA**

O MOVA (*Microprocessor Optimised Vehicle Actuation*) é uma estratégia de controle semafórico pesquisada e desenvolvida entre 1982 e 1988 na Inglaterra pela *Transport and Road Research Laboratory – TRRL*. Este modelo tem o objetivo principal de promover um controle mais flexível para as interseções isoladas do que o apresentado pelo controle tipo fixo (Rochester, 1991).

Os detectores utilizados no MOVA têm a forma triangular, e são classificados de acordo com o posicionamento da via em três tipos: *IN*, *X* e *OUT*, os quais são posicionados respectivamente a 150, 45 e 0 metros da linha de retenção (*Figura 18*), considerando uma via regulamentada para 70 Km/h. O tamanho e as posições do laço são escolhidos de modo que um veículo na pista seja detectado com uma probabilidade elevada, no entanto, sem considerar os veículos das pistas adjacentes, como pode ser observado na *Figura 18*.

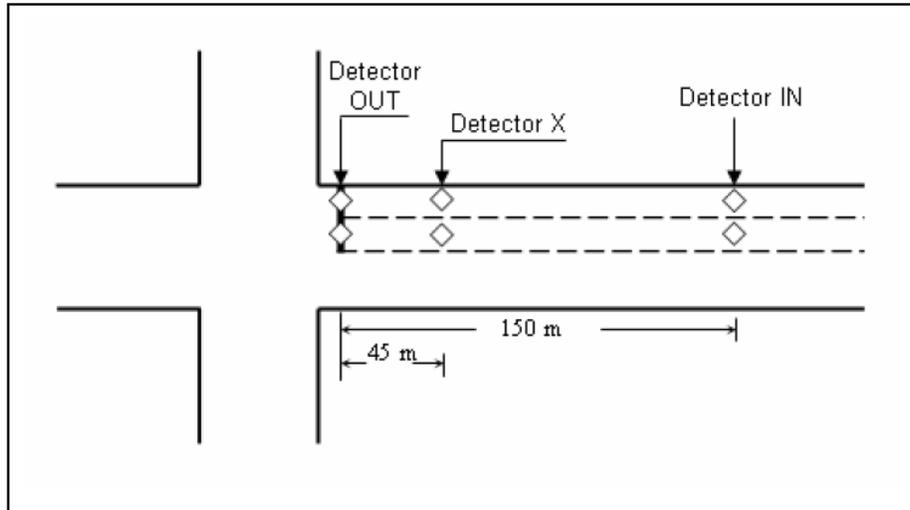


Figura 18 – Localização dos detectores IN, X e OUT da estratégia MOVA para uma via regulamentada para 70 Km/h

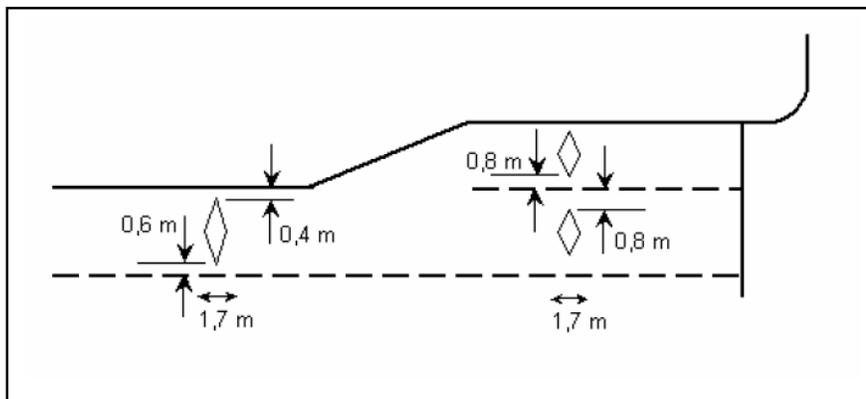


Figura 19 – Medidas horizontais e dimensões dos detectores em relação aos extremos de cada faixa para uma via regulamentada para 70 Km/h

Os dados proveniente dos detectores de tráfego são analisados em tempo real por um microprocessador que executa o programa de controle MOVA. A duração dos tempos de verde é controlada buscando, principalmente, a minimização dos atrasos e do número de paradas e, em caso de ocorrência de saturação da aproximação, ele age no sentido de maximizar a capacidade (Rochester, 1991).

A estratégia de controle MOVA, segundo Kronborg (1992), é uma mistura de otimização matemática e algoritmo heurístico, que decide pela continuidade do verde ou pela mudança para o vermelho.

## b) LHOVRA

É uma estratégia de origem sueca, a qual trabalha a suposição básica de promover priorizações, permitindo que caminhões e ônibus cruzem as interseções semafóricas, praticamente sem parar. No entanto, a utilização deste modelo de controle não implica na eliminação das paradas, mas numa redução substancial destas quando comparadas com outras modalidades de controle semafórico (Kronborg, 1992).

A estrutura da LHOVRA é baseada em detectores de tráfego afixados sobre um trecho da via localizados à 300 metros da interseção controlada. Este sistema, portanto, é estruturado para identificar qualquer veículo pesado que cruza a linha de 300m da interseção, a fim de promover o controle do tráfego. A passagem do veículo é monitorada ao longo do trecho de controle através dos detectores localizados respectivamente a 200 – 140 – 85 – (30 – 10) metros da interseção, como estão representados na Figura 20.

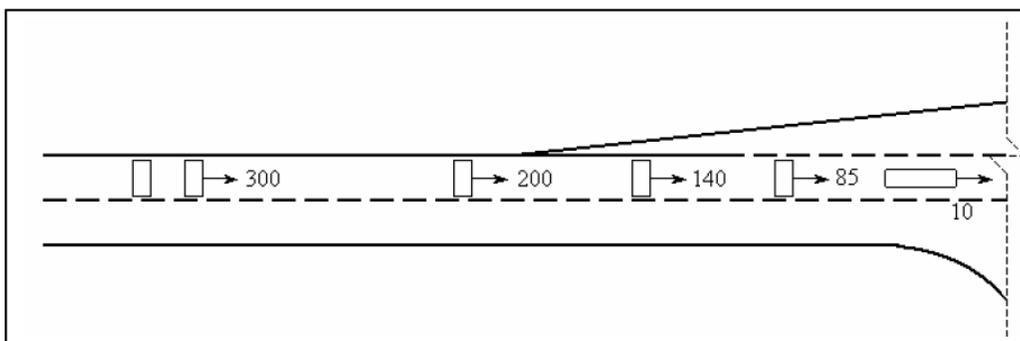


Figura 20 – Representação dos detectores em um via com interseção da estratégia de controle LHOVRA

O nome do modelo LHOVRA deriva das funções por ele desempenhadas. São elas (Kronborg, 1992;).

- L – Prioridade de Caminhões, ônibus e pelotões;
- H – Prioridade da via principal;
- O – Redução de acidentes;
- V – Amarelo variável;
- R – Redução de infrações do sinal vermelho;
- A – Seqüência Verde-Vermelho-Verde.

### c) SCOOT

O modelo SCOOT (*Split, Cycle and Offset Optimization Technique*) é uma ferramenta para gerenciamento e controle de tráfego em áreas urbanas. É um sistema adaptável que responde automaticamente às flutuações no tráfego do uso de detectores fixados nas vias. Esta ferramenta foi desenvolvida pela *Transport and Road Laboratory*

(TRRL) no Reino Unido para operar com sistemas semafóricos em vez de realizar controle isolado. Como destacado em SCOOT-UTC (2001), o modelo SCOOT é amplamente empregado na Grã-Bretanha.

O sistema SCOOT é baseado no modelo do TRANSYT e usa o mesmo fluxo de tráfego para modelar o sistema. Este é um modelo de estado estacionário do fluxo de tráfego na rede que utiliza equações de dispersão de pelotões. O objetivo preliminar é minimizar os comprimentos da fila e o atraso da área de interesse. Em redes mais extensas, o SCOOT opera sobre subáreas bem definidas com o propósito de modelagem e otimização (SCOOT-UTC, 2001).

#### **d) SOS**

O SOS (*Self Optimized Signal*) é uma estratégia de controle para interseções isoladas desenvolvida a partir de 1992, que combina características de controles por grupos de sinais, como o LHOVRA, com otimização matemática (Kronborg, 1992). A razão para iniciar os estudos sobre uma estrutura pronta, no caso, LHOVRA, foi devido ao desejo de otimizar matematicamente as características bem representadas neste sistema, tais como, a flexibilidade e a segurança.

Nestes aspectos, o SOS pode ser definido como um sistema sofisticado de identificação e controle de tráfego que permite a mudança no sentido dos movimentos do tráfego a fim de avaliar e minimizar os riscos de segurança para o tráfego nas aproximações que serão paradas. Funciona através da tradução de riscos de paradas e formação de fila em um algoritmo de custo, sendo que o fator de segurança é altamente significativo no processo lógico de controle. O objetivo é reduzir colisões traseiras e encontrar o tempo mais adequado para finalização da fase, reduzindo assim a possibilidade de um veículo parar na sinalização amarela quando os veículos atrás destes vem a altas velocidades, aumento a possibilidade de ocorrência de um acidente.

#### **e) SCATS**

O SCATS – *Sydney Co-Ordinated Adaptive Traffic System*, é um método de controle de tráfego urbano responsivo desenvolvido na Austrália. Trata-se de um sistema completo de hardware, software e uma filosofia de controle, que opera em tempo real, ajustando os tempos semafóricos do sistema em resposta à demanda de tráfego e à capacidade do sistema. O propósito do SCATS é promover um controle em área atenda melhor que o controle de interseções isoladas e não-coordenadas (Lowrie, 1992).

Este método foi desenvolvido sob uma configuração modular para ser adaptável para cidades de diferentes características e estruturas, ou seja, desde cidades pequenas e médias até os grandes centros. A filosofia do controle do SCATS é baseada na fase;

no entanto, a alta flexibilidade deste equipamento permite que seja implementado o controle baseado em grupos semaforicos.

Estudos realizados sobre o desempenho deste sistema de controle, mostram resultados positivos na reducao de tempos de viagem e no numero de paradas de veiculares. Estes fatores impactam diretamente na economia e na reducao de emissões veiculares e acidentes.

#### **g) TRANSYT**

O TRANSYT (*Traffic Network Study Tool*) [Robertson 1969, TRANSYT-7F 1988]. É um programa que é executado de maneira *off-line* ou *on-line*, para determinar o tempo fixo ótimo de semaforos que formam uma rede. Um simulador macroscópico é utilizado cujos dados são atualizados ou capturados da rede em pequenos intervalos de tempo e realimentando para a rede com os resultados obtidos no simulador. O modelo a ser simulado deve ter entradas de volume de veiculos na rede e probabilidades de mudança de direção constantes ao longo de todo o período de simulação. Os critérios de otimização utilizados são: tamanho da fila, maximização do tamanho da "banda" da onda verde e quantidade de paradas. O programa otimiza as fases e as defasagens relativas dado um conjunto de tempos de ciclo realizando diversas interações entre o módulo de simulação de trafego e o módulo de otimização de semaforos. Os resultados são calculados em relação a uma rota específica na rede definida pelo usuário.

## CAPÍTULO 6 – PROJETO DE UM SISTEMA DE CONTROLE SEMAFÓRICO POR DEMANDA DE TRÁFEGO

### 6.1 Introdução

Tem-se na literatura diversas formas encontradas para a solução do controle de semáforos, desde simples análises lógicas, passando por métodos convencionais e adaptativos a até soluções utilizando inteligência artificial. Seja qual for o caminho de controle desenvolvido, o resultado será a produção de um software para os controladores e para da central de controle.

O projeto não pretende seguir nenhum “modelo” apresentado no capítulo anterior, mas, especifica o “sistema” que são métodos ou modelos, equipamentos e softwares para coordenar os semáforos e controlar o fluxo de tráfego ao longo de uma via arterial ou sobre uma área controlada.

O método é o controle atuado baseado no *Princípio da Extensão*. Os equipamentos são os controladores semafóricos, a CPU de gerencia, os equipamentos de fazem a comunicação, os grupos focais, os laços detectores, entre outros; e os softwares são as rotinas do controlador e o software de gerencia.

O programa C proposto mais adiante para o controle atuado pode ser implementado diretamente na rotina de Execução de Planos do controlador. O software de gerencia monitora, controla e atualiza os dados.

Em sua grande maioria, os controladores de tráfego atualmente em utilização, operam de forma isolada, ou seja, sem conexão com demais controladores ou com uma central de controle. Para estes controladores, a sincronização dos ciclos de “verde” em uma mesma via torna-se uma tarefa bastante difícil e pouco confiável, pois, apesar de toda a programação ser manual, dificilmente o relógio de cada controlador funcionará completamente sincronizado com os dos demais, fazendo com que a sincronização dos “verdes” acabe se perdendo (HOFFMANN e SOUZA, 2005).

### 6.2 Concepção do Sistema

Para fins de cálculo, é conveniente representar o sistema de controle por meio de um diagrama de blocos, que torna muito mais fácil a visualização das relações existentes entre os diversos sinais. No diagrama de blocos são utilizados alguns símbolos padrões, amplamente utilizados na literatura de controle.

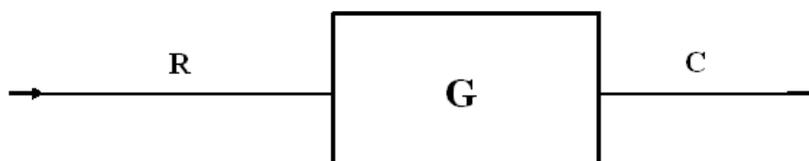


Figura 21 – Representação de um sistema de controle com função de transferência  $G$  em malha aberta

A Figura 21 acima representa o diagrama de controle de um sistema em *malha aberta*, isto é, sem realimentação. O controle semafórico *em tempo fixo* é bem representado por este diagrama, pois o controle não depende da leitura da saída (do tempo de verde), ou de variáveis que influenciem diretamente na resposta do sistema (o número de veículos por unidade de tempo, do nível de saturação do cruzamento, da prioridade de travessia, entre outras).

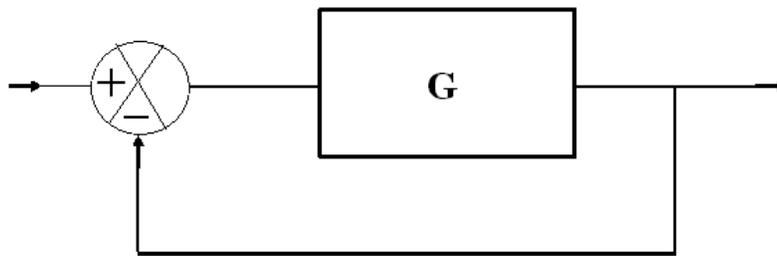


Figura 22 – Representação de um sistema de controle com função de transferência  $G$  em malha fechada

A Figura 22 acima representa o diagrama de controle de um sistema em *malha fechada*, isto é, com realimentação. O controle semafórico *atuado pelo tráfego* é bem representado por este diagrama, pois o controle depende da leitura da saída (do tempo de verde), ou de variáveis que influenciem diretamente na resposta do sistema (o número de veículos por unidade de tempo, do nível de saturação do cruzamento, da prioridade de travessia, entre outras).

### 6.3 Requisitos, Características e Especificações

Existem funcionalidades que o sistema deve cumprir, as quais são comuns nos controladores semafóricos utilizados atualmente, que são:

#### Controlador Semafórico

*Controle de cruzamento viário simples*

*Controle de cruzamentos viários complexos*

*Programação de planos de tráfego de acordo com horários pré-definidos*

*Sincronização entre controladores semaforicos*

*Especificação básica*

O controlador deve ter possibilidade de operar nos seguintes modos (SOUZA, 2008):

- 1 Intermitente;
- 2 Coordenado a tempos fixos;
- 3 Coordenado atuado;
- 4 Autônomo a tempos fixos;
- 5 Autônomo atuado;

Os modos atuados são os que permitem o controle *Por Demanda de Tráfego*, sendo que no modo autônomo todas as fases são atuadas e no modo coordenado existe alguma restrição ou condição a alguma fase ou fases.

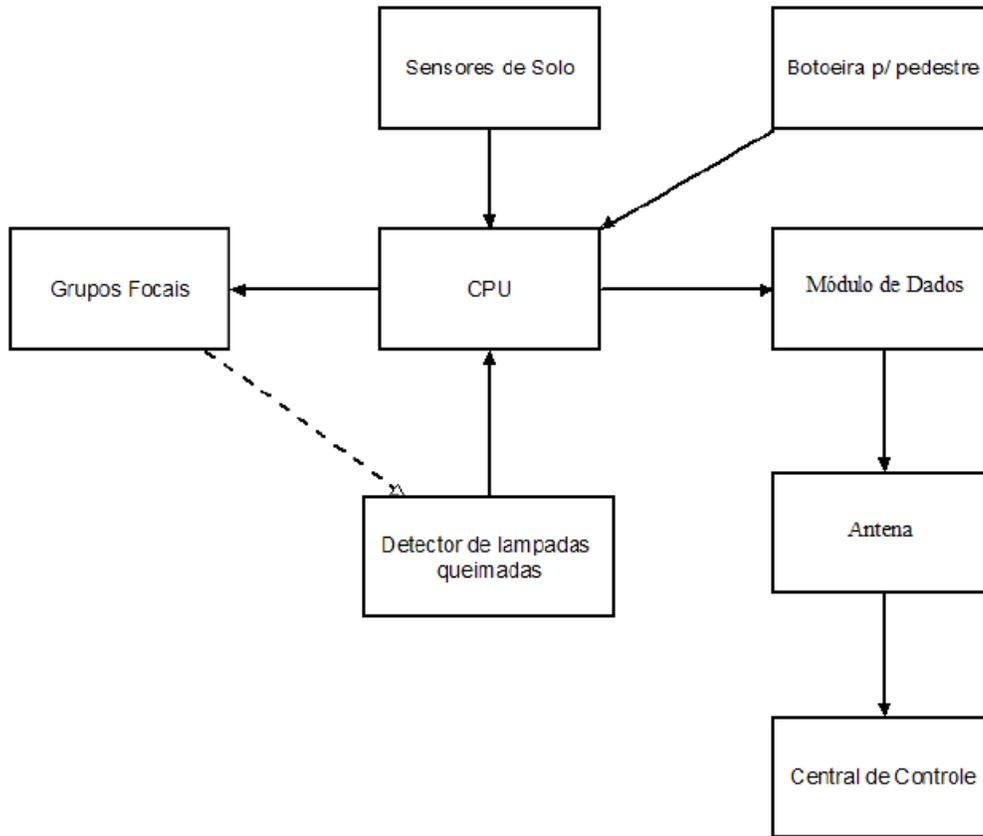
O controlador deve possuir as características:

- 1 capacidade de controlar até 16 fases semaforicas simultaneamente;
- 2 proteção contra verdes conflitantes;
- 3 a atuação por botoeira de pedestre;
- 4 medição das correntes das lâmpadas para detectar lâmpadas “queimadas” ou acessas indevidamente.
- 5 possuir dispositivo de reinicialização em caso de falhas (“watch-dog”);
- 7 manter o relógio no caso de falta de energia e retornar ao modo normal de operação quando da restituição normal do fornecimento de energia;
- 3 realizar contagem de veículos;
- 4 possibilitar conexão com central de controle, enviando dados e recebendo dados e comandos remotos;

*Rotinas do Controlador (SOUZA, 2008).*

*Diagrama de Blocos do Controlador*

O Diagrama de blocos de um controlador de tráfego é consideravelmente simples, composta basicamente de três elementos já citados anteriormente, grupos focais, sensores de solo para detecção de veículos, controlador propriamente dito e central de controle (Ver Figura 23).



F

Figura 23 – Diagrama de blocos esquematizando a estrutura de um controlador e a central de controle (SOUZA, 2008).

O Software da Central é responsável em receber os estados do semáforo, contagem dos veículos, os alertas (ex. lâmpada queimada, verdes conflitantes) e o envio das configurações, planos de tráfego.

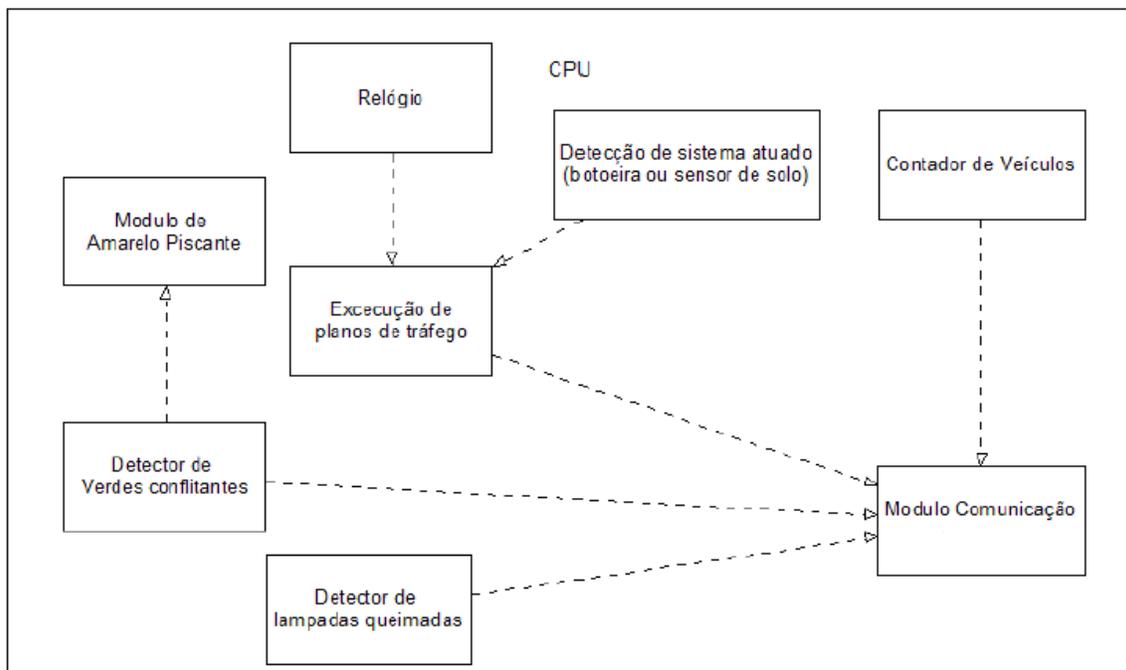


Figura 24 – Diagrama da estrutura da CPU do controlador de semáforo (SOUZA, 2008)

## Central e Gerencia de Tráfego

- 1 Capacidade de conexão de controladores eletrônicos de tráfego por rede física;
- 2 Capacidade de conexão com redes físicas distintas via remota;
- 3 Monitoração do estado atual do controlador, em tempo real, informando o plano de tráfego atual, estágio atual, tempo restante do estágio atual, modo de operação, etc.;
- 4 Monitoração remota contínua de falhas do sistema. Em caso de ocorrência de falha, informa imediatamente ao operador;
- 5 Programação remota total ou parcial dos parâmetros de funcionamento do controlador, como: planos de tráfego (tempos de verde, amarelo, vermelho total, estágios), horários de troca de planos, etc.;
- 6 Reprogramação total ou parcial dos parâmetros de funcionamento do controlador, como: planos de tráfego (tempos de verde, amarelo, vermelho total, estágios), horários de troca de planos, etc.;

- 7 Agrupamento de controladores em sub-áreas operacionais, isto é, permite definir grupos de controladores que obedecerão a comandos comuns simultaneamente, como: planos de tráfego (tempos de verde, amarelo, vermelho total, estágios), horários de troca de planos, etc.;
- 8 Imposição de planos de emergência, isoladamente ou por grupo de controladores;
- 9 Cadastro de operadores do sistema com senha pessoal de diferentes níveis de acesso ao sistema;
- 10 Arquivos completos com todos os dados de cada controlador do sistema, como: endereço do controlador, endereço de operação, dados de configurações, tabela de planos, tabela de verdes conflitantes, tabela de horários de troca de planos, etc.;
- 11 Relatórios de ocorrência de falhas de todos os controladores interligados ao Sistema;
- 12 Impressão de todos os relatórios, planilhas e arquivos total ou parcialmente.

### Comunicação “on-line” com a Central de Tráfego

A Figura 25 abaixo ilustra um esquema típico de comunicação entre os controladores e a central de controle que roda um sistema supervisorio.

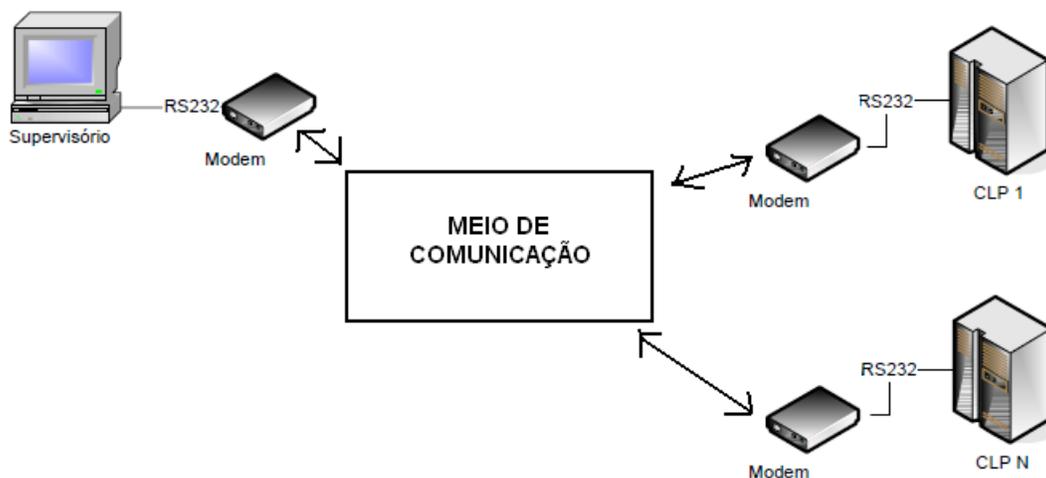


Figura 25 – Estrutura típica de comunicação entre os controladores e a central de controle

Uma forma de comunicação que vem sendo muito usada para telemetria e controle de dispositivos remotos utiliza da estrutura da telefonia celular. A tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*) oferece conexão contínua sem fio com redes de

dados a custo razoável e permite acessar os mais diversos serviços de informações e entretenimento. Essa tecnologia dá acesso à Internet e permite que seja configurada uma rede supervisão e controle sem limites práticos de distância e número de estações, basta que as áreas de interesse sejam atendidas pela infra-estrutura da telefonia celular. Esse serviço tem um custo proporcional ao número de bytes trafegados.

A interface de comunicação entre a arquitetura semafórica microcontrolada e o modem proposto, o módulo TC65 da SIEMENS, será a RS232. Este módulo se encarregará de se comunicar com a rede GPRS para enviar e receber pacotes de dados da internet para o controlador e vice-versa. No Capítulo 8 abordasse a plataforma, recursos e funcionamento do módulo TC 65.

A implementação mais usual de um sistema de telemetria utilizando GPRS consiste em um computador rodando um software de supervisão, conectado à Internet, por acesso em Banda Larga e com IP Fixo. As remotas se comunicam com a central por meio de módulos celulares e assumem endereços de IP variáveis atribuídos pela operadora de telefonia celular. Sempre que a remota assume um novo IP, essa se reporta à central e informa o novo endereço.

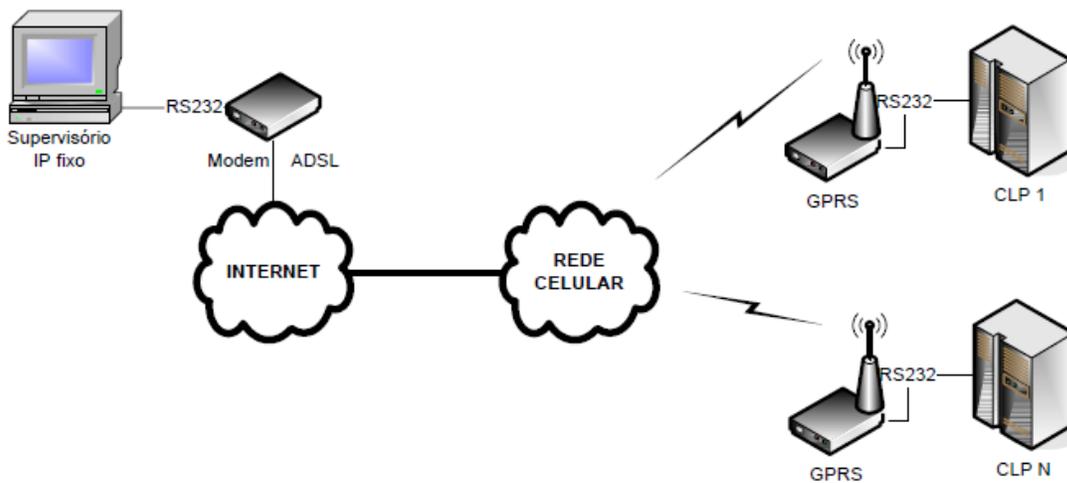


Figura 26 – Estrutura típica de comunicação entre os controladores e a central de controle através da rede GSM/GPRS

## 6.4 Desenvolvimento do Algoritmo e Programa em C

Seja um cruzamento semaforizado de mão única ilustrado na Figura 27 abaixo:

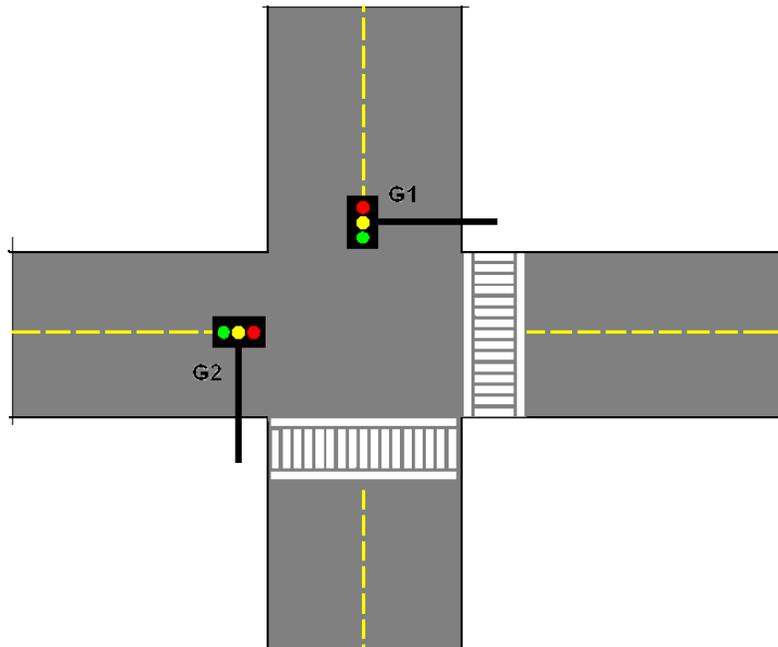


Figura 27 – Interseção de mão única semaforizada

Este *semáforo* é constituído pela *Fase 1* que comanda o *Grupo Focal G1* e pela *Fase 2* que comanda o *Grupo Focal G2*.

Os movimentos veiculares permitidos para este cruzamento estão bem representados no *Diagrama de Estágios*, onde os movimentos estão numerados:

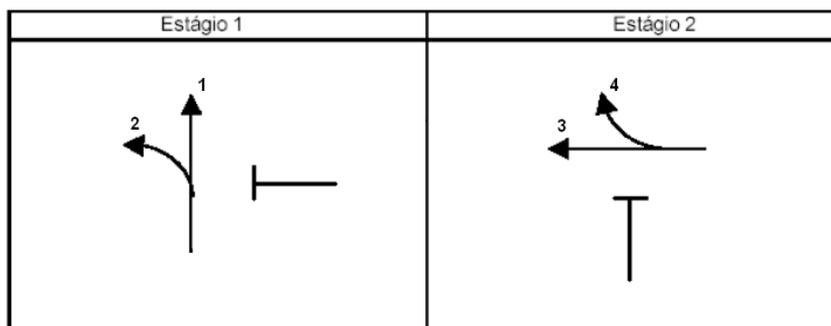


Figura 28 – Diagrama de Estágios da interseção anterior

Os movimento 1 e 2 são permitidos durante o Estágio 1 pelo *Grupo Focal G1* que por sua vez é controlado pela *Fase 1*. A Fase diz respeito à saída do controlador, pois pode existir mais de um grupo focal controlado pela mesma fase. Analogamente, os movimentos 3 e 4 são permitidos durante o Estágio 2 pelo *Grupo Focal G2* de responsabilidade da *Fase 2*.

Observa-se que durante o Estágio 1 são permitidos os movimentos 1 e 2 e durante o Estágio 2 são permitidos os movimentos 3 e 4.

A Tabela 5 abaixo relaciona os Movimentos com seu Estágio e Grupo Focal correspondente:

MOVIMENTO	ESTÁGIO	GRUPO FOCAL
1	1	G1
2		
3	2	G2
4		

Tabela 5 – Relação entre Movimentos, Estágios e Grupos Focais

Atribuindo valores de tempo as variáveis temporais forma-se um *Plano*. Os valores de tempo podem ser obtidos por atribuição, a partir dos dados históricos das vias ou por outro método. Pode-se criar n planos para operação em diferentes intervalos tempo. A *Tabela Horária de Planos* fornece ao controlador qual o plano que ele deve operar em determinado horário, e até o dia e o mês se for o caso.

A simples execução de *Planos* da *Tabela Horária* pelo Controlador Semafórico sem nenhuma alteração de variáveis temporais em função do tráfego caracteriza o *Controle Em Tempo Fixo*.

Inicialmente, a analisa-se o comportamento deste semáforo *Em Tempo Fixo*, para posteriormente *Por Demanda de Tráfego*.

#### 6.4.1 Análise Em Tempo Fixo

O Diagrama de Tempos para este semáforo é ilustrado na Figura 29 abaixo:

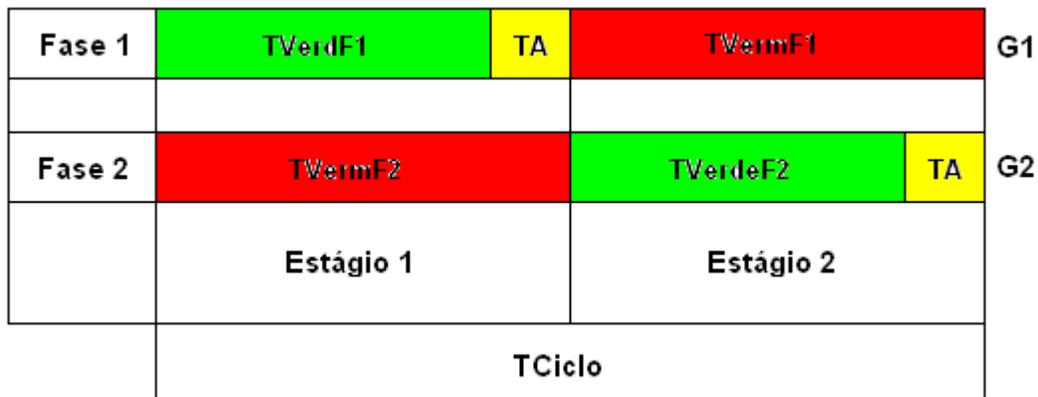


Figura 29 – Diagrama de Tempos

As variáveis temporais identificadas para este *semáforo* são:

Tempo de Verde da Fase 1 representada por  $TVerdF1$ ,  
Tempo de Vermelho do Fase 1 representada por  $TVermF1$ ,  
Tempo de Verde do Fase 2 representada por  $TVerdF2$ ,  
Tempo de Vermelho do Fase 2 representada por  $TVermF2$ ,  
Tempo de Amarelo representada por  $TA$  e  
Tempo de Ciclo representada por  $TCiclo$ .

$$TCiclo = TVerdF1 + TA + TVermF1, \quad (I)$$

$$TCiclo = TVermF2 + TVerdF2 + TA, \quad (II)$$

$$TCiclo = TVerdF1 + TVerdF2 + 2TA, \quad (III)$$

$$TCiclo = TVermF1 + TVermF2, \quad (IV)$$

e

$$TVermF1 = TVerdF2 + TA, \quad (V)$$

$$TVermF2 = TVerdF1 + TA. \quad (VI)$$

De todas as quatro primeiras equações a que mais interessa é a (III), pois ela representa o *Tempo de Ciclo* ( $TCiclo$ ) em função do tempo dos verdes ( $TVerdF1$  e  $TVerdF2$ ) e do amarelo ( $TA$ ). A análise a seguir utiliza esta equação como base do estudo. Os tempos de vermelho ficam determinados automaticamente pelas equações (V) e (VI).

O *Tempo de Entreverde* é igual ao *Tempo de Amarelo*, pois neste caso admite-se que não existe o tempo de *Vermelho de Segurança* para simplificar o desenvolvimento.

O algoritmo do *Controle Em Tempo Fixo* para implementação em alguma linguagem de Programação é apresentado a seguir. Observa-se que apenas *TVerdF1*, *TVerF2* e *TA* foram efetivamente utilizados.

### **Algoritmo do Controle Em Tempo Fixo**

Variáveis

Tipo Constante *TVerdF1*, *TVerF2*, *TA*;

Tipo Boleano *FocoVerdF1*, *FocoAmF1*, *FocoVermF1*, *FocoVerdF2*, *FocoAmF2*, *FocoVermF2*; (todas inicializam com Falso);

**inicio**

*Enquanto* não for satisfeita uma determinada condição *faça* (loop infinito)

**inicio**

*FocoVerdF1* recebe *Verdadeiro* (comandos para acender os focos

*FocoVermF2* recebe *Verdadeiro* verde da Fase 1 e vermelho da Fase 2)

Espere um tempo igual ao *TVerdF1*

*FocoVerdF1* recebe *Falso*

*FocoAmF1* recebe *Verdadeiro*

Espere um tempo igual a *TA*

*FocoAmF1* recebe *Falso*

*FocoVermF1* recebe *Verdadeiro* (começa aqui o

*FocoVermF2* recebe *Falso* Estágio 2)

*FocoVerdF2* recebe *Verdadeiro*

Espere um tempo igual a *TVerdF2*

*FocoVerdF2* recebe *Falso*

*FocoAmF2* recebe *Verdadeiro*

Espere um tempo igual a *TA*

*FocoAmF2* recebe *Falso*

*FocoVermF2* recebe *Verdadeiro*

*FocoVermF1* recebe *Falso*

fim  
fim

Embora o semáforo possa mudar de planos, ele opera em ciclos ininterruptamente. Um desses planos é o *Plano de Amarelo Intermitente*. Assim, a condição para ele sair do loop estabelecido acima pode ser a entrada neste Plano.

#### 6.4.2 Análise Por Controle Atuado

A seguir analisa-se este cruzamento semaforizado de mão única com *Controle Por Demanda de Tráfego* segundo o *Princípio da Extensão*.

Relembrando o *Princípio da Extensão* (Kell e Fullerton 1991) é amplamente aplicado às estratégias de controle atuado. Este princípio considera, normalmente, três parâmetros de tempo (ver Figura 30 abaixo).

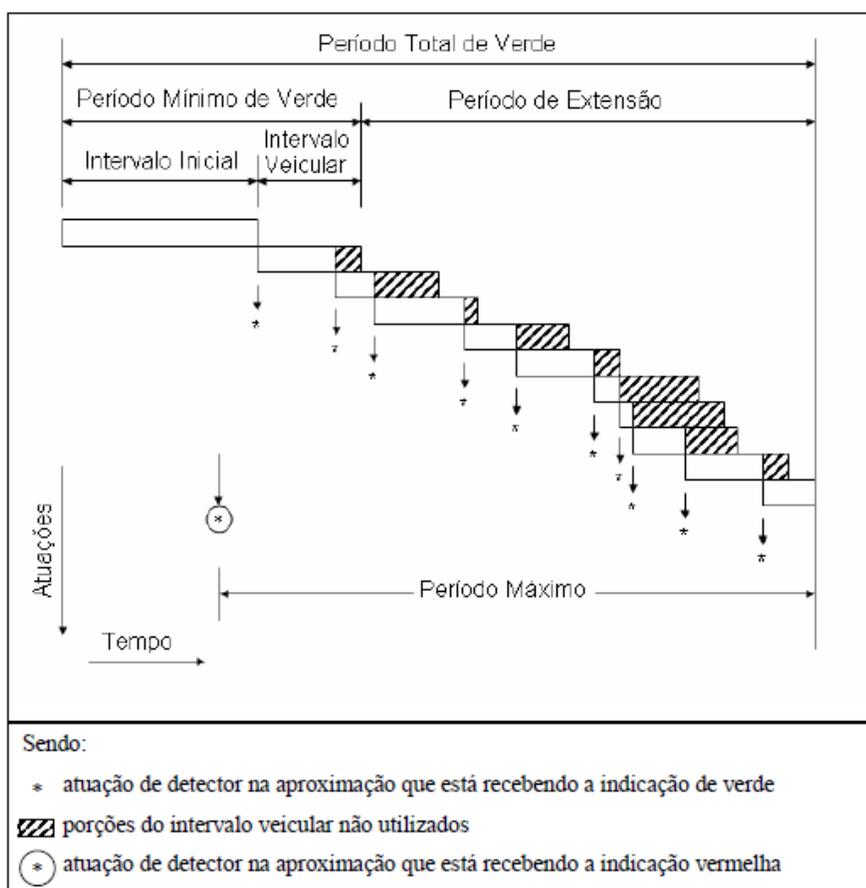


Figura 30 – Aplicação do Princípio da Extensão em um intervalo de fase atuados  
FONTE: Kell e Fullerton, 1991

- *Tempo Mínimo de Verde ( $T_{mVerd}$ )* – tempo mínimo requerido para atender com segurança a pelo menos um veículo. É a soma dos tempos do intervalo inicial e do intervalo veicular. Corresponde ao Período de Verde no Controle Em Tempo Fixo.
- *Intervalo Veicular (IV)* – consiste no intervalo máximo de tempo entre atuações sucessivas que permite que o verde seja mantido. O intervalo veicular é contado após cada detecção. Este intervalo geralmente é uma constante para cada cruzamento semaforizado.
- *Tempo de Detecção ( $T_{Det}$ )* – é o intervalo de tempo compreendido do início do verde até a atual atuação na aproximação que vai receber o vermelho.

Um único veículo tem o tempo mínimo de verde para atravessar a Interseção. Se durante o intervalo veicular, outro veículo é detectado, o tempo correspondente a outro intervalo veicular será iniciado a partir da última detecção. Este processo se repete até que aconteça um intervalo entre duas detecções maior que o intervalo veicular ou que o tempo restante do período máximo de verde seja menor do que um intervalo veicular.

Se nenhum veículo é detectado após o intervalo inicial e durante o intervalo veicular, o semáforo comporta-se como em Tempo Fixo.

Quando um semáforo opera por demanda, segundo o princípio de Kell e Fullerton, o *Diagrama de Estágios* não é alterado, pois os movimentos continuam os mesmos, mas o *Diagrama de Tempos* sim.

Pode-se alterar o *Diagrama de Tempos* de duas formas:

- *Mantendo o Tempo de Ciclo Constante*. O período de um dos Estágios é diminuído proporcionalmente ao aumento do tempo de verde do outro.

- *O Tempo de Ciclo varia*. O aumento do tempo de verde de um Estágio não afeta o outro Estágio que inclusive pode aumentar também.

Voltando ao semáforo em comento, analisa-se os dois casos:

### **O Tempo de Ciclo ( $TCiclo$ ) é mantido Constante:**

Em muitas situações é necessário manter o parâmetro *Tempo de Ciclo* constante, como por exemplo, para manter o sincronismo com outro semáforo ou com a rede de que faz parte. É possível manter o sincronismo alterando o *Tempo de Ciclo* de um semáforo. No entanto, esta alteração repercute nos semáforos adjacentes que precisam se adequar a nova situação adotando o novo período cíclico, por exemplo.

Pode-se manter o *Tempo de Ciclo* constante para este semáforo basicamente de duas maneiras:

*Caso 1 – Priorização do Estágio 1*

*Caso 2 – Priorização do Estágio 2*

No caso de priorização de movimentos do Estágio 1, se há detecção durante o intervalo veicular do Estágio 1, este inquestionavelmente aumentará seu período. Para manter o *Tempo de Ciclo* constante, o intervalo total do Estágio 2 precisa ser reduzido proporcionalmente ao aumento do Estágio 1. Mas se há priorização de movimentos Estágio 2 um fato análogo ocorre.

Deve existir uma redução máxima do Estágio não prioritário para não comprometer os movimentos mínimos deste, fato que está diretamente ligado ao período máximo do outro Estágio.

### **O Tempo de Ciclo (*TCiclo*) é variável:**

Distinguimos três casos:

*Caso 3 – Há priorização de movimentos do Estágio 1 e o Estágio 2 permanece o mesmo.*

*Caso 4 – Há priorização de movimentos do Estágio 2 e o Estágio 1 permanece o mesmo.*

*Caso 5 – A priorização de movimentos do Estágio 1 e do Estágio 2 são iguais.*

Este é o único caso onde o *TCiclo* é alterado pelo aumento do período de ambos os Estágios.

O fluxograma a seguir resume o que já foi exposto:

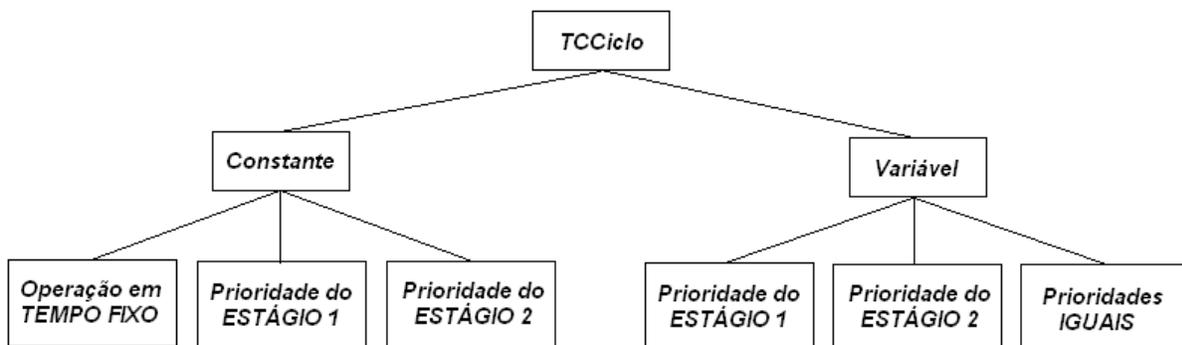


Figura 31 – Casos de alteração do *Diagrama de Tempos* quanto ao *Tempo de Ciclo* e *Prioridades de Estágio*

A análise de um dos casos servirá como base para a análise dos demais. O *Caso 3* será abordado primeiramente.

O *Diagrama de Tempos* para o *Caso 3* é ilustrado na Figura 32 abaixo:

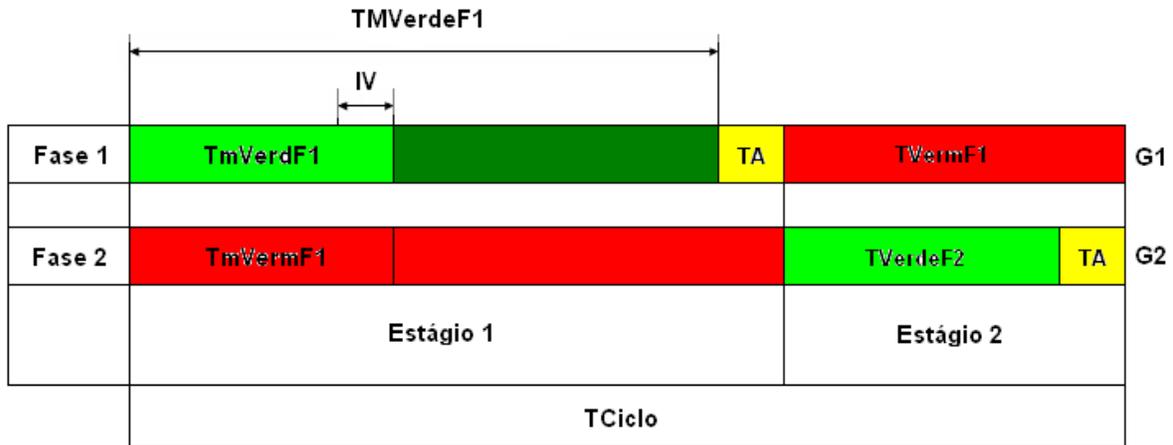


Figura 32 – Diagrama de Tempos do Caso 3

Conforme o *Caso 3* nota-se que o tempo total do Estágio 1 foi aumentado devido ao incremento do tempo de verde da Fase 1 e o Estágio 2 não sofreu alteração alguma. No entanto, como era de se esperar o *Tempo de Ciclo* passou a ser maior que no funcionamento normal.

O *Controle Por Demanda* também opera por *Planos*. O *Período Mínimo de Verde*, representado por  $TmVerdF1$ , depende do *Plano* em execução no semáforo. Caso nenhum veículo seja detectado durante o *Intervalo Veicular*, o semáforo comporta-se como em *Tempo Fixo*, com  $TmVerdF1$  desempenhando a função de  $TVerdF1$ .

### Algoritmo do Controle Por Demanda de Tráfego

Para implementação via software, um algoritmo do *Caso 5* é apresentado a seguir. A solução é simples, mas não é única. Os algoritmos dos demais encontram-se no ANEXO I. O *Caso 5* foi escolhido devido a sua característica geral.

## Algoritmo do Caso 5 (TCiclo Variável e Prioridades Iguais):

Variáveis

Tipo Constante  $TmVerdF1$ ,  $TMVerdF1$ ,  $TMVerdF2$ ,  $TmVerF2$ ,  $TA$ ,  $IV$  ;

Tipo Inteiro  $i$ ,  $Cont1$ ,  $Cont2$ ,  $TDet$ ;

Tipo Boleano  $FocoVerdF1$ ,  $FocoAmF1$ ,  $FocoVermF1$ ,  $FocoVerdF2$ ,  $FocoAmF2$ ,  
 $FocoVermF2$ ;  $Det$ ; (todas inicializam com Falso);

### início

Enquanto não for satisfeita uma determinada condição faça (entre no loop infinito)

#### início

$TDet$  recebe a diferença entre  $TmverdF1$  e o  $IV$  (corresponde ao intervalo Inicial)

$FocoVermF2$  recebe Verdadeiro

$FocoVerdF1$  recebe Verdadeiro (comandos para acender os focos verde da Fase 1 e vermelho da Fase 2)

Esperar um tempo igual ao  $TDet$  (espera um tempo igual ao intervalo inicial)

Para  $i$  de 1 até  $IV$  faça (inicia a varredura do Intervalo Veicular para detecção)

#### início

Leia  $Det$  (verifica se houve detecção)

Se  $Det$  Verdadeiro faça

#### início

$Det$  recebe Falso

$Cont1$  é incrementado

$TDet$  recebe a soma dele mesmo com  $i$  se a diferença entre  $TMverdF1$  e  $TDet$  for maior ou igual a  $IV$  faça

$i$  recebe zero

Se não

$i$  recebe  $IV$

#### fim

#### fim

$FocoVerdF1$  recebe Falso

$FocoAmF1$  recebe Verdadeiro

Esperar um tempo igual a  $TA$

$FocoAmF1$  recebe Falso

*TDet* recebe a diferença entre *TmverdF2* e *IV*  
*FocoVermF1* recebe *Verdadeiro*  
*FocoVerdF2* recebe *Verdadeiro* (começa aqui o Estágio 2)  
Espere um tempo igual a *TDet*

Para *i* de 1 até *IV* faça

**início**

*Leia Det*

(verifica se houve detecção)

Se *Det Verdadeiro* faça

**início**

*Det* recebe *Falso*

*Cont2* é incrementado

*TDet* recebe a soma dele mesmo com *i*

se a diferença entre *TMverdF2* e *TDet* for maior ou igual a *IV*  
faça

*i* recebe zero

Se não

*i* recebe *IV*

**fim**

**fim**

*FocoVerdF2* recebe *Falso*

*FocoAmF2* recebe *Verdadeiro*

Espere um tempo igual a *TA*

*FocoAmF2* recebe *Falso*

**fim**

**fim**

O Programa em C para o do Caso 5 seria:

**O Programa em C para o do Caso 5** (TCiclo Variável e Prioridades Iguais):

```
user
```

```
define
```

```
int const TmVerdF1=15000, TMVerdF1=25000, TMVerdF2=23000,  
TmVerF2=13000, TA=4, IV=2 ;
```

```
int i, Cont1, Cont2, TDet;
```

```
boolean FocoVerdF1 = False, FocoAmF1 = False, FocoVermF1 = False,  
FocoVerdF2 = False, FocoAmF2 = False, FocoVermF2; Det = False;
```

**inicio**

```
While (0)
{
  TDet == (TmverdF1 - IV)
  FocoVermF2 == True;
  FocoVerdF1 == True;
  Time(TDet);
  for i de 1 to IV do
    {
      readlf(Det);
      if (Det = True)
        {
          Det == False;
          Cont1++;
          TDet == Det + i;
          If ((TMverdF1 - Tdet)>= IV)
            i == 0;
          else
            i == IV;
        }
    }
  FocoVerdF1 == False;
  FocoAmF1 == True;
  Time(TA);

  FocoAmF1 == False;
  FocoVermF1 == True
  FocoVermF2 == False;
  TDet == (TverdF2 - IV);

  FocoVerdF2 == True; (começa aqui o Estágio 2)
  Time(TDet);

  for i de 1 to IV do
    {
      readlf(Det);
      if (Det = True)
        {
          Det == False;
          Cont1++;
          TDet == Det + i;
          If ((TMverdF2 - Tdet)>= IV)
```

```

        i == 0;
    else
        i == IV;
    }
}
FocoVerdF2 == False;
FocoAmF2 == True;
Time(TA);

FocoAmF2 == False;
}
}

```

Considere dois cruzamentos semaforizados de mãos únicas e interligados por uma via, conforme a *Figura 33* abaixo:

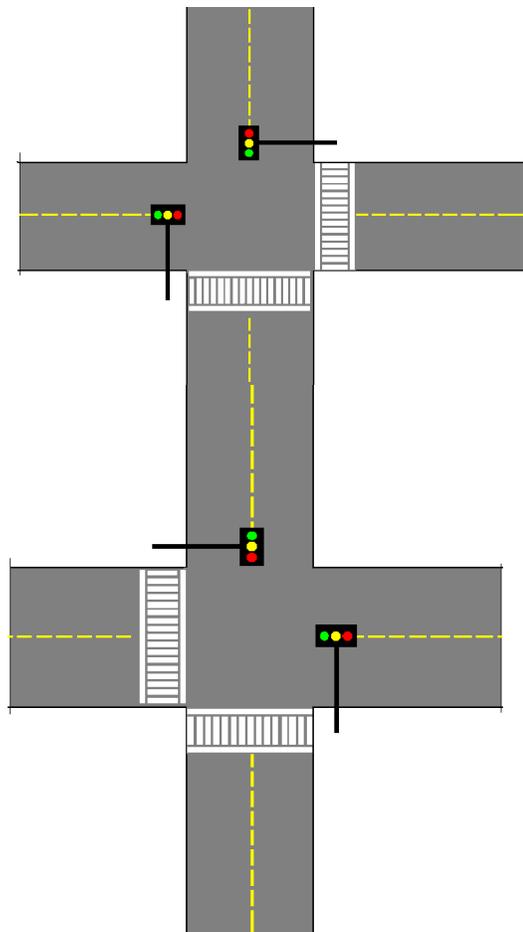


Figura 33 – Via principal ou corredor intercedida por duas vias laterais ou secundárias

O principal objetivo e benefício do *Princípio da Extensão* é permitir a travessia de um cruzamento semaforizado sem paradas com o menor tempo e menor gasto de combustível possível. Situações nas quais o motorista fica esperando o sinal de verde abrir onde na outra via não existe fluxo de veículos são evitadas. Até então o princípio foi aplicado na *Operação Isolada*, mas pode ser aplicado também em *Rede Aberta* (controle arterial) onde a preocupação está em dar continuidade de movimentos entre as interseções adjacentes em uma via principal (corredor); e em *Rede Fechada* (controle em área) onde são consideradas todas as interseções sinalizadas de uma determinada região.

O Princípio pode ser aplicado a qualquer tipo de cruzamento, desde suas finalidades sejam respeitadas.

No entanto, em muitas situações existe a necessidade de sincronizar um semáforo com os outros que estão próximos, pois não adiantaria dar direito de passagem a um sentido da via se o semáforo adiante relativamente próximo barra esse direito.

Essa sincronização permite a já conhecida “Onda Verde” que foi e vem sendo utilizada no *Controle Em tempo Fixo* há tempos. É importante salientar que tempos de ciclo maiores geralmente aumentam a capacidade do cruzamento, mas por outro lado, aumentam os tempos de espera em cruzamentos sub-saturados.

A especificação da defasagem deve levar em conta a existência de possíveis filas e a velocidade média dos veículos.

Os algoritmos desenvolvidos até então podem ser utilizados a depender do objetivo prioritário e da necessidade.

#### Objetivo 1 – Controle em *Rede Fechada* (Controle em Área)

Se estes semáforos estão inseridos em uma região onde são consideradas todas as interseções sinalizadas, a alteração do tempo de ciclo pode complicar o sincronismo. Assim, normalmente deseja-se manter o mesmo *Tempo de Ciclo*. O *Caso 1* e o *Caso 2* podem ser aplicados. Caso se deseje alterar o ciclo, uma solução é a alteração dos *Planos* dos semáforos onde os *Tempos de Ciclo* sejam os mesmos. Desta forma os semáforos não estariam aplicando o *Princípio da Extensão*, mas a *Seleção Dinâmica de Planos* (ITE, 1992; Euler, 1987) que não é objeto de estudo do presente trabalho.

#### Objetivo 2 – *Controle em Rede Aberta* (Controle Arterial)

Se o objetivo é dar continuidade de movimentos entre as interseções adjacentes em da via horizontal (corredor) da figura (Controle em *Rede Aberta*) o *Tempo de Ciclo*

pode ser alterado ou não, mas se alterado por um semáforo o outro deve inserir (a redução ou o aumento) no seu Período Cíclico na mesma quantidade. Assim, os Casos 1, 2, 3 e 4 satisfazem o Objetivo 2.

Se o Caso 5 for aplicado nestes semáforos a continuidade prioritária de movimentos se dará tanto na via corredor quanto nas laterais, caracterizando também um controle em *Rede Aberta*.

Se o Caso 5 for utilizado nos semáforos de uma *Rede Fechada* indistintamente sem qualquer critério, o efeito provocado pode gerar resultados inimagináveis.

Na prática, o controle em *Rede Fechada* não se dá forma especificada no Objetivo 1, mas da seguinte maneira: são identificados pequenas *Redes Abertas* e semáforos isolados onde podem ser analisados em separado e aplicado qualquer um dos algoritmos que solucione o fluxo que entra e o fluxo que sai. O controle da área estará solucionado quando todas as *Redes Abertas* e *semáforos isolados* estiverem solucionadas.

O levantamento do *Fluxo Veicular*, através dos dados históricos, para os diferentes horários do dia é importante, pois é através desses dados que são formados os *Planos do Controle em Tempo Fixo* que é a base para o *Controle por Demanda*.

Com o *Controle Fixo* bem dimensionado, já é possível reduzir razoavelmente o tempo gasto durante um percurso e o gasto de combustível, mas os efeitos serão ainda melhores quando resultados do *Controle Atuado* – um dos objetivos deste trabalho -, pois é um controle realimentado.

A Tabela 6 abaixo detalha a Estrutura, o custo e o desempenho de hardware da sincronização quanto à abordagem de controle.

Abordagem	Estrutura	Custo	Desempenho
Sincronização com temporização fixa	Não computadorizada	Baixo	Baixo a médio
	Computadorizada e Centralizada	Médio	
Sincronização em resposta ao tráfego com seleção ou modificação de planos semaforicos	Computadorizada e Centralizada	Médio a alto	Médio a alto
Sincronização com controle completamente distribuído	Distribuída	Médio a alto	Alto

Tabela 6 – Diferenças na estrutura, custo e desempenho de cada estratégia de sincronização (BAZZAN)

No próximo Capítulo será abordado outro enfoque deste trabalho – a tecnologia sem fio de comunicação entre os Controladores e a Central de Tráfego.

## CAPÍTULO 7 - A REDE DE COMUNICAÇÃO GSM

### 7.1 Introdução

O GSM (*Global System Mobile*) foi concretizado e teve sua especificação reescrita pela ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Se caracterizou como um meio de acesso TDMA (*Time Division Multiple Access*) para sistemas de comunicação para dispositivos móveis com uma arquitetura aberta com transmissão inicialmente definida sobre o espectro de 900 MHz. No Brasil foi adotada para os serviços que possuem a concessão das bandas C, D e E.

A tecnologia GSM se utiliza das duas tecnologias TDMA e o FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). A tecnologia FDMA faz uma divisão dos 25 Mhz do espectro totalizando 124 canais de 200 KHz com uma capacidade nominal de 270 Kbps de banda disponível, que é dividida para dados e voz. Cada um destes canais é atribuído a ERB (Estação Rádio Base), sendo este dividido em slots de tempo usando agora a tecnologia TDMA em timeslots. Cada conexão utiliza dois timeslots uma para transmissão (TX) e outro para a recepção (RX) onde este modelo é conhecido de full rate, onde existe a sua antecessora conhecida como half rate, mas de qualidade bem inferior devido a atrasos que o modelo injeta na comunicação.

A etapa de voz dentro deste modelo sofre uma codificação que é o mais oneroso do processo por necessitar de algoritmos complexos de codificação, deixando a parte mais leve para ser feita pelos dispositivos móveis (rádios digitais). Isso permite que erros sejam detectados e corrigidos em ambos os lados (Estação Rádio Base e Dispositivo Móvel), este processo de transmissão pode durar no máximo 577 milissegundos para ambas as partes com uma codificação (algoritmo) de 116 bits.

Já para garantir a mobilidade do modelo conhecida como handoff ou Roaming, o rádio fica constantemente analisando a qualidade do sinal e verificando a existência de redes vizinhas para fazer o chaveamento (troca de rede). Caso a análise de sinal da nova rede seja superior a atual para iniciar a negociação com a nova base sem desconectar com a sua ERB de origem.

### 7.2 A Topologia das Células GSM

Uma confusão muito comum nas redes celulares é quando se fala de célula, que pode ser uma célula provedora ou uma célula usuária e isso fica claro quando se fala de Células GSM que são cada conjunto de antenas e rádios inseridos em uma ERB (estação rádio base).

Este tópico apresenta um pouco sobre o funcionamento desta célula da rede GSM.

**Estação Rádio Móvel ou Station Mobile (MS):** O equipamento móvel (normalmente um celular), que se utiliza de um cartão inteligente denominado SIM CARD, que é responsável por guardar as informações do assinante (dados pessoais),

que são número serial do próprio SIM CARD, número do dispositivo móvel (número celular), além da agenda telefônica e demais dados de configuração do usuário. Com estes recursos salvos no SIM o usuário tem suas informações disponíveis independente do tipo, marca ou modelo do aparelho utilizado para acessar a rede celular GSM.

Todo o cartão SIM possui a sua identificação única mundial (*IMSI – International Mobile Subscriber Identity*), assim como os aparelhos possuem o IMEI (*International Mobile Equipment Identity*), com isso os aparelhos se identificam na rede e passam a operar sobre a rede GSM, as demais tecnologias usam o aparelho como ponto de identificação o que facilita as técnicas de clonagem, tornando a tecnologia GSM muito mais imune as técnicas mais comuns de cópia espelhamento dos aparelhos (SVERZUT, 2005).

**Estação Rádio Base (ERB ou BSS – Base Station Subsystem):** Este componente do sistema é o responsável por interligar a rede celular com o dispositivo móvel, onde para esta função é dividido em duas partes:

- A estação rádio base de transmissão (*BTS - Base Transceiver Station*), que faz o alojamento dos canais de transmissão e recepção para os rádios que definem a célula a ser usada e fazem o suporte aos protocolos de ligação dela com a estação móvel, numa grande área com densidade de usuários, como áreas urbanas a quantidade de BTS é infinitamente superior a necessidade de estações de controle, este funcionamento pode ser observado na Figura 34. A Figura 35 também apresenta os elementos de uma rede celular.

A *ERB* está conectada a uma *Central de Comutação e Controle (CCC)* que tem interconexão com o serviço telefônico fixo comutado (*STFC*) e a outras *CCC's*, permitindo chamadas entre os terminais celulares e deles com os telefones fixos comuns.

- A estação rádio base de controle (*BSC – Base Station Controller*) faz o gerenciamento, disponíveis em uma ou mais BTS e agrupa um conjunto de ERBs antes da sua conexão com a CCC. Entre suas funções pode-se citar:

- Configuração de canais disponíveis para operação da BTS, o range (intervalo) disponível para cada BTS operar, isso influencia em muito na sua capacidade de operação com os usuários;
- Saltos de frequências, ou seja, a troca de todos os canais para um novo espectro dentro da faixa de frequência disponíveis para minimizar os efeitos de interferência e aumentar a capacidade de usuários nas BTS;
- Transição do dispositivo entre BTS ou BSC (handoff), como já foi citado é a troca do recurso wireless do dispositivo móvel, ou seja, migrar o mesmo de uma BTS para outra sem ocorrer o corte de conexão.

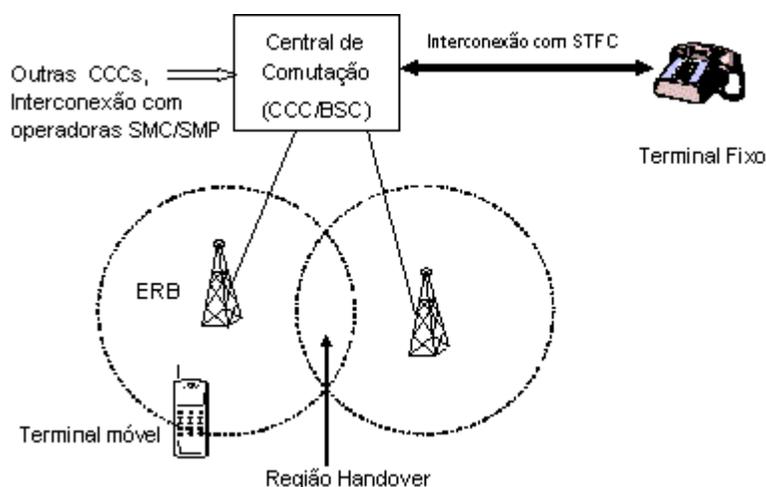


Figura 34 – Elementos de uma Rede Celular

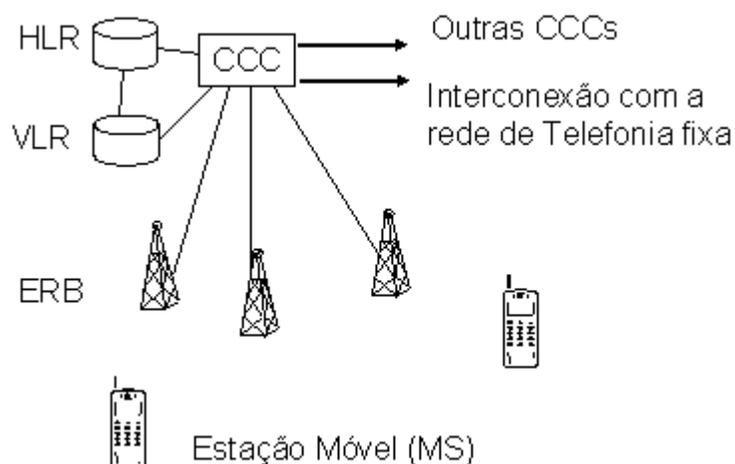


Figura 35 – Interconexão com outras CCC's

A popularização da tecnologia pode ser visualizada pelos números obtidos junto ANATEL (*Agência Nacional de Telecomunicações*), onde mostra uma esmagadora superioridade sobre as suas concorrentes onde todas as demais tecnologias estão em franca redução no mercado a rede GSM cresce mais e mais a cada mês, conforme mostra o Quadro Z (ANATEL, 2008).

Tecnologia	Num. Celulares	% de Celulares	Crescimento Mês	Crescimento Ano
AMPS	12.239	0,01%	-312	-21,4%
TDMA	3.946.001	3,1%	-291.562	-23,5%
CDMA	18.093.579	14,2%	-643.282	-13,4%
GSM	105.690.937	82,7%	2.866.849	11,3%
<b>TOTAL</b>	<b>127.742.756</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.931.693</b>	<b>5,6%</b>

Tabela 6 – Celulares por tecnologia em abril de 2008 (ANATEL, 2008)

### 7.3 A Tecnologia GPRS

A Rede GPRS (*General Packet Radio Service*) é um serviço que não está baseado sobre um sistema de voz permitindo assim o envio e recepção de informações usando como meio a rede de telefonia móvel. Esta nova tecnologia deriva de sua antecessora conhecida como CSD (*Circuit Switched Data*) e SMS (*Short Message Service*).

Com a tecnologia GSM/GPRS e EDGE, muitas empresas aumentam a eficiência e a confiabilidade de seus processos onde mais e mais segmentos de negócios se abrem perante a tecnologia GSM/GPRS e EDGE, cada um com seu lugar especial na demanda por comunicação GSM.

A rede GPRS permite a funcionalidade completa dos principais recursos de redes TCP/IP no que se refere à Internet Móvel, isso se dá por disponibilizar interoperabilidade entre a Internet existente e as novas redes GPRS. Qualquer serviço atualmente utilizado na Internet, tais como, FTP, navegação na Web, chat, email, telnet, conexões TCP e UDP estão disponíveis neste modelo de rede móvel tornando assim a tecnologia uma provedora de soluções para internet.

Uma observação importante é notar que a rede GPRS não é um serviço projetado apenas para ser utilizado em redes móveis baseadas no padrão GSM. O padrão IS-136 TDMA, popular nas Américas do Norte e do Sul, também suporta GPRS.

#### 7.3.1 Características da Rede GPRS

A taxa de transferência teóricas desta tecnologia é de até 171,2 kbps (kilobits por segundo) fazendo uso de toda a sua capacidade com os oito *timeslots* ao mesmo tempo. Sendo assim a tecnologia GPRS é aproximadamente dez vezes mais rápida do que suas antecessoras e em muitos casos mais rápida inclusive que as tecnologias de telefonia fixa.

Uma das principais características das redes GPRS é ao invés de dedicar um canal de rádio para cada usuário dentro de uma janela de tempo, o recurso de cada canal é compartilhado concorrentemente entre múltiplos usuários ao mesmo tempo. Esse uso eficiente dos recursos de radio garante um grande número de usuários usando o mesmo canal da rede de radio ao mesmo tempo, fazendo com que seja potencializado o compartilhamento da mesma largura de banda que são servidos de uma única célula.

O GPRS é uma tecnologia baseada em uma rede de pacotes (suportando IP e X.25), para o tráfego de dados em redes de comunicações móveis como, por exemplo, redes GSM e não um padrão de tecnologia de redes sem fio que requer equipamentos proprietários.

A tecnologia GPRS é dita ser de segunda geração (2.5) de comunicações móveis (2.5G) representando a transição à terceira geração (3G). Como utiliza o mesmo

padrão universal utilizado na Internet (o protocolo IP), o GPRS otimiza as comunicações de dados através das redes móveis. Sendo baseado em pacotes, permite que a utilização da infra-estrutura da rede de comunicação existente se dê somente quando uma operação de transmissão e ou recepção é requerida ao invés de estabelecer um link permanente. Isto incrementa a eficiência do meio de comunicação e melhora a qualidade dos serviços de conexão.

A possibilidade de se manter uma conexão "permanente" de dados ("always on") é um grande atrativo da tecnologia GPRS, pois os usuários não precisam conectar o sistema toda vez que necessitarem de acesso aos serviços. Outra vantagem é que a tarifação é feita apenas sobre os dados efetivamente transmitidos e dessa forma o usuário não paga pelo tempo de conexão. Sendo uma tecnologia de rede sem fio, o GPRS oferece velocidades de dados de 115kbps e uma taxa de transferência efetiva de 30kbps a 40kbps.

Por ser uma tecnologia sem fio, a rede GPRS possibilita o acesso à Internet em qualquer tempo e lugar, possibilitando a navegação em páginas WEB, o envio e recebimento de e-mails e outras facilidades. Entretanto, para estabelecer um acesso Internet via GPRS é necessário um aparelho celular que suporte a tecnologia GPRS e ativar esse serviço junto à operadora de telefonia celular. Também é possível acessar a Internet via GPRS a partir de um PDA ou computador portátil. Neste caso, é necessário instalar no equipamento um programa que permita a comunicação com o telefone celular (através de raios infravermelhos ou via cabo), o qual funcionará como um modem. Esse programa normalmente é oferecido pelo fabricante do aparelho celular ou pela operadora que oferece o serviço. O passo seguinte é configurar o sistema para acessar a Internet através da rede GPRS e navegar normalmente.

Existe ainda a possibilidade de acesso com completa mobilidade, aos serviços de e-mail, Internet e demais aplicações com velocidades de banda larga através de cartões de comunicação de dados para PC's portáteis. Os fabricantes desses cartões de comunicação oferecem diversas possibilidades de operação, por exemplo, operação em tri-banda em redes GSM de 900/1800/1900MHz, permitindo velocidades máximas de até 56kbps para transferência de dados e ainda com capacidade de transmissão de voz GSM.

Para reduzir as conexões através de cabos, a conectividade aos periféricos de uma rede local ou às redes GPRS pode ser estabelecida em conjunto com outras tecnologias sem fio como o Bluetooth, por exemplo. Já existem no mercado vários modelos de telefones e modems com cartão PC GPRS de fabricantes como Motorola, Nokia, Siemens, Sony Ericsson, etc. Os telefones GPRS estão disponíveis com diferentes conjuntos de funções e incluem modelos com telas coloridas e câmeras digitais integradas. Porém é importante salientar que, em todos os casos, é necessária a assinatura em uma operadora de redes móveis para ter o acesso aos serviços de Internet via GPRS. Todos os celulares modernos já possuem browsers para acesso à internet graças ao GPRS.

Como o sistema GSM/GPRS suporta as comunicações do protocolo TCP/IP, é possível utilizar os protocolos de internet de mais alto nível, como o HTTP, stp, smtp, etc.

As principais características do GPRS são (OLIVEIRA, 2009):

- Taxa de transporte de dados máxima de 26 a 40 kbit/s, podendo chegar na teoria a 171,2 kbit/s.
- Conexão de dados sem necessidade de se estabelecer um circuito telefônico, o que permite a cobrança por utilização e não por tempo de conexão e faz com que o serviço esteja sempre disponível para o usuário (always on).
- Implantação implica em pequenas modificações na infra-estrutura instalada, o que facilita a sua adoção pelos operadores de GSM.
- Padronizado para transporte de dados definidos pelos protocolos IP e X.25<sup>1</sup>

Na Figura 36 abaixo vemos a topologia de um sistema de comunicação que emprega a tecnologia GPRS.

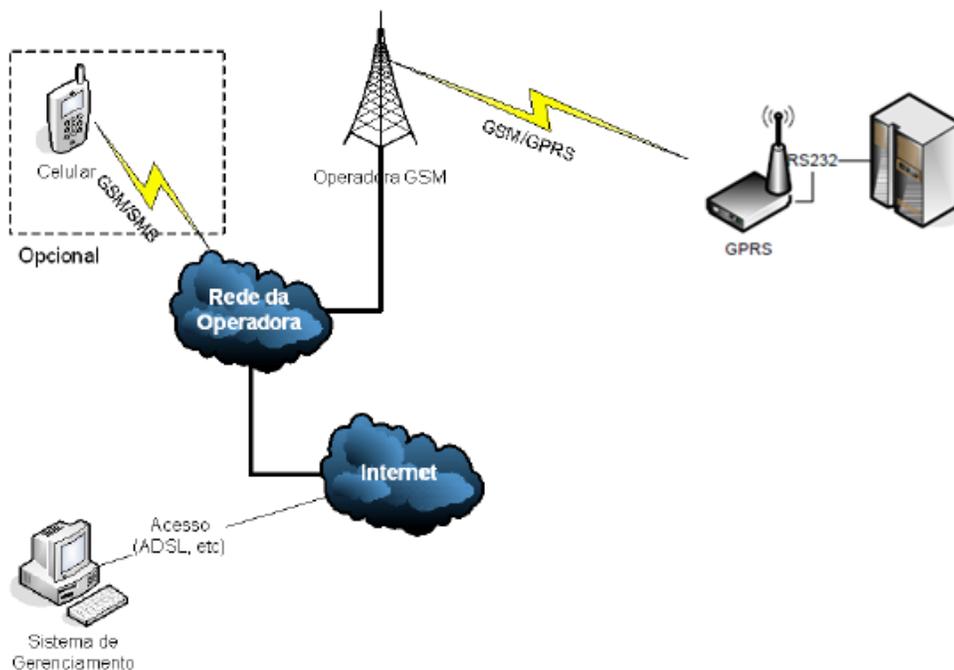


Figura 36 – Topologia do sistema de comunicação via GPRS

1 X.25 - É um conjunto de protocolos padronizado pela International Telecommunication Union (ITU) para redes de longa distância e que usam o sistema telefônico ou Integrated Services Digital Network (ISDN) como meio de transmissão

## 7.4 A Tecnologia EDGE

A tecnologia EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) caracteriza a geração 2.75G, posterior à 2G ou à 2.5G.

Sua principal função é aumentar a eficiência do sistema GPRS, motivo pelo qual também é conhecida como GPRS Melhorado (*Enhanced General Packet Radio Services – EGPRS*).

As principais diferenças em relação à rede GPRS são:

- Protocolos de acesso à interface com novas facilidades;
- Modulação 8-PSK (*8-state Phase Shift Keying*);
- Novos procedimentos de codificação de canal.

### Arquitetura EDGE

A rede EDGE é idêntica à GPRS, exceto pela interface aérea. Apenas a MS e a BTS sofrem mudanças com o sistema EDGE, portanto. Essas mudanças visam suportar, principalmente, a modulação 8-PSK e os novos tipos de codificação. A interface aérea EDGE suporta as interfaces GSM e GPRS.

A tecnologia EDGE utiliza as modulações GMSK, parte da GSM, e 8-PSK. A última é um novo esquema de modulação que usa 8 símbolos, definidos por 3 bits. A GMSK utiliza 1 bit, podendo gerar 2 símbolos diferentes. A importância dessa modulação é transmitir dados três vezes mais rápido que na GMSK, que transmitia a 270,833 kbits/s. A 8-PSK transmite, portanto, a 812,45 kbits/s.

### Codificação do canal

O sistema EDGE utiliza nove esquemas de codificação do canal de voz. Cinco deles usam a modulação 8-PSK e os outros, a modulação GMSK. Os diferentes modos de se codificar os canais são, a verdade, otimizações visando a diminuição de erros e o aumento da taxa de transmissão de dados.

Com esses esquemas novos, a mesma tecnologia GPRS teve seu desempenho melhorado em larga escala. A Tabela 7 abaixo compara alguns parâmetros entre GPRS e EDGE.

Parâmetros	GPRS	EDGE
Modulação	GMSK	GMSK/8-PSK
Taxa de transmissão de símbolos [ksps]	270,833	270,833
Taxa de modulação de bits [kbits/s]	270,833	812,45
Taxa de modulação por ITC ( <i>time slot</i> ) [kbits/s]	21,4	59,2
Taxa de modulação por quadro (8 ITCs) [kbits/s]	171,2	473,6

Tabela 7 – Principais parâmetros das Tecnologias EDGE e GPRS

As principais diferenças entre as tecnologias GSM, GPRS e EDGE da segunda geração de celulares está no transporte de dados e nas taxas de transmissão requeridas por cada um. A Tabela 8 abaixo compara, resumidamente, GSM, GPRS e EDGE.

Tecnologia	Serviço	Taxa de transmissão máxima por ITC [kbits/s]	Taxa de transmissão máxima por quadro - 8 ITCs [kbits/s]
GSM	Voz	13	13
	Dados por comutação de circuito	14,4	14,4
GPRS	Voz	13	13
	Dados por comutação por pacotes	21,4	171,2
EDGE	Voz	13	13
	Dados por comutação por pacotes	59,2	473,6

Tabela 8 – Principais Diferenças entre GSM, GPRS e EDGE

## CAPÍTULO 8 – COMUNICAÇÃO REMOTA UTILIZANDO O MÓDULO TC 65 DA SIEMENS

### 8.1 Objetivo

O objetivo deste capítulo é desenvolver um protótipo que permita que um determinado controlador com interface de comunicação serial seja conectado a uma rede GPRS (rede sem fio) e permita o seu controle e monitoração remota, isto é, o desenvolvimento do projeto de comunicação entre os controladores semafóricos e a central de controle.

Será apresentado o Módulo TC 65 da Siemens (SIEMENS, 2005) como elemento de conexão entre os controladores semafóricos e a rede GPRS. Este módulo permite acesso a rede GPRS e realizará a comunicação com o controlador semafórico (que neste caso pode ser um CLP ou um microcontrolador que entenda a linguagem o TC 65) e a rede GPRS que se conectará ao computador central responsável pelo gerenciamento e controle dos equipamentos que deverão ser supervisionados.

Esta seção apresenta os componentes de hardware e software que são utilizados no projeto. A Figura 37 mostra a topologia básica do sistema. A partir da rede GPRS o módulo de automação poderá realizar a telemetria (monitoração) de diversos equipamentos e realizar determinadas ações através de um conjunto de relés. Este módulo fará a comunicação via interface serial com o módulo Celular que será responsável pelo acesso e envio de dados via rede GPRS.

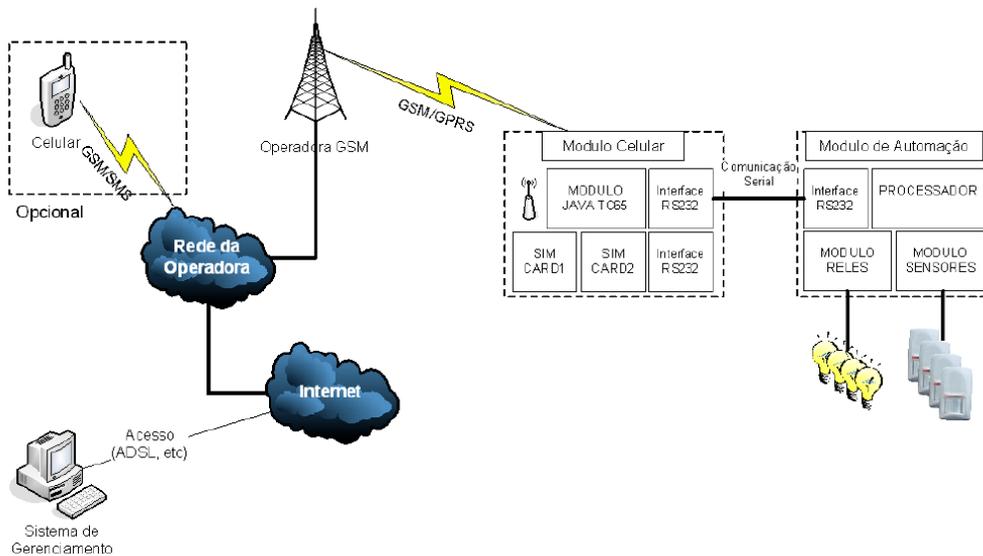


Figura 37 – Topologia do Sistema de Telemetria e Automação Remota

## 8.2 Plataforma GSM/GPRS TC65 Java

O módulo TC65 da Siemens é baseado em um processador ARM com acesso a rede GPRS e permite o desenvolvimento de aplicações em Java (J2ME) para acesso a rede GPRS e também a comunicação com periféricos e outros módulos.

Um dos principais objetivos da escolha deste módulo foi diminuir o tempo de desenvolvimento. Contando com o suporte a Java do módulo TC65 reduz custos, além de não ser necessário o uso de um controlador, memória e pilha TCP/IP externos, com isso toda a aplicação de transmissão pode ser gerenciada através do processador do próprio módulo, além desta facilidade segue abaixo uma lista resumida das características do TC65:

- Suporte a Java, IMP 2.0;
- GSM quad-band (850/900/1800/1900 MHz);
- GPRS Classe 12;
- Processador ARM7;
- Memória flash de 1,7 MB e memória RAM de 400 KB;
- Pilha TCP/IP integrada;
- Transferência segura de dados via OTA;
- Temperatura de operação estendida;
- Livre de chumbo.

Outros benefícios importantes na escolha do módulo foi ser um produto consolidado no mercado e ter o respaldo e suporte da Siemens uma empresa que possui uma grande história no ramo sem fio. A Figura 38 ilustra o Hardware do TC65.

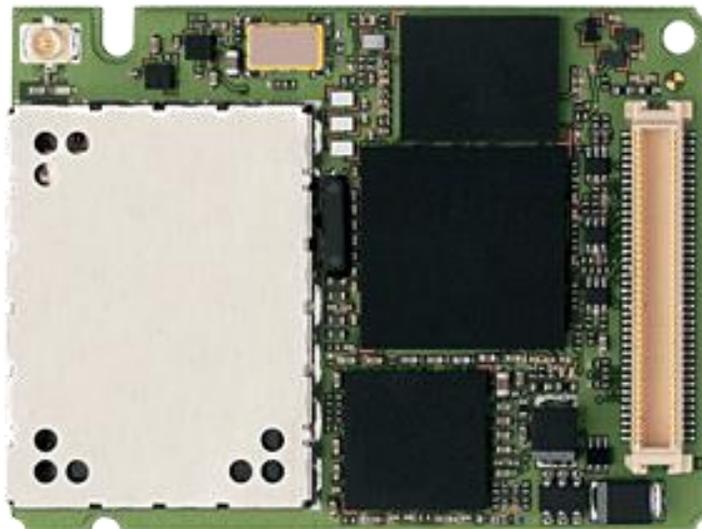


Figura 38 – Hardware do Módulo TC65  
<http://www.tdc.co.uk/index.php?key=tc65>

## 8.2.1 Recursos do hardware do TC65

O módulo TC65 tem um hardware com um bom desempenho e com muitos recursos que podem ser observados na Figura 40, entre esses estão:

- Duas interfaces seriais em nível TTL;
- Uma interface USB SLAVE;
- Sistema de Captação de Áudio (Modulador);
- Sistema de reprodução de áudio (Demodulador);
- Interface para carga e medição da bateria;
- Controle para IHM (Interface Homem Máquina);
- Dez entradas digitais GPIO;
- SPI e I2C;
- Sistema nativo para interface com o SIM CARD.

Todos os recursos disponíveis num aparelho celular convencional de mercado são encontrados no módulo TC65, mas neste existe a predisposição para a integração com os circuitos externos só que apenas em nível elétrico. Para executar uma tarefa simples como uma chamada de voz é necessário o desenvolvimento de circuitos para captação e reprodução do som, além de uma serie de Comandos AT para realizar esta chamada (OLIVEIRA, 2009).

O hardware é completo e complexo em termos de recursos. O profissional possui acesso a todos os níveis do hardware e interfaces externas. Na Figura 39 tem-se um diagrama esquemático dos recursos do hardware módulo para telemetria o TC65.

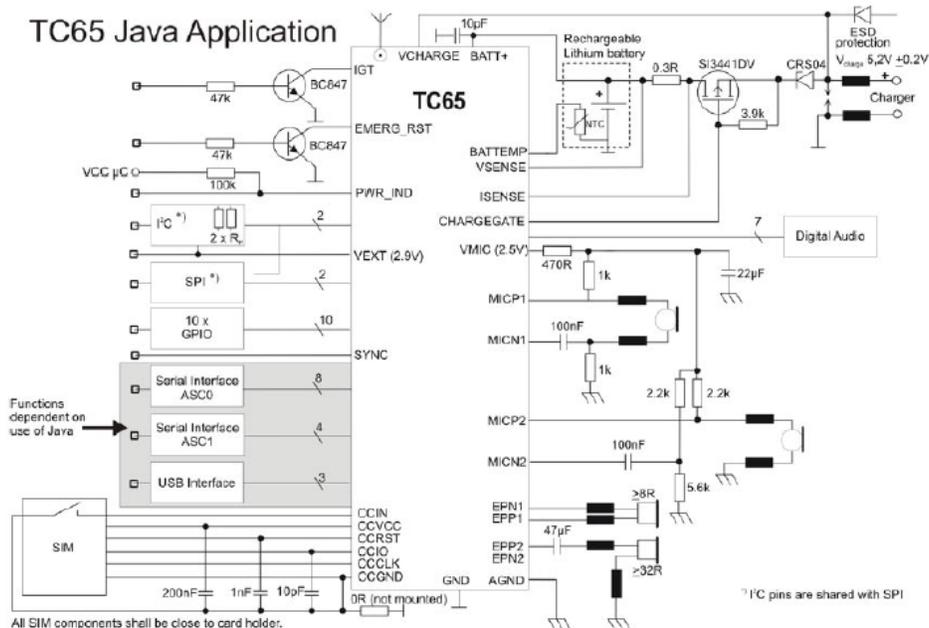


Figura 40 – Esquema do Hardware do TC65 (OLIVEIRA, 2009)

A etapa de rádio é um dos maiores diferenciais deste modem, onde já possui o sistema *Quad-Band* (850/900/1800/1900 MHz), que opera em todas as bandas e frequências disponíveis em nível mundial, além de ser compatível com as redes GSM, EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) e UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), ou seja, trabalha com as redes de geração 2G, 2,5G e 3G, respectivamente.

Outra vantagem significativa deste equipamento é a nacionalização do modem, onde atualmente ele já é produzido em larga escala no Brasil, com o objetivo de ser exportado para toda a América Latina.

Enviando. : ATD88664269;	# Discando número
Recebendo : ATD88664269;	# Eco
Recebendo : OK	# Resposta
Enviando : ATH	# Desligado
Recebendo : ATH	# Eco
Recebendo : OK	# Resposta

Tabela 9 – Comandos AT para discagem (OLIVEIRA, 2009)

### 8.2.2 Sistema Java do TC65

A linguagem Java é mundialmente conhecida pela sua capacidade de ser multiplataforma onde os aplicativos são executados através de uma máquina virtual que roda entre o sistema operacional e a aplicação. O compilador Java gera um *bytecode* que é interpretado por uma máquina virtual específica para cada sistema operacional. Existe uma máquina virtual Java para a maioria dos computadores portáteis e telefones móveis atuais, e isto possibilitaram o desenvolvimento do aplicativo utilizando essa linguagem. No caso deste modem a plataforma J2ME é utilizada para as suas implementações.

A máquina virtual Java no TC65 foi implementada para se utilizar todos os recursos nativos e ainda fornecer algumas características que estão disponíveis na API da Siemens. Entre elas estão a interface IMP-NG que fornece a comunicação entre a JVM e a camada TCP/IP e as portas seriais (ASC0/1). Outro recurso importante é o suporte a manipulação de arquivos que esta disponível para geração e armazenamento de conteúdo, além de uma poderosa suíte de Comando AT integrados a JVM, conforme ilustra a Figura 40.

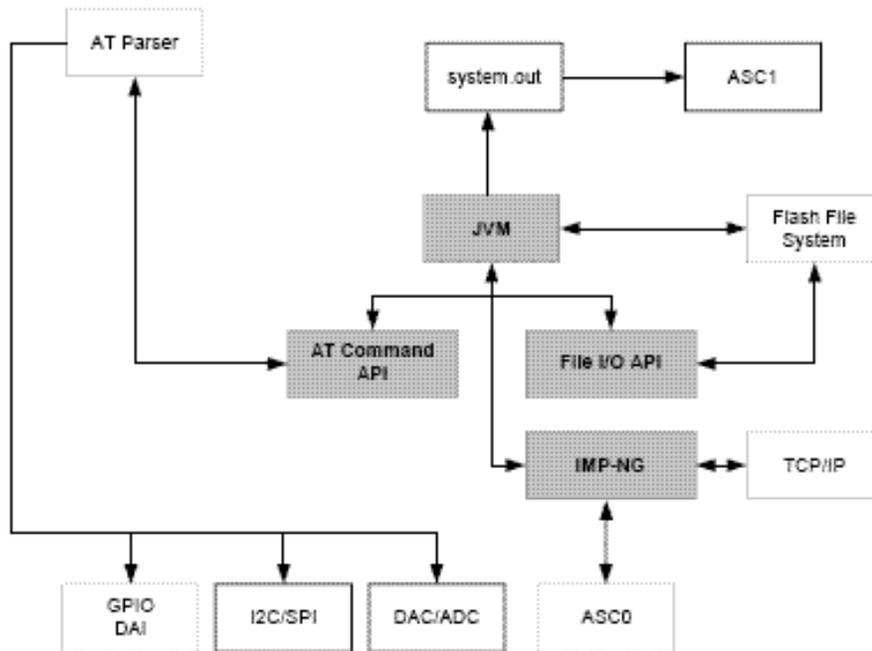


Figura 40 – Relação dos recursos do TC65  
<http://www.tdc.co.uk/index.php?key=tc65>

### 8.2.3 Funcionamento do Modem TC65

Devido a sua complexidade e a aplicação em diversos seguimentos a Siemens desenvolveu duas formas básicas de interface com o core do modem, são elas:

- Usando a Switch completa de comandos AT, desenvolvida pela própria Siemens e incorporada no sistema operacional e utilizada a partir do J2ME;
- Desenvolvendo um *Firmware* em Java (J2ME) para esta plataforma usando como camada de interface a própria camada de comandos AT, mas agora via Java ou usando as bibliotecas nativas do J2ME e recompiladas pela Siemens para funcionarem com o TC65.

### 8.2.4 Funcionamento Via Comandos AT

Será demonstrado a seguir, para exemplificar o funcionamento do modem via comandos AT, para uma aplicação qualquer, o envio de um pacote TCP via rede GPRS.

Usando a API de Comandos AT do modulo TC65, é seqüenciado a seguir na Tabela 10 os comandos para abrir um *socket client* TCP para envio e recepção de pacotes. É conveniente citar que é o módulo o cliente que abre o objeto TCP com o servidor.

Enviando	: AT^SISS=0,svrType,socket	#Serviço do Tipo Socket TCP
Recebendo:	AT^SISS=0,svrType,socket	#Eco
Recebendo:	OK	#Resposta
Enviando	: AT^SISS=0,alphabet,1	#Define tipo de dado (ASCII)
Recebendo:	AT^SISS=0,alphabet,1	#Eco
Recebendo:	OK	#Resposta
Enviando	: AT^SISS=0,tcpMR,15	#Número de retransmissões
Recebendo:	AT^SISS=0, tcpMR,15	#Eco
Recebendo:	OK	#Resposta
Enviando	: AT^SISS=0,tcpOT,3000	#TimeOut para receber enviar

Tabela 10 – Comandos para ativar o cliente TCP (OLIVEIRA, 2009)

O comando AT^SISS=0, utilizando o parâmetro de conexão igual a zero, indica que o tipo de conexão é um cliente TCP. Após a execução deste comando o modem se encontra pronto para iniciar o envio e recebimento de pacotes TCP com o servidor e porta especificados. Todos os dados que forem enviados para a serial será transmitido para o servidor TCP, e vice-versa.

O exemplo de código acima demonstra como um controlador (um microcontrolador qualquer que possua porta serial) pode usar dos comandos AT do modem para transmitir e receber informações de controle. Não obstante, não é só isso, pois a conexão necessita de uma intensa interação para controlar se a rede está no ar, se o pacote realmente foi transmitido sem falhas, ou seja, de comandos AT de verificação e segurança para manter a boa qualidade da conexão.

## CAPÍTULO 9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES FUTURAS

O presente projeto possibilitou formar uma base teórica, através da investigação da constituição e características de funcionamento dos semáforos, para o desenvolvimento e a implementação de um Sistema de Controle e Automação Semafórico utilizando tecnologia sem fio. Foi proposto um programa para o *Controle de Tráfego Atuado* e proposto também a tecnologia de comunicação GPRS para a interligação em tempo real dos controladores com a *Central de Tráfego*, através do elemento intermediador *Módulo TC 65*.

O que diferencia uma solução de outra é a complexidade ou a simplicidade, que é inerente aos objetivos e a tecnologia disponível para alcançá-la. O teste e a validação do programa proposto com a utilização do Módulo TC65 foi impossibilitada pela falta deste. Mas a eficácia do programa foi atestada, carregando-se o mesmo em um microcontrolador da família PIC, onde LEDs constituíam os grupos focais e optoacopladores eram os detectores. Uma maquete mais elaborada pode ser construída, e até uma simulação mais real com laços detectores.

O programa proposto constitui uma pequena parte do sistema. O objetivo final almeja o desenvolvimento de um software de gerencia, de baixo custo, de preferência de código livre, de interface amigável, e em linguagem orientada a objetos. Este programa seria capaz de armazenar dados dos controladores, programar, reprogramar, alertar defeitos nos semáforos para a manutenção rápida, gerar automaticamente relatórios diários gerenciais de defeitos e do tráfego nas vias, armazenar cadastro de operadores e senhas e operações realizadas, entre outras funcionalidades que iriam transformar a operação dos semáforos da cidade numa tarefa simples, rápida e segura, reduzir o custo e o tempo de deslocamentos para manutenção, atender às mais específicas necessidades do trânsito na operação diária ou em emergências, tais como: incêndios, acidentes de trânsito, enchentes ou, ainda, operações para eventos especiais, como: jogos de futebol, desfiles, obras no sistema viário, shows, etc., baixar o custo de implantação, tudo é feito remotamente, imediatamente à decisão.

A grande vantagem da tecnologia GPRS é que, além de vencer a limitação que existe devido à distância entre os controladores e a central, ela injeta as informações de controle na rede mundial de computadores como pacotes de dados que ficam sujeitos aos mesmos protocolos e camadas que compõe a rede de estrutura da internet, diferenciando apenas pela *camada física* e de *enlace*. As informações são captadas, tratadas e processadas por servidores remotos rodando sistemas supervisórios. A desvantagem é que, como as informações trafegam na grande rede, qualquer pessoa pode ter acesso ao sistema caso seja burlada a segurança.

Como complemento ou para trabalhos futuros, a proposta é o desenvolvimento de uma aplicação para monitorar, alterar parâmetros e planos da rotina de execução do microcontrolador utilizando efetivamente a rede GPRS com o Módulo TC65 e mostrar os resultados.

## REFERÊNCIAS

CTB Código de Trânsito Brasileiro

DENATRAN-CET – Manual de Semáforos - Serviços de Engenharia, Vol. 4, 2nd. Brasília - Brasil, 1984;

Manuais da SEMAFÓRICA STTP, 2007;

KELL, J. H. e I. J. FULLERTON (1991) Manual of Traffic Signal Design. Second Edition. Institute of Transportation Engineers. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA;

HOFFMANN, Diego F., DE SOUZA, Marcelo; “Projeto de um controlador de tráfego urbano para gerenciamento de grupos semafóricos”, Trabalho de conclusão de curso, UFPR, 2005;

EULER, G. W. (1987) Issues in Real Time Control of Traffic. Workshop Report. In: Management and Control of Urban Traffic Systems. 4<sup>th</sup> Engineering Foundation Conference, June 14-19;

ROCHESTER, T. A. (1991) All Purpose Trunk Roads MOVA System of Traffic Control at Signals. Vol 8 - Traffic signs and lighting, Section 1 - Traffic control equipment;

KRONBORG, P. (1992) MOVA and LHOVRA Traffic Signal Control for Isolated Intersections. Publication 1992;

SCOOT-UTC (2001) SCOOT Urban Traffic Control Website. Disponível em: <http://www.scoot-utc.com/> , acessado em 13 de novembro de 2009;

LOWRIE, P. R. (1992) SCATS - Sydney Co-Ordinated Adaptive Traffic System. A Traffic Responsive Method of Controlling Urban Traffic. RTA, Australia;

LUK, J. Y. K., A. G. SIMS e P. R. LOWRIE (1982) SCATS - Application and Field Comparison with a Transyt Optimised Fixed Time System;

ROBERTSON, (1969) TRANSYT: A traffic network study tool. Rep. LR 253, Road Res. Lab., London;

TRANSYT-7F 1988] TRANSYT-7F (1988). *TRANSYT-7F User's Manual*. Transportation Research Center, University of Florida;

SOUZA, Fernando de, “Controlador de Semáforo, controlado e reconfigurado através de sistema sem fio”, UP/NCET, 2008;

BAZZAN, Ana L. C., “ Sistemas Inteligentes de Transporte e Tráfego: uma Abordagem de Tecnologia da Informação”, acessado em 12 de fevereiro de 2010

<http://www.de9.ime.eb.br/~sousamaf/cd/pdf/arq0239.pdf>;

SVERZUT, José Umberto, “Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: Evolução a caminho da Terceira Geração. Porto Alegre, 2005;

OLIVEIRA, Gesuênio Cosme de, “Sistema de Supervisão Remoto para Grupos Geradores empregando tecnologia GPRS”, UFCG, 2009;

SIEMENS, 2005. Disponível em:

[http://www.siemens.com.br/templates/produto.aspx?channel=6650&channel\\_pri\\_nivel=7700&produto=16250](http://www.siemens.com.br/templates/produto.aspx?channel=6650&channel_pri_nivel=7700&produto=16250), acessado em 20 de janeiro de 2010;

GSM World. Disponível em: <http://www.gsmworld.com/>. Acesso em: 16 de dezembro de 2009;

WirelessBR. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/>. Acesso em: 16 de dezembro de 2009;

Samanji, A. - General Packet Radio Service (GPRS). Disponível em:

<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/45/21535/00997970.pdf>. Acessado em: 23 de dezembro de 2010;

Dias, K. L.; Fontes, W. P. – Desenvolvimento de Aplicações Para Dispositivos Móveis utilizando a plataforma J2ME;

Samanji, A. - General Packet Radio Service (GPRS). Disponível em:

<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/45/21535/00997970.pdf>. Acessado em: 8 de janeiro de 2010;

Java 2 Platform Micro Edition (J2ME) Technology for Creating Mobile Devices. White Paper. Sun, 2000. Disponível em <http://www.java.sun.com/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2010;

KRAUAS JR, Werner, orientador de mestrado, “Comunicação em Banda Larga para Sistemas de Controle de Tráfego Urbano”, Proposta de Dissertação de Mestrado, 2009;

VILANOVA, Luís Molist, “O Controle dos Semáforos em Tempo Real no Brasil”

[http://w3.ualg.pt/~mgameiro/Aulas\\_2006\\_2007/transportes/Paper\\_semaforos.pdf](http://w3.ualg.pt/~mgameiro/Aulas_2006_2007/transportes/Paper_semaforos.pdf), acessado em 25 de novembro de 2009;

GUERRA, José Antonio Telles, “Controlador de Semáforos Atuado pelo Tráfego”

<http://cetsp1.cetsp.com.br/pdfs/nt/NT017.pdf>, acessado em 05 de dezembro de 2009;

BONETTI, Wagner, PIETRANTONIO, Hugo. “Utilização de Semáforos Atuados pelo Tráfego” . Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2001

[http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/uso\\_e\\_parametrizacao\\_de\\_semaforos\\_atuados\\_%20pelo\\_trafego.pdf](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/uso_e_parametrizacao_de_semaforos_atuados_%20pelo_trafego.pdf), acessado em 20 de novembro de 2009;

GEISS, Lenise Cristina, AMARAL, Jeferson Botelho do, “Implementação de Semáforos Distribuídos usando Comunicação de Grupo”

<http://www.inf.ufrgs.br/gppd/disc/cmp134/trabs/T2/981/semaforos.html#8%20BIBLIOGRAFIA> acessado em 23 fevereiro de 2010;

YUKI, Helio Saburo, “Projeto de Controlador Inteligente para Semáforo”, Universidade Estadual de Campinas, 2008

[http://www.fem.unicamp.br/~lotavio/TGs/2008\\_ControladorInteligenteParaSem%C3%A1foro\\_TG\\_H%C3%A9lioYuki.pdf](http://www.fem.unicamp.br/~lotavio/TGs/2008_ControladorInteligenteParaSem%C3%A1foro_TG_H%C3%A9lioYuki.pdf), acessado em 10 de novembro de 2009;

CERVANTES, Silvia Galvão de Souza, “Um Algoritmo Descentralizado para Controle de Tráfego Urbano em Tempo Real”, UFSC, 2005

<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEEL1031.pdf>, acessado em 19 de fevereiro de 2010;