



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

Faculdade de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Sistema Digital de Medição Direta da Flecha em Linhas de Transmissão com o Uso de Sensores Ópticos e Comunicação Via Tecnologia GPRS

Jucléia Filomena Barbosa Severino

Juiz de Fora, MG – Brasil

Abril de 2006

**SISTEMA DIGITAL DE MEDIÇÃO DIRETA DA FLECHA EM LINHAS DE
TRANSMISSÃO COM O USO DE SENSORES ÓPTICOS E COMUNICAÇÃO
VIA TECNOLOGIA GPRS.**

Jucléa Filomena Barbosa Severino

Dissertação submetida ao corpo docente da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica (M.E.E)

Banca Examinadora:

Prof. Carlos Augusto Duque, D. Eng. - UFJF
(Orientador)

Prof. Hélio Francisco da Silva, D.Eng. - UFJF
(Orientador)

Prof. Márcio de Pinho Vinagre, D.Eng - UFJF

Prof. Jacques Szczupak, Ph.D. – PUC/RJ

Juiz de Fora, MG - Brasil

Abril de 2006

*À minha família, mas em especial à
Minha mãe que não poupou
Esforços em prol de minha educação.*

Agradecimentos

Ao Senhor meu Deus, a quem sempre confiei e busquei conforto nos muitos momentos de dúvidas.

Aos professores Carlos Augusto Duque e Hélio Francisco da Silva pela orientação, durante todo o trabalho, que foi fundamental para o meu aperfeiçoamento pessoal e profissional.

Ao professor Márcio de Pinho Vinagre pelas valiosas contribuições a este trabalho.

Ao técnico Ricardo Carvalho de Oliveira, amigo em situações difíceis e também grande colaborador do projeto, assim como também os Engenheiros Ângelo Santiago Rossetti, Júlio César da Silva e Thiago Magaldi.

A todo corpo docente do curso de graduação e mestrado em Engenharia Elétrica da UFJF em especial ao professor Pedro Gomes Barbosa por seu incentivo e observações ao trabalho.

Ao LABSEL pelo suporte operacional. À UFJF pela formação e a CAPES e CEMIG pelo apoio financeiro.

A todos os colegas e amigos conquistados durante a longa passagem pela instituição.

A minha família, incentivadora e companheira, que sempre acreditou em mim, fortalecendo minha autoconfiança, que por diversas vezes encontravam-se abalada.

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da UFJF como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica (M.E.E.).

SISTEMA DIGITAL DE MEDIÇÃO DIRETA DA FLECHA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO COM O USO DE SENSORES ÓPTICOS E COMUNICAÇÃO VIA TECNOLOGIA GPRS.

Jucléa Filomena Barbosa Severino

Abril de 2006

Orientadores: Carlos Augusto Duque

Hélio Francisco da Silva

Área de Concentração: Instrumentação e Controle

A necessidade de se aumentar o transporte de energia nas já instaladas linhas de transmissão, sem que para isso tenha-se que modificar as mesmas, tem motivado a elaboração de diversos estudos relativos a ampacidade de LTs.

Com o objetivo de obedecer aos critérios estabelecidos em normas de segurança, as concessionárias de energia adotavam, e muitas vezes ainda adotam, os estudos estatísticos já elaborados sobre o afundamento dos cabos quanto da passagem de corrente por eles. Estes estudos, entretanto, mesmo sendo relativamente eficientes em algumas situações climáticas, não representam o valor real da Flecha e, portanto, superestimam o valor do afundamento, prejudicando o aumento do fluxo de potência. Desta maneira tem-se investido em monitoramento em tempo real para estabelecer novos limites de carregamento das LTs.

A presente dissertação apresenta uma nova proposta de monitoramento em tempo real de LTs. O sistema proposto baseia-se na emissão de um feixe de laser alocado sobre a LT e recepção do mesmo através de sensores ópticos instalados em um painel sensor localizado em uma das torres da linha.

O processamento da informação colhida pelo sistema proposto será feito em uma unidade remota, sendo a informação transportada até ela com o uso da tecnologia de comunicação GPRS.

Abstract of Thesis presented to the Master Program in Electrical Engineering of UFJF as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering (M.E.E)

DIGITAL SYSTEM OF DIRECT MENSURATION OF THE ARROW IN LINES OF TRANSMISSION WITH THE USE OF SENSOR OPTICAL AND COMMUNICATION THROUGH TECHNOLOGY GPRS.

Jucléa Filomena Barbosa Severino

Abril, 2006

Supervisor: Carlos Augusto Duque

Hélio Francisco da Silva

Program Area: Instrumentation and Control

The necessity to increase the transport of energy in the installed transmission lines, without modifying them, it has motivated the elaborations of several studies of the ampacity of TLs.

Aiming to fulfill the approaches established in safety norms, energy concessionaries have adapted previous well-known statistical studies of cable's sag. However those studies don't represent the real value of the sag and, therefore they overestimate the value of the sag harming the flow potency. That being so, there has been investment in real time monitoring to establish new limits of shipment of TLs.

This dissertation presents a new proposition of a real time monitor of TL. The proposed system is based on the emission of a laser allocated on the TL and reception of the same through sensors optical installed in a sensor panel located in one of the towers of the line.

The processing of the information collected through that system will be made in a remote unit and information will be driven to it using the GPRS communication technology.

Sumário

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Simbologia	xi
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 - Considerações Iniciais	1
1.2 - Objetivos da Dissertação	2
1.3 - Motivações do Trabalho	3
1.4 – Estrutura	3
Capítulo 2 - O Estado da Arte de Sistemas de Medição de Catenária de LTs	5
2.1 - Histórico dos Sistemas de Medição	6
2.2 - Modelagem Matemática	9
2.3 - Conclusões do Capítulo	14
Capítulo 3 - Sistema Óptico	15
3.1 - Tecnologia e Funcionamento de Sensores Ópticos.....	16
3.1.1 – Fotodiodos.....	16
3.1.2 – Características Elétricas do Fotodiodo	18
3.1.3 - Modos de Operação.....	20
3.2 - O Painel Sensor da Flecha.....	22
3.3 – O Circuito Eletrônico de Medição.....	23
3.4 – Conclusões do Capítulo	26
Capítulo 4 - Implementação do Sistema Óptico	27
4.1 - Implementação do Canhão Laser.....	27
4.2 - Implementação do Painel Sensor – Estrutura e Circuito Eletrônico.....	28
4.2.1 – Implementação da Estrutura Sensora	29
4.2.2 – Implementação do Circuito Eletrônico	31
4.3 – Implementação da Plataformas de Transmissão e Recepção de Dados.....	33
4.3.1 – Programas da Plataforma de Transmissão de Dados.....	33
4.3.2 – Programas da Plataforma de Recepção de Dados	34
4.4 – Resultados da Implementação do Sistema Óptico	36
4.5 - Conclusões do Capítulo	40

Capítulo 5 - Sistema GPRS	42
5.1 – O Sistema Celular GSM	42
5.1.1 - Arquitetura do Sistema GSM	44
5.2 - GPRS – General Packet Radio System	48
5.2.1 - Arquitetura do Sistema GPRS.....	50
5.2.2 - Pilha de Protocolos do GPRS.....	52
5.2.3 - Operações do GPRS.....	54
5.3 - Conclusões do Capítulo	58
Capítulo 6 - Implementação do Sistema GPRS	59
6.1 – O Modem GPRS Modelo GM29.....	59
6.2 - Comandos AT	63
6.3 - O Protótipo do Servidor.....	66
6.4 – Conclusões do Capítulo	68
Capítulo 7 – Conclusões e Trabalhos Futuros	69
7.1 – Conclusões Finais.....	69
7.2 – Trabalhos Futuros.....	70
Referência Bibliográfica	71
Anexo A – Códigos dos Programas	74
A.1 – Programação do DSP	74
A.2 – Programação do Modem GPRS	81
Anexo B – Protocolos de Comunicação TCP/IP	89
B.1 – Protocolo TCP	91
B.2 – Protocolo IP	95

Lista de Figuras

<i>Figura</i>	<i>Descrição</i>	<i>Pag</i>
Figura 2.1	Esquema de Instalação e Fotografias do Sistema Power Donut.....	6
Figura 2.2	Ilustração da Célula de Carga e Unidade Principal do Sistema CAT-1.	7
Figura 2.3	Sistema SONAR Instalado na LT Neves da CEMIG.....	8
Figura 2.4	Catenária de um Linha de Transmissão.....	9
Figura 2.5	Forças que Atuam na Catenária de uma LT para Efeito de Cálculo.....	10
Figura 2.6	Mudança de Posição na Referência do Sistema.....	14
Figura 3.1	Esquema da Proposta de Medição Direta da Flecha de LTs.....	15
Figura 3.2	Construção do Fotodiodo.....	17
Figura 3.3	Curvas Características para Fotodiodos.....	17
Figura 3.4	Modelo Equivalente do Fotodiodo.....	18
Figura 3.5	Modo Fotovoltaico de Operação do Fotodiodo.....	20
Figura 3.6	Modo Fotocondutivo de Operação do Fotodiodo.....	21
Figura 3.7	A Parábola.....	22
Figura 3.8	O Multiplexador Analógico.....	24
Figura 3.9	Configuração Comparadora do Amp-op.....	24
Figura 3.10	Configuração Conversor Corrente-Tensão do Amp-op.....	25
Figura 3.11	Configuração Amplificador Não-Inversor.....	26
Figura 4.1	Esquema do Primeiro Painel Sensor Implementado.....	28
Figura 4.2	Vistas Frontal e Superior da estrutura Sensora Parabólica.....	29
Figura 4.3	Filtro Solar (a) e Esquema de Funcionamento do Filtro (b).....	30
Figura 4.4	Fotografia da estrutura Sensora do Protótipo Utilizado no Projeto.....	30
Figura 4.5	Diagrama de Blocos do Circuito Eletrônico de Medição.....	31
Figura 4.6	Modo de Operação Fotovoltaico com mais um Estágio de Amplificação Incorporado.....	32
Figura 4.7	Protocolo de Comunicação entre as Plataformas de Transmissão e Recepção de Dados.....	34
Figura 4.8	Diagrama de Blocos do Programa na Linguagem Gráfica LabVIEW..	35

Figura 4.9	Fluxograma do Bloco de Filtragem.....	35
Figura 4.10	Dados do Método de medição Colhidos em Laboratório.....	36
Figura 4.11	Instalação Prática do Painel Sensor.....	37
Figura 4.12	Canhão Laser Implementado no Campo de Trabalho.....	38
Figura 4.13	Gráfico da Ação do Vento Processo de Medição.....	38
Figura 4.14	Monitoramento do Processo sem Adição de Corrente na LT.....	39
Figura 4.15	Valores Colhidos no Processo de Medição com Aplicação de Corrente no Cabo da LT.....	40
Figura 5.1	Arquitetura do Sistema GSM.....	44
Figura 5.2	Subsistema do Assinante.....	44
Figura 5.3	Visão Geral da Rede GPRS.....	50
Figura 5.4	Arquitetura da Rede GRPS.....	51
Figura 5.5	Estrutura e Camadas de Protocolos do GPRS.....	52
Figura 5.6	Diagrama de estado do GPRS.....	55
Figura 5.7	Procedimento de Anexação do GPRS.....	56
Figura 5.8	Ativação do Contexto PDP.....	57
Figura 6.1	Camadas de Protocolos da Estação Remota.....	60
Figura 6.2	Modem GM29 da Sony-Ericsson.....	61
Figura 6.3	Sistema de Medição da Flecha da LT – Comunicação GPRS.....	62
Figura 6.4	Conexão entre o Sistema de Medição e o Modem GPRS.....	62
Figura 6.5	Conexão entre a Placa do Sistema de Medição com o Modem GPRS.	63
Figura 6.6	Abertura de Conexões e Leitura de 15 Caracteres.....	67
Figura 6.7	Envio de Informação do Servidor para o Cliente.....	68
Figura B.1	As Camadas do Protocolo TCP/IP.....	89

Lista de Tabelas

<i>Tabela</i>	<i>Descrição</i>	<i>Pag</i>
Tabela 4.1	Especificações do Laser Utilizado.....	279
Tabela 4.2	Características do Fotodiodo SFH 213.....	31
Tabela 6.1	Descrição dos Pinos da Interface RS232 do Modem GM29.....	59
Tabela 6.2	Comandos de Inicialização e Configuração do Modem GM29.....	62
Tabela 6.3	Comandos GPRS-Dados do Modem.....	62
Tabela 6.4	Comandos TCP/IP do Modem GM29.....	63
Tabela B.1	Endereços de Porta Padrão.....	90
Tabela B.2	Cabeçalho TCP.....	91
Tabela B.3	Cabeçalho IP.....	93

Simbologia

1 – Símbolos Adotados em Expressões Matemáticas

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>
α	Ângulo formado pela força tangente da tração e a horizontal
μ	Mobilidade dos elétrons a 300k
ϵ_0	Permeabilidade do vácuo
ϵ_{si}	Constante dielétrica do silício
ρ_{si}	Resistividade do silício
ρ_{sub}	Resistividade do substrato
a	Vão da linha de transmissão
A	Área difusa da junção
C_f	Capacitância de junção
d	Distância
F	Foco da parábola
H	Tensão mecânica horizontal na linha
h	Desnível da linha de transmissão
I_F	Fotocorrente
p	Peso do condutor
P	Ponto genérico da parábola
P_L	Potência Luminosa
p_p	Parâmetro da parábola que indica a distância entre o foco e a reta diretriz
r	Reta diretriz
R_λ	Sensibilidade do fotodiodo a luz
R_c	Resistência do contato
R_s	Resistência série
s	Segmento do condutor do vértice da linha até um ponto M qualquer
T	Tração ou reação da estrutura ao sistema

V_a	Tensão de polarização
V_{bi}	Tensão interna do fotodiodo
W_d	Largura da junção
W_s	Espessura do substrato
x_0	Abcissa do vértice da parábola
x_a	Distância entre a torre A e a origem do sistema de coordenadas
x_{ac}	Distância entre a torre A e o ponto crítico da catenária
$x_{a-sensor}$	Distância entre a torre A e o sensor
x_b	Distância entre a torre B e a origem do sistema de coordenadas
x_{sensor}	Abcissa do sensor
y_0	Ordenada do vértice da parábola
y_0	Ordenada do vértice da parábola
y_a	Altura da torre do ponto A em relação a origem do sistema de coordenadas
y_{ac}	Distância entre a torre do ponto A e o solo
y_b	Altura da torre do ponto B em relação a origem do sistema de coordenadas
$y_{cabo-solo}$	Altura entre o ponto crítico e o solo
y_{sensor}	Valor medido pelos sensores ópticos
$y_{sensor-ref}$	Ordenada de referência do sensor
y_{solo}	Distância entre o solo e a origem do sistema de coordenadas

2 - Acrônimos

<i>Sigla</i>	<i>Significado</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Center
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BSSAP	Base Station Subsystem Application Particular
BSSGP	Base Subsystem GPRS Protocol
BTS	Base Transceiver System
CDMA	Code Division Multiple Access

CEPT	Conference of European Post and Telecommunications
CSD	Circuit Switched Data
CTS	Clear to Send
DTR	Data Terminal Ready
EIR	Equipment Identity Register
ETSI	European Telecommunication Standard Institute
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequency Modulation
FR	Frame Relay
FTP	File Transfer Protocol
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMM/SM	GPRS Mobility Management and Session Management
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GSM ₁	Group Spécial Móbile
GSN	GPRS Support Nodes
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HDLC	High Level Data Control
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
IMEI	International Móbile Station Equipment Identity
IMSI	International Móbile Subscriber Identity
IP	Internet Protocol
IRC	Internet Relay Chat
IS	Interim Standard
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Standards Organization
Kbps	Kilobits per Second
LLC	Logical Link Control
LT	Linha de Transmissão
MAC	Medium Access Control

MAP	Mobile Application Particular
MS	Móbile Station
MSC	Móbile Service Switching Center
NB	Norma Brasileira
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
OMC	Operation and Maintain Center
OSI	Open System Interconnection
PCU	Packet Control Unit
PDN	Packet Data Network
PDP	Packet Data Protocol
PDU	Packet Data Units
PLMN	Public Land Modile Network
PTP	Point-to-Point
RD	Received Data
RI	Ring Indication
RLC	Radio Link Control
RS	Recommended Standard
RTS	Request to Sends
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SMG	Special Mobile Groups
SMS	Short Message Service
SMSC	Short Message Service Center
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNDCP	Subnetwork Dependent Convergence Protocol
SS#7	Signaling System Number 7
TCP	Transmission Control Protocol
TD	Transmission Data
TDMA	Time Division Multiple Access
TLLI	Temporary logical Link Identity
TRAU	Transcoder and Rate Adapter Unit
UDP	User Datagram Protocol
VLR	Visitor Location Register

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Considerações Iniciais

É sabido que a potência transportada por uma linha de transmissão é diretamente proporcional à tensão da linha e também à corrente que nela circula. Desta maneira, para que seja possível fazer um incremento do fluxo de potência sem a necessidade de modificação da linha deve-se aumentar a corrente passante na mesma.

O aumento da corrente que flui pela linha, por sua vez, faz com que se aumente a temperatura do condutor que ao dilatar provoca o afundamento da linha. Este afundamento, também conhecido como *Sag* pode fazer com que não sejam obedecidas as distâncias mínimas¹ de segurança recomendadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, através da NBR-5244 [1] que regula os projetos de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Outro problema que pode ser provocado pelo aumento da temperatura do condutor é o envelhecimento prematuro do próprio condutor e também de peças e acessórios a ele associados.

Desta maneira é proposto no presente trabalho o monitoramento em tempo real das condições operativas das LTs aéreas com o objetivo de observar a evolução da altura cabo-solo que é uma variável crítica para a operação das linhas de transmissão.

Neste primeiro capítulo são apresentados os objetivos e motivações da dissertação, assim como também a estruturação da mesma.

¹ São os afastamentos mínimos recomendados do condutor e seus acessórios energizados a quaisquer partes, energizadas ou não da própria linha, do terreno ou de obstáculos atravessados.

1.2 - Objetivos da Dissertação

Com o objetivo de solucionar um dos dois problemas expostos nas considerações iniciais, problemas estes que podem surgir quando ocorre o aumento da potência transportada pela linha, propõe-se que seja feito um monitoramento, em tempo real, da flecha da linha de transmissão e a partir desta, caso seja importante para projetos futuros, estimar a temperatura do condutor.

Propõe-se nesta dissertação de mestrado o monitoramento indireto do ponto crítico da flecha da linha de transmissão. Este monitoramento é considerado indireto, pois o ponto crítico será estimado a partir da localização de um ponto pré-determinado mais próximo da torre de transmissão, onde serão colocados sensores ópticos e um circuito digital de processamento das informações coletadas.

As informações do monitoramento serão transmitidas, em tempo real, através do sistema de telefonia celular via tecnologia GPRS (General Packet Radio Service), para uma central do monitoramento. Nesta central serão armazenados e disponibilizados os dados para as equipes responsáveis pelo despacho de energia, auxiliando-as na tomada de decisões a respeito do carregamento das linhas de transmissão. Assim, os desligamentos indesejáveis e cortes de consumidores terão uma melhor avaliação de sua real necessidade.

Na configuração idealizada do sistema de medição tem-se uma unidade de processamento e transmissão local da informação colhida da linha de transmissão em questão. Esta unidade, que faz parte do módulo sensor, é composta pelo dispositivo sensor, o circuito multiplexador, o circuito processador e ainda o transmissor.

1.3 - Motivações do Trabalho

A dissertação foi motivada pelo grande interesse que se tem em transportar uma maior quantidade de energia sem que, para isso, tenha-se que construir novas linhas de transmissão. Além disto, o projeto visa elaborar um sistema que monitore linhas já existentes a fim de que obedecam às normas vigentes relativas aos projetos de linhas aéreas de transmissão.

Outro motivo que levou à elaboração do trabalho é a necessidade de documentar e validar alguns esforços já realizados em estudos a respeito do monitoramento de linhas de transmissão em tempo real.

O presente trabalho é também parte de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL-CEMIG que vem sendo executado por pesquisadores da UFJF através do convênio: 45700006747.

1.4 - Estrutura

O trabalho está dividido em sete capítulos e dois Anexos cujas descrições são resumidas nos parágrafos posteriores.

O Segundo Capítulo apresenta o Estado da Arte de Sistemas de Medição de Catenária de Linhas de Transmissão. Neste capítulo é abordado o histórico de alguns sistemas de medição já propostos, assim como a modelagem matemática da curva formada pelas linhas aéreas de transmissão.

Já no Terceiro Capítulo, intitulado Sistema Óptico, é mostrado um estudo teórico sobre sensores ópticos, mais precisamente dos fotodiodos, além da idealização do sensor da flecha proposto, juntamente com seus circuitos de medição e transmissão.

O Quarto Capítulo apresenta a implementação propriamente dita do sistema óptico de medição. Neste capítulo já são encontradas e apresentadas algumas conclusões parciais relativas ao objetivo do trabalho proposto.

No Quinto Capítulo é apresentado o conceito do Sistema GPRS que será usado para a implementação do canal de comunicação do protótipo proposto na dissertação.

Tem-se no Sexto Capítulo a implementação prática do canal de comunicações via GPRS, assim como a aplicação elaborada cliente-servidor.

No Sétimo Capítulo são apresentadas as conclusões finais do trabalho e também a proposição de trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

Além dos sete capítulos sumariamente apresentados acima é mostrado também neste trabalho o anexo A que está dividido em duas partes. Na primeira parte deste anexo são apresentados os códigos-fonte em Assembly para processamento das informações de monitoramento. Já a segunda parte contém o código de programação do modem utilizado na implementação do canal de comunicação GPRS.

No segundo anexo fez-se um breve comentário sobre os protocolos de comunicação TCP/IP que foram utilizados na implementação da comunicação do sistema proposto.

Capítulo 2

O Estado da Arte da Medição de Catenária de LTs

A preocupação com os processos de ampliação da ampacidade² de linhas de transmissão vem desde a década de 80 quando se buscava introduzir critérios de carregamento elétrico em estado permanente obedecendo a NB-182 de 1979 (hoje NBR 5422) para estabelecimento das distâncias mínimas de segurança.

Entretanto, ultimamente, a correta avaliação dos limites de carregamento das linhas de transmissão, assim como o aumento destes, vem sendo objeto de discussão por parte das empresas do setor elétrico já que elas objetivam um melhor aproveitamento dos sistemas em operação, não só em situações normais como em contingência.

Desta maneira já foram elaborados diversos trabalhos a respeito da situação onde se busca aumentar a potência transportada através de uma LT sem violar às normas vigentes no setor elétrico. Algumas técnicas estudadas estão, resumidamente, descritas no tópico Histórico dos Sistemas de Medição.

² Ampacidade é um termo utilizado nas referências técnicas. Ele é oriundo da palavra “ampacity” da língua inglesa a qual está relacionada à capacidade da linha de transmissão de transportar energia elétrica diante do aquecimento dos seus condutores sujeito à corrente elétrica associada a esta carga e ao meio atravessado por esta linha.

2.1 - Histórico dos Sistemas de Medição

Uma análise comparativa entre os resultados obtidos através da utilização de critérios estimativos de cálculo de ampacidade de linhas de transmissão com modelos que utilizam termovisores na coleta da temperatura do condutor é apresentada em [2].

Os autores do artigo em questão reconhecem a validade dos critérios de cálculo da ampacidade, mas ressaltam, entretanto, a importância de se refinar o processo fazendo ajustes no valor da temperatura do condutor usando termovisores de última geração. Conforme apresentado, os erros introduzidos nos cálculos da temperatura do condutor pelos critérios estimativos são justamente devidos à utilização de parâmetros constantes, como por exemplo, a velocidade do vento, quando, na maioria das vezes não se tem este parâmetro constante.

Com este artigo pode-se perceber que, aparentemente, a melhor alternativa para se fazer a análise da temperatura média do condutor de uma linha de transmissão é a medição direta da mesma. Entretanto como esta medida é ainda muito difícil de ser conseguida, devido a seu alto custo, buscou-se a análise de outras técnicas que já foram estudadas e em alguns casos já estão sendo utilizadas no monitoramento de linhas de transmissão.

Entre as técnicas que já estão sendo utilizadas no monitoramento de LTs pode-se citar a técnica que utiliza um dispositivo conhecido como “Power Donut” [3], cujo esquema de instalação e fotografia são mostrados na Figura 2.1.

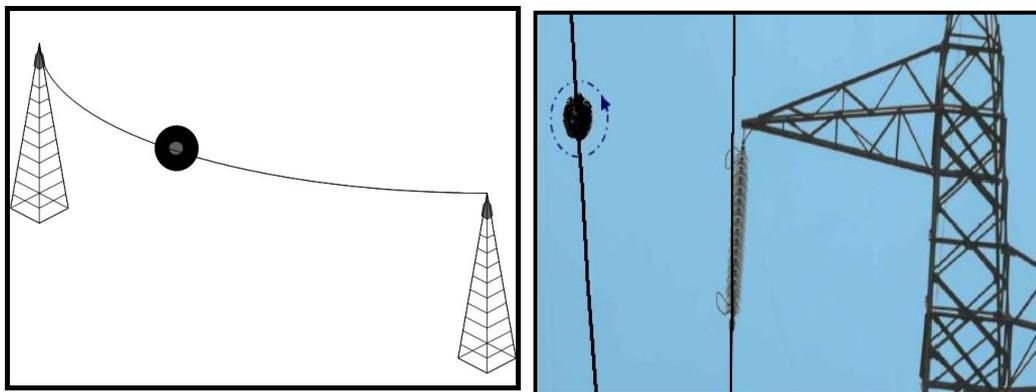


Figura 2.1 – Esquema de Instalação e Fotografias do Sistema Power Donut [3]

O Power Donut é um processo de medição direta da temperatura da LT. Ele utiliza um sensor de temperatura e outro de corrente que juntos, coletam as informações da linha. Depois de coletadas, as informações são enviadas, via rádio FM, dos sensores para a estação terrestre e desta até um centro de processamento através de canal dedicado de comunicação, onde se faz a relação entre a temperatura e a flecha da linha de transmissão.

O processo utilizado pelo Power Donut carrega consigo alguns erros característicos já que é influenciado pelas condições climáticas como vento, temperatura ambiente e radiação solar. Entretanto, devido às suas características de tempo reduzido de instalação e baixo custo de operação, o Power Donut já é utilizado por algumas concessionárias de energia elétrica [4].

Outro dispositivo utilizado é o CAT-1 [5] que foi desenvolvido pelo grupo americano Valley e é mostrado na Figura 2.2.



Figura 2.2 – Ilustração da Célula de Carga e Unidade Principal do Sistema CAT-1.

O sistema CAT-1 monitora a tensão mecânica de estiramento do cabo da LT aérea através da inserção de uma célula de carga entre o cabo e o isolador da estrutura de sustentação da linha de transmissão [5]. Com o valor da tensão mecânica chega-se através de equacionamento clássico de linhas de transmissão, ao valor da flecha e da temperatura do condutor.

Além do sensor de carga mostrado, o CAT-1 é composto pelo sistema de comunicação que é dividido em um subsistema de comunicação local, via rádio, e um subsistema de automação que integra os protocolos de comunicação existentes na rede [6] O CAT-1 é um dos dispositivos mais utilizados atualmente, mas tem como desvantagem o

custo elevado tanto na instalação quanto na aquisição do sistema.

Entre os métodos diretos de leitura da temperatura do cabo pode-se destacar o projeto experimental de um sensor de medição remota que se baseia na emissão de raios infravermelhos pelo cabo da linha de transmissão [7]. Entre as vantagens do processo pode ser ressaltada a não necessidade de se colocar o dispositivo na linha, já que o sensor é alocado na torre da LT, porém como desvantagem tem-se o baixo alcance do mesmo, algo em torno de 6 metros apenas.

Na medição direta da flecha encontram-se dispositivos baseados na ação de trenas. Um primeiro dispositivo, mostrado na Figura 2.3, utiliza uma trena eletrônica que mede a distância entre dois obstáculos. Este dispositivo faz parte do sistema SONAR que é composto ainda por um telefone celular acoplado a um modem que fica na estação remota e um sistema computacional que é responsável pela conexão e o processamento de dados.



Figura 2.3 - Sistema SONAR Instalado na LT Neves da CEMIG.

O sistema SONAR é mais preciso que alguns outros dispositivos já mencionados, pois é baseado na medição direta da altura. O seu sistema de comunicação também faz parte de suas vantagens já que oferece a versatilidade da comunicação celular móvel [4].

O segundo dispositivo baseado na ação de trenas foi concebido pela colocação de uma trena ótica a linha de transmissão juntamente com a interface de comunicação via satélite [8], ou seja, este dispositivo tem o mesmo método do primeiro, mudando apenas a forma de comunicação. Como este dispositivo ainda se encontra em fase de teste seus resultados ainda não foram conclusivos.

2.2 - Modelagem Matemática

Uma corrente de elos iguais, ao ser estendida entre dois pontos suficientemente elevados adquire uma forma geométrica característica conhecida como catenária, palavra derivada do latim que significa corrente de elos. As linhas de transmissão, que normalmente são constituídas de cabos, ao serem suspensas entre dois pontos afastados entre si, descrevem curvas semelhantes à curva da catenária. Desta maneira, o estudo simplificado da equação da linha de transmissão baseia-se na equação da catenária que será apresentada nesta seção.

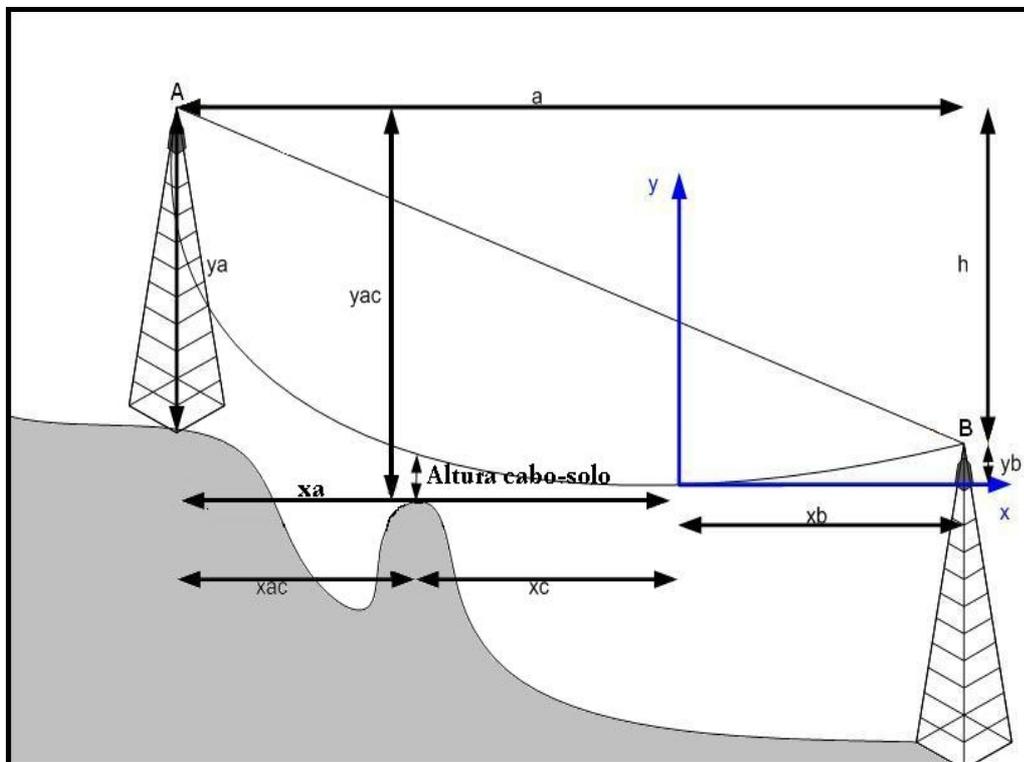


Figura 2.4 - Catenária de uma Linha de Transmissão.

A curva esquematizada na Figura 2.4 descreve o esboço da curva catenária de uma linha de transmissão. O vão, que é a distância entre as duas torres é indicado na figura pela letra **a**.

Aproximando a figura para se obter uma melhor análise dos pontos e elegendo um ponto qualquer da curva, tem-se do vértice da curva a este ponto M um segmento de comprimento ds como pode ser visto na Figura 2.5.

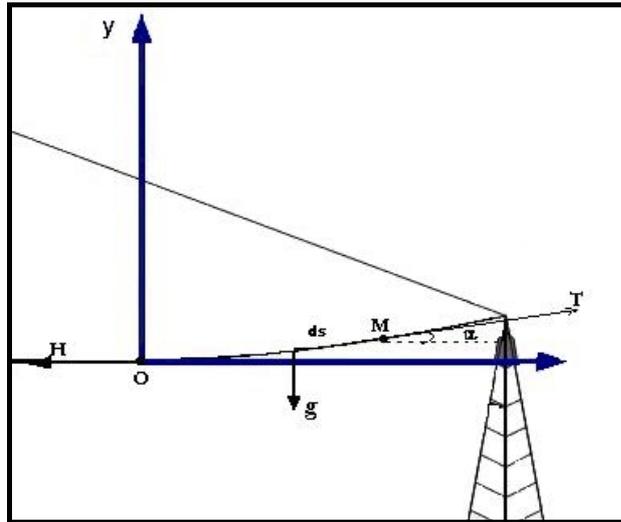


Figura 2.5 – Forças que Atuam na Catenária de uma LT para Efeito de Cálculo.

Considerando -se :

T a força de reação da estrutura ;

H a tensão mecânica horizontal na linha (dado de projeto);

g a aceleração da gravidade;

ds o segmento do condutor do vértice até o ponto M;

α o ângulo formado pela força tangente da tração e a horizontal.

Usando o equilíbrio entre o peso do condutor e a tração exercida sobre ele chega-se, passo-a-passo, a equação da catenária como apresentado na referência [9] e no texto na equação (2.8).

Seguindo a referência utilizada e projetando sobre os eixos OX e OY as forças atuantes na linha tem-se:

$$T \sin \alpha = m_c \cdot ds \cdot g \quad (2.1)$$

onde: m_c é a densidade linear de massa

$$T \cos \alpha = H \quad (2.2)$$

Dividindo a equação (2.1) pela (2.2) teremos a relação trigonométrica do ângulo formado pela força tangente da tração e a horizontal.

$$\operatorname{tg} a = \frac{m_c \cdot g \cdot ds}{H} = \frac{dy}{dx}$$

Chamando a relação encontrada de Z e derivando esta em relação a x tem-se:

$$Z = \frac{m_c \cdot g \cdot s}{H}$$

então,

$$\frac{dZ}{ds} = \frac{m_c \cdot g}{H}$$

Pela regra da cadeia,

$$\begin{aligned} \frac{dZ}{dx} &= \frac{dZ}{ds} \cdot \frac{ds}{dx} \\ ds &= \sqrt{dy^2 + dx^2} \\ ds &= \sqrt{1 + Z^2} \end{aligned}$$

Assim:

$$\frac{dZ}{dx} = Z \sqrt{1 + Z^2}$$

onde chega-se a equação (2.3).

$$\frac{dZ}{\sqrt{1 + Z^2}} = \frac{m_c \cdot g}{H} dx \quad (2.3)$$

Integrando a equação (2.3) chega-se a:

$$\ln(\pm Z + \sqrt{1 + Z^2}) = \pm \frac{m_c \cdot g}{H} x \quad (2.3a)$$

cuja constante de integração é nula, pois, para $x = 0$, $Z = 0$.

Da equação (2.3-a) chega-se a:

$$\begin{aligned} +Z + \sqrt{1+Z^2} &= e^{\left(\frac{m_c \cdot g}{H}\right)x} \\ -Z + \sqrt{1+Z^2} &= e^{-\left(\frac{m_c \cdot g}{H}\right)x} \end{aligned}$$

Subtraindo membro a membro encontra-se o valor de Z relacionado a variável x.

$$Z = \frac{e^{\left(\frac{m_c \cdot g}{H}\right)x} - e^{-\left(\frac{m_c \cdot g}{H}\right)x}}{2} = \sinh\left(\frac{m_c \cdot g \cdot x}{H}\right) \quad (2.4)$$

Como $Z = dy/dx$, obtemos, por integração a equação da catenária:

$$y = \frac{H}{m_c \cdot g} \cosh\left(\frac{m_c \cdot g}{H}\right)x \quad (2.5)$$

Sendo assim o desnível (**h**) e o vão da linha (**a**) serão encontrados a partir do sistema de equações (2.6)

$$\frac{H}{m_c \cdot g} \cosh \frac{m_c \cdot g}{H} x_a - \frac{H}{m_c \cdot g} \cosh \frac{m_c \cdot g}{H} x_b = h \quad (2.6-a)$$

$$x_b - x_a = a \quad (2.6-b)$$

Considerando :

x_a a distância entre a torre A e o vértice;

x_b distância entre a torre B e o vértice.

Com as equações (2.6-a) e (2.6-b) pode-se encontrar os valores de **ya** (altura da torre A ao vértice) e **yb** (altura da torre B ao vértice) [10].

$$\begin{aligned} y_a &= \frac{H}{m_c \cdot g} \cosh\left(\frac{m_c \cdot g}{H}\right)x_a \\ y_b &= \frac{H}{m_c \cdot g} \cosh\left(\frac{m_c \cdot g}{H}\right)x_b \end{aligned} \quad (2.7)$$

A distância entre o cabo da linha de transmissão e o solo em um ponto qualquer pode ser calculada pela diferença entre o valor da catenária na abscissa x_c (ponto crítico) e a ordenada do solo também neste ponto.

Considerando, como já mostrado na Figura 2.4, a referência no extremo **A**, a distância entre a torre colocada em **A** e o solo (y_{ac}) é dada por:

$$y_{ac} = y_a - y_{solo}$$

Utilizando as equações mostradas em (2.7) tem-se:

$$y_{ac} = \frac{H}{m_c \cdot g} \cosh \frac{m_c \cdot g}{H} x_c - y_{solo}$$

$$y_{solo} = \frac{H}{m_c \cdot g} \cosh \frac{m_c \cdot g}{H} x_a - y_{ac}$$

Logo, a distância cabo-solo no ponto crítico x_c é dada por:

$$y_{cabo-solo} = \frac{H}{m_c \cdot g} \left(\cosh \frac{m_c \cdot g}{H} x_c - \cosh \frac{m_c \cdot g}{H} x_a \right) + y_{ac} \quad (2.8)$$

Sabendo que:

$$x_c = x_a + x_{ac}$$

$$\boxed{y_{cabo-solo} = \frac{H}{m_c \cdot g} \left(\cosh \frac{m_c \cdot g}{H} (x_a + x_{ac}) - \cosh \frac{m_c \cdot g}{H} x_a \right) + y_{ac}} \quad (2.9)$$

Entretanto a equação (2.9) apresenta como incógnitas, o valor da tensão mecânica, que depende da temperatura, e o valor de x_a que por sua vez depende de H . Reportando ao sistema de equações representado em (2.6-a) e (2.6-b), pode-se notar que as mesmas apresentam como incógnitas os valores H , x_a e x_b . Deste modo é preciso encontrar mais uma equação para a solução deste problema não linear.

A terceira equação pode ser encontrada a partir do sistema de monitoramento. Considerando o sensor conectado na LT e medindo o deslocamento vertical (y_{sensor}) da mesma, conforme mostrado na Figura 2.6.

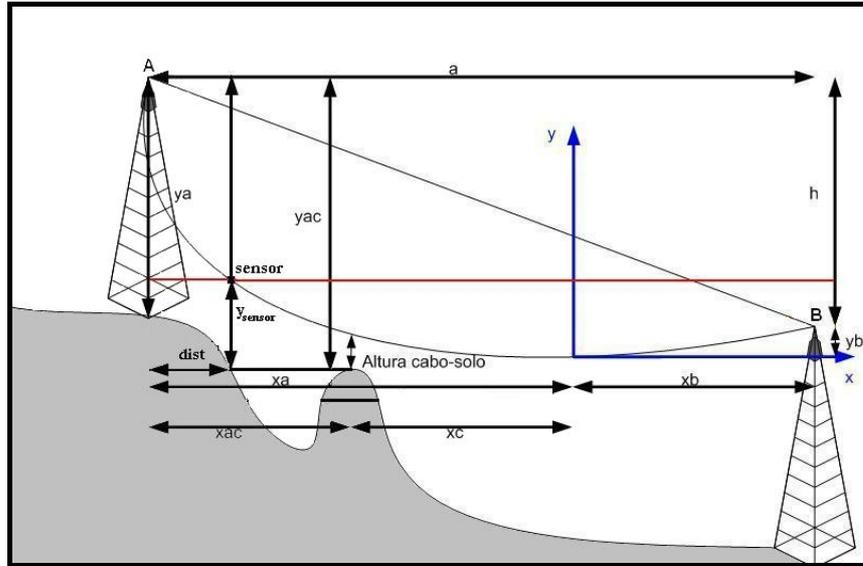


Figura 2.6 – Mudança de Posição na Referência do Sistema.

Supondo o sensor próximo à torre podemos considerar que a distância **dist** é constante para carregamentos diferentes da LT. Desta maneira pode-se escrever:

$$y_{\text{sensor}} = \frac{H}{m_c \cdot g} \cdot \cosh \frac{m_c \cdot g}{H} \cdot (x_a + \text{dist}) \quad (2.10)$$

Assim, quando ocorre uma variação de temperatura no cabo, também variam **H**, **x_a** e **x_b**. Ao considerar a variação da distância **dist** insignificante e conhecendo-se **y_{sensor}** pelo monitoramento, resolve-se iterativamente o sistema de três equações dadas por (2.6-a), (2.6-b) e (2.10). De posse dos novos parâmetros pode-se então encontrar **y_{cabo-solo}** dado pela equação (2.9).

2.3 - Conclusões do Capítulo

O Capítulo apresentou uma breve revisão bibliográfica sobre estudos de monitoramento de flechas de linhas de transmissão já elaborados e até mesmo implementados no decorrer de alguns anos. Mostrou também o equacionamento matemático da curva catenária que será útil para o processamento das informações colhidas no campo quando da implementação prática do projeto.

Capítulo 3

Sistema Óptico

O Sistema Óptico introduzido neste capítulo representa uma proposta de medição direta da flecha de linhas de transmissão. A idéia de se realizar a implementação deste sistema veio da análise de diversos trabalhos já desenvolvidos ao longo dos anos a respeito de tecnologias de monitoramento da ampacidade de LTs. Como já apresentado no estudo do estado da arte dos sistemas de medição de catenária de linhas de transmissão, os métodos indiretos, embora ainda sejam bastante utilizados, apresentam erros na medição dos parâmetros das linhas. Sendo assim, buscou-se implementar o protótipo de um sistema óptico de medição direta que será descrito no decorrer deste capítulo.

Nesta proposta, apresentada na Figura 3.1, a idéia é fixar um emissor laser em um ponto pré-determinado do condutor da linha. O feixe de luz do laser será direcionado para um painel contendo sensores ópticos, dispostos no vértice de um espelho parabólico que foi projetado para receber o raio emitido do emissor laser refletido pela parábola. Então é abordado no capítulo os dispositivos, sensor e emissor além do circuito digital de medição.

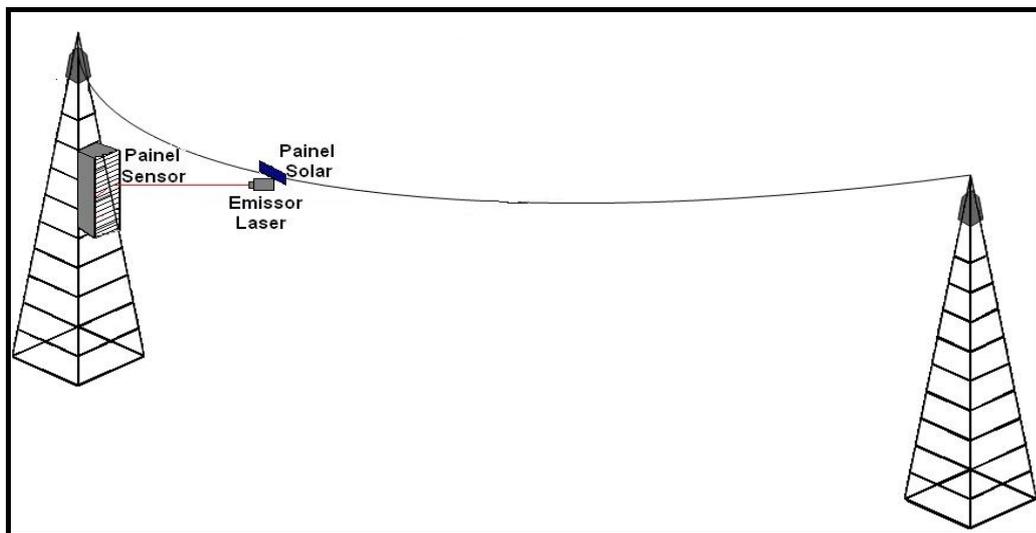


Figura 3.1 - Esquema da Proposta de Medição Direta da Flecha de LTs.

3.1 - Tecnologia e Funcionamento de Sensores Ópticos

A tecnologia dos sensores ópticos está intimamente ligada à teoria da luz e por isso faz-se necessário um breve comentário a respeito desta.

A luz que, por definição, é uma forma de radiação eletromagnética oscilatória que se dispersa no meio onde se encontra, já foi explicada através de diversos modelos como o ondulatório, o corpuscular e o quântico. O enorme interesse sobre a luz fez com que se aumentasse o conhecimento da humanidade, pois, sempre se descobria algo mais sobre a mesma. Assim, aliado ao avanço tecnológico, descobriram-se novas aplicações para a luz e seus fenômenos, o que levou à idealização e ao desenvolvimento de dispositivos ópticos e optoeletrônicos.

Os instrumentos ópticos sempre são compostos por duas partes: o emissor de luz ou transmissor, que é responsável pela emissão do feixe de luz (pode ser qualquer tipo de iluminação, natural ou artificial - luz solar e lasers são exemplos típicos) e o receptor de luz que é um componente eletrônico que, em conjunto a um circuito, detecta a variação de luz. Estes sensores são componentes cujas características elétricas variam em função da quantidade de luz incidente.

O emissor de luz utilizado no projeto foi um laser cuja teoria e funcionamento serão abordados no item 3.4 deste capítulo referente ao emissor laser. Já os sensores sensíveis a luz incidente usados são fotodiodos que serão abordados a seguir.

3.1.1 - Fotodiodo

O fotodiodo é um conhecido tipo de sensor óptico. Ele é um dispositivo semicondutor de junção **p-n** que pode ser formada difundindo material tipo **p** de impureza (anodo) em um material tipo **n** de silício como ilustrado na Figura 3.2 [11]. A área de difusão define a área ativa do fotodiodo, que é revestida com material anti-reflexivo para reduzir a reflexão de onda de luz previamente especificada.

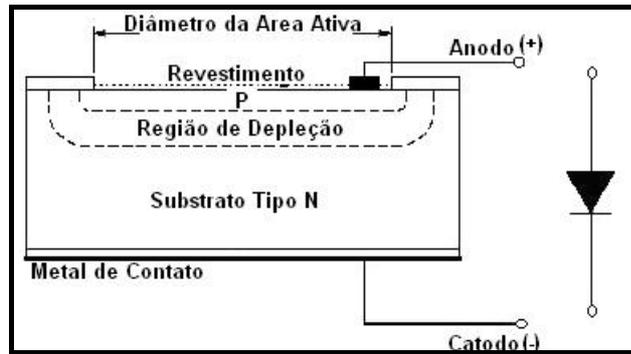


Figura 3.2 - Construção do Fotodiodo.

Resumidamente, o fotodiodo é um diodo construído com encapsulamento especial que, possibilita a utilização da luz como um fator determinante no controle da corrente. A incidência da luz sobre a junção PN, faz com que se circule uma corrente, a conhecida corrente de saturação. É essa incidência de luz que polariza reversamente a junção, pois provoca uma transferência de energia das ondas desta luz incidente (na forma de fótons) à estrutura atômica [12].

O funcionamento do fotodiodo baseia-se no fato de que os fótons, ao se chocarem com a junção produzem pares de elétrons-lacunas, por cederem sua energia, facilitando a circulação de corrente elétrica, a corrente de saturação. Assim, o feixe de luz incidente na junção tem efeito semelhante ao da corrente de base em um transistor convencional, portanto, a curva característica $I \times V$ de um fotodiodo é semelhante a de um transistor, porém, em vez da família de curvas de corrente de base, tem-se traçada a intensidade luminosa na junção como mostrado na Figura 3.3.

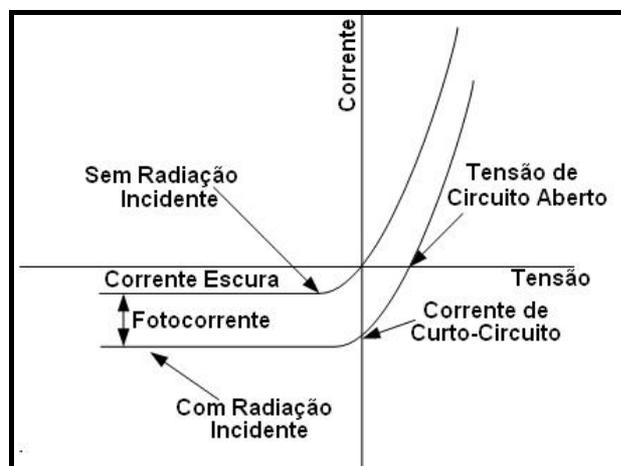


Figura 3.3 - Curvas Características para Fotodiodos.

Quando a luz incide exatamente na junção, a resposta do fotodiodo é maior, reduzindo-se rapidamente de cada lado da junção, á medida que se afasta dela. Por este motivo é muito comum o uso de lentes para concentrar a luz na região da junção.

Entre as vantagens na utilização do fotodiodo pode-se destacar o tempo de resposta, mas como desvantagem tem-se a pequena corrente de saída que deve assim ser amplificada.

O fotodiodo tem características elétricas e modos de operação especiais. Estes estão resumidamente descritos nas subseções a seguir.

3.1.2 - Características Elétricas do Fotodiodo

Fundamentalmente um fotodiodo é um gerador de corrente, assim ele pode ser representado, esquematicamente por uma fonte de corrente ligada em paralelo a um diodo ideal. Um arranjo mais completo pode ser construído adicionando-se uma capacitância de junção (C_j) e uma resistência shunt (R_{sh}) em paralelo com o diodo, além de uma resistência série (R_s) aos outros componentes do modelo, como representado na Figura 3.4 [13].

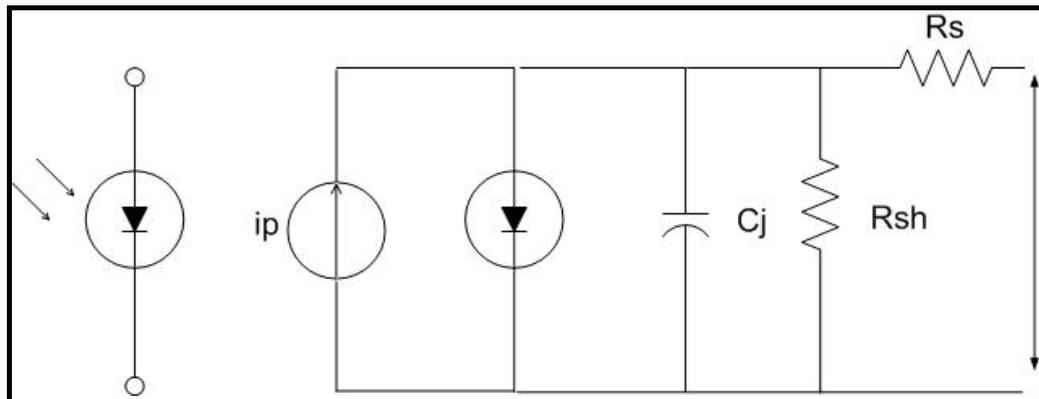


Figura 3.4 - Modelo Equivalente do Fotodiodo.

Cada um dos elementos mencionados representam uma característica específica da construção do fotodiodo. A resistência shunt, por exemplo, representa a inclinação da curva corrente-tensão do fotodiodo na origem. Ela é usada para determinar o ruído de corrente sem polarização. É desejável que esta resistência seja o maior possível para se obter a melhor performance do fotodiodo, na prática ela fica na escala de megohms ($M\Omega$).

Já a resistência série é usada para determinar a linearidade do fotodiodo no modo de operação fotovoltaico. Ela é devida à resistência dos contatos do fotodiodo, da resistência de depleção do silício e pode ser calculada utilizando a expressão (3.1). O valor da resistência série de um fotodiodo varia de 10 a 1kΩ.

$$R_s = \frac{(W_s + W_d) r_{sub}}{A} + R_c \quad (3.1)$$

considerando:

- W_s → espessura do substrato;
- W_d → largura da região de depleção;
- A → área difusa da junção;
- r_{sub} → resistividade do substrato;
- R_c → resistência do contato.

Já a capacitância de junção é diretamente proporcional à área de difusão e inversamente proporcional à largura da região de depleção, de acordo com a equação (3.2).

$$C_f = \frac{(e_{si} e_0 A)}{\sqrt{2 m r_{si} (V_a + V_{bi})}} \quad (3.2)$$

sendo:

- e_0 → permeabilidade do vácuo = $8,85 \cdot 10^{-14}$;
- e_{si} → constante dielétrica do silício;
- m → Mobilidade dos elétrons a 300k;
- r_{si} → resistividade do silício;
- V_a → tensão de polarização;
- V_{bi} → tensão interna do fotodiodo.

A capacitância de junção depende também, como pode ser visto, da polarização reversa do fotodiodo. Outra característica importante do fotodiodo é sua sensibilidade à luz (R_λ) que é definida pela razão entre a foto-corrente (I_F) e a potência luminosa incidente (P_L).

$$R_\lambda = \frac{I_F}{P_L} \quad (3.3)$$

Este parâmetro é função do comprimento de onda da luz incidente, da temperatura e também da tensão reversa de polarização. No modo fotovoltaico de operação do fotodiodo pode-se perceber, mais claramente, a importância desta característica para o funcionamento do fotodiodo. Desta maneira passa-se agora para a introdução dos modos de operação do fotodiodo.

3.1.3 - Modos de Operação

A detecção da radiação nos fotodiodos pode ser feita em dois modos distintos de operação: o modo fotovoltaico e o modo fotocondutivo. No modo fotovoltaico o fotodiodo não possui tensão de referência, enquanto no modo fotocondutivo uma tensão de referência externa é aplicada.

No modo de operação fotovoltaico, o fotodiodo é utilizado sem polarização e opera como circuito aberto, sendo que, quando a junção é iluminada, aparece uma tensão entre os lados **p** e **n** do fotodiodo.

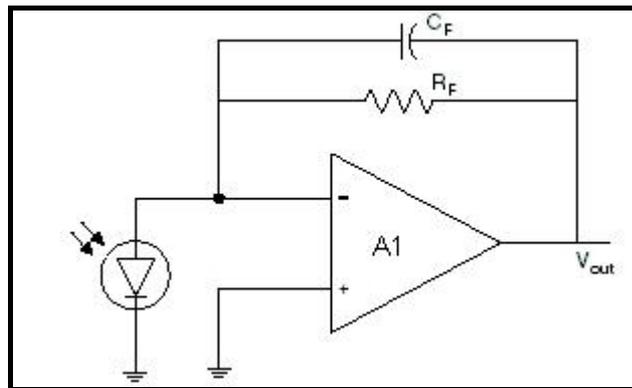


Figura 3.5 - Modo Fotovoltaico de Operação do Fotodiodo.

A Figura 3.5 mostra uma aplicação do fotodiodo no modo fotovoltaico. O valor da tensão de saída deste circuito é apresentado na equação (3.4).

$$V_{out} = I_F \times R_F \quad (3.4)$$

V_{out} → Tensão de Saída;

I_F → Foto – corrente;

R_F → Resistência de Feedback.

Usando o valor da foto-corrente, obtém-se como expressão geral da tensão de saída do circuito, a equação (3.4-a).

$$V_{out} = R_I \times P_L \times R_F \quad (3.4-a)$$

No modo fotocondutivo, mostrado na Figura 3.6, o dispositivo é curto-circuitado, ou opera sob uma tensão externa no sentido reverso, ou seja, coloca-se a tensão positiva no catodo e a negativa no anodo para diminuir a capacitância de junção. Nesta situação, uma corrente flui no sentido reverso quando a junção é iluminada. A aplicação de uma polarização reversa pode melhorar a velocidade da resposta e linearidade do dispositivo, pois aumenta a região de depleção ao se diminuir a capacitância de junção. Esta configuração, entretanto, aumenta as correntes de escuro e de ruído.

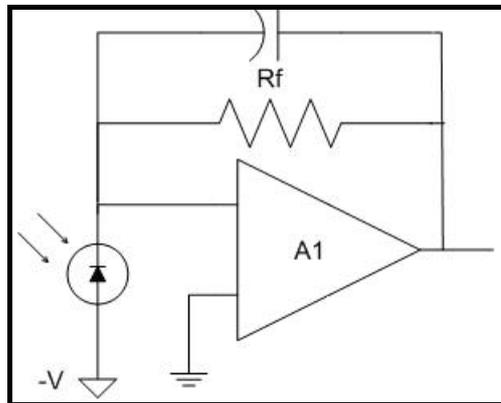


Figura 3.6 - Modo Fotocondutivo de Operação do Fotodiodo.

A escolha do modo de operação depende dos requisitos de velocidade da aplicação e da quantidade de corrente escura tolerável. Para o projeto foi escolhido o modo de operação fotovoltaico, já que melhor se adequou às condições do projeto devido a sua recomendação para aplicação em baixas frequências.

3.2 - O Painel Sensor da Flecha

Para a confecção do instrumento, que abrigará os sensores ópticos e o circuito eletrônico de medição, utilizou-se a teoria das leis da reflexão, pois era preciso que um feixe de luz emitido por um laser atingisse o fotodiodo, sem a necessidade do mesmo estar disposto exatamente à frente do feixe. Esta é uma situação prática, pois a linha de transmissão é constantemente balançada pelo vento. Desta maneira optou-se por elaborar uma superfície parabólica reflexiva.

A superfície parabólica foi escolhida devido ao fato de que qualquer feixe paralelo refletido por ela passar por seu foco. Assim podem-se alocar os fotodiodos neste foco tendo a certeza matemática de que os mesmos serão atingidos pelo feixe paralelo, emitido pelo laser.

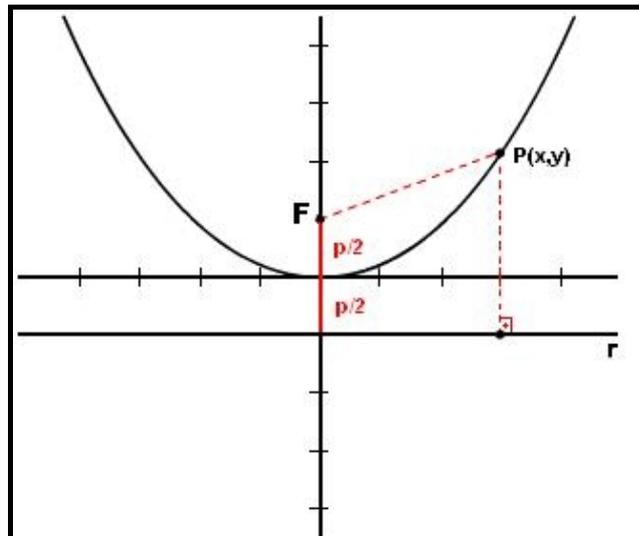


Figura 3.7 - A Parábola.

Por definição a parábola, mostrada na Figura 3.7, é o lugar geométrico dos pontos P s tais que a distância entre estes pontos e o foco da parábola seja igual à distância entre os pontos e uma reta diretriz r .

Assim:

$$d(P, F) = d(P, r)$$

Usando a equação de distância entre dois pontos obtém-se a equação da parábola:

$$\sqrt{(x-0)^2 + \left(y - \frac{p_p}{2}\right)^2} = \sqrt{(x-x)^2 + \left(y + \frac{p_p}{2}\right)^2}$$

$$x^2 + y^2 - p_p y + \left(\frac{p_p}{2}\right)^2 = y^2 + p_p y + \left(\frac{p_p}{2}\right)^2$$

$$x^2 = 2p_p y$$

onde p_p é o parâmetro da parábola que indica a *distância entre o foco e a reta diretriz*.

Esta é a equação da parábola em sua forma mais simples, ou seja, parábola de eixo vertical e vértice na origem. Esta equação em uma forma mais genérica é:

$$\boxed{(x - x_0)^2 = 2p_p (y - y_0)} \quad (3.5)$$

sendo: sendo (x_0, y_0) o vértice da parábola.

A superfície parabólica utilizada no projeto foi feita utilizando apenas a metade da parábola, devido ao fato de possibilitar a melhor alocação dos fotodiodos. A confecção deste painel é explicada no Capítulo 4 que fala sobre a implementação do Sistema Óptico no campo.

3.3 - O Circuito Eletrônico de Medição

Para o processamento da informação do dispositivo sensor foi projetado um circuito eletrônico de medição composto basicamente de um multiplexador analógico e alguns amplificadores operacionais. Este circuito é o responsável pelo envio da informação do fotodiodo. Esta informação consiste no endereço de cada fotodiodo juntamente com o seu status.

Como estes dois dispositivos tiveram muita importância no projeto, aqui será apresentada a conceituação dos mesmos. O aprofundamento do funcionamento destes dispositivos será feito no capítulo da implementação, pois assim possibilita-se ter maior entendimento do processo.

A multiplexação é o estágio do processamento da informação responsável pela seleção de dados. O multiplexador analógico, como mostrado na Figura 3.8 é composto de várias chaves analógicas e um amplificador casador de impedâncias. Quando alguma das chaves é fechada, o sinal analógico correspondente, presente na entrada, pode ser transmitido sem atenuação ou distorção. As chaves são fechadas sequencialmente (seqüência esta controlada por um microprocessador, no caso em questão o DSP), podendo conectar sinais analógicos de diversas fontes a uma única saída.

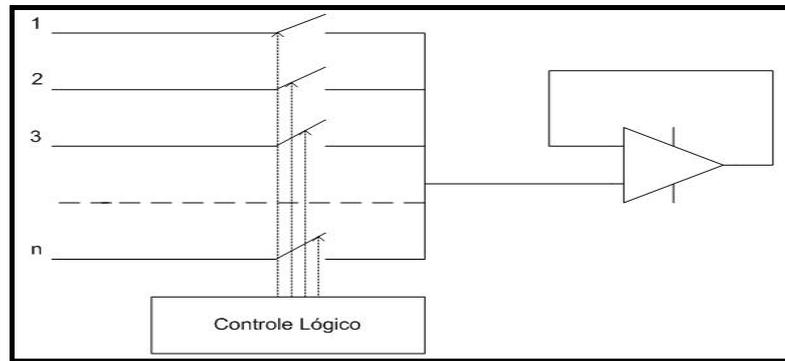


Figura 3.8 - Multiplexador Analógico.

Após a etapa de multiplexação o sinal é amplificado e, posteriormente, comparado com um nível de limiar. O comparador é projetado de modo que em sua saída apareça o nível de tensão compatível com a lógica TTL (Lógica Transistor Transistor).

O estágio de amplificação é dividido em duas etapas. A primeira etapa consiste na implementação do modo fotovoltaico de operação do fotodiodo, que basicamente corresponde à configuração de um conversor corrente-tensão através do uso do amplificador operacional.

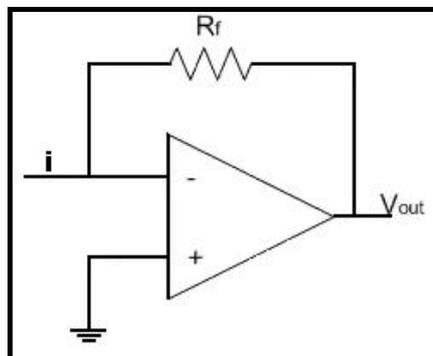


Figura 3.9 - Configuração Conversor Corrente-Tensão.

A Figura 3.9 ilustra a configuração conversor corrente-tensão, também conhecida como amplificador de transimpedância. Nesta configuração o amplificador fornece em sua saída uma tensão proporcional à corrente de entrada. Assim, a equação 3.6 relaciona esta proporção.

$$\boxed{V_{out} = i \times R_f} \quad (3.6)$$

A segunda etapa do estágio de amplificação consiste numa configuração básica do amplificador não-inversor. Esta configuração foi utilizada, pois permite ajustes para ganhos maiores que 2, fato importante no projeto já que o sinal de saída da conversão corrente-tensão é muito pequeno. A estrutura da configuração é mostrada na Figura 3.10.

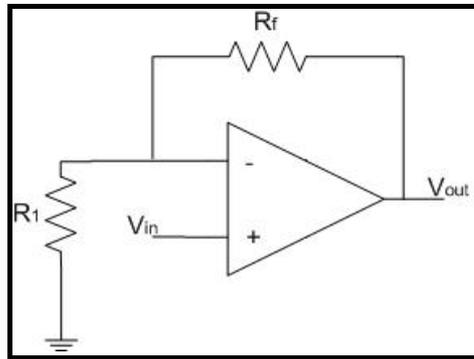


Figura 3.10 - Configuração Amplificador Não-Inversor.

Na configuração amplificador não-inversor, o ganho de tensão em malha fechada é dado por:

$$\boxed{A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_1}} \quad (3.7)$$

A configuração comparadora do Amp-op foi utilizada para converter os sinais analógicos, vindo do multiplexador, em sinais digitais, que serão usados pelo DSP ao se processar a informação do status do fotodiodo. O circuito do amplificador na configuração comparadora é ilustrado na Figura 3.11.

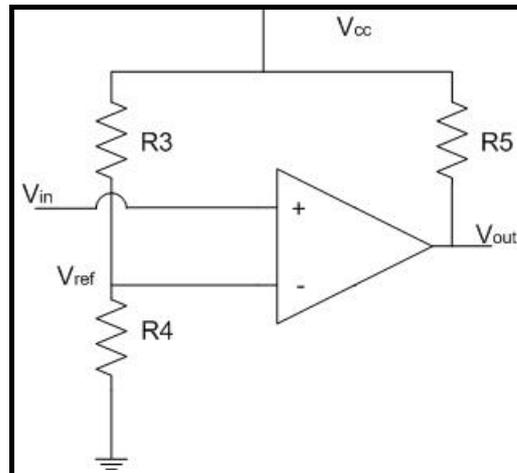


Figura 3.11- Configuração Comparadora do Amp-op.

Um comparador de tensão confronta as suas duas tensões de entrada. Se a tensão na entrada não inversora (+) for maior que a tensão na entrada inversora (-), a saída do comparador estará em nível TTL alto. Se a tensão na entrada inversora for maior que a tensão na entrada não-inversora então a saída estará em nível baixo [14].

3.4 - Conclusões do Capítulo

Este capítulo apresentou alguns dispositivos utilizados na implementação do sistema óptico. Dentre os dispositivos apresentados o fotodiodo teve especial atenção já que caracteriza o sistema óptico adotado. Como conclusão tirada do capítulo pode-se afirmar que o aprofundamento do conhecimento do funcionamento do fotodiodo, apesar de ser conceitualmente trivial, mostrou-se importante, pois o seu uso inadequado pode comprometer o projeto em que o mesmo está inserido.

Capítulo 4

Implementação do Sistema Óptico

O Sistema Óptico deste projeto sobre o monitoramento de flechas de linhas de transmissão foi implementado nos cabos aéreos da Usina Solar da Universidade Federal de Juiz de Fora. O painel sensor foi fixado em um poste que distancia em 100 metros da usina, enquanto a estação remota foi colocada dentro da própria usina.

Neste capítulo são apresentados os pontos relevantes desta implementação tais como, dispositivos utilizados, funcionamento dos mesmos e também os primeiros resultados encontrados.

4.1 - Implementação do Canhão Laser

O laser utilizado na implementação do canhão laser é um laser produzido pela empresa LaserLine [15]. O módulo utilizado é da linha Laser Red Module (LRM – 08/635 nm) que emite um raio de cor vermelha com comprimento de onda de 635 nm e com potência típica de 8 mW. Suas principais características são resumidas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Especificações do Laser Utilizado

MÓDULO LRM 635 nm	POTÊNCIA (mW)			CORRENTE DE OPERAÇÃO (mA)	VOLTAGEM DE OPERAÇÃO (VDC)	TEMPERATURA DE OPERAÇÃO	TEMPO DE VIDA ÚTIL
	Mín.	Tip.	Máx	Máx.	Tip.	Máx.	Tip.
08/635	7.5	8.0	8.4	90	3 a 4,5V	45°C	5000 h

Este módulo LRM – 08/635 emite um ponto que pode ter seu foco ajustado manualmente. Isto foi muito importante para o projeto, porque possibilitou o ajuste do foco na distância desejada de 12 metros do painel sensor colocado no poste.

Como o emissor laser teve que ficar alocado na linha de transmissão ele precisou ter um circuito de dupla alimentação. Durante o dia ele era alimentado por um painel solar e durante a noite um conjunto de baterias ficava responsável pela alimentação do mesmo.

O conjunto de baterias era carregado pelo próprio painel solar já que o mesmo foi projetado com potência suficiente para alimentar o circuito do laser e para a carga das baterias. A autonomia das baterias, totalmente carregadas, é de até 48 horas com luz solar zero. Assim, esta alimentação dupla do canhão laser foi mais que suficiente para a operação constante de circuito durante todo o tempo de implementação.

Além disto, conhecendo-se a dinâmica de uma linha de transmissão, foi projetado um circuito oscilador para ativar o laser por 10 segundos e desativá-lo por 30 segundos. Com a implementação deste circuito oscilador pode-se aumentar a vida útil do laser em até 4 vezes.

4.2 - Implementação do Painel Sensor – Estrutura e Circuito Eletrônico

Depois de ter implementado em campo, uma primeira estrutura sensora experimental, foi verificada a necessidade de ajustes nesta. Tais ajustes foram relativos ao redimensionamento da estrutura e melhoria na sensibilidade do circuito detector.

A primeira estrutura implementada utilizava como superfície refletora uma calota esférica de aço inox de 30 centímetros de raio de curvatura fornecendo assim um espelho esférico com foco a 15 centímetros do vértice. A caixa que abrigava o espelho esférico era feita de chapa de aço galvanizada e se assemelhava ao esquema mostrado na Figura 4.1.

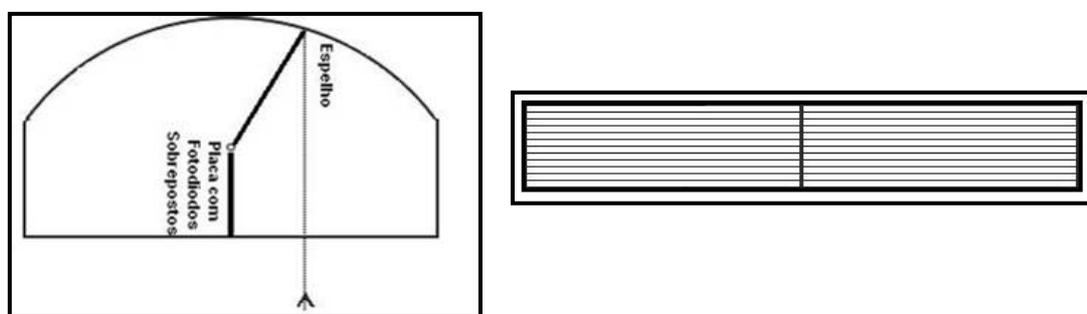


Figura 4.1 - Esquema do Primeiro Painel Sensor Implementado.

Conforme apresentado na Figura 4.1, o foco e, conseqüentemente, os fotodiodos eram localizados no centro da superfície, o que dificultava um pouco a construção do equipamento, dado a dificuldade mecânica de fixação dos fotodiodos exatamente no foco do espelho. A escolha inicial por uma lente esférica foi devido a facilidade de construção da mesma, porém como nem todos os raios incidentes paralelos são refletidos no foco da esfera, perdeu-se muito em termos de sensibilidade. Desta forma, optou-se por substituir a lente esférica por uma lente com curvatura parabólica, cujo equacionamento foi mostrado no Capítulo 3.

O perfil frontal mostrado à direita da Figura 4.1 ilustra outro aspecto importante da estrutura. Cada fotodiodo era opticamente isolado de tal modo que somente a luz proveniente do laser atingisse os mesmos.

O circuito eletrônico detector também foi implementado duas vezes já que na primeira implementação verificou-se a necessidade da mudança do modo de operação do fotodiodo assim como a amplificação do sinal a ser transmitido para a central remota.

4.2.1 - Implementação da Estrutura Sensora

Para confecção da nova estrutura sensora, em oposição à primeira implementação, foi inicialmente desenhado num molde uma parábola de eixo horizontal como foco no ponto $F(19,0)$. Utilizou-se apenas o primeiro quadrante da mesma, facilitando assim a fixação dos fotodiodos no foco. A Figura 4.2 exibe as vistas frontais e superior da estrutura refletora parabólica.

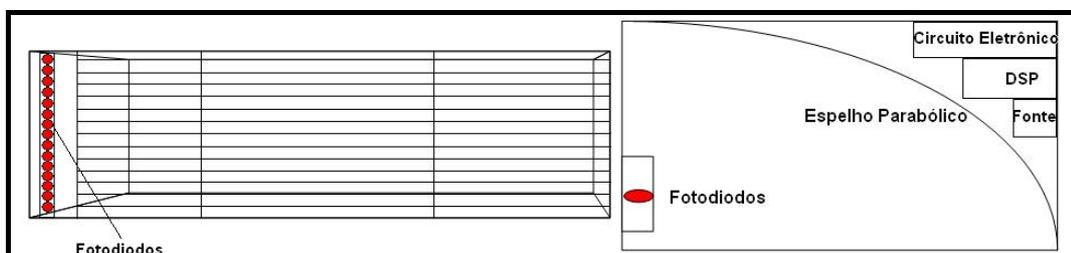


Figura 4.2 - Vistas Frontal e Superior da Estrutura Sensora Parabólica.

Para esta nova estrutura foi preciso projetar um filtro solar visto que, a premissa básica da medição baseada em fotodiodos é de que a única fonte incidente nos mesmos deva ser a luz emitida pelo laser, já que o sol pode atrapalhar a medição, emitindo ondas luminosas em todas as freqüências, inclusive na freqüência de sensibilidade dos sensores.

O filtro solar construído é constituído por lâminas de aço pintadas com tinta não refletora. O conjunto foi montado de modo que cada lâmina ficasse espaçada, uma da outra, de 0,8 cm, totalizando 16 cm de altura, conforme mostrado na Figura 4.3. A largura de projeto para cada lâmina foi 12 cm. Este filtro funciona baseado no fato de que os raios solares, ao incidirem com ângulo diferente de 0° serão absorvidos pelas aletas do filtro, não atingindo, portanto, o interior da estrutura e, conseqüentemente, os fotodiodos. A Figura 4.3(b), como pode ser observado, ilustra bem este funcionamento.

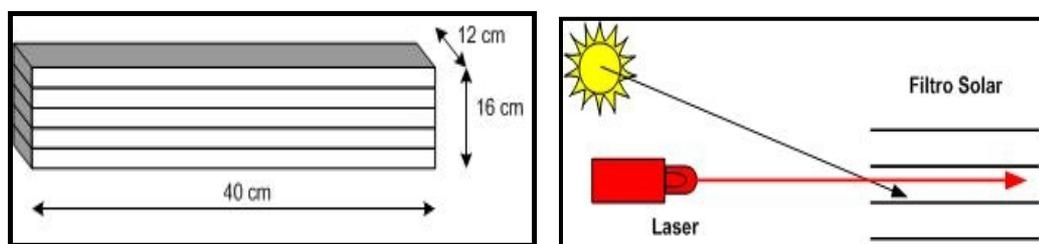


Figura 4.3 - Filtro Solar (a) e Esquema de Funcionamento do Filtro (b).

O simples fato do uso do filtro não resolve totalmente a influência do sol sobre a medição, portanto, para que esta influência possa ser praticamente anulada, o painel sensor deve ser instalado na posição em que os raios solares incidam com a maior inclinação possível. Assim deve ser feito no local um estudo prévio de implementação do filtro específico.

Na Figura 4.4 pode ser observada a fotografia da estrutura parabólica do painel sensor implementado.

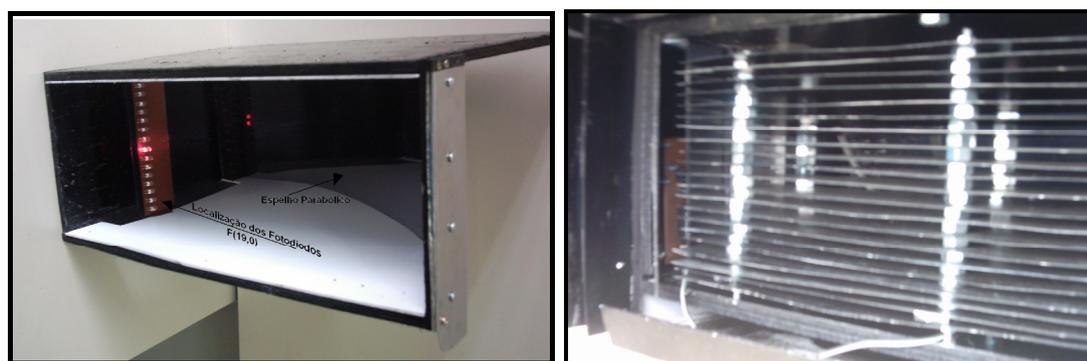


Figura 4.4 - Fotografia da Estrutura Sensora do Protótipo Utilizado no Projeto.

Os testes feitos mostraram que a mesma é eficiente para o projeto e assim, ela foi utilizada para colher os resultados que são apresentados no item 4.4.

4.2.2 - Implementação do Circuito Eletrônico de Medição

O circuito eletrônico de medição foi implementado utilizando-se 16 fotodiodos conectados na entrada de um multiplexador analógico, endereçado por um processador DSP. A cada instante, o DSP controla a seleção de qual fotodiodo terá seu status lido.

Uma vez selecionado, o fotodiodo, que opera no modo fotocondutivo já que, como visto na seção 3.1.3 é recomendado para aplicações em baixas frequências, tem seu sinal de saída amplificado e comparado com um valor de referência. O comparador possui saída compatível com o padrão TTL utilizada pelo DSP. O diagrama de blocos do circuito implementado pode ser observado na Figura 4.5.

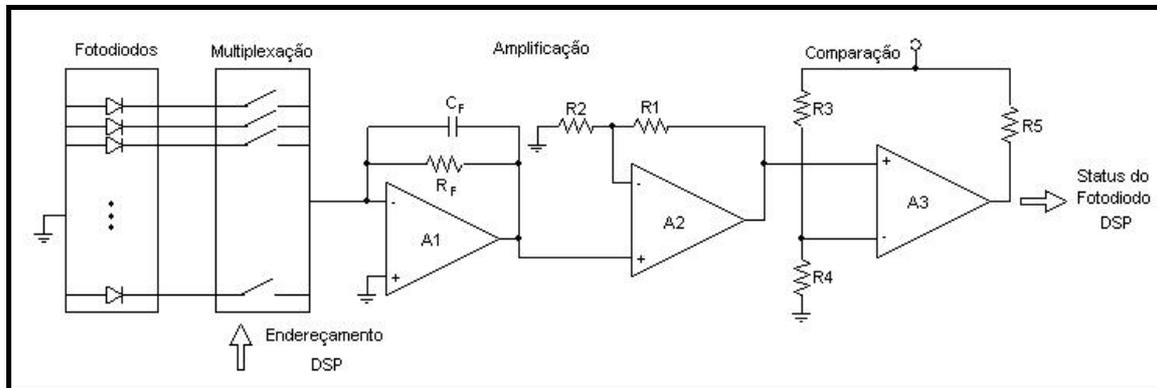


Figura 4.5 - Diagrama de Blocos do Circuito Eletrônico de Medição.

No protótipo foi utilizado o fotodiodo da linha SFH 213, da Siemens, que tem variação de comprimento de onda de 400 a 1100 nm. As principais características do modelo utilizado são mostradas na Tabela 4.2 [16]

Tabela 4.2 - Características do Fotodiodo SFH 213.

Parâmetro	Valor
Foto-corrente	135 (≥ 100) μA
Variação de Sensibilidade	400 a 1100 nm
Máxima Sensibilidade	850 nm
Corrente de Escuro	1 (≤ 5) nA

Como já foi apresentado, o feixe emitido pelo laser tem comprimento de onda de 635 nm, sendo que, neste comprimento de onda, a sensibilidade do fotodiodo é cerca de 80% do seu valor máximo.

Um fato que causou problema na implementação foi o pequeno valor da fotocorrente na saída do circuito fotocondutivo do fotodiodo. Devido a esta pequena corrente de saída, foi necessária a implementação de um segundo estágio de amplificação, ficando o circuito como mostrado na Figura 4.6.

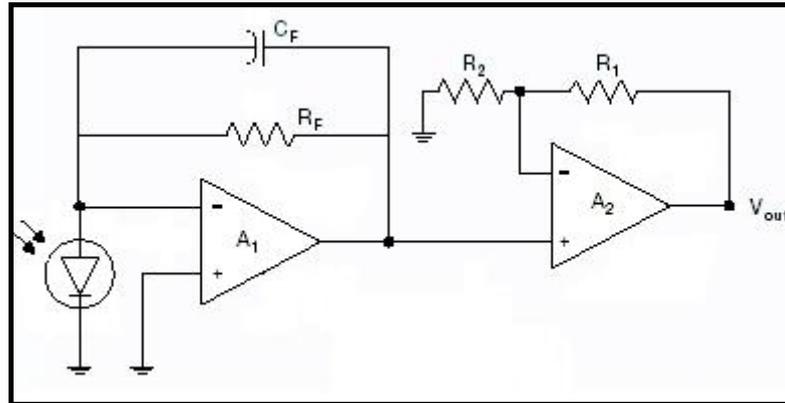


Figura 4.6 - Modo de Operação Fotovoltáico com um Segundo Estágio de Amplificação Incorporado.

Neste caso, o ganho final, tendo como base as equações 3.3, 3.6 e 3.7 já apresentadas, é determinado pela equação 4.1 mostrada a seguir.

$$\text{Ganho } \left(\frac{V}{W} \right) = R_f \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) R_l \quad (4.1)$$

sendo R_x a sensibilidade à luz do fotodiodo definida no Capítulo 3.

A multiplexação do sinal enviado pelos fotodiodos foi realizada por um multiplexador analógico de 16 canais, o multiplexador MPC 506 da Texas Instruments [17]. Este multiplexador, fabricado com a tecnologia CMOS, possui proteção contra sobretensões. Esta e outras características tornam o dispositivo recomendado para sistemas onde as entradas originam-se de circuitos externos e com fontes separadas, como o sistema implementado neste projeto.

Nos dois estágios de amplificação do circuito, operando no modo de operação fotocondutivo, foi utilizado o amplificador operacional OPA 2227 [18] também de propriedade da Texas Instruments. Já para o circuito comparador foi utilizado o modelo mais popular da National Semiconductor, o LMV 339 [19].

4.3 - Implementação das Plataformas de Transmissão e Recepção de Dados

Uma outra fase da implementação do Sistema Óptico refere-se à construção dos hardwares e softwares de transmissão e recepção de dados.

A plataforma de transmissão, afixada à torre da LT, executa o programa escrito em linguagem assembly, apresentado no primeiro tópico do Anexo A. A função deste programa é controlar o hardware local e o canal de comunicação para o envio dos dados.

Já a plataforma remota de recepção de dados contém algoritmos de pré-filtragem dos dados recebidos, geração das séries históricas e de visualização gráfica da flecha da linha de transmissão.

Inicialmente a comunicação entre o protótipo e a estação remota foi implementada com o uso de comunicação serial sem fio, por rádio frequência e com fio, utilizando o padrão RS 485. O objetivo inicial era a validação do processo de medição, sendo que a implementação do canal de comunicação com a tecnologia GPRS seria realizada numa etapa posterior.

4.3.1 - Programas da Plataforma de Transmissão de Dados

Resumidamente o sistema de medição controlado pelo DSP funciona da seguinte maneira: o microprocessador envia o endereço (A3-A0) para selecionar um dos 16 fotodiodos do painel sensor e então monitora o seu estado. Caso ele esteja sendo polarizado pelo feixe de laser, a saída do comparador estará em nível lógico 1, caso contrário, em nível lógico 0. O microprocessador lê o estado do fotodiodo e o armazena internamente. Em seguida o microprocessador repete a rotina para cada um dos fotodiodos restantes. Quando todos os fotodiodos são endereçados, uma palavra de status de 16 bits é então enviada para o módulo transmissor, que se encarrega de enviar a informação para a plataforma de recepção de dados.

Para a implementação da comunicação foi estabelecido um protocolo entre as plataformas de transmissão e recepção de dados, conforme mostrado na Figura 4.7.

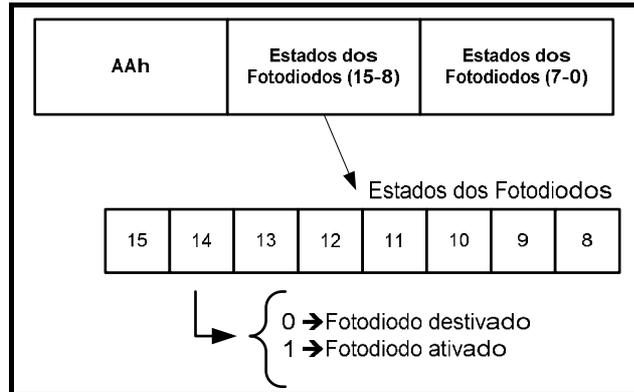


Figura 4.7 - Protocolo de Comunicação entre as Plataformas de Transmissão e Recepção de Dados.

No protocolo implementado no DSP, o dado enviado pelo transmissor consiste de 3 bytes. O primeiro byte contém o caractere de sincronização (AAh) e os dois bytes seguintes contêm o estado de cada fotodiodo. Assim, ao receber o caractere AAh a plataforma de recepção sabe que os dois bytes seguintes contêm os estados dos fotodiodos. O código-fonte do programa de transmissão de dados é apresentado no Anexo A.

4.3.2 - Programas da Plataforma de Recepção de Dados

A plataforma de recepção de dados foi executada com a utilização do software LabVIEW de propriedade da National Instruments [19]. A escolha deste aplicativo para a implementação da plataforma foi devida à facilidade de construção de programas aplicativos com o mesmo, já que o LabVIEW emprega programação gráfica e ainda possui muitas bibliotecas e funções pré-determinadas incorporadas ao pacote.

O aplicativo desenvolvido possui quatro partes ou blocos que se referem a configuração da comunicação, a leitura dos dados, a filtragem e finalmente a confecção do histórico de dados.

A Figura 4.8 ilustra o diagrama de blocos do programa de recepção como um todo. Pode-se perceber que na primeira parte ocorre a configuração da porta serial de comunicação que será modificada quando da implementação da comunicação via GPRS mostrada no Capítulo 6.

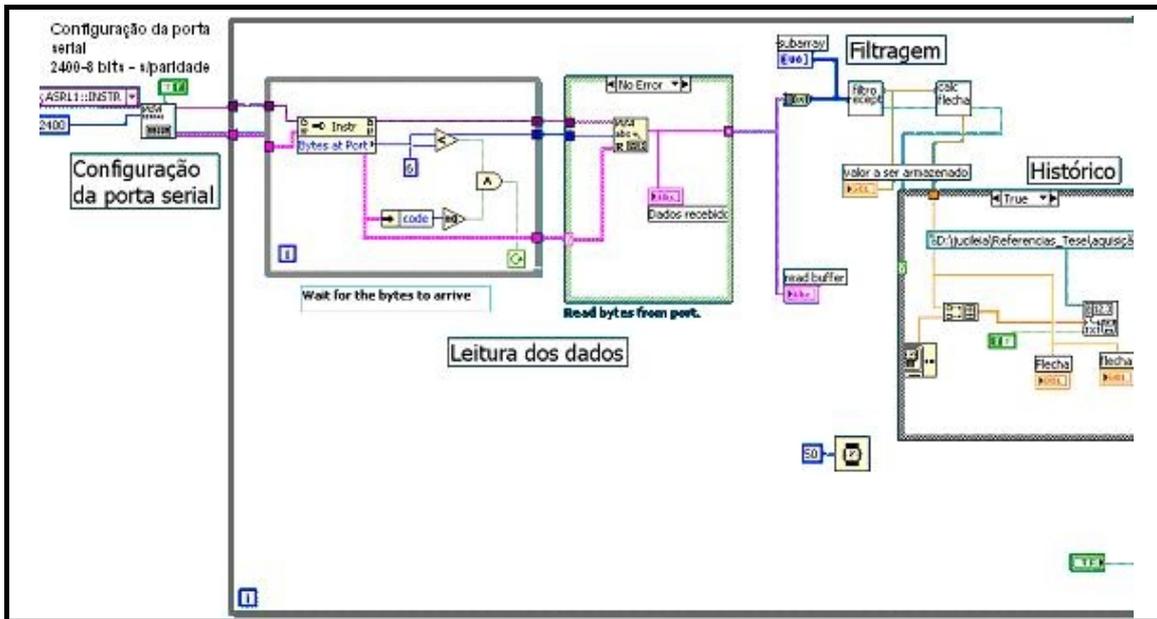


Figura 4.8 - Diagrama de Blocos do Programa na Linguagem Gráfica LabVIEW.

Depois de configurada a comunicação, tem-se a leitura e filtragem dos dados transmitidos, que ao final da aplicação são guardados em um arquivo histórico de dados. Na Figura 4.9 é ilustrado o diagrama de blocos do algoritmo de filtragem dos dados.

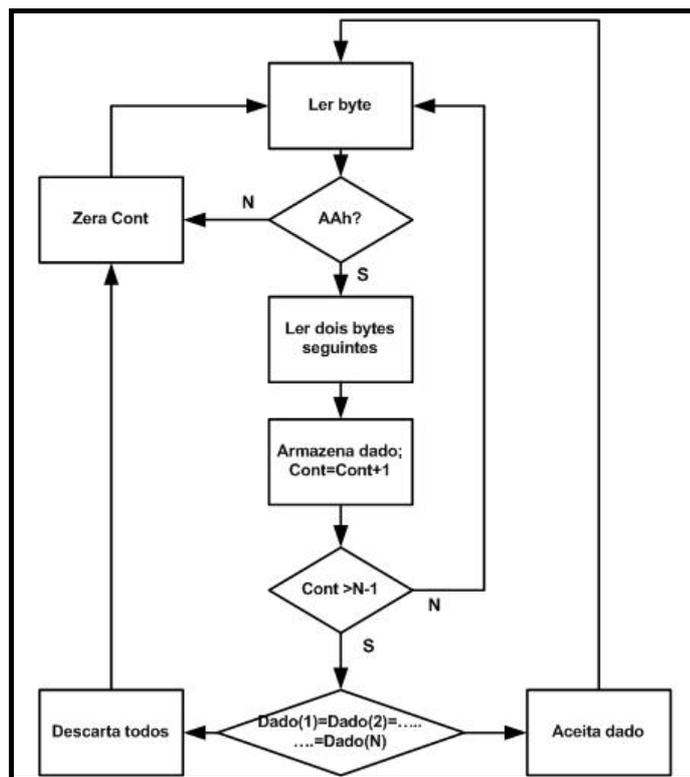


Figura 4.9 - Fluxograma do Bloco de Filtragem.

No processo de filtragem, o bloco referente a esta função recebe os caracteres transmitidos pela plataforma de transmissão de dados e procura identificar o símbolo de sincronização do protocolo de comunicação (AAh). Ao ser identificado o símbolo, o bloco de filtragem lê os dois bytes consecutivos armazenando-os em um vetor. Caso o terceiro byte seja o símbolo de sincronização o bloco repete o processo e armazena o quarto e quinto byte no vetor. Depois de um número consecutivo de vetores iguais, o bloco de filtragem armazena o dado e o disponibiliza para a visualização em uma tela gráfica de monitoramento. Já a etapa de geração do histórico foi implementada para a criação da série histórica do sistema de medição.

Como já mencionado anteriormente, a implementação da comunicação será abordada no capítulo referentes a implementação do sistema GPRS, entretanto, nesta etapa do projeto já foi possível colher alguns resultados que são apresentados a seguir.

4.4 - Resultados da Implementação do Sistema Óptico

Antes da implementação, em campo, do sistema foram realizados alguns testes que objetivavam validar, primeiramente, o método de medição proposto.

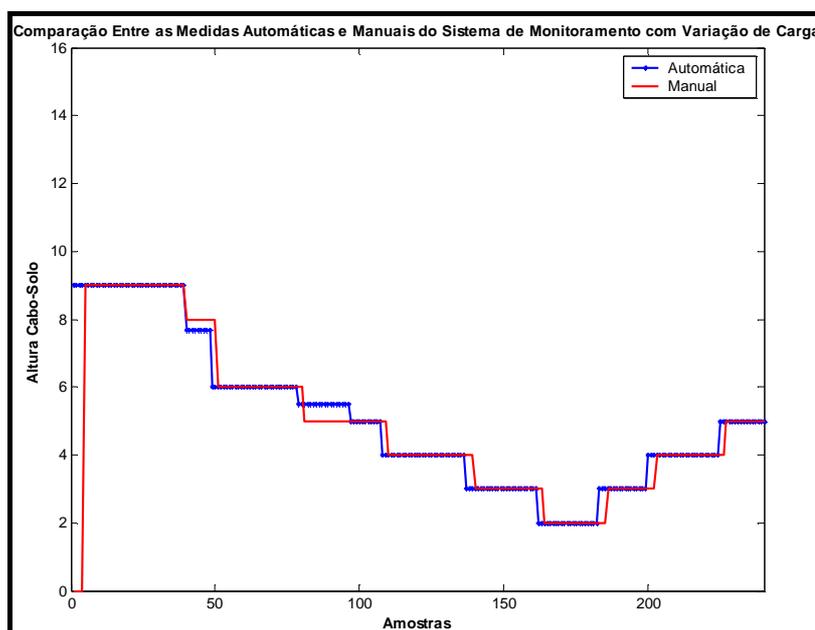


Figura 4.10 – Dados do Método de Medição Colhidos em Laboratório.

Foi instalado o protótipo em laboratório, onde tinha-se um ambiente livre de perturbações. Os dados colhidos nestes testes foram plotados e são apresentados na Figura 4.10. Neste exemplo, o emissor laser foi colocado a 12 metros de distância do painel sensor, tendo o seu movimento vertical controlado manualmente.

Pode-se perceber a consistência dos gráficos de tendências plotados durante o processo, excetuando-se, entretanto, o atraso observado entre a medição automática e a manual que é uma característica do método de observação humana adotado no processo para a medição manual. A diferença entre a medição automática e manual pode ser considerada insignificante, confirmando assim a eficiência da técnica de medição direta proposta no trabalho.

Com a validação do método, através dos resultados colhidos em laboratório, o sistema foi implementado nos cabos aéreos da Usina Solar da Universidade Federal de Juiz de Fora. A Figura 4.11 mostra a fotografia do painel sensor instalado no poste colocado na plataforma da Faculdade de Engenharia no terreno próximo a usina.



Figura 4.11 – Instalação Prática do Painel Sensor

O painel recebe a emissão do canhão laser que foi instalado a 12 metros do poste na linha de transmissão da usina. O canhão laser, como já dito anteriormente, é alimentado por uma bateria interna recarregável que, por sua vez, é alimentada por um painel solar. A Figura 4.12 ilustra o canhão laser e o painel solar de alimentação.



Figura 4.12 - Canhão Laser Implementado no Campo de Trabalho.

Nesta Figura 4.11 é visível também a mangueira de nível, utilizada para a medição manual da flecha usada para fazer a comparação do valor adquirido automaticamente pelo sistema é o valor real observado no campo.

Iniciando a análise dos dados colhidos pode-se observar que o vento, ao balançar o cabo da linha e, conseqüentemente, o canhão laser, produz variações no processo de medição coerentes com a situação real.

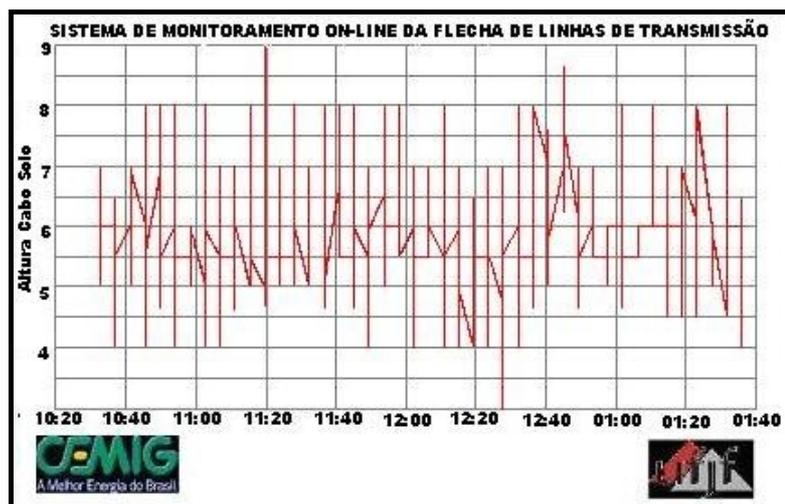


Figura 4.13 - Gráfico da Ação do Vento no Processo de Medição.

A Figura 4.13 ilustra um gráfico típico do processo quando exposto a ventos. Observam-se variações significativas de até 4 cm, devido à influência do vento. Também é importante destacar que devido a abertura do feixe do laser, maior que 1 cm de raio, mais de um fotodiodo era ativado ao mesmo tempo. O resultado final da medida era a média dos fotodiodos ativados, por exemplo, se numa leitura os fotodiodos 4, 5 e 6 eram ativados, o resultado final era 5 cm.

Devido à influência constante do vento no processo de medição os dados colhidos automaticamente pelo sistema tiveram que ser filtrados por um filtro média móvel de oitava ordem. Esta filtragem amenizou, porém não eliminou a influência do vento na medição.

A Figura 4.14 ilustra dados colhidos e filtrados no sistema. Estes dados foram colhidos durante alguns dias de monitoramento da dinâmica do processo, sem a aplicação de corrente na linha de transmissão. Para se ter uma referência concreta, foi plotado também a medida manual colhida através da observação da mangueira de nível colocada próxima ao laser, no condutor de retorno da linha, para não ter influência na medição.

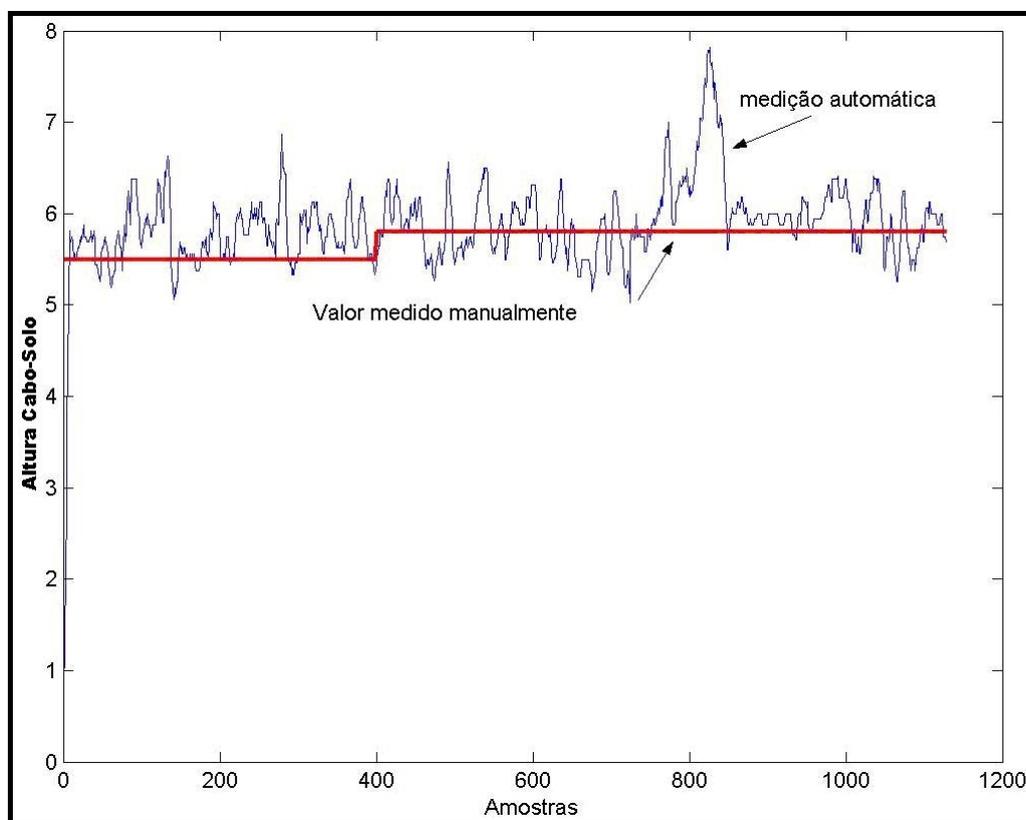


Figura 4.14 – Monitoramento do processo sem Adição de Corrente na LT.

Conforme pode ser observado, constata-se uma diferença entre a medição automática e a manual de até 2 cm. Esta diferença, entretanto, não representa necessariamente erro no processo, uma vez que as medições manuais, neste caso foram realizadas a intervalos de 15 minutos e não foram capazes de acompanhar a dinâmica do vento.

Para uma análise mais precisa do processo, foi aplicada uma corrente de aproximadamente 70 A no cabo da linha de transmissão da usina solar da UFJF. Os dados, assim como já tinha sido feito anteriormente, foram filtrados por um filtro média móvel de oitava ordem. Na Figura 4.15 tem-se a saída deste filtro e também os valores da altura cabo-solo medidos manualmente.

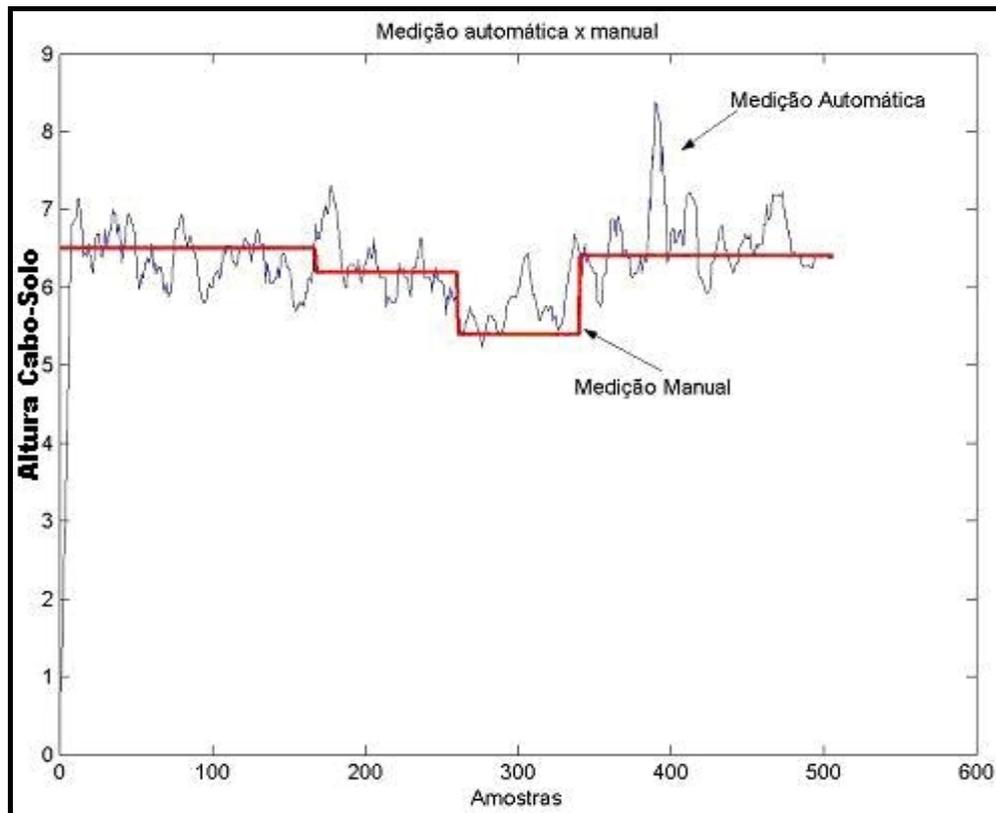


Figura 4.15 – Valores Colhidos no Processo de Medição com Aplicação de Corrente no Cabo.

Pode-se perceber a consistência dos gráficos de tendências plotados durante o processo. As diferenças observadas não representam, necessariamente, erro no processo, mas sim necessidade de refinamento do processo de medição manual.

4.5 - Conclusões do Capítulo

Neste capítulo foi apresentada a implementação do sistema óptico de medição de flechas de linhas de transmissão. O capítulo iniciou-se com o relato da implementação do canhão laser com um circuito temporizador para que se pudesse aumentar sua vida útil.

Foram descritos o painel sensor com seu circuito eletrônico de medição e também as plataformas de transmissão e recepção de dados.

Foram ainda apresentados alguns resultados práticos colhidos no campo de trabalho, resultados estes que serviram de base para a confirmação e validação do processo de medição idealizado no projeto.

Capítulo 5

Sistema GPRS

O objetivo deste capítulo é fazer uma introdução do Sistema GPRS (General Packet Radio Service). Esta introdução inicia-se na evolução do sistema digital GSM (Global System for Mobile Communication) que compõe a base tecnológica da rede GPRS. Desta maneira a introdução é iniciada na segunda geração dos sistemas celulares, de onde surgiu o GSM e segue até as últimas evoluções planejadas que darão corpo ao que já se chama “Terceira Geração dos Sistemas Celulares”.

5.1 – O Sistema Celular GSM

Os sistemas celulares de segunda geração, como são os IS-136, IS-95 (baseados respectivamente no TDMA e CDMA) e GSM, surgiram da necessidade de padronização da telefonia celular existente (os sistemas analógicos que compunham a primeira geração dos sistemas celulares). Entre estes sistema de segunda geração, o que foi mais amplamente aceito foi o GSM que surgiu a partir da criação, em 1982, no CEPT (Conference of European Post and Telecommunications), de um grupo de estudos, o Group Spécial Mobile – GSM³. Este grupo tinha o objetivo de elaborar a implementação de um novo sistema de comunicação digital, capaz de prover o melhoramento da eficiência espectral, *roaming* internacional, baixo custo da estação móvel, compatibilidade com a Rede Digital de Serviços Integrados (Integrated Services Digital Network –ISDN), além de suporte para novos serviços.

Com a criação do grupo de estudos GSM, que mais tarde batizou o sistema, a evolução do padrão ocorreu de forma gradativamente planejada com prazos e etapas a serem cumpridas, estabelecidos em um comitê. Pode-se traçar um histórico desta evolução.

³ GSM neste caso refere-se ao grupo de estudo e não ao sistema.

Em 1986, houve o estabelecimento de um núcleo permanente de pessoas, designadas para a criação de normas do sistema. No ano seguinte foi assinado um memorando de entendimento por mais de 18 países, onde todos os signatários se comprometiam a participar do sistema GSM, com o compromisso de colocá-lo em operação até 1991. O grupo de estudos foi transferido para o recém-criado ETSI (European Telecommunication Standard Institute) e teve seu nome alterado para SMG (Special Mobile Groups), pois assim se evitaria confusões com o nome do sistema e também colocaria o nome no idioma oficial do instituto de normalização que é o inglês.

O lançamento comercial do GSM ocorreu em 1991 e já em 1992 houve a expansão da cobertura a grandes cidades e aeroportos. Depois do lançamento comercial do GSM a sua expansão pelos diversos países foi impressionante, fazendo com que atualmente ele seja responsável pela quase totalidade de operações da telefonia móvel mundial.

Uma das características que mais contribuiu para a difusão do padrão GSM é a possibilidade do assinante de uma rede em um determinado país ou região, ter acesso a redes de outros países (ou regiões), este é o processo conhecido como *roaming internacional*. O *roaming* permite aos assinantes utilizarem os seus telefones em um país estrangeiro, no caso de países europeus, ou mesmo em uma outra área de registro (como ocorre frequentemente no Brasil devido a sua dimensão) e depois terem debitado normalmente em sua conta o valor do serviço utilizado na outra área de registro.

Uma segunda característica importante para o sucesso do sistema GSM é a privacidade por ele provida. A privacidade é tornada possível através da encriptação da cadeia de bits, enviada ao transmissor GSM de acordo com uma chave criptográfica secreta. Esta chave muda com o tempo, para cada usuário, desta maneira é virtualmente impossível escutar às escondidas as transmissões de rádio GSM.

Buscando o aprofundamento no entendimento do sistema GSM será apresentado a arquitetura da rede que tem a estrutura básica dos sistemas celulares.

5.1.1 - Arquitetura do Sistema GSM

Neste item serão descritos os blocos funcionais que compõem uma rede GSM padrão, como é mostrada na Figura 5.1. A complexidade da estrutura é devido às características próprias de uma rede de comunicação móvel. Para facilitar o estudo a rede foi subdividida em quatro subsistemas denominados: Subsistema do Assinante, Subsistema de Estações de Rádio Base, Subsistema de Rede e Subsistema de Operação e Suporte [20]

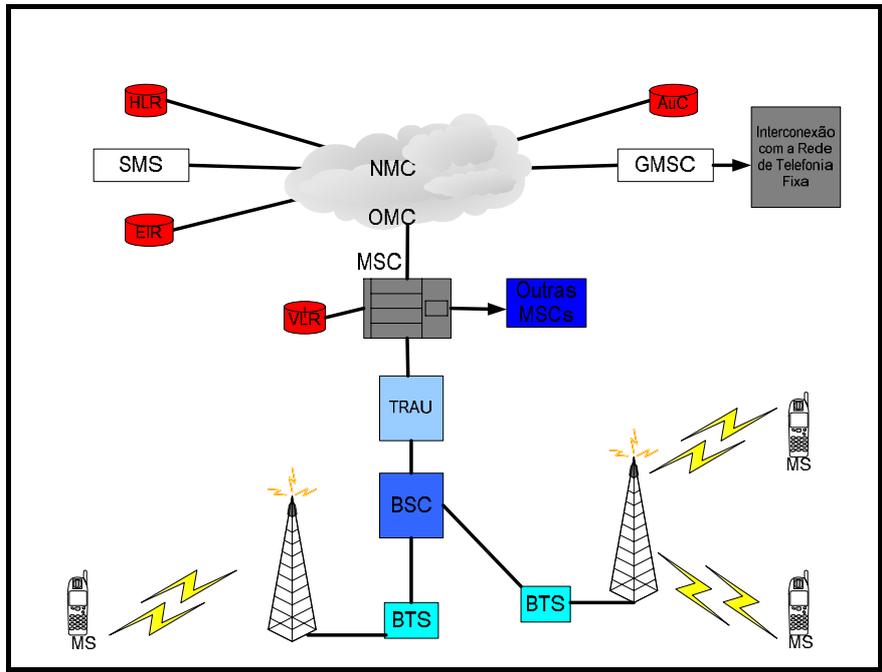


Figura 5.1 - Arquitetura do Sistema GSM.

O Subsistema do Assinante é composto pelo equipamento de telefone portátil do usuário e pelo SIM Card (Subscriber Identity Module) conforme ilustrado na Figura 5.2. Estes dois componentes, juntos, formam a estação móvel (MS – Móvel Station).

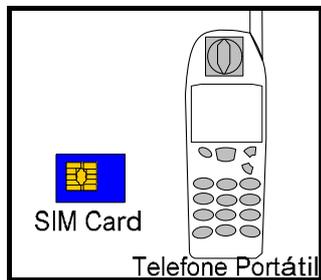


Figura 5.2 - Subsistema do Assinante

O SIM é um cartão plástico que contém um chip com processador e memória. Além de fazer a identificação do assinante, através de um número de 15 dígitos denominado IMSI ou Identidade Internacional do Assinante Móvel (International Mobile Subscriber Identity), o SIM pode armazenar mensagens curtas, números telefônicos, lista de serviços assinados pelo usuário e identificadores de sistema. Já o equipamento terminal é caracterizado por um número atribuído pelo fabricante denominado IMEI ou Identidade Internacional do Equipamento Móvel (International Mobile Station Equipment Identity).

As estações móveis falam com o Subsistema de Estações de Rádio Base pela interface aérea de rádio frequência.

Outro subsistema da arquitetura GSM é o subsistema de Estações de Rádio Base (BSS – Base Station Subsystem) que é responsável pelo gerenciamento e controle das funções relacionadas com o sistema rádio, ou seja, pela comunicação com as estações móveis em uma determinada área. Neste subsistema encontram-se estações controladoras (BSC – Base Station Controller), o Transcoder Controller (formado pelo TRAU – Transcoder and Rate Adapter Unit) e as estações transceptoras (BTS – Base Transceiver System).

A BTS é o equipamento responsável pelo funcionamento da interface rádio com o terminal móvel em cada célula do sistema. Normalmente a BTS realiza a cobertura de três setores de uma célula, pois a torre tem diversas antenas direcionais, cada uma cobrindo uma área particular. A BTS possui então, como finalidade, a transmissão de rádio, a recepção do sinal do terminal móvel, com equalização e diversidade, as medições de alinhamento no tempo, o envio de informações gerais do sistema para o terminal móvel, a recepção de pedidos de acesso dos terminais móveis, a multiplexação, codificação de canal, entrelaçamento e cifragem.

As BSCs (Base Station Controller) são frequentemente ligadas às BTSs por links de microondas que é chamado de Interface A-bis. A BSC foi criada para desonerar o processamento da MSC (Mobile Services Switching Center) e é a responsável por gerenciar a rede rádio podendo conter diversas estações transceptoras (BTS). Ela centraliza a inteligência das estações base, com a vantagem da transmissão na interface rádio. A BSC tem como função fazer a configuração da rede rádio, controlar todos os transceptores da

BTS, controlar as conexões dos terminais móveis além de gerenciar o *handover* que é o procedimento que permite ao usuário continuar a conversação enquanto ocorre uma mudança de área de cobertura de uma estação base, ou mesmo entre setores de uma célula.

Já o TRAU (Transcoder Controller), considerada como parte da BSC, é responsável pela codificação e decodificação (compressão e descompressão) do sinal de voz e pela adaptação de transmissão de dados. É o TRAU também quem distingue os diferentes tipos de informação (dados e voz) do sistema. A sua localização, entre a BSC e a MSC, possibilita uma economia nos meios de transmissão entre a BTS e a MSC.

O terceiro subsistema da rede GSM é subsistema de rede. Este subsistema comporta as funções de comutação do sistema GSM e também as bases de dados com as informações sobre os assinantes. Suas principais funções são o controle de chamadas, autenticação e encriptação, administração da mobilidade, sinalização com outras redes, armazenamento de informações sobre os assinantes e também a sua localização. Este subsistema é formado por: Registro de Assinantes Domésticos (HLR – Home Location Register), Centro de Autenticação (AuC – Authentication Center), Registro Local de Assinantes (VLR – Visitor Location Register), Central de Comutação e Controle (MSC – Mobile-Service Switching Center), Registro de Identidade de Equipamento (EIR) e também a Central de Serviços de Mensagens Curtas (SMSC – Short Message Service Center).

O principal componente do Subsistema de Rede é o MSC (MóBILE Switching Center). Tecnicamente a MSC é uma central de comutação ISDN (Integrated Services Digital Network). A diferença principal entre um MSC e uma central de comutação fixa é que a MSC tem que levar em consideração a mobilidade dos assinantes, inclusive o *handover* da comunicação, quando estes assinantes se movem de uma célula para outra.

O MSC é responsável por estabelecer e controlar as chamadas, fazer a atualização da localização e dados do assinante em diferentes registros, executar funções de segurança, fazer encaminhamento das mensagens curtas para os terminais e também o *handover*. Outra função da Central de Comutação e Controle é fazer a conexão com outras redes, através do Gateway MSC (GMSC). É dentro desta central que se encontra o HLR (Home Location Register) que informa para a GMSC a que central MSC deverá ser entregue a chamada.

O HLR ou Registro de Assinantes Domésticos é a mais importante base de dados, pois é onde estão armazenadas todas as informações de todos os assinantes. É também onde se encontra a informação sobre qual MSC está vinculada cada terminal ativo, assim cada assinante deve ter um HLR associado que atua como um ponto de referência fixo.

Para reduzir a carga de solicitações do HLR fez-se a criação do VLR (Visitor Location Register) junto ao MSC. O VLR é um banco de dados com funções diferentes do HLR, pois contém todas as informações relacionadas aos terminais móveis que se encontram em *roaming* no sistema celular. Para exemplificar a função do VLR pode-se dizer que, quando um usuário está em *roaming* ou seja, movendo-se de uma localização para outra, todas suas informações são enviadas entre o VLR que o usuário está deixando para o novo. O VLR é então necessário, devido à mobilidade dos terminais já que a todo o momento diversos terminais, que são originários de outras MSC, podem entrar na área de atuação de uma MSC vizinha. Assim, para que este terminal seja reconhecido pelo sistema, todos os seus dados devem ser passados para a nova MSC controladora, sendo então armazenados neste banco.

Um outro componente importante deste subsistema é o Centro de Autenticação (AuC – Authentication Center), pois é o responsável pela autenticação dos assinantes no sistema, protegendo usuários e operadoras contra fraudes. O Centro de Autenticação está associado a um HLR e armazena uma chave de identidade para cada assinante móvel, registrado naquele HLR possibilitando a autenticação do IMSI do assinante. É também responsável por gerar a chave para criptografar a comunicação entre MS e BTS.

Ainda pensando na segurança do sistema, o GSM possui também o Registro de Identidade de Equipamento (EIR – Equipment Identity Register) que é um banco de dados que armazena os IMEIs dos terminais móveis do sistema. Pode-se consultar o EIR a qualquer momento durante o estabelecimento da chamada ou a atualização de localização.

O último componente do subsistema de rede é a Central de Serviço de Mensagens Curtas (SMSC). Esta central na verdade é um servidor conectado à rede de sinalização da operadora por onde cada usuário pode enviar mensagens.

Finalizando, o monitoramento de falhas dos três subsistemas, expostos anteriormente, é de responsabilidade do Subsistema de Operação e Suporte (Operation and Maintain Center - OMC). No OMC são colhidas as informações de uma grande variedade de parâmetros da rede e, desta maneira, se pode fazer o controle dos mesmos.

Esta rápida introdução ao sistema de telefonia celular GSM serve de base para compreensão do funcionamento da rede GPRS, já que a mesma está inserida dentro da arquitetura da primeira abordada nesta parte do capítulo.

5.2 - GPRS – General Packet Radio Service

Os serviços de dados, comutados a circuito do GSM, ainda não preenchem as necessidades das operadoras de serviços celulares e dos usuários. Do ponto de vista do usuário, os serviços são caros, pois a cobrança é baseada na duração da conexão, tem os procedimentos de *set up* longo (tempo necessário para construir o canal de comunicação) e ainda as taxas de transmissão oferecidas atualmente, nas redes celulares de comutação a circuitos, são muito baixas. Como exemplo de serviços de dados do sistema GSM tem-se o SMS (Short Message Service), o CSD (Circuit Switched Data) e o HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) [21].

O SMS faz parte do padrão GSM desde a sua implementação comercial em 1992, porém, nenhum terminal GSM daquela época suportava o serviço até que houve o lançamento de outros equipamentos em 1994. Este produto teve uma lenta aceitação no seu início, mas depois se tornou um produto de massa, porém a limitação de 160 caracteres de dados incentivou a criação de novos produtos que pudessem ser capazes de ampliar o comprimento da mensagem para além destes 160 caracteres que é fornecido pelo SMS.

No serviço CSD ocorre uma conexão em tempo real, entre as entidades participantes que são conectadas a uma razão constantes de 9,6 Kbps durante toda a execução do procedimento. O problema deste serviço está no fato de o processo de set up ser bastante demorado, além do fato do sistema ter que alocar um timeslot permanentemente para o usuário durante todo o tempo de serviço, mesmo não existindo dados sendo transmitidos pela interface aérea.

Já o HSCSD é considerado como a primeira tentativa em direção a serviços de dados com altas taxas, pois ele é uma extensão do CSD utilizando quatro timeslots simultâneos, aumentando, portanto, a capacidade de transmissão para até 57,6 Kbps (para um timeslot de 14,4 Kbps). O problema deste tipo de serviço é o fato de que a probabilidade de bloqueio ou degradação do serviço aumentar durante o *handover*; já que neste caso a BSC deve disponibilizar recursos para até quatro canais, e não apenas um, como no caso do CSD. Outro problema é o alto custo para o usuário final, uma vez que a quantidade de canais alocados, reflete diretamente no custo do serviço, que é fixo mesmo no caso de uma indisponibilidade de *timeslot*. E finalmente, o fato de só notebooks suportarem este recurso faz com que a sua aceitação fique ainda muito restrita no sistema GSM.

Assim, com o propósito de viabilizar eficientes serviços de dados nas redes móveis celulares, foi desenvolvida a tecnologia conhecida como GPRS, que originalmente foi pensado apenas para o GSM, mas já se sabe que pode também ser integrado à tecnologia TDMA/IS-136 [22].

O GPRS melhora e simplifica o acesso wireless`a rede de dados de pacotes, permitindo de maneira mais eficiente, a transferência de pacotes de dados entre as estações móveis e as redes de dados em taxas de até 171,2 Kbps. O GPRS integra as redes móveis celulares às redes baseadas em IP tais como Internet e Intranet, e ainda, as redes X.25 [23], proporcionando ao usuário altas taxas teóricas de transmissão e o estabelecimento da sessão em alguns segundos.

O GPRS oferece ainda uma maneira mais amigável de cobrança dos serviços de dados, pois é baseada no volume de tráfego transmitido. Além disso, permite que o assinante fique sempre conectado e on-line, e ainda assim, ele somente será tarifado pelo volume da informação trafegada. A intenção é de que essa conectividade constante possa viabilizar os serviços de valor agregado, tais como novos alertas e notificações de e-mail.

Como o GPRS é comutado a pacote, os *timeslots* somente são usados quando há dados transmitidos na interface aérea, ficando esses canais livres nos demais momentos. Isso viabiliza o compartilhamento desses recursos entre os demais usuários GPRS conectados na rede, aumentando a eficiência espectral, o que leva a otimização no uso dos

recursos de rádio.

O sistema GPRS também é padronizado pelo ETSI (European Telecommunications Standards Institute) e, desta maneira, a sua arquitetura é semelhante a do sistema GSM como pode ser visto no próximo item do capítulo.

5.2.1 - Arquitetura do Sistema GPRS

A tecnologia GPRS traz mudanças à rede GSM, como pode ser visto a Figura 5.3, com a inclusão de uma classe de Nós de Suporte conhecidos como GPRS Support Nodes (GSN). Estes nós são os responsáveis pela entrega e roteamento de pacotes de dados entre as estações móveis e as redes de dados. Algumas alterações na BTS e na BSC são realizadas, principalmente no software das unidades, além da inserção de uma nova placa na BSC denominada PCU ou Unidade de Controle de Pacotes (Packet Control Unit).

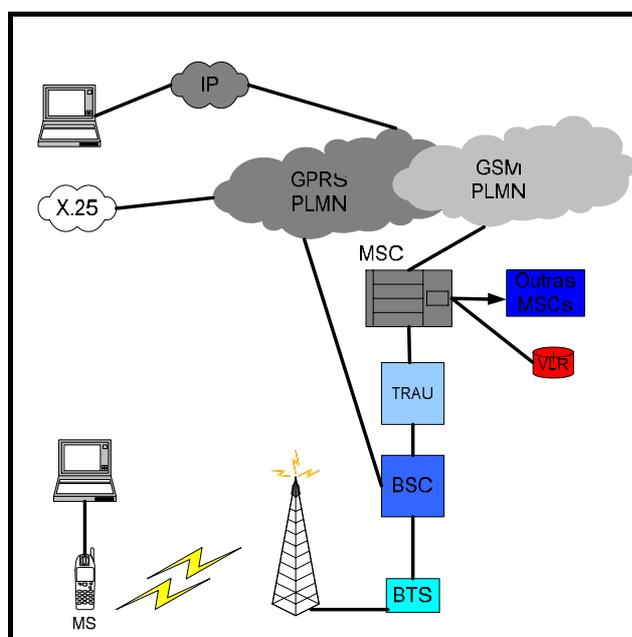


Figura 5.3 - Visão Geral da Rede GPRS

Um dos GSNs incluídos é o SGSN (Serving GSN) ou Servidor do Nó de Suporte do GPRS. Ele é responsável pela entrega dos pacotes de dados das estações móveis (ou para as estações) dentro da área de serviço, ou seja, está no mesmo nível hierárquico que uma MSC. Entre suas tarefas pode-se incluir o roteamento de pacotes, a transferência de pacotes, a gerência dos procedimentos de anexação e desanexação, gerência da localização,

gerência do link lógico, autenticação e criptografia. O SGSN também mantém informações atualizadas das localizações das MSs, tais como célula atual, VLR atual e o perfil do usuário (IMSI, e endereço IP) de todos os assinantes GPRS registrados pertencentes ao SGSN.

Já o Gateway do Nó de Suporte do GPRS (GGSN) é similar a central de comutação e controle gateway (GMSC) do GSM. Ele age como uma interface entre a rede GPRS e as redes de pacotes de dados externas (PDN – Packet Data Network). O GGSN também roteia os pacotes de dados vindos das PDNs para as estações móveis. Para esse propósito, o GGSN grava o endereço do SGSN corrente do usuário e seu perfil em seu registro de localização. Desta maneira, o GGSN pode também ser comparado como parte do HLR no GSM.

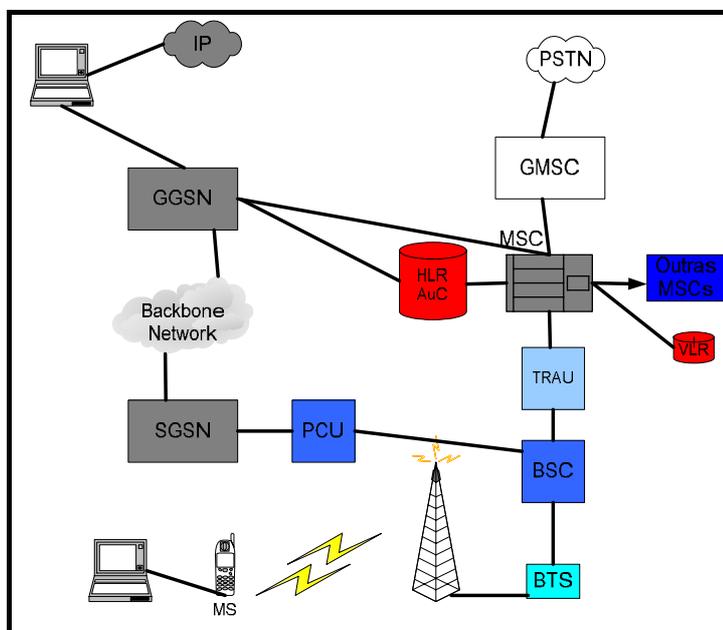


Figura 5.4 - Arquitetura da Rede GPRS

As atualizações de software nas BTSs, são imprescindíveis para que seja possível um aumento de capacidade do sistema, com a inclusão de mais canais necessários para suportar o aumento no tráfego na célula. Porém, a atualização do software da BSC é apenas devida ao fato de se introduzir um novo hardware, o PCU, incluso no sistema é mostrado na Figura 5.4. O PCU é o responsável pela conversão dos dados em pacotes em um formato que possa ser transferido pela interface aérea.

5.2.2 - Pilha de Protocolos do GPRS

A arquitetura de protocolo de comunicação de dados do GPRS é baseada na pilha de protocolo OSI, o Open System Interconnection, que é uma padronização feita pela ISO (International Standards Organization) para promover a interconectividade entre diversos sistemas de protocolos de rede. O modelo OSI separa as etapas de transmissão em camadas, onde se define como cada camada deve proceder na transferência dos dados.

No GPRS, a pilha de protocolo é separada em dois planos que são o plano de transmissão e o plano de sinalização. No plano de transmissão faz-se a transmissão da informação do usuário e os procedimentos de controle. Já no plano de sinalização ocorre o suporte a transmissão do usuário.

A estrutura de protocolos responsável pela transmissão de dados do usuário é construída na forma de camadas, como no protocolo OSI, tendo a primeira camada implementada na BTS. Na Figura 5.5 tem-se a estrutura e as camadas do protocolo GPRS.

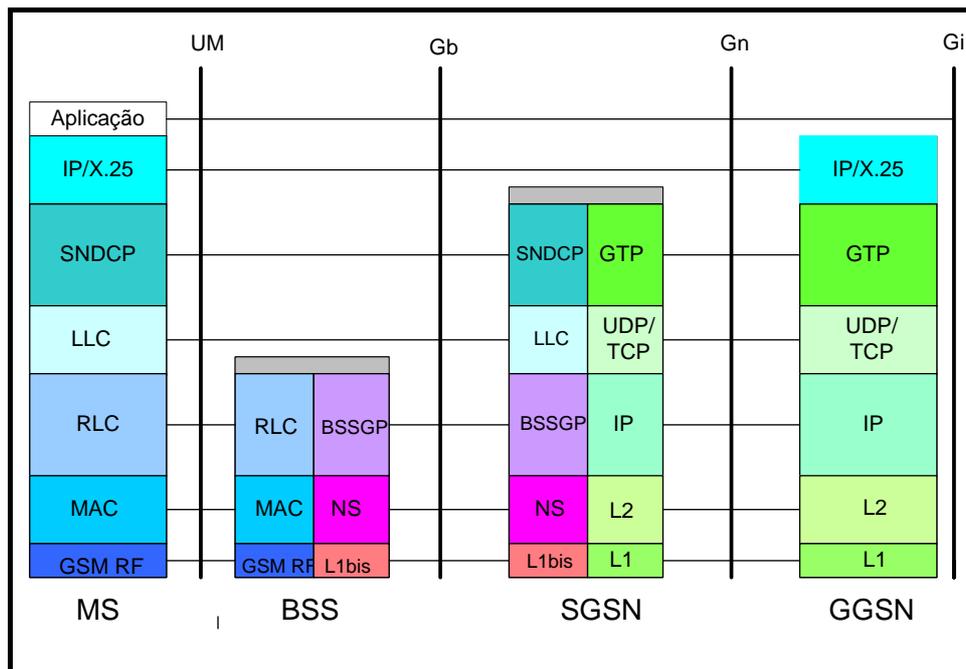


Figura 5.5 - Estrutura e Camadas de Protocolos do GPRS [24]

A camada de aplicação incorpora várias subcamadas e funcionalidades. Para cada aplicação são necessários diferentes tipos de protocolos que geralmente são específicos do software e não tem ligação com a arquitetura GPRS.

A camada de rede pode ser implementada por dois tipos de protocolos de pacotes de dados (Packet Data Protocol – PDT), o IP ou o X.25, mas o protocolo IP ainda é predominante no GPRS.

O Subnetwork dependent Convergence Protocol (SNDCP) faz a ligação entre a camada de rede e as camadas físicas de rádio permitindo a transferência de pacotes entre a MS e a SGSN. As principais funções do SNDCP são a segmentação de pacotes e a compreensão de cabeçalhos e de dados.

A camada de enlace de dados entre a MS e a rede de acesso do protocolo GPRS é dividida em subcamadas que são a Logical Link Control (LLC), a subcamada Radio link Control (RLC) e a Medium Access Control (MAC). A LLC estabelece conexões lógicas cifradas de alta confiabilidade baseado no protocolo HDLC (High Level data Control). O LLC permite que o usuário permaneça com a mesma conexão quando se move entre as células de uma mesma SGNS.

O principal propósito da RLC é estabelecer um enlace confiável entre a MS e a BSS, isso inclui a segmentação e montagem de frames LLC em blocos de dados RLC. Já a MAC controla as tentativas de acesso da MS ao canal de rádio compartilhado por muitas outras estações móveis, desta maneira, a MAC distribui todo o tráfego de dados e sinalização na interface aérea.

A camada GSM RF é a conexão física, via radio frequência, entre a estação móvel e a BSS. Nela são incluídos os procedimentos para o GPRS no que diz respeito à codificação de canal, realizando funções de modulação e demodulação, o procedimento de regulação de potência, e a possível detecção e correção de erros de transmissão devido ao meio físico.

Na interface entre a BSC e a SGSN, o Base Subsystem GPRS Protocol (BSSGP) transmite pacotes de dados e informações de routing. O padrão de comunicação utilizado nesta transmissão é o frame relay (FR), pois torna a interface aberta já que é padronizada.

Para a interligação entre GSNs tem-se o GTP (GPRS Tunnel Protocol) como o protocolo responsável. Ele relaciona a informação de sinalização entre GSNs e é utilizado entre GSNs de um mesma PLMN e entre GSNs de diferentes PLMNs. O GTP encapsula

os dados PTP (Point-to-point), PDT (Packet Data Protocol) e PDU (Packet Data Units), fazendo os mecanismos de controle de fluxo entre os GSNs quando solicitado.

Por baixo do GTP, são utilizados os protocolos TCP/UDP e IP/X.25 como camadas de transporte ou rede. O TCP pode ser utilizado juntamente com o X.25 para conexões seguras, enquanto o UDP será usado com o IP onde não se precisa de confiabilidade na camada de rede. Abaixo do IP podem ser usados protocolos como Ethernet, ISDN ou ATM.

O plano de sinalização do GPRS consiste em protocolos para controle e suporte de funções do plano de transmissão. Neste plano está incluído o controle de acesso às redes GPRS, tal como *Attaching* e *Detaching* da rede GPRS, o controle dos atributos de uma ligação de acesso à rede estabelecida, tal como a ativação de um endereço PDP (Packet Data Protocol), o controle do caminho de *routing* de uma ligação da rede, de modo a suportar a mobilidade do utilizador além do controle da distribuição dos recursos de rede.

A sinalização entre o SGSN e o GGSN é feita através do protocolo GTP sobre UDP/TCP de forma similar a pilha de protocolo para o tráfego de dados. Já o MAP (Mobile Application Part) é o responsável pela sinalização entre o HLR e a SGNS, enquanto a BSSAP (Base Station Subsystem Application Part) é usada para fazer a sinalização entre o SGSN e o MSC/VLR.

Na sinalização entre a estação móvel e a SGSN utiliza-se o GMM/SM, que é o GPRS Mobility Management and Session Management. Esse protocolo suporta as funções de gerência de mobilidade tais como o anexo/desnexo à rede GPRS, ativação/desativação do contexto PDP, atualização da área de localização e da área de roteamento.

5.2.3 - Operações do GPRS

Para se registrar a rede e tornar-se conhecida pela PDN (Packet Data Network), a estação móvel precisa executar algumas operações específicas para poder então, enviar e receber dados. Estas operações se resumem à gerência da mobilidade, como os procedimentos de anexação e desanexação, e a ativação/desativação do contexto PDP (Packet Data Protocol).

A gerência da mobilidade é feita entre os três tipos de estados do protocolo GPRS como ilustrado na Figura 5.6. Estes três estados são o IDLE State, STANDBY State e o READY State.

No estado IDLE o assinante não está anexado à rede GPRS, sendo assim, nenhum procedimento relacionado a gerência de mobilidade do assinante é feito, ou seja, a MS está ligada porém não esta com o GPRS agregado.

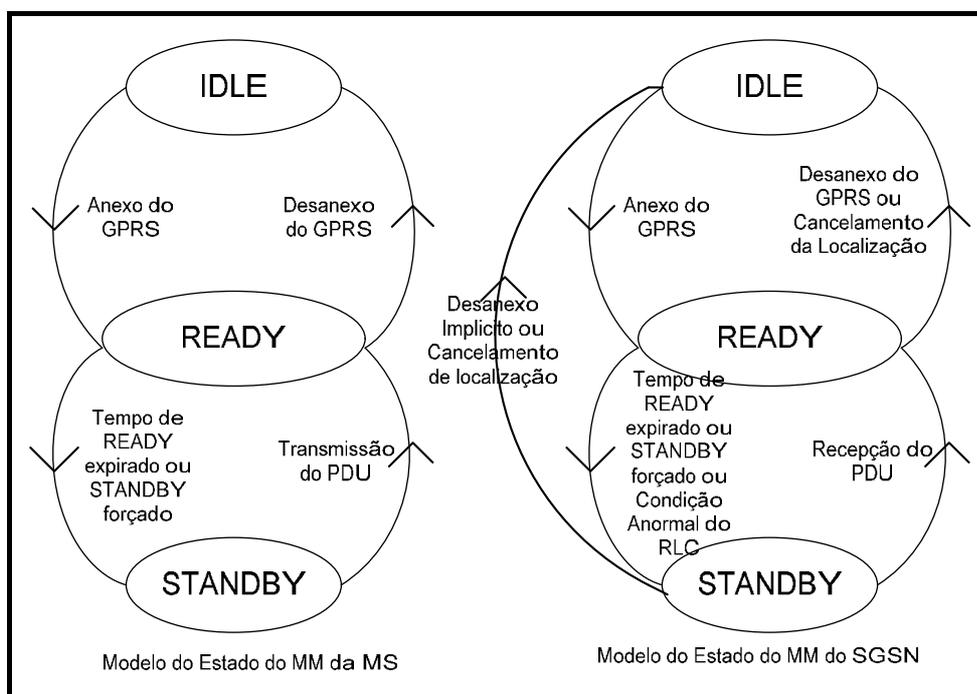


Figura 5.6 - Diagrama de estado do GPRS

No estado STANDBY a MS está agregada ao GPRS e envia as rotas para o SGSN a todo o momento para a atualização da mesma, porém a transmissão e recepção de dados não podem ser feitas.

Já no READY State, a transmissão e recepção de dados são possíveis. Os procedimentos de gerência da mobilidade também são executados. Tal estado é supervisionado por um timer, e a associação MS-SGSN é movida do estado READY para o STANDBY, quando o tempo expira. Para se mover do estado READY para o estado IDLE, a MS deve iniciar um procedimento de desanexação da rede GPRS.

O procedimento de anexação, mostrado na Figura 5.7, é executado, pois antes da MS poder usar os serviços da rede ela deve se tornar conhecida pelo SGSN e pelo GGSN. Este procedimento, também conhecido como *Attach*, se resume a seguinte rotina:

1. A MS envia um pedido de Anexo ou “Attach Request”;
2. A autenticação é realizada com o envio do IMSI da SGSN para o HLR;
3. O HLR é atualizado com a informação do atual SGSN e da estação móvel;

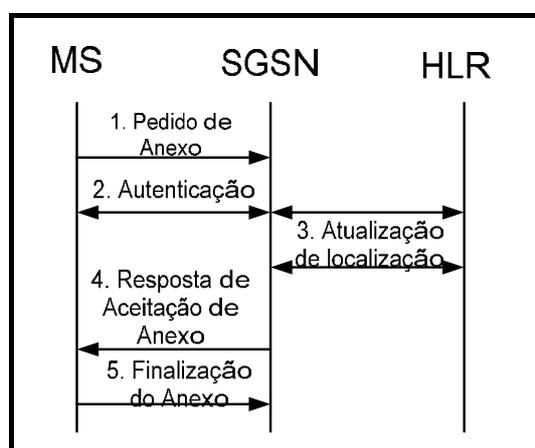


Figura 5.7 - Procedimento de Anexação GPRS

4. A resposta de aceitação de anexo ou “attach accept” atribui um TLLI (Temporary Logical Link Identity) à estação móvel;
5. Finaliza-se então o anexo, ou seja, a MS envia um “attach complete” confirmando o anexo da MS na rede GPRS.

Após a identificação durante a autenticação no procedimento de attach GPRS, não é necessária mais nenhuma identificação durante a sessão GPRS. A operação inversa, ou seja, o desligamento da rede GPRS é chamado de procedimento de desanexo e pode ser realizado pela rede GPRS ou pela estação móvel.

Já para poder trocar pacotes de dados, a estação móvel precisará de um ou mais endereços IP utilizados na PDN. Esse endereço é chamado de endereço PDP que é descrito por uma associação do contexto na MS, SGSN e na GGSN. O estado PDP indica se o endereço está pronto para transferência de dados.

A ativação de um contexto PDP, mostrada na Figura 5.8, é realizada após o procedimento de anexo à rede GPRS, levando a MS para o estado READY. A rotina de ativação do contexto se resume a:

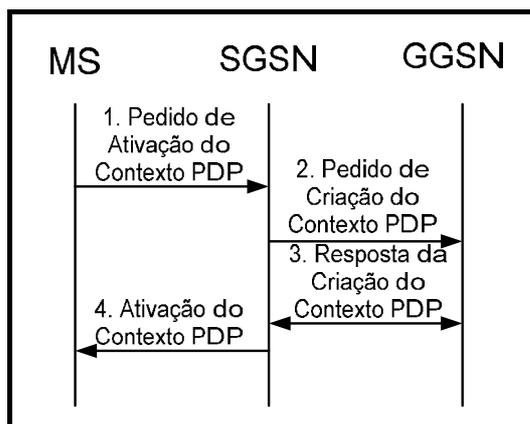


Figura 5.8 - Ativação do Contexto PDP

1. Através do pedido de ativação de contexto, a estação móvel informa a SGSN que precisa ativar um endereço PDP.
2. Com um pedido de criação do contexto PDP (“create PDP context request”), a SGSN encaminha o pedido da MS para a GGSN.
3. A GGSN anuncia o endereço atribuído através da resposta de criação do contexto PDP (“create PDP context response”), que por sua vez cria uma nova entrada em sua tabela de contextos PDP possibilitando o roteamento de pacotes de dados entre o SGSN e a rede de dados externa.
4. Em seguida, o GGSN retorna para o SGSN a mensagem de confirmação da ativação do contexto PDP (“create PDP context response”).

Assim o SGSN atualiza sua tabela de contextos PDP e confirma a ativação de um novo contexto PDP para a estação móvel. Para se desativar um endereço PDP uma desativação do contexto PDP deve ser executada, esta desativação está implícita na transição para o estado IDLE.

Além dos procedimentos de anexação e ativação do contexto PDP existe ainda, a operação de roteamento de pacotes na rede GPRS. Para o roteamento a MS envia pacotes para um servidor conectado a uma rede IP. O SGSN ao encapsular os pacotes IP chegados da MS, examina o contexto PDP, e assim roteia esses pacotes através do backbone de rede intra-PLMN para o apropriado GGSN. Esse por sua vez, desencapsula os pacotes IP e os envia para a rede IP, onde os mecanismos de roteamento são aplicados para entregar os pacotes no destino.

Finalizando a introdução aos sistemas celulares pode-se dizer que a terceira geração de telefonia móvel vem sendo elaborada e será baseada na evolução do núcleo da rede do GSM. Nesta nova geração dos sistemas celulares, planeja-se a permissão da troca de informações a altas taxas e com alta qualidade entre pequenos terminais portáteis, que podem estar localizados em qualquer parte do mundo, é o que alguns já chamam de “A Global System to Connect Anywhere Anytime”.

5.3 - Conclusões do Capítulo

O Capítulo 5 mostrou uma base teórica da evolução, implementação e funcionamento das redes GSM e GPRS. Assim, como consideração final pode-se dizer que as redes GPRS estão sendo implantadas como um degrau para a migração das atuais redes móveis para os sistemas móveis de terceira geração. Foi desenvolvida utilizando as técnicas de comutação por pacote, preparando a infra-estrutura atual do sistema móvel celular para o tráfego de aplicações e dados em pacotes IP. Existem ainda muitas barreiras a serem vencidas, porém os usuários de telefones celulares já podem contar com uma excelente ferramenta móvel de comunicação com a Internet e demais serviços.

Capítulo 6

Implementação do Sistema GPRS

A motivação para se implementar o projeto proposto, com comunicação via GPRS é devida aos benefícios da tecnologia. Estes benefícios, tais como maior taxa de transporte de dados, cobrança por tamanho do pacote, uso modificado da infra-estrutura já instalada da rede GSM e também a padronização com os protocolos IP e X.25, aliado ao crescimento da tecnologia (maior área de cobertura) e ao custo de implantação e operação, foram fatores decisivos na escolha do sistema para a implementação do projeto.

Sendo assim, neste capítulo é apresentado o protótipo da aplicação desenvolvida para a estação remota. São apresentadas ainda as razões para a escolha do módulo GPRS adotado, a plataforma de processamento e, sobretudo o aplicativo de comunicação desenvolvido.

6.1 – O Modem GPRS Modelo GM29

O mercado atualmente dispõe de uma variedade de modems GPRS que são fabricados pelas mesmas empresas que projetam os equipamentos celulares. A escolha do modem, entretanto depende da complexidade do projeto onde ele será inserido.

Existe atualmente, disponíveis no mercado, uma variedade de modems GPRS fabricados pelas empresas de telefones celulares GSM/GPRS, como a Siemens, Nokia, Sony Ericsson, Motorola, etc. O projetista deve estar atento na hora da escolha do modem, pois a complexidade da sua aplicação dependerá desta escolha. O principal fator a ser levado em conta, na hora da escolha, é se o modem escolhido implementa a pilha TCP/IP.

A Figura 6.1 mostra as camadas de protocolo que devem ser implementadas na estação remota. As camadas de (1) a (5) estão presentes em todos os modems GPRS comerciais, sendo totalmente transparentes para o projetista de aplicação GPRS.

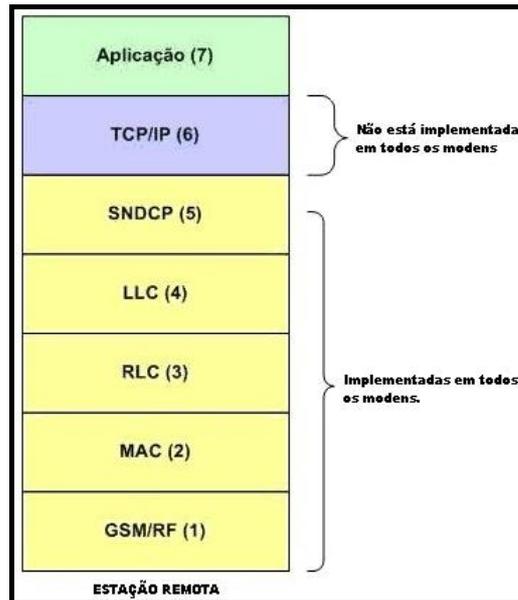


Figura 6.1 - Camadas de Protocolo da Estação Remota.

A camada de aplicação consiste do software de medição da flecha e das funções de estabelecimento e gerenciamento da comunicação com a estação móvel, este software será apresentado posteriormente na seção 6.3.

A camada TCP/IP é utilizada para a transmissão dos dados através da Internet. Esta camada muitas vezes pode ser implementada na própria placa de processamento, mas esta implementação exige muito do projetista e como já existem modems com a camada TCP/IP implementada em firmware, foi decidido pela utilização de um modem que já possui esta camada implementada internamente. Assim para o projeto proposto foi escolhido o modem GPRS da Sony Ericsson modelo GM29 mostrado na Figura 6.2. No Apêndice B é apresentada uma sumária descrição dos protocolos TCP/IP.

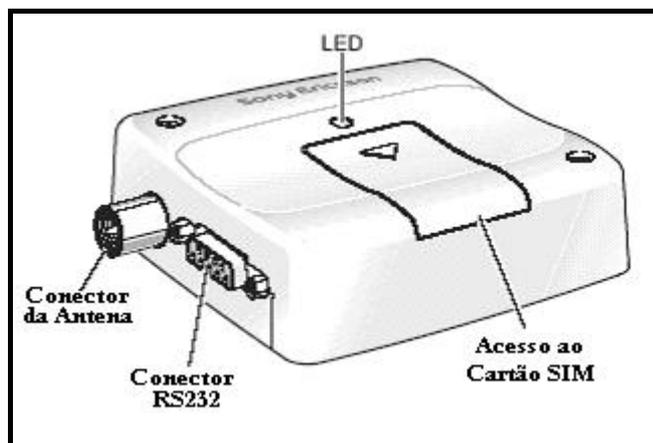


Figura 6.2 – Modem GM29 da Sony-Ericsson.

Na arquitetura do sistema GPRS o modem representa a estação móvel. Esta estação é conectada à placa de processamento de dados através da interface serial padrão RS232. O RS é uma abreviação de “Recommended Standard” e relata uma padronização de uma interface comum para a comunicação de dados entre equipamentos como placas seriais de computadores, mouse e neste caso específico, os modems.

O padrão RS 232 foi utilizado, pois era necessário converter os sinais do DSP, que operam com o padrão TTL para os níveis de tensão da comunicação serial do modem, ou seja, para o nível alto, valor de tensão de -12V e para o nível baixo, valor de tensão de +12V. A Tabela 6.1 mostra a descrição dos pinos da interface RS232 do modem GM29 [25].

Tabela 6.1 - Descrição dos Pinos da interface RS232 do Modem GM29.

Pino	Sinal	I/O	Descrição
1	RCD	O	Detecção de Carrier
2	RD	O	Dados Recebidos
3	TD	I	Dados a Transmitir
4	DTR	I	Data Terminal Ready
5	GND	-	Terra
6	DSR	O	Data Set Ready
7	RTS	I	Request to Send
8	CTS	O	Clear to Send
9	RI	O	Ring Indicator

O - Output
I - Input

É através do conector padrão RS232 que o microprocessador irá se comunicar com o modem através de comandos AT. Também é através deste conector que os dados serão recebidos e enviados ao servidor do sistema de monitoração da flecha. A Figura 6.3 apresenta uma visão geral do sistema, enquanto a Figura 6.4 mostra o circuito de conexão entre o modem e a placa de processamento.

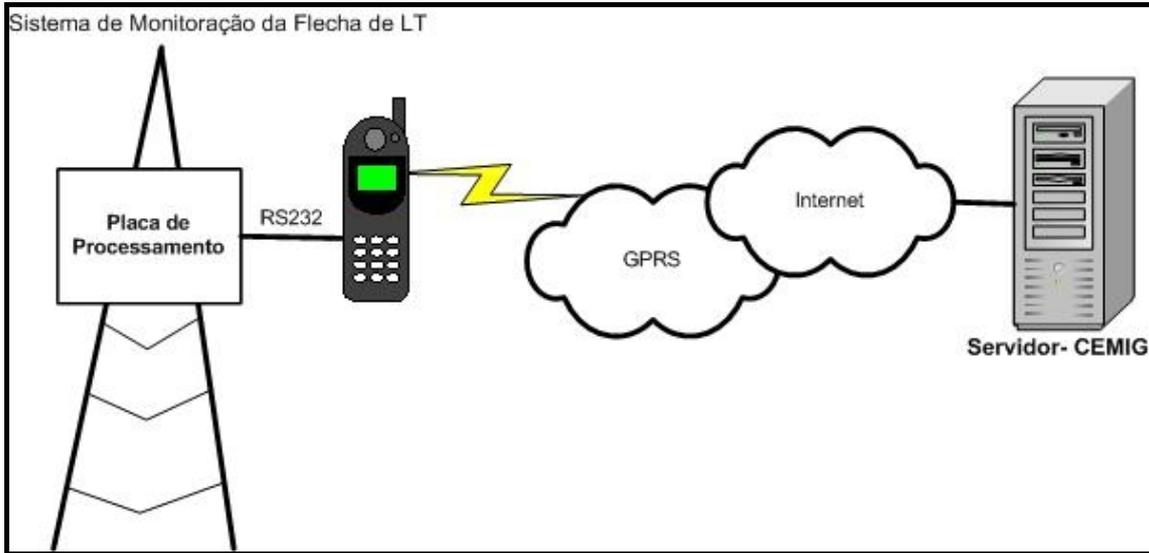


Figura 6.3 - Sistema de Medição da Flecha da LT - Comunicação GPRS

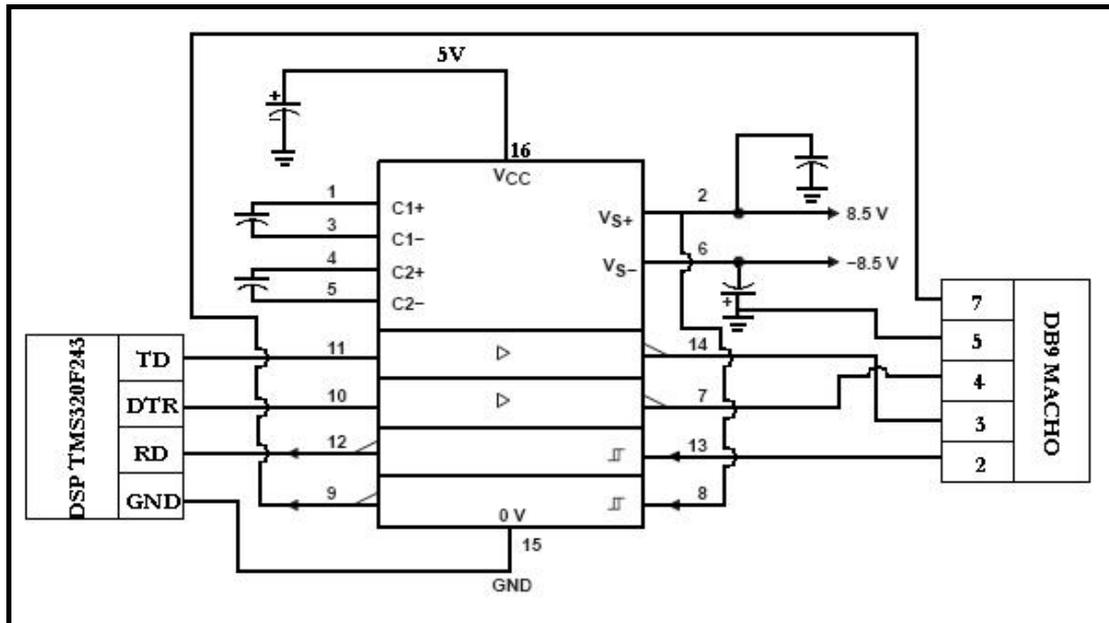


Figura 6.4 – Conexão entre o Sistema de Medição e o Modem GPRS.

Na conexão entre o sistema de medição e o modem GPRS apenas alguns dos sinais mostrados do modem são utilizados na interface. Para que o modem possa aceitar comandos pela interface serial é preciso que os sinais DTR (Data Terminal Ready) e RTS (Request to Send) estejam em nível baixo. O sinal RTR é conectado permanentemente em nível baixo na aplicação, enquanto o sinal DTS é conectado ao sexto pino da porta B, conforme mostrado na Figura 6.5. Os sinais RD e TD são conectados, respectivamente, aos sinais SCIRXD e SCITXD do processador DSP. Estes detalhes de conexão estão mostrados na Figura 6.5.

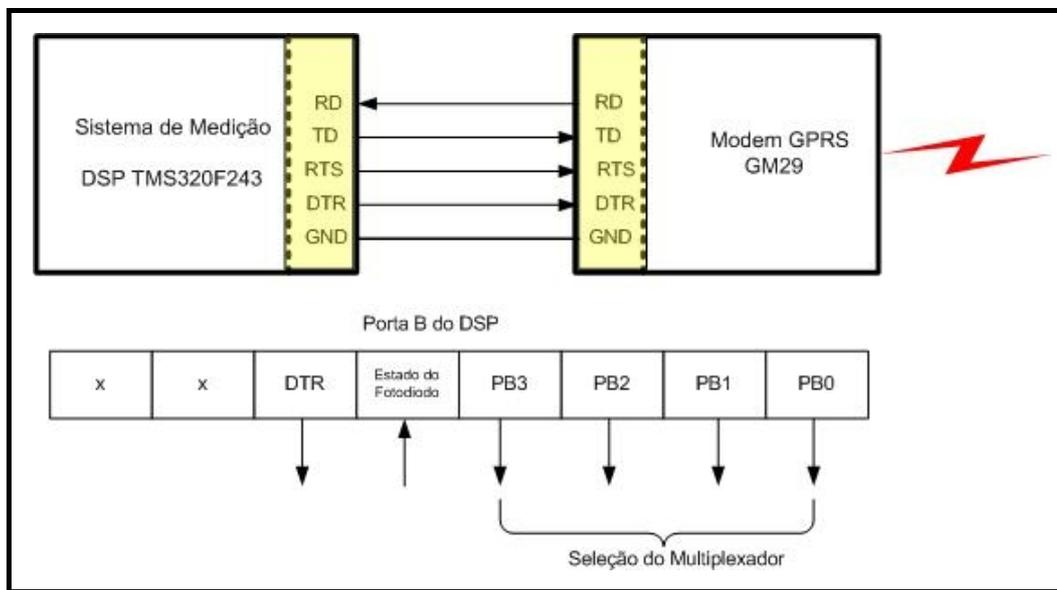


Figura 6.5 – Conexão entre a placa do sistema de medição com o modem GPRS

6.2 - Comandos AT

Um modem opera em dois modos distintos: (a) modo de programação e (b) modo de transmissão e recepção. No modo de transmissão e recepção o modem recebe dados da interface serial, através do seu pino TX, e através das técnicas de modulações transmitem estes dados através da rede GPRS. No sentido contrário os dados vindos da rede GPRS são enviados para a placa controladora, também através da interface serial. No modo de comandos a placa controladora envia comandos para o modem para que o mesmo se anexe

à rede, desanexe e etc. Estes comandos são conhecidos como protocolo Hayes⁴ ou simplesmente comandos AT.

Esta seção se limitará a apresentar os comandos ATs utilizados na aplicação, para a programação do modem GPRS. Os comandos ATs utilizados são divididos nas seguintes categorias: Comandos de inicialização e configuração; Comandos GPRS-Dados; Comandos TCP/IP.

A Tabela 6.2 apresenta os comandos ATs de inicialização e configuração utilizados na aplicação.

Tabela 6.2 – Comandos de Inicialização e Configuração do Modem GM29.

Comando	Descrição
atz	Reseta o modem para a configuração default
ate	Comando de Eco. A opção <code>ate0</code> foi utilizada na aplicação. Este comando faz com que o modem não ecoe caracteres durante a programação.
atv	Define o formato de resposta do modem quando um comando AT é enviado a ele. A resposta pode ser em palavras (OK, CONNECT, ERROR, etc) ou numérico (0, 1, 3, etc.). O comando escolhido foi <code>atv0</code> que retorna caractere numérico. OBS: O caractere numérico é retornado em ASCII: 0 è 30h, 1 è 31h, etc.

Já a Tabela 6.3 mostra os comandos GPRS-Dados

Tabela 6.3 - Comandos GPRS-Dados do Modem

Comando	Descrição
at+cgdcont	Define um PDP contexto. A configuração a seguir foi utilizada para estabelecer o contato com o servidor GPRS da OI, utilizando protocolo IP. <code>at+cgdcont=1,"IP","gprs.oi.com.br"</code> O primeiro parâmetro do comando associa um número ao contexto, no caso, o contexto é identificado pelo número 1. Podem existir vários contextos numa aplicação. O segundo parâmetro identifica o tipo de protocolo. No modem GM29 a única opção é IP. O último parâmetro identifica o endereço PDP do servidor, no caso <code>gprs.oi.com.br</code> .

⁴ "Hayes Microcomputer Products Inc." é o nome da empresa americana que lançou o protocolo de modem esperto, o conhecido protocolo Hayes ou comandos AT.

Outros comandos GPRS poderão ser úteis em aplicações futuras, como a requisição da qualidade de serviço, ativação e desativação de contexto, anexar e desanexar à rede, entre outras. Informações complementares podem ser obtidas em [25].

Como anteriormente mencionado, o modem GM29 possui uma pilha TCP/IP implementada internamente cujos comandos podem ser acessados através de comandos AT. Estes comandos permitem à aplicação criar sockets TCP, controlar contexto PDP GPRS, transferir dados para o módulo e receber dados do mesmo, entre outros. Os principais comandos TCP/IP são mostrados na Tabela 6.3

Tabela 6.4 - Comandos TCP/IP do Modem GM29

Comando AT	Função
AT*E2IPA	Ativação da seção IP usando um contexto PDP previamente definido pelo comando at+cgdcont. Na aplicação foi utilizado o comando at*e2ipa=1,1 Onde o primeiro parâmetro manda ativar o contexto definido no segundo parâmetro (1). Neste momento o servidor atribui um IP à MS. Para desativar o contexto (1) basta usar a seguinte configuração: at*e2ipa=0,1
AT*E2IPO	Abre uma conexão TCP/IP, usando um IP e uma porta especificados. At*e2ipo=1,"129.59.217.99",80
AT*E2IPI	Lê o endereço IP atribuído pela rede GPRS At*e2ipi=0 Retorna o endereço IP recebido, exemplo: 10.123.12.234

Exemplificando a aplicação implementada no protótipo é apresentada a seguir uma seqüência de comandos básicos para o modem:

1. Seta o contexto PDP para a rede oi:

```
at+cgdcont=1,"IP","gprs.oi.com.br"
```

2. Ativa IP

```
at*e2ipa=1,1
```

3. Abre uma conexão TCP/IP com o endereço IP do servidor de teste (200.131.18.206) na porta selecionada (2055).

```
at*e2ipo=1,"200.131.18.206","2055"
```

Após a conexão o modem recebe a confirmação (“CONNECT” ou o código ASCII 31h). Após a confirmação, o modem entra no modo de dados. Assim todos os dados, enviados pela placa processadora ao servidor, são automaticamente encapsulados em frames TCP/IP. Os dados enviados pelo servidor para a estação remota são automaticamente desencapsulados no modem.

4. Retornado ao modo de comando

Para retornar ao modo de comando é preciso desativar o sinal DTR. O software rodando no DSP deve enviar um nível lógico para o pino DTR, conforme mostrado na Figura 6.4. Após voltar para o modo de comando, a estação remota pode desativar a sessão IP, através do comando:

```
at*e2ipa=0,1.
```

A quantidade de comandos ATs que podem ser utilizados é bastante grande, entretanto a complexidade da aplicação irá determinar quais serão os comandos utilizados. Para o protótipo concebido os comandos apresentados foram suficientes para a implementação proposta.

6.3 - O Protótipo do Servidor

A aplicação GPRS desenvolvida segue o paradigma cliente-servidor, ou seja, o servidor espera passivamente por um contato do cliente que é responsável por iniciar o processo de comunicação.

O cliente, na presente aplicação, corresponde ao software rodando na estação remota. Este software é o responsável por realizar a medida da flecha, conectar-se na rede GPRS, transferir os dados e fechar a conexão.

O servidor possui a função de receber os dados dos clientes, armazená-los na forma de histórico, mostrar o estado atual da flecha, nas diversas linhas monitoradas, gerar

alarme, entre outras funções. Esta característica cliente-servidor está em consonância com a filosofia de uma rede GPRS. Numa rede GPRS a MS é responsável por todo o processo de conexão à rede. O servidor GPRS só poderá transmitir dados para a MS se esta estiver conectada.

As Figuras 6.6 e 6.7 mostram os diagramas de funções do protótipo da aplicação do servidor desenvolvido em linguagem LabView. Na Figura 6.6 as duas funções principais são TCP Listen e TCP Read [26]. A primeira função cria um Listener que fica esperando uma conexão TCP na porta especificada. Quando o cliente (estação remota) solicita uma conexão no servidor, esta função cria um socket para a conexão, retornando um identificador (ID) para ser utilizado por outras funções. A função TCP Read recebe o ID e lê 15 caracteres enviados pelo cliente. Estes 15 caracteres correspondem aos dados transmitidos pela estação remota. Evidente que este número pode ser ajustado para outros valores, dependendo do que for necessário no protótipo final. Os caracteres lidos são passados para outras funções do servidor.

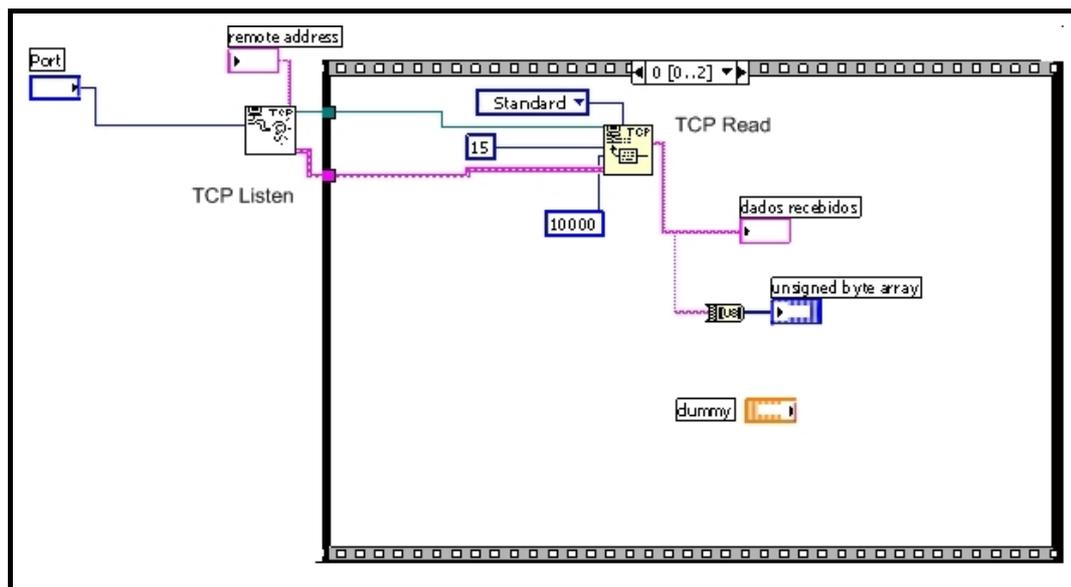


Figura 6.6 - Abertura de Conexão e Leitura de 15 Caracteres

A Figura 6.7 mostra a próxima seqüência de comandos do LabView. Depois de lidos os 15 dados enviados pela estação remota o servidor envia uma confirmação de que recebeu os dados corretamente. No exemplo a função TCP Write envia a string “Conseguimos”, apenas a título de exemplo. Este quadro mostra como é possível transferir dados do cliente para o servidor.

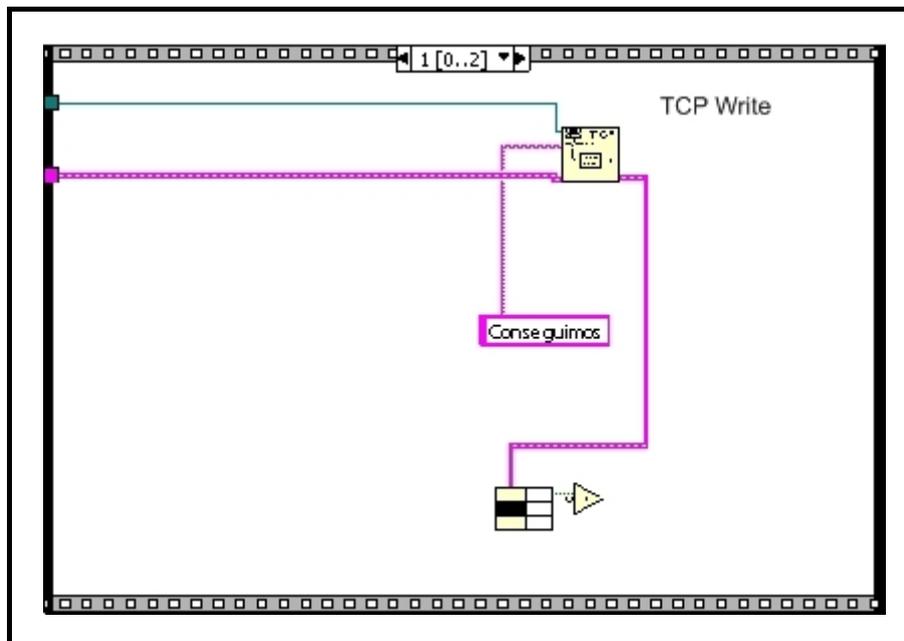


Figura 6.7 - Envio de Informação do Servidor para o Cliente

6.4 - Conclusões do Capítulo

O Capítulo apresentou a implementação propriamente dita do sistema de comunicação via tecnologia GPRS. Foram incluídas também as razões da escolha do sistema, assim como o módulo específico utilizado.

Foi mostrado também o esquema de conexão do sistema de medição óptica com o sistema de comunicação.

Finalizando o capítulo apresentou-se o desenvolvimento do protótipo servidor desenvolvido em linguagem LabView.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1 - Conclusões Finais

Nesta dissertação foi proposta uma nova metodologia de monitoramento em tempo real das condições de operação de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. O objetivo principal da proposta foi a determinação da altura cabo-solo de modo a manter a linha dentro dos limites propostos pelas normas técnicas vigentes.

O protótipo proposto foi implementado a partir de uma configuração onde se tem um emissor laser instalado diretamente sobre os cabos de uma linha de transmissão e um receptor óptico instalado na torre de sustentação da linha. Um protótipo do sistema foi montado na linha da Usina Solar, instalada na Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora.

A implementação testou e fundamentou a metodologia de medição validando a proposta a partir da confirmação de coerência dos resultados colhidos no sistema de medição e os valores esperados a partir de observações do campo de trabalho. Foi mostrado que a partir da medição do deslocamento vertical da linha de transmissão em um ponto qualquer, pode-se obter a altura do ponto crítico de modo indireto. Isto possibilitou que o sistema de medição pudesse ficar a poucos metros da torre de sustentação.

Além de validar a metodologia de medição a dissertação focou no sistema de comunicação entre a estação remota e o centro de controle, onde a tecnologia GPRS foi abordada e indicada como uma tecnologia promissora para processos de automação, devido ao baixo custo e a alta confiabilidade do sistema de telefonia móvel GSM. Neste sentido uma pequena aplicação foi desenvolvida simulando o processo de comunicação entre uma estação remota de medição e uma estação servidora com IP fixo.

Desta maneira a implementação proposta no trabalho foi bem sucedida já que atingiu seus objetivos principais faltando apenas o refinamento dos equipamentos implementados e também a generalização da proposta para as diversas particularidades das linhas de transmissão componentes do Sistema Elétrico Brasileiro.

Algumas propostas de refinamento e aprimoramento são apresentadas e sugeridas como trabalhos futuros, esperando que esta dissertação possa ser fonte de consulta para que se evite alguns erros cometidos e então se possa chegar a resultados cada vez melhores no decorrer de testes realizados.

7.2 - Trabalhos Futuros

Como sugestão de trabalhos futuros relativos ao monitoramento das linhas de transmissão pode-se propor:

- refinamento do canhão laser de modo a realizar ajustes remotos no mesmo;
- implementação do sistema de alimentação do instrumento sensor;
- nova implementação de um instrumento sensor que possa ser menos influenciado pelas condições climáticas do campo;
- confecção da interface visual de comunicação do sistema de medição com o ajuste dos valores reais do ponto crítico da linha utilizando o processamento matemático da equação da catenária da linha de transmissão.
- implementação do protótipo, devidamente isolado em uma linha de transmissão real do sistema elétrico brasileiro.

Referências Bibliográficas

- [1.] ABNT-NBR 5422. “Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica”. 1987.
- [2.] Bezerra J.M. B, Régis O. e Lincoln E. “Aplicação de Termovisores de Última Geração no Controle e Ampliação da Capacidade de Linhas de Transmissão” VII SEPOPE. 2000.
- [3.] Usi Company, New York
Disponível em [http:// www.usi-power.com](http://www.usi-power.com) (acessado em 01/03/05)
- [4.] Nascimento C.A.M, Giudice E.B, Fleming, A, et al. “Aplicação de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real para Aumentar a Capacidade de Transmissão em LTs Aéreas.” XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE, Campinas/SP. 2001
- [5.] Raniga J., Rayudu R.K. “ Stretching Transmission Line Capabilities – A Transpower Investigation” IPENZ – Institution of Professional Engineers New Zealand,
- [6.] The Valley Group, USA
Disponível em <http://www.cat-1.com> (acessado em 10/03/05)
- [7.] Moore P.J, Grace D.B. “Remote Sensing of Overhead Line Conductor Temperature Using an Infra-Red Sensor”. International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, Hong Kong 2000.
- [8.] Carvalho J.R, Vivekanada R, Luz A.M, et al. “Desenvolvimento de Dispositivo para Tele-Monitoração de Pontos Críticos de Linhas de Transmissão”.
- [9.] Fuchs R.D., Almeida M.T. “Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão”. 1ª ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1982.
- [10.] Kiessling F., Nefzger P., Nolasco J.F. et al. “Overhead power Lines, Planning, Design, Construction”, Singer, 2003, Berlin.
- [11.] OSI Optoelectronics, USA

- Disponível em <http://www.osioptoelectronics.com> (acessado em 07/05/05)
- [12.] Turner, L.W, Circuitos e Dispositivos Eletrônicos, Hemus, 2004.
- [13.] Graeme J.G, “Photodiode Amplifiers – Op Amp Solutions” Mc Graw Hil, 1996.
- [14.] Stout D.F, “Handbook of Operational Amplifier Circuit Desing”, McGraaw – Hill,1976.
- [15.] Laserline Indústria e Comércio de Equipamento Eletrônicos Ltda, São Paulo.
- Disponível em <http://www.laserline.com.br> (acessado em 21/03/05)
- [16.] Osram Opto Semiconductors
- Disponível em http://catalog.osram-os.com/media/_en/Graphics/00029247_0.pdf (acessado em 18/04/05)
- [17.] Texas Instruments
- Disponível em <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/mpc506.pdf> (acessado em 20/05/05)
- [18.] Texas Instruments
- Disponível em <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/opa2227.pdf> (acessado em 06/06/05)
- [19.] National Instruments
- Disponível em <http://www.ni.com/labview> (acessado em 11/12/05)
- [20.] REDL, S.M, WEBER, M.K, OLIPHANT, M.W, “ GSM and Personal Communications Handbook”, 1ª ed., Artech House, 1998.
- [21.] HEINE, G., “GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation”, 1ª ed., Artech House, 1999.
- [22.] BATES, R..J., “GPRS – General Packet Service”, 1ª ed., McGraw-Hill, 2002.
- [23.] COMER, D.E., “ Internetworking with TCP/IP – Principles, Protocols and Architecture”, 4ª ed., Prentice Hall, 2000.
- [24.] HALONEN, T.,ROMERO, J., MELERO, J., “ GSM, GPRS and EDGE Performance – Evolution Towards 3G/UMTS”, 2ª ed., John Wiley & Song Ltd, 2003.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [25.] Sony Ericsson Mobile Communications International, “GM29 – Technical Description”, Publication Number: LZT 123 7359 R1B, 2002.
- [26.] “LabVIEW – User Manual”, National Instruments, Part Number 320999C-01, 2000.

Anexo A

Listagem de Programas

A.1 - Programação do DSP

; Autor: Thiago Magaldi, Duque, Juciléia
; Referência: Literatura SPRU276C
; Última Modificação: 03/08/2005

```
                .include "F243.h"  
                .global  _c_int0  
n_FD .set 15          ; (nº de FD - 1)
```

; Memória de Dados

```
                .data  
temp            .word 0  
FD_1           .word 0  
FD_2           .word 1  
FD_3           .word 2  
FD_4           .word 3  
FD_5           .word 4  
FD_6           .word 5  
FD_7           .word 6  
FD_8           .word 7  
FD_9           .word 8  
FD_10          .word 9  
FD_11          .word 10  
FD_12          .word 11  
FD_13          .word 12  
FD_14          .word 13  
FD_15          .word 14  
FD_16          .word 15  
resultado      .word 0  
sinal_1        .word 0AAh  
resultado_l    word 0  
resultado_h    word 0
```

; Vetores de Interrupção

```
.sect "vectors"
RSN      B      START
INT1:    B      GISR1
INT2:    B      GISR2
INT3:    B      GISR3
INT4:    B      GISR4
INT5:    B      GISR5
INT6:    B      GISR6
RESERVED: B     PHANTOM
SW_INT8: B     PHANTOM
SW_INT9: B     PHANTOM
SW_INT10: B    PHANTOM
SW_INT11: B    PHANTOM
SW_INT12: B    PHANTOM
SW_INT13: B    PHANTOM
SW_INT14: B    PHANTOM
SW_INT15: B    PHANTOM
SW_INT16: B    PHANTOM
TRAP:    B     PHANTOM
NMI:     B     PHANTOM
EMU_TRAP: B    PHANTOM
SW_INT20: B    PHANTOM
SW_INT21: B    PHANTOM
SW_INT22: B    PHANTOM
SW_INT23: B    PHANTOM
SW_INT24: B    PHANTOM
SW_INT25: B    PHANTOM
SW_INT26: B    PHANTOM
SW_INT27: B    PHANTOM
SW_INT28: B    PHANTOM
SW_INT29: B    PHANTOM
SW_INT30: B    PHANTOM
SW_INT31: B    PHANTOM
```

; Código Principal

```
.text
_c_int0
START:
        SETC INTM          ; Desabilita interrupções
        SETC CNF           ; Configura Bloco B0 para memória de dados
        CLRC SXM
```

; Configuração do Sistema

LDP #DP_PF1
SPLK #0000h, SCSR ; (p.5-3)
SPLK #0068h, WDCR ; (p.12-10)

; Configuração do Gerador de Espera

LDP #6
SPLK #0000h, temp
OUT temp, WSGR ; (p.3-21)

; Block move from Program Memory to Data Memory (BLPD)

LAR AR0, #temp
MAR *, AR0
RPT #20 ; 21 words
BLPD #i_temp, *+

; Setup das interrupções

LDP #0
LACL #0000h ; interrupção 2
SACL IFR ; flags para interrupções mascaráveis
OR IMR ; mask
SACL IMR

; Desligamento de todos os registros do EV

LDP #DP_EV
LACL #0

; Timer Registers

SACL GPTCON
SACL T1CNT
SACL T1CMPR
SACL T1PR
SACL T1CON
SACL T2CNT
SACL T2CMPR
SACL T2PR
SACL T2CON

; Setup do temporizador - GP Timer 1

```

LDP #DP_EV
SPLK #000000000000000b, GPTCON ; (p.7-31)
SPLK #00FFFh, T1PR ; (p.7-15)
SPLK #0000h, T1CNT ; (p.7-19)
SPLK #000101110000000b, T1CON ; (p.7-29)
; bit6=1 inicia a contagem
SPLK #000000000000000b, EVIMRA ; (p.7-74)
; interrupção de período (desabilitada)
SPLK #000000001000000b, EVIFRA ; (p.7-70)
; reseta flag T1PINT
    
```

; Configuração dos Pinos Compartilhados

```

LDP #DP_PF2
LACC OCRA ; (p.6-4)
OR #0003h
AND
#00FFh
SACL OCRA ; pinos SCITXD e SCIRXD
; pinos IOPB0/7
; IOPB0/3 - pinos de saída
; IOPB4 - pino de entrada
    
```

; Configuração do SCI

```

LDP #DP_PF1
SPLK #0087h, SCICCR ; (p.9-21)
SPLK #0003h, SCICTL1 ; (p.9-23)
SPLK #0000h, SCICTL2 ; (p.9-27)
; 0000h: sem interrupção
; 0002h: com interrupção de recepção
SPLK #0004h, SCIHBAUD ; (p.9-26)
SPLK #0011h, SCILBAUD ; (p.9-26) ; Baud Rate=2400 bps (2399,...)
; 0000h: prioridade alta da interrupção
; 0020h: prioridade baixa da interrupção
SPLK #0023h, SCICTL1
    
```

; LOOP PRINCIPAL

```

LAR AR0, #n_FD
LAR AR1, #FD_1
LAR AR2, #resultado
LAR AR3, #SCITXBUF ; buffer de transmissão
LAR AR6, #temp
    
```

; ROTINA DE INTERRUÇÃO DO TIMER 1

T1PINT:

```

                LDP #DP_PF2
loop
                LAR AR7, #000Fh;   loop entre leds
                LACL #0F00h
                MAR *, AR1
                OR    *+
                SACL PBDATDIR                ; (p.6-9)
                                                ; IOPB0/3 - pinos de saída
                                                ; IOPB4 - pino de entrada
                MAR *, AR7                ; ativa espera de carga capacitor
carga:
                NOP
                NOP
                NOP                ; espera pelo bit IOPB4
                NOP
                NOP
                NOP
                BANZ carga,*-
                MAR *, AR2
                BIT   PBDATDIR, BIT4        ; TC = IOPB4

                BCND loop1, TC
                CLRC C                ;C=0 bit correspondente 0
                B loop2                ;pula proxima instrucao

loop1: SETC C
loop2: LACC *,16
                ROR                ;armazena o estado do led
                SACH *,0,AR0        ;armazena o resultado

                BANZ loop,*-        ;proximo led

                LAR AR6,#resultado_h    ; resultado mais significativo
                MAR *,AR2
                LACL *,AR6                ;carrega resultado

                AND #0FF00h ;isola byte mais significativo
                RPT #7
                SFR                ; armazena byte mais significativo
                SACL *-,0,AR2; armazena resultado_h

                LACL *,AR6 ;carrega resultado
                AND #0FFh ;mascara a parte baixa do ACL
                SACL *-                ;armazena resultado_L
    
```

; ENVIO DE DADOS SERIAIS POR RF

```
LAR  AR6, #sinal_1
LAR  AR0, #2

send
    MAR *, AR6
    LACL *+, AR3
    SACL *, 0, AR0
    CALL verify_OUT
    BANZ send,*-

end_send
```

;reicialização

```
LAR  AR0, #n_FD
LAR  AR1, #FD_1
LAR  AR2, #resultado
MAR *,AR2;
LACL #0;
SACL *;      ; zera resultado
```

; rotina de atraso

```
B    T1PINT                                ; bit6=1 contagem acelerada x/1
```

; SUB-ROTINAS

; Rotina de verificação de envio do caracter

```
verify_OUT
    LDP #DP_PF1
XMIT_RDY:
    BIT SCICTL2, BIT7
    BCND XMIT_RDY, NTC
    RET
```

; OUTRAS ROTINAS DE INTERRUPÇÃO

```
GISR1:    RET
GISR2:    RET
GISR3:    RET
GISR4:    RET
GISR5:    RET
GISR6:    RET
PHANTOM:  RET
```

; Imagem da Memória de Dados

```
i_temp      .word 0
             .word 0
             .word 1
             .word 2
             .word 3
             .word 4
             .word 5
             .word 6
             .word 7
             .word 8
             .word 9
             .word 10
             .word 11
             .word 12
             .word 13
             .word 14
             .word 15
             .word 0
             .word 0AAh
             .word 0
             .word 0
```

.end

A.2 - Programação do Modem GPRS

; Autor: Duque e Juciléia
; Referência: Literatura SPRU276C
; Última Modificação: 08/11/2005

```
.include "F243.h"  
.global _c_int0
```

; Memória de Dados

```
.data  
temp .word 0h  
flag1 .word 0h  
flag2 .word 0h
```

; Comandos para o modem
; os comandos abaixo são transferido da área de programa para a área de dados
; eles devem ser um espelho dos comandos t_cmd0, t_cmd1. mudando-se o t por d.

```
d_cmd0 .word "atz",0dh,0ah  
d_cmd1 .word "ate0", 0dh,0ah  
d_cmd2 .word "atv1",0dh,0ah  
d_cmd3 .word  
"at+cgdcont=1",02Ch,22h,"ip",22h,02Ch,22h,"gprs.oi.com.br",22h,0dh,0ah;  
d_cmd4 .word "at*e2ipa=1,1",0dh,0ah;  
d_cmd5 .word "at*e2ipo=1",02ch,22h,"200.131.18.206",22h,02ch,"2055",0dh,0ah;  
34 caracteres  
d_cmd6 .word "at*e2ipa=0,1",0dh,0ah ; (14 bytes) desativa a seção IP  
reserv .space 2*16  
d_dad .word "carlos duque",3dh,3dh,3dh,3dh ; dados  
.space 10*16 ; reserva na área de dados
```

; buffer de recepção

```
buff_recep .space 10*16 ; dados para transferir
```

; Vetores de Interrupção

```
                .sect "vectors"
RSN             B      START
INT1:           B      GISR1
INT2:           B      GISR2
INT3:           B      GISR3
INT4:           B      GISR4
INT5:           B      GISR5
INT6:           B      GISR6
RESERVED:       B      PHANTOM
SW_INT8:        B      PHANTOM
SW_INT9:        B      PHANTOM
SW_INT10:       B      PHANTOM
SW_INT11:       B      PHANTOM
SW_INT12:       B      PHANTOM
SW_INT13:       B      PHANTOM
SW_INT14:       B      PHANTOM
SW_INT15:       B      PHANTOM
SW_INT16:       B      PHANTOM
TRAP:           B      PHANTOM
NMI:           B      PHANTOM
EMU_TRAP:       B      PHANTOM
SW_INT20:       B      PHANTOM
SW_INT21:       B      PHANTOM
SW_INT22:       B      PHANTOM
SW_INT23:       B      PHANTOM
SW_INT24:       B      PHANTOM
SW_INT25:       B      PHANTOM
SW_INT26:       B      PHANTOM
SW_INT27:       B      PHANTOM
SW_INT28:       B      PHANTOM
SW_INT29:       B      PHANTOM
SW_INT30:       B      PHANTOM
SW_INT31:       B      PHANTOM
```

; Código Principal

```
                .text
_c_int0
START:
                SETC INTM                ; Desabilita interrupções
                CLRC CNF                 ; Configura Bloco B0 para
memória de dados
                CLRC SXM
```

; Configuração do Sistema

LDP #DP_PF1
SPLK #0000h, SCSR ; (p.5-3)
SPLK #006Fh, WDCR ; (p.12-10)

; Configuração do Gerador de Espera

LDP #00E0h ; reseta watchdog
SPLK #05555h, WDKEY
SPLK #0AAAAh, WDKEY
LDP #0h
LDP #6 ; página de dados
SPLK #0000h, temp
OUT temp, WSGR ; (p.3-21)

; Movimento dos parâmetros para a memoria volatil de dados

movim: LAR AR0, #d_cmd0
MAR *, AR0
RPT #126 ; n+1 words
BLPD #t_cmd0, *+

; Configuração dos Pinos Compartilhados

LDP #DP_PF2
LACC OCRA ; (p.6-4)
OR #0003h
AND #00FFh
SACL OCRA ; pinos SCITXD e SCIRXD
; pinos IOPB5 pino de I/O
SPLK #02F00h, PBDATDIR ; (p.6-9): IOPB0/3 - pinos de saída; IOPB4-pino de
entrada
; IOPB5 (DTR) pino de saída

; Configuração do SCI

LDP #DP_PF1
SPLK #0007h, SCICCR ; (p.9-21) % 1 Stop bit, S/ paridade,
8 bits de dados
SPLK #0003h, SCICTL1 ; (p.9-23)
SPLK #0000h, SCICTL2 ; (p.9-27)
SPLK #0001h, SCIHBAUD ; (p.9-26)
SPLK #0003h, SCILBAUD ; (p.9-26) ; Baud Rate=9600
bps (9615,...)
SPLK #0023h, SCICTL1 ; liberar o SCI do reset

; CONFIGURANDO MODEM

; enviando comando AT

reset_m LAR AR0, #4 ; enviar n+1 bytes
 LAR AR6, #d_cmd0 ; atz ==> reset do modem
 CALL envia

; recebendo retorno do modem

LAR
AR0, #0 ; receber 2 bytes contador de palavras
 LAR AR6, #buff_recep ; local de armazenamento
 CALL recebe
 CALL pausa ; espera modem responder

; envia comando t_cmd1

cmd1 LAR AR0, #5 ; enviar 3 bytes contador de palavras
 LAR AR6, #d_cmd1 ; ate0 ==> não ecoar comandos
 CALL envia

; recebendo retorno do modem

 LAR AR0, #0 ; receber 2 bytes contador de palavras
 LAR AR6, #buff_recep ; local de armazenamento
 CALL recebe
 CALL pausa ; espera modem responder

; enviando comando t_cmd2

cmd2 LAR AR0, #5 ; enviar n+1 bytes
 LAR AR6, #d_cmd2
 CALL envia ; atv0 retornar código numérico ao inves de
verbose
 LAR AR0, #0 ; receber n+1 bytes contador de palavras
 LAR AR6, #buff_recep ; local de armazenamento
 CALL recebe
 CALL pausa ; espera modem responder

; conectando na rede GPRS

cmd3 LAR AR0, #35 ; at+cgdcont=1,"ip","gprs.oi.com.br"
 LAR AR6, #d_cmd3
 CALL envia

; recebendo retorno do modem

LAR AR0, #0 ; receber 2 bytes contador de palavras
LAR AR6, #buff_recep ; local de armazenamento
CALL recebe
CALL pausa ; espera modem responder

;enviando comando t_cmd4

loop1: LAR AR0, #13 ; at*e2ipa=1,1 ==> ativa o contexto
cmd4 LAR AR6, #d_cmd4
CALL envia

; recebendo retorno do modem

AR0, #0 LAR
; receber 2 bytes contador de palavras
LAR AR6, #buff_recep ; local de armazenamento
CALL recebe
SUB #30h
BCND reset_m,NEQ ; espera-se retorno 0 (30h ASCII) se OK,
caso contrario ; reseta modem

; enviando comando t_cmd5

LAR AR0, #33 ; at*e2ipo=1,"200.131.18.206",2055 ==> endereço IP
servidor e porta
cmd5 LAR AR6, #d_cmd5
CALL envia
CALL pausa ; espera modem responder

; recebendo retorno do modem

LAR AR0, #0; receber 2 bytes contador de palavras
LAR AR6, #buff_recep ; local de armazenamento
CALL recebe
SUB #31h ; esperae retorno 1 (31h ASCII) se OK, caso
contrario ; reseta modem
BCND reset_m,NEQ

; enviando dados

```

dad_os      LAR   AR0, #14      ; enviar 15 dados (banco fixo)
            LAR AR6, #d_dad
            LAR AR6, #d_dad
            CALL envia
            LAR   AR0, #0      ; Espera retorno do servidor AAh
            LAR AR6, #buff_recep ; local de armazenamento
            CALL recebe
            SUB #026h
            BCND reset_m,NEQ    ; reseta modem
            ;LDP #DP_PF2
            ;SPLK #02F20h, PBDATDIR ; retorna modem ao modo de
comando
            ;LAR   AR0, #13      ; at*e2ipa=0,1 ==> desativa o
contexto
            B dad_os            ; enviar mais dados
    
```

```

;
; SUB-ROTINAS
; Rotina de envio Envia (AR0+1) bytes
; AR6 --> aponta para a mensagem (dados) a ser enviado
; AR3 --> aponta para SCITXBUF
; (AR0+1) --> Número de bytes a ser transmitido
    
```

```

envia
            LAR   AR3, #SCIRXBUF ; limpar buffer de recepção
            MAR *,AR3
            LA CL *
            LAR
AR3, #SCITXBUF ; buffer de transmissão
            CALL verify_OUT
            MAR *, AR6
            LA CL *+, AR3
            SA CL *, 0, AR0
            BANZ envia,*-
            RET
    
```

; Rotina de Recepção
; Rotina de envio
; AR6 --> aponta para o buffer de memória para a recepção
; AR3 --> aponta para SCIRXBUF
;(AR0+1) --> Número de bytes a ser recebidos

recebe
LAR AR3, #SCIRXBUF ; buffer de recepção
CALL verify_IN
MAR *, AR3
LACL *, AR6
SACL *+, 0, AR0
BANZ recebe,*-
RET

; Rotina de verificação de envio do caracter

verify_OUT
XMIT_RDY: LDP #DP_PF1
BIT SCICTL2, BIT6
BCND XMIT_RDY, NTC
RET

; Rotina de verificação de recebimento de caracter

verify_IN
RCV_RDY: LDP #DP_PF1
BIT SCIRXST, BIT6
BCND RCV_RDY, NTC
RET

; SUBROTINA PAUSA
; gera atraso para esperar o retorno do modem aos comandos AT

pausa
de sinal) LACC #0FFFFh ; carrega acumulador com FFFF_FFFFh (extensao
pausa_1 NOP
NOP
NOP
SUB #1
BCND pausa_1,NEQ
RET

; OUTRAS ROTINAS DE INTERRUPTÃO

GISR1: RET
GISR2: RET
GISR3: RET
GISR4: RET
GISR5: RET
GISR6: RET
PHANTOM: RET

; Imagem da Memória de Dados

t_cmd0 .word "atz",0dh,0ah ; (5 bytes) seta default
t_cmd1 .word "ate0", 0dh,0ah ; (6 bytes)
t_cmd2 .word "atv0",0dh,0ah ; (6 bytes)
t_cmd3 .word
"at+cgdcont=1",02ch,22h,"ip",22h,02Ch,22h,"gprs.oi.com.br",22h,0dh,0ah ; 36 caracteres
t_cmd4 .word "at*e2ipa=1,1",0dh,0ah ; (14 bytes) ativa contexto
t_cmd5 .word "at*e2ipo=1",02ch,22h,"200.131.18.206",22h,02ch,"2055",0dh,0ah; 34
caracteres
t_cmd6 .word "at*e2ipa=0,1",0dh,0ah ; (14 bytes) desativa a seção IP
t_dados .word "carlos duque ", 3dh,3dh,3dh ; dados para transferir

.end

Anexo B

Protocolos de Comunicação TCP/IP

O TCP/IP, abreviatura para Transmission Control Protocol/Internet Protocol, é um conjunto de protocolos, onde dois dos mais importantes (exatamente o IP e o TCP) deram seus nomes à arquitetura. O protocolo IP, base da estrutura de comunicação da Internet, foi desenvolvido para interligar diferentes computadores da rede de pesquisa científica dos EUA, em meados dos anos 70. Já o TCP é um protocolo de transporte orientado a conexão que garante a confiabilidade da comunicação entre pares de processos localizados em máquinas ligadas ou não a mesma rede.

A arquitetura TCP/IP, assim como o padrão OSI, realiza a divisão de funções do sistema de comunicação em estruturas de camadas, estas camadas são: aplicação, transporte, inter-rede e rede como mostrado na Figura B.1.

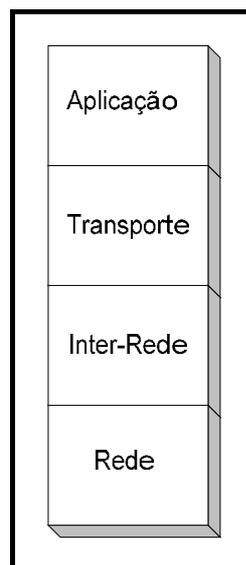


Figura B.1 – As Camadas do Protocolo TCP/IP.

A camada de rede manipula o movimento de pacotes pela rede. Ela é a responsável pelo envio de datagramas construídos pela camada Inter-Rede. Esta camada realiza também o mapeamento entre um endereço de identificação de nível Inter-rede para um endereço físico ou lógico do nível de Rede. Alguns protocolos existentes nesta camada são: X.25, Frame-Relay, ATM (protocolos com estrutura de rede própria), Ethernet (protocolos de enlace), V.24, X.21 (protocolos de nível físico), ARP (protocolos de mapeamento de endereços).

A camada de inter-rede ou internet realiza a comunicação entre máquinas vizinhas através do protocolo IP. Para identificar cada máquina e a própria rede onde estas estão situadas, é definido um identificador, chamado endereço IP, que é independente de outras formas de endereçamento que possam existir nos níveis inferiores. No caso de existir endereçamento nos níveis inferiores é realizado um mapeamento para possibilitar a conversão de um endereço IP em um endereço deste nível. Nesta camada os protocolos existentes são: IP (protocolo de transporte de dados), ICMP (protocolo de controle e erro), IGMP (protocolo de controle de grupo de endereços), e também os protocolos de controle de informações de roteamento.

A camada de transporte por sua vez, provê o fluxo de dados entre dois hosts, para a camada de aplicação. Nesta camada estão incluídos os protocolos UDP, que realiza a multiplexação para que várias aplicações possam acessar o sistema de comunicação de forma coerente, e o protocolo TCP que realiza o controle de fluxo, o controle de erro, a seqüenciação e a multiplexação de mensagens, tornando a comunicação entre origem e destino mais confiável.

A camada de aplicação reúne os protocolos que fornecem serviços de comunicação ao usuário. Nesta camada estão os protocolos de alto nível como o TELNET (terminal virtual), o FTP (protocolo de transferência de arquivos), SMTP (protocolo de envio de correio eletrônico) entre outros.

Como o TCP e IP são os dois principais protocolos da arquitetura TCP/IP, eles serão abordados separadamente para maior aproveitamento no entendimento de suas estruturas.

B.1 - O Protocolo TCP

O protocolo TCP é como já mencionado, orientado a conexão, ou seja, antes que duas partes possam se comunicar é necessário que seja estabelecida a comunicação entre elas. Este protocolo é altamente confiável e independe da qualidade de serviços das sub-redes que implementam o caminho de comunicação.

O protocolo TCP especifica o formato dos dados e das confirmações que dois computadores trocam para oferecer uma transferência confiável e, também os procedimentos de que se valem os computadores para assegurar que os dados cheguem corretamente. Especifica ainda como o software TCP confirma os múltiplos destinos em determinada máquina e como as máquinas recuperam-se de erros como pacotes duplicados ou perdidos.

O funcionamento básico do TCP pode ser resumido a:

1. Serviço de Transporte – Para o envio de dados o TCP se utiliza do protocolo IP na camada de rede enviando através dele o que são chamados de segmentos. Cabe ao protocolo TCP decidir o tamanho ideal destes segmentos.
2. Reconhecimento de Segmentos – Quando o TCP envia um segmento ele aguarda por uma confirmação do recebimento. Pelo uso de um temporizador que é ativado no momento do envio deste segmento, o TCP decide pela retransmissão deste, caso não haja esta confirmação pela outra parte. Da mesma forma, toda vez que o TCP recebe um segmento, o mesmo envia um reconhecimento como resposta.

Para que seja possível identificar a que serviço um determinado datagrama pertence, o TCP utiliza o conceito de portas (representação numérica de um serviço Internet). Alguns serviços têm números de porta padrão, como apresentado na Tabela B.1.

Tabela B.1- Endereços de Porta Padrão

Serviço (Server)	Porta
HTTP (WWW)	80
HTTPS (WWW seguro)	443
IRC (Chat, ou bate-papo)	6667
FTP (Transferência de arquivos)	21
TELNET (Emulação de terminal)	23
SMTP (Transferência de E-Mail entre MTAs)	25

3. Integridade dos Dados – O TCP contém um checksum em seu cabeçalho, o qual é utilizado para verificar a integridade dos dados recebidos. Quando qualquer modificação é identificada em um segmento, este é “descartado” e não é gerado um reconhecimento do mesmo. Desta forma o outro ponto na comunicação acaba por enviar este segmento novamente pelo estouro da temporização de reconhecimento.
4. Ordem de Recebimento – Como o serviço oferecido pelo IP não garante a ordem de entrega dos pacotes, a parte receptora deve realinhar os dados, quando necessário, de forma que a aplicação os receba de forma ordenada.
5. Controle de Fluxo – Sempre que dois dispositivos estão se comunicando em uma rede pode existir a possibilidade de uma das partes transmitir mais rápido que o lado receptor possa receber. Nos casos onde esta disparidade é grande, rapidamente o lado receptor pode ficar sem espaço para armazenamento dos dados recebidos. Desta forma o TCP provê o controle de fluxo para que os dois lados em uma comunicação operem em um mesmo compasso, e o lado receptor só permita ao lado transmissor o envio de dados dentro de sua capacidade de armazenamento.

O formato do segmento TCP, conhecido como cabeçalho TCP, transposta a identificação esperada e as informações de controle. Este cabeçalho é mostrado na Tabela B.2.

Tabela B.2 – Cabeçalho TCP

Porta Fonte						Porta Destino		
Número de Seqüência								
Número de Reconhecimento								
Tamanho do Cabeçalho	Reservado	FLAGS						Tamanho da Janela de Recepção
		URG	ACK	PSH	RST	SYN	FIN	
Checksum						Ponteiros de Dados Urgentes		
Opções								
Dados								

Cada campo do cabeçalho TCP tem uma função específica que é mostrada abaixo:

1. Porta Fonte (Source Port) – campo formado por 16 bits que indica o número da porta associada a aplicação que originou o datagrama.
2. Porta Destino (Destination Port) – também formado por 16 bits indica o número da porta associada a aplicação a que se destina o datagrama.
3. Número de Seqüência (Sequence Number) – campo formado por 32 bits que indica a posição do primeiro octeto de dados. Os dados enviados em uma conexão são remontados pelo receptor através deste número de seqüência. Este número é inicialmente ajustado pelas partes envolvidas em uma comunicação utilizando-se do TCP, e é incrementado de acordo com o número de bytes envolvidos.
4. Número de Reconhecimento (Acknowledgment Number) – também formado por 32 bits que representam o reconhecimento dos dados recebidos. Ao reconhecer um segmento através do ACK, o lado receptor pode identificar através deste campo o próximo número de seqüência que está sendo aguardado.
5. Tamanho do Cabeçalho (Offset) – campo formado por 4 bits que representa o número de palavra de 32 bits (word) presente no cabeçalho TCP indicando o início dos dados.
6. Reservado (Reserved) campo formado por 6 bits reservados para uso

futuro. Devem ser codificados com 0.

7. **FLAGS** – tem-se um total de seis sinalizadores para diferentes possibilidades permitidas em um cabeçalho TCP. São eles:
 - a. **URG** – bit de urgência que indica se o segmento que está sendo transportado contém dados urgentes que devem ser lidos com prioridade pela aplicação.
 - b. **ACK** – bit de reconhecimento que indica que o valor do campo de reconhecimento está transportando um reconhecimento válido.
 - c. **PSH** – bit de push. Mecanismo que pode ser acionado pela aplicação, informando ao TCP de origem e destino que a aplicação solicita a transmissão rápida dos dados enviados.
 - d. **RST** – bit de reset. Informa ao destino que a conexão foi finalizada (interrompida) pela origem.
 - e. **SYN** – bit de sincronismo. Solicita a abertura de uma conexão, sincronizando os números de seqüência.
 - f. **FIN** – bit de terminação. O remetente indica que terminou de enviar seus dados.
8. **Tamanho da Janela de Recepção** – campo formado por 16 bits que informa o tamanho disponível, em octetos, na janela de recepção do pacote. Através desse mecanismo é provido o controle de fluxo no TCP.
9. **Checksum** – campo de 16 bits, calculado pela soma de verificação do segmento TCP, usado para verificar se a mensagem atingiu o destino.
10. **Ponteiro de Dados Urgentes (Urgent Pointer)** – indica o último octeto de dados em modo urgente.
11. **Opções (Options)** – campo formado de 20 bits, que possui uma única opção válida que é a negociação do tamanho do segmento a ser transportado.

12. Dados (Data) – campo de comprimento variável que transporta os dados presentes no segmento TCP.

A troca de informações das diversas aplicações que utilizam o protocolo TCP é feita através do estabelecimento da conexão onde as máquinas passam a se conhecer trocando diversas informações de controle e realizando uma verificação de autenticidade entre elas.

B.2 - O Protocolo IP

O IP é o protocolo responsável por definir o caminho que um pacote de dados deverá percorrer do host origem ao host destino, passando por uma ou várias redes. Ao contrário do TCP, o protocolo IP é chamado de Protocolo não-orientado a conexão, o que significa que não há nenhuma verificação de erro na transferência, ele apenas roteia os pacotes pela rede.

Enquanto o TCP cuida da segurança do envio e recebimento dos datagramas o IP é responsável pela transmissão em si, fazendo o serviço de roteamento, ou seja, conduzindo os dados para os endereços corretos. Na verdade, os dois protocolos se completam: enquanto o IP identifica os endereços e cuida para que os dados sejam enviados através do meio físico, o TCP verifica se estes dados enviados foram transmitidos corretamente.

O formato do datagrama IP está ilustrado na Tabela B.3.

Tabela B.3 – Cabeçalho IP

Versão	Comprimento do Cabeçalho	Tipo de Serviço		Comprimento Total
Tempo de Vida	Protocolo	Checksum do Cabeçalho		
Identificação		Flags	Deslocamento do Fragmento	
Endereço IP Fonte				
Endereço IP Destino				
Opções				
Dados				

A definição de cada um dos campos é detalhada a seguir:

1. Versão (Version) - campo formado por 4 bits que representa a versão do protocolo IP.
2. Comprimento do Cabeçalho (IP Header Length – IHL) – é o número de palavras de 32 bits no cabeçalho, sendo este campo de 4 bits.
3. Tipo de Serviço (Type of Service – TOS) – campo formado por 1 octeto que representa a forma na qual o pacote será tratado, de acordo com sua prioridade e o tipo da qualidade de serviço (Quality of Service – QoS) requerida por esse datagrama.
4. Comprimento Total (Total Length) – indica o tamanho total do datagrama IP em octetos.
5. Tempo de Vida (Time to Live – TTL) – define o limite máximo de roteadores pelo qual o datagrama pode passar, limitando assim o tempo de vida do datagrama.
6. Protocolo (Protocol) – representa o protocolo de nível superior para quem o IP deve entregar os dados contidos no datagrama.
7. Checksum do Cabeçalho – campo usado para garantir a integridade do cabeçalho do pacote IP. Se o checksum do cabeçalho não for igual ao conteúdo, o datagrama é descartado.
8. Identificação (Identification) – identifica cada datagrama enviado, e é um valor incrementado a cada novo datagrama enviado por um host.
9. Flags – formado por 3 bits codificados. O bit zero é reservado para uso futuro. O bit 1 nomeado DF (Don't Fragment ou não fragmentar) permite ou não a fragmentação do datagrama.(DF=0 permite e DF=1 não permite). O bit 2 ou MF (More fragments) indica qual o último fragmento (MF=0).
10. Deslocamento do Fragmento (Fragment Offset) – indica o deslocamento do fragmento para remontagem de um fragmento pertencente a um

datagrama maior.

11. Endereço IP Fonte (Source Address) – indica o endereço IP do host fonte, que originou o datagrama na rede.
12. Endereço IP Destino (Destination Address) – indica o endereço IP do host que deve receber o datagrama na rede.
13. Opções (Options) – representa informações adicionais para o protocolo IP.
14. Dados (Data) – campo de comprimento variável que transporta de/para os dados para um protocolo da camada superior, identificado no campo *Protocolo*.

Pode-se dizer que o conjunto de protocolos IP foi projetado especialmente para ser o protocolo utilizado na internet. Sua principal característica é o suporte direto à comunicação entre redes de diversos tipos, independente da infra-estrutura da rede física ou lógica empregada.