

FACULDADE DE ENGENHARIA DE GUARATINGUETÁ

Programa de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica
Departamento de Energia

GERENCIADOR DE CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA EM BAIXA TENSÃO

Dissertação de Mestrado

Ademir Donisete Cardoso

Orientadores

Prof ° Dr. José Celso Freire Junior

Prof ° Dr. Agnelo Marotta Cassula

Guaratinguetá, SP.

2006

ADEMIR DONISETE CARDOSO

GERENCIADOR DE CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA
ELÉTRICA EM BAIXA TENSÃO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia.

Orientador: Prof. Dr. José Celso Freire Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula

UNESP  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

**GERENCIADOR DE CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA
ELÉTRICA EM BAIXA TENSÃO**

ADEMIR DONISETE CARDOSO

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Maurício Araújo Zanardi
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. JOSÉ CELSO FREIRE JUNIOR
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. AGNELO MAROTTA CASSULA
Co-Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. LUIS GUILHERME BARBOSA ROLIM
UFRJ

Prof. Dr. EDSON DA COSTA BORTONI
UNIFEI

Setembro de 2006

Dedicatória

Dedico essa obra a todas as pessoas que se interessarem pelo assunto, abordado.

Que a mesma possa ser fonte significativa para os leitores.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido o dom da vida e por ter permitido que dentro da minha integridade física e mental eu pudesse realizar essa obra, Deus que presenteia meus dias com amor, alegria e motivação.

Agradeço aos meus filhos, Filipe Julio Cardoso, Marina Julio Cardoso e Lucas Julio Cardoso, minha inspiração, fonte de energia para a realização dos meus objetivos.

A minha esposa Silvia Cristina Julio Cardoso, pela paciência e dedicação a mim e aos meus filhos, para que eu pudesse ter tranqüilidade e confiança para realizar este trabalho.

Aos meus pais Benedito Rodrigues Cardoso e Elisa Miranda Cardoso, que me ensinaram a caminhar com dignidade.

Agradeço ao apoio e as orientações do professor Dr. Jose Celso Freire Junior e ao co-orientador professor Dr. Agnelo Marotta Cassula.

A todas as pessoas que me incentivaram e acreditaram em minha capacidade. Com certeza todas foram muito importantes e colaboradoras para a realização dessa conquista.

A todos vocês o meu muito obrigado.

Epígrafe

Uma série de pequenas vontades faz um grande resultado, afinal acreditarmos verdadeiramente naquilo que desejamos é o primeiro passo para que ele se torne realidade.

CARDOSO, A. D. **Gerenciador de Consumo e Demanda de Energia Elétrica em Baixa Tensão**. 2006. 58f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2006.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema gerenciador de energia elétrica, do ponto de vista de sua concepção e do desenvolvimento de um protótipo que deve ser adaptado a medidores eletromecânicos de indução tipo Ferraris para leitura automática do consumo de energia para fins de faturamento. Inicialmente se apresenta na fundamentação teórica os assuntos importantes para o desenvolvimento do trabalho. Na seqüência o trabalho apresenta a concepção do sistema desenvolvido ilustrando as alternativas e opções técnicas adotadas. Em seguida se apresenta como o sistema desenvolvido pode ser utilizado pelas concessionárias de energia para implementar um esquema de tarifa diferenciada para seus consumidores. Uma análise de diferentes cenários de implantação é feita. O objetivo principal para a adaptação de medidores eletromecânicos é permitir um certo nível da automatização, a baixo custo, da leitura de unidades consumidoras do grupo B. O medidor adaptado envia um sinal para um concentrador através da própria rede de distribuição. A partir desse concentrador, os dados podem ser coletados ou retransmitidos por diferentes tecnologias existentes, no protótipo implementado os dados são enviados usando a rede de telefonia móvel GSM/GPRS.

PALAVRAS-CHAVE: Medidores de Energia, Leitura Automática, Leitura Automática de Medidores (AMR), Protótipo.

CARDOSO, A. D. **Gerenciador de consumo e demanda de energia elétrica em baixa tensão**. 2006. 58p. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2006.

ABSTRACT

This work presents the development of an electric energy management system, with the point of view of its conception and of the development of a prototype that must be adapted to Ferraris induction electromechanical measurers for automatic reading of the consumption of energy for invoicing ends. Initially we present the important subjects for the development of the work. Then we present the conception of the developed system illustrating the alternatives and the techniques adopted. After that, it is presented as the developed system can be used by the energy concessionaires to implement a project of differentiated tariff for its consumers. Analyses of different implantation sceneries are made. The main objective for the adaptation of electromechanical measurers is to allow a certain level of the automatization, at low cost, of the reading of units consumers of group B. The measurer sends a signal for a concentrator through the proper net of distribution. From this concentrator, the data can be collected or be relayed by different existing technologies. In the implemented prototype the data are sent using the GSM/GPRS technology.

Key Words: Energy Measurers, Automatic Meter Reading, Automatic Reading, Prototype.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Conservação de energia	1
1.2. Demanda de pico.....	2
1.3. Sistema proposto	5
1.4. Finalidades do sistema	6
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1. Medidor eletromecânico	9
2.2. Medidor eletrônico	10
2.3. Microcontroladores	11
2.4. Transmissão de sinais via rede de distribuição	13
2.5. Rede de comunicação mestre-escravo	14
2.6. Sinal DTMF	15
2.7. Acoplamento de sinal a rede de distribuição.....	18
2.8. Modulação de sinal	21
2.9. Sistema GSM/GPRS	24
2.10. Tarifas Atuais.....	27
2.11. Gerenciamento pelo Lado da Demanda	30
3. GERENCIADOR DE ENERGIA EM BAIXA TENSÃO – GEBT	33
3.1. Unidade de Controle Local – UCL	34
3.1.1 Dispositivo de leitura	35
3.1.2 Interface de programação	36
3.1.3 Interface do usuário	36
3.1.4 Indicador de atividade	37
3.1.5 Modulador / Demodulador	37
3.1.6 Acoplamento à rede de distribuição	38
3.1.7 Fonte de alimentação.....	39
3.2. Concentrador Setorial – CS.....	39
3.3. Protótipo Implementado.....	40
3.3.1 Módulo 1	41
3.3.2 Módulo 2	45
3.3.3 Software de Controle da UCL e do CS	50
4. IMPLANTAÇÃO DE TARIFAS DIFERENCIADAS	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5.1. Principais Contribuições	57
5.2. Desenvolvimento Futuro.....	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– CURVA DE CARGA TÍPICA DIÁRIA.	3
FIGURA 2	– CURVA RESIDENCIAL REAL DA CONCESSIONÁRIA CEMIG.	3
FIGURA 3	– DESAGREGAÇÃO DA CURVA DE CARGA.	4
FIGURA 4	– CONSUMO RESIDENCIAL DE ELETRICIDADE POR USO FINAL.	4
FIGURA 5	– ESQUEMÁTICO DO SISTEMA PROPOSTO.	6
FIGURA 6	– MEDIDOR ELETROMECÂNICO DE MOSTRADOR DE PONTEIROS [10].	9
FIGURA 7	– MEDIDOR ELETROMECÂNICO DE MOSTRADOR DE DÍGITOS [10].	10
FIGURA 8	– MEDIDOR ELETRÔNICO [11].	11
FIGURA 9	– COMPARAÇÃO ENTRE MICROPROCESSADOR E MICROCONTROLADOR.	12
FIGURA 10	– TOPOLOGIA DE REDE MESTRE-ESCRAVO.	15
FIGURA 11	– TECLADO DTMF COMPLETO.	16
FIGURA 12	– FORMA DE ONDA DE UM SINAL DE ÁUDIO DE 941HZ [17].	17
FIGURA 13	– FORMA DE ONDA DE UM SINAL DE ÁUDIO DE 1633HZ [17].	17
FIGURA 14	– FORMA DE ONDA DO SINAL DTMF DA TECLA D [17].	17
FIGURA 15	– REDE DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA.	18
FIGURA 16	– TRAP (A) PARALELO - (B) SÉRIE.	19
FIGURA 17	– FILTRO PASSA-BAIXA (A) Π (B) T.	20
FIGURA 18	– FILTRO PASSA-ALTA: (A) Π - (B) T.	20
FIGURA 19	– FILTRO PASSA-FAIXA.	21
FIGURA 20	– ESQUEMA DE UM MODULADOR DE SINAL.	21
FIGURA 21	– EXEMPLO DE SINAL AM COM MODULANTE SENOIDAL.	24
FIGURA 22	– ARQUITETURA DA REDE GSM/GPRS.	26
FIGURA 23	– ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO.	33
FIGURA 24	– ARQUITETURA DA UCL.	34
FIGURA 25	– CIRCUITO DE ACOPLAMENTO ÓPTICO.	36
FIGURA 26	– CIRCUITO DE ACOPLAMENTO COM A REDE.	38
FIGURA 27	– CIRCUITO ELÉTRICO DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO.	39
FIGURA 28	– ARQUITETURA DO CONCENTRADOR SETORIAL.	39
FIGURA 29	– DIVISÃO DOS MÓDULOS DO PROTÓTIPO.	40
FIGURA 30	– ESQUEMA ELÉTRICO DO MÓDULO 1 - PROTÓTIPO.	41
FIGURA 31	– MÓDULO 1.	43
FIGURA 32	– VISTA LATERAL DO MEDIDOR, COM O ACOPLADOR.	44
FIGURA 33	– VISTA FRONTAL DO MEDIDOR, COM O ACOPLADOR.	44
FIGURA 34	– ESQUEMA DO MÓDULO 2.	45
FIGURA 35	– MODULADOR DO MÓDULO 2.	46

FIGURA 36	– MÓDULO 2.	46
FIGURA 37	– MÓDULOS 1 E 2 INTERLIGADOS.	48
FIGURA 38	– MODEM GPRS.	49
FIGURA 39	– CONCENTRADOR SETORIAL COM GPRS.	49
FIGURA 40	– TELA DO PROGRAMA TCONTROL.	50
FIGURA 41	– TELA DO PROGRAMA MCONTROL.	51
FIGURA 42	– TELA PRINCIPAL SERVECONTROL.	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TIPOS DE MODULAÇÃO.....	22
TABELA 2 - CONSUMIDORES DO GRUPO A.....	27
TABELA 3 - CONSUMIDORES DO GRUPO B.....	27
TABELA 4 - MODALIDADES DE TARIFICAÇÃO HORO-SAZONAL.....	28
TABELA 5 – TARIFA AMARELA NO PROJETO PILOTO DA CEMIG	30
TABELA 6 – CONSUMO DE ENERGIA PARA CONSUMIDORES RESIDENCIAIS	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	- Amplitude Modulada
BSC	- <i>Base Station Controller</i>
BTS	- <i>Base Transceiver Station</i>
CEMIG	- Companhia Energética de Minas Gerais
CS	- Concentrador Setorial
DTMF	- <i>Dual-Tone-Multiple-Frequency</i>
EEPROM	- <i>Electrically-Erasable programmable Read-Only Memory</i>
GEBT	- Gerenciador de Energia em Baixa Tensão
GPRS	- <i>General Packet Radio Service</i>
GSM	- <i>Global System for Mobile Communications</i>
HSCSD	- <i>High-Speed Circuit-Switched Data</i>
IP	- <i>Internet Protocol</i>
ISDN	- <i>Integrated Services for Digital Network</i>
LCD	- <i>Liquid Crystal Display</i>
MS	- <i>Mobile Station</i>
PDA	- <i>Personal Digital assistants</i>
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAM	- <i>Random Access Memory</i>
ROM	- <i>Read Only Memory</i>
RX	- Recebe Dados
SIM	- <i>Subscriber Identity Module</i>
TCP	- <i>Transmission Control Protocol</i>
TX	- Transmite Dados
UCL	- Unidade de Controle Local
UCP	- Unidade Central de Processamento
UIT	- <i>Union Internationale des Télécommunications</i>
UHF	- <i>Ultra High Frequency</i>
VHF	- <i>Very High Frequency</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1. Conservação de energia

Utilizar a energia com responsabilidade, sem desperdício, constitui um novo parâmetro a ser considerado no exercício da cidadania. A conservação da energia elétrica leva à exploração racional dos recursos naturais. Conservar energia elétrica ou combater seu desperdício é a fonte de produção mais barata e mais limpa que existe, pois não agride o meio ambiente. Desta forma, a energia conservada pode ser utilizada para iluminar uma escola ou atender um hospital, realizando um papel social importante. O conceito de conservação de energia elétrica está relacionado com a maneira de utilizar a energia, sem abrir mão do conforto e das vantagens que ela proporciona. Portanto, conservar energia elétrica implica redução de consumo e custos, sem perda, em momento algum, da eficiência e da qualidade dos serviços.

Acredita-se que a conservação de energia elétrica, mesmo que em teoria seja contrária ao princípio básico de busca de lucro, será uma prática não somente adotada pelos consumidores, mas também estimulada pelas próprias empresas do setor e pelos órgãos reguladores, visando à manutenção e atendimento dos seus mercados. Pode-se fazer esta afirmação principalmente pelo fato de estudos [1] apontarem que em 2015 o Brasil necessitará aumentar a oferta de energia em 70.000 MW, ou seja, quase duplicar a capacidade de geração atual. Para atingir esta meta, sem conservação de energia, o país necessitará investir US\$ 10 bilhões por ano. Obviamente, este problema não possui uma solução simples, pois além dos aspectos financeiros, devem-se considerar questões ambientais relacionadas com a exploração dos recursos naturais envolvidos com a construção de novas usinas. A busca da conservação de energia surge naturalmente como uma componente fundamental para o equacionamento deste problema. Além disto, a disponibilidade adicional de geração, pela economia no consumo, chega a ser 5 vezes menos onerosa que novos investimentos na geração e transmissão [2].

O tema conservação de energia tornou-se mais evidente no Brasil com o quadro de dificuldades para o atendimento do mercado de energia elétrica pelo qual passou o país no ano de 2001. Este quadro obrigou o governo a implementar diversas ações com

o objetivo de economizar energia. Neste contexto, os consumidores de baixa tensão têm um papel importante, visto que representam uma parcela importante do consumo total e são responsáveis diretamente pelo pico de consumo do sistema [3]. Entretanto, nos consumidores de baixa tensão os medidores instalados não proporcionam uma supervisão do consumo da energia elétrica. Os medidores destes consumidores limitam-se a totalizar a energia consumida até uma dada leitura. Esta característica impossibilita um melhor controle das unidades consumidoras em função do desconhecimento de dados como demanda máxima, horário de pico de consumo, consumo instantâneo, falhas no fornecimento entre outros. Estes dados poderiam ajudar no melhor controle do consumo e também na elaboração de tarifas diferenciadas que estimulariam a conservação da energia no setor residencial.

1.2. Demanda de pico

Os sistemas de geração e as redes de transmissão e distribuição de energia elétrica são dimensionados em função da potência instalada e/ou do consumo máximo exigido. Evidentemente, quanto maiores a capacidade de geração e a rede de distribuição, maiores os investimentos necessários e também os custos com manutenção.

Os sistemas são mais eficientes e viáveis economicamente quanto mais constante for sua curva de carga, o que favorece um consumo médio o mais próximo possível da capacidade nominal do sistema. Na prática, no Brasil o que se percebe em relação ao consumo de energia elétrica, é uma curva com pico bastante elevado, situado no horário entre as dezoito e vinte e duas horas. Este período, onde se atinge o consumo máximo no dia, é denominado horário de Pico. Este comportamento pode ser observado na Figura 1 [4], que apresenta um gráfico representativo da curva típica de consumo diário na região sudeste/centro-oeste.

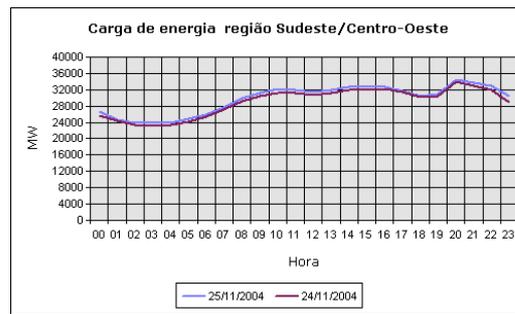


Figura 1 – Curva de carga típica diária.

No momento do pico concentra-se a maior atividade nas residências, devido à chegada da população dos seus locais de trabalho. O chuveiro elétrico, que é uma invenção brasileira, tem seu uso difundido em todo nosso país, sendo identificado como forte fator de elevação do pico de demanda. Isto se deve a sua alta potência e a seu uso restringir-se a pequenos períodos, geralmente em horários determinados e comuns para grande parte dos usuários. Este fato é evidenciado pelo gráfico apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Curva residencial real da concessionária CEMIG.

A partir da Figura 2 pode-se também observar que a iluminação das residências é outro importante fator que contribui para o aumento da demanda no período das 18 às 22 horas. A entrada da iluminação pública também afeta o horário de ponta, como se pode notar na Figura 3 [4], que mostra a influência de cada setor no pico de demanda do sistema. Através da Figura 3 pode-se observar que o setor residencial é o maior responsável pelo pico de demanda do sistema elétrico brasileiro.

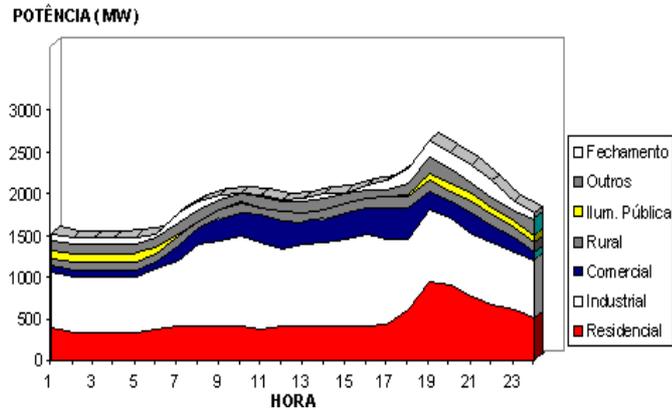


Figura 3 – Desagregação da curva de carga.

Para um maior detalhamento do setor residencial, apresenta-se na Figura 4 [5] um gráfico com os diferentes tipos de consumo. Observa-se que aquecimento de água, refrigeração e iluminação respondem por mais de dois terços do consumo de uma residência.

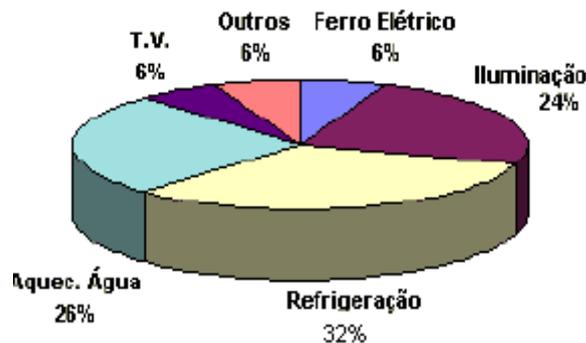


Figura 4 – Consumo residencial de eletricidade por uso final.

O gráfico da Figura 2 evidencia um pico de consumo em horários específicos. Entretanto, o tipo de tarifação atual para o setor residencial (baixa tensão) não distingue o consumo em função do horário, com o consumidor pagando o mesmo valor para a energia consumida a qualquer hora do dia.

A existência do horário de pico obriga que o sistema seja capaz de aumentar rapidamente a oferta de energia sob ameaça de colapso no sistema. A solução adotada pelo governo para tratar este problema em relação à geração, passa pela instalação de usinas termelétricas, pois se observa uma escassez dos recursos hídricos para construção de novas hidrelétricas na região Sul/Sudeste. Entretanto, este tipo de

energia será mais uma fonte de emissão de poluentes, devido à queima de combustíveis fósseis.

Atualmente várias soluções para redução da demanda de pico são apresentadas, entre elas pode-se citar estudos sobre troca de equipamentos existentes por outros com melhorias tecnológicas [3]. Esta abordagem apresenta um grande potencial, mas envolve dificuldades de implantação devido aos custos e ao retorno de longo prazo de investimentos.

Uma outra possibilidade é utilizar a capacidade de energias alternativas para reduzir a demanda no horário de pico do sistema [4]. Certas localidades, devido a características de clima e geografia, favorecem a instalação de energias renováveis, como a energia solar e a eólica. Esta solução tem grande interesse, especialmente em relação ao aspecto ambiental, pois reduz a emissão de dióxido de carbono.

Estudos [7] tentam simular o comportamento das cargas dos consumidores residenciais em função de suas cargas. Deste modo pode-se prever a influência dos equipamentos na demanda total dos consumidores.

Alguns estudos [8] somente tentam distribuir melhor o consumo dos equipamentos para evitar picos de consumo, supervisionando e melhorando equipamentos já existentes sem mudança significativa de tipo de tecnologia. Distribuindo melhor o consumo diário, obtém-se um melhor controle sobre a demanda do sistema.

Também é possível efetuar melhorias nas estruturas e construções residenciais, principalmente em relação a isolamento térmica [9], que diminui os gastos com aquecimento ou refrigeração.

Nota-se que uma combinação de várias possibilidades são possíveis e que estas combinações levam a uma melhora significativa na curva de carga do sistema. No entanto, devido aos custos e a falta de incentivo estas abordagens não são amplamente aplicadas.

1.3. Sistema proposto

Levando em consideração as preocupações quanto à conservação de energia e redução da demanda de pico, este trabalho propõe um sistema de gerenciamento do

consumo de energia elétrica para os consumidores, ligados a rede de distribuição de baixa tensão.

Consumidores ligados a este tipo de rede, em sua grande maioria, têm instalado, medidores de energia eletromecânicos de indução tipo Ferraris. O gerenciamento proposto neste trabalho consiste na automatização desses medidores, o que deverá fornecer novos métodos para que se efetue a medição, havendo com isso vários benefícios, inclusive a implantação de uma tarifa diferenciada para os diversos horários do dia.

Portanto pretende-se desenvolver um sistema eletrônico, denominado Gerenciador de Energia em Baixa Tensão (GEBT), capaz de interpretar os dados de leitura que o medidor eletromecânico realiza, e transmiti-los até um ponto concentrador setorial. A partir do concentrador as informações serão enviadas até um servidor de leituras, como ilustrado na Figura 5.

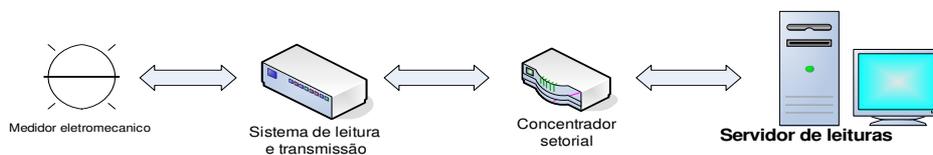


Figura 5 – Esquemático do sistema proposto.

1.4. Finalidades do sistema

O sistema desenvolvido tem como objetivo possibilitar medições detalhadas da energia consumida, permitindo assim o gerenciamento do consumo pelo lado da demanda. Objetiva também permitir que várias mudanças no sistema de medição possam ser efetuadas. Entre elas pode-se citar:

- Leitura remota: não haverá necessidade da leitura local individualizada, pois os dados de leitura estarão disponíveis no ponto concentrador.
- Automatização total das leituras: com a interligação dos pontos concentradores, via rádio, telefone, etc., com uma central de leituras, será possível obter uma automatização total da medição.

- Tarifa diferenciada: através do uso do sistema, será possível acoplar as medições a uma base de tempo, o que possibilitará a cobrança de tarifas diferenciadas em função de horários, períodos ou meses.
- Detecção de fraude: com a concentração dos dados em local adequado, no caso na saída do transformador de distribuição, e com a instalação de um medidor na saída deste, será possível comparar os dados da soma das medições dos consumidores com a medição do medidor da saída do transformador, o que permitirá um maior controle de fraudes. Esta característica é de extrema importância, pois atualmente se avalia que as fraudes chegam em alguns locais a atingir até 30 % do consumo.
- Obtenção de indicadores de continuidade de energia elétrica: com a utilização do sistema desenvolvido será possível registrar todas as falhas de fornecimento para cada consumidor bem como o tempo de duração da interrupção.
- Controle de carga para expansão do sistema: será possível conhecer com maior precisão quando os circuitos e os transformadores estarão sobrecarregados e, portanto, necessitam de expansão.
- Controle do carregamento das linhas: o concentrador irá coletar dados de consumo de energia de cada fase. Isto permitirá verificar na prática se o carregamento do transformador está equilibrado.
- Base de dados para novas ligações: com os dados das leituras levando em consideração uma base de tempo será possível saber com maior precisão se circuitos e transformadores poderão atender às novas ligações solicitadas.
- Gerenciamento pelo lado da demanda: através da comunicação bidirecional se poderá controlar a demanda desligando os consumidores quando necessário.
- Limitação do consumo no horário de pico: com a implantação de tarifas diferenciadas será possível inibir o consumo no horário de pico através da atribuição de uma tarifa maior neste período. Outra possibilidade é estipular metas para este horário.

Este trabalho apresenta no primeiro capítulo uma introdução ao conceito de conservação de energia, bem como introduziu o sistema que será construído e listou

algumas de suas finalidades. No Capítulo 2 são detalhados diversos conceitos que são necessários à perfeita compreensão do sistema que será construído. Já no Capítulo 3 se apresenta todas as características do concentrador, dos dispositivos acoplados aos medidores individuais e da comunicação entre estes dispositivos. No Capítulo 4 é feito um estudo sobre diferentes cenários de utilização do sistema desenvolvido para a implantação de tarifas diferenciadas que possam levar a diminuição da demanda de energia no horário de pico. No Capítulo 5 apresenta-se considerações gerais sobre o trabalho desenvolvido e são citadas algumas possibilidades de desenvolvimento futuro.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Medidor eletromecânico

O medidor eletromecânico de indução tipo Ferraris é um equipamento de concepção antiga, que a partir de sinais de corrente elétrica, tensão e tempo, consegue medir a energia elétrica consumida. Usando o princípio de um motor elétrico, o medidor transforma a passagem da corrente elétrica sob uma determinada tensão em rotações, sendo estas rotações convertidas em valores de energia consumida. Cada medidor tem uma relação entre o número de rotações e a quantidade de energia medida. As leituras podem ainda sofrer modificações por um fator para adaptar as medições às necessidades da quantidade de energia a ser medida. Este fator é denominado *Fator de Multiplicação* ou *Razão de Multiplicação*.

Na atualidade se tem basicamente dois tipos de medidores instalados, o medidor de mostrador de ponteiros e o de mostrador de dígitos.

O medidor de mostrador de ponteiros converte as rotações de um disco central em função da passagem de corrente elétrica, em rotações de quatro dispositivos mecânicos que são os *locais de leituras*. Os quatro locais de leitura são similares aos ponteiros de um relógio e possuem uma escala de zero a dez. Cada ponteiro (local de leitura) representa um dígito para a formação da leitura da energia consumida. As disposições dos ponteiros seguem a ordem normal de numeração, ou seja, o ponteiro da direita representa o número menos significativo, e o da esquerda o mais significativo. A Figura 6 ilustra um modelo de medidor de mostrador de ponteiros.



Figura 6 – Medidor eletromecânico de mostrador de ponteiros [10].

O medidor de mostrador de dígitos usa o mesmo princípio do medidor de mostrador de ponteiros para a obtenção dos valores de energia, apenas a visualização é

diferente, pois neste medidor os valores já são transformados em números no mostrador instalado. Este converte as rotações do disco central em dígitos que apresentam valores cumulativos, como em um velocímetro de carro. A Figura 7 apresenta um exemplo de medidor eletromecânico de mostrador de dígitos.



Figura 7 – Medidor eletromecânico de mostrador de dígitos [10].

Indiferentemente do tipo de medidor, o princípio de medição de energia ocorre pela transformação de valores de corrente e tensão em rotações de um eixo mecânico onde está acoplado um disco central, que serve também para a visualização do funcionamento do medidor. É no disco que acontece a indução elétrica que faz girar o eixo.

2.2. Medidor eletrônico

O medidor eletrônico é composto de um sistema microprocessado no qual os sinais de corrente elétrica e tensão são digitalizados. Estes dados são então processados para obtenção do valor da energia consumida. O medidor eletrônico, além da energia ativa obtém outras características da energia consumida nas instalações como, energia reativa, demanda, fator de potência e acoplamento de base de tempo nas medições, possibilitando a aplicação de tarifas diferenciadas. O medidor eletrônico ainda permite a leitura local via comunicação com outro dispositivo microprocessado, como computadores, PDAs, ou sistemas dedicados, para os quais os dados armazenados no medidor podem ser transferidos. Uma outra possibilidade deste medidor é a disponibilização dos dados de leitura em tempo real, para controle das cargas das instalações. A Figura 8 ilustra um modelo de medidor eletrônico.



Figura 8 – Medidor eletrônico [11].

Tanto os medidores eletromecânicos como os eletrônicos apresentam os elementos de base a partir dos quais os dados de consumo de energia são obtidos. O controle da transmissão dos dados de energia, neste trabalho, será realizado por um microcontrolador. Deste modo, na próxima seção se apresenta alguns conceitos ligados a este tópico.

2.3. Microcontroladores

Na década de 70 surgiu um componente eletrônico que provocou uma "revolução" para a humanidade: o microprocessador. Este chip era ligado a memórias e dispositivos de entrada e saída podendo ser utilizado em qualquer aplicação de controle e automação. Uma das utilizações iniciais de maior impacto foi na construção de computadores o que popularizou seu uso, antes restrito às grandes corporações, fazendo com que qualquer cidadão pudesse ter o seu "computador pessoal". A racionalização dos circuitos digitais permitiu uma redução acentuada no preço dos computadores, sendo hoje acessível a uma grande parcela da população.

Na década de 80, surgia um outro componente tão importante quanto o anterior, mas com aplicações mais dedicadas ao controle e automação: o microcontrolador. Este componente foi desenvolvido com o objetivo de "enxugar" o circuito digital, minimizando custos. Um microcontrolador é um chip que apresenta incorporado internamente, além da UCP (Unidade Central de Processamento), outros elementos que antes eram externos, como memórias ROM (*Read Only Memory*) utilizadas por programas e RAM (*Randon Access Memory*) utilizada para dados, dispositivos de entrada (*buffers tri-states*) e saída (*latches*), comunicação serial, temporizadores e contadores. Pode-se dizer que um microcontrolador é um microprocessador acrescido de periféricos. O custo final é reduzido, motivo pelo qual rapidamente se popularizou e

hoje tem-se aplicações corriqueiras do dia a dia que seriam inviáveis sem eles. Em automóveis, por exemplo, tem-se chips controlando o motor, condicionador de ar, vidros elétricos, motor de para-brisa, alarme, *air-bag*, freios anti-bloqueantes, toca-CDs, entre outros. Em casa tem-se fornos de microondas, televisores, filmadoras e videocassetes, máquinas de lavar roupas e louça, estabilizadores e *no-breaks*, impressoras, scanners, etc. A cada dia os microcontroladores são incorporados aos circuitos digitais racionalizando o hardware, permitindo circuitos confiáveis, compactos e baratos.

Embora os microcontroladores tenham se popularizado, os microprocessadores ainda são muito utilizados em aplicações que envolvam maior complexidade em software e hardware, como computadores pessoais e sistemas de grande porte. A Figura 9 apresenta de modo esquemático uma comparação entre um sistema com microprocessador e um microcontrolador.

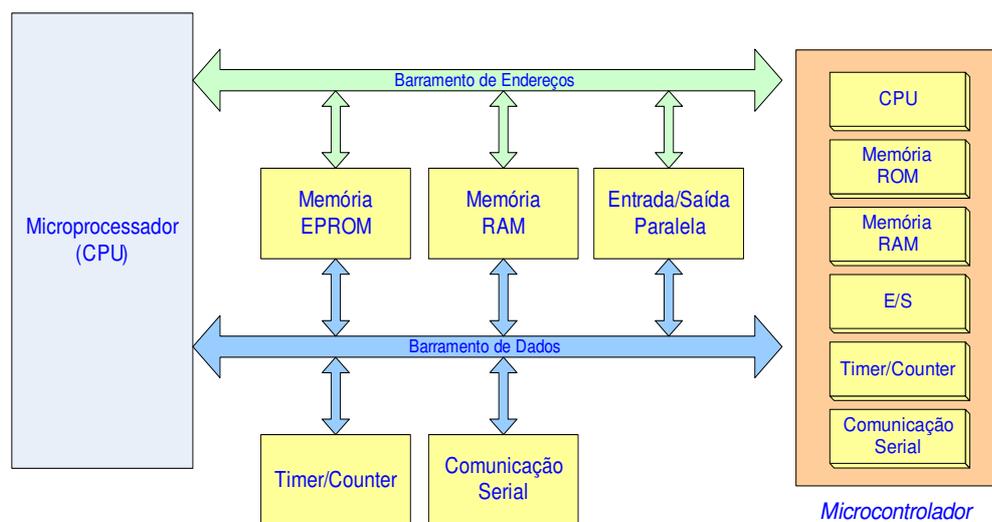


Figura 9 – Comparação entre Microprocessador e Microcontrolador.

Diversos microcontroladores foram lançados no mercado com estas características. O primeiro chip que se popularizou foi o 8051 da Intel (família MCS - 51). Hoje esta família é extensa, com todos os chips da família sendo compatíveis em software, se diferenciando na capacidade de memória, número de portas de entrada e saída e periféricos internos.

Os microcontroladores da família 8051 [12] apresentam UCP otimizada para aplicações de controle e automação, ROM, RAM e EEPROM interna, podendo ser

expandido para até 64 K bytes de ROM e até 64K bytes de RAM externa, 32 pontos de entrada e saída digitais em quatro portos, comunicação serial *full duplex*, oscilador interno, temporizadores/contadores independentes, interrupções mascaráveis por software, entre outros recursos. No sistema desenvolvido o microcontrolador utilizado foi o 89S8252 da família do 8051, que tem 8 K de memória de programa e 4K de EEPROM para armazenamento de dados.

Na década de 90, com a evolução da microeletrônica, outros chips apareceram com destaque neste mercado competitivo: os microcontroladores de última geração, entre eles, os PICs (Microchip) e COPs (National). Estes novos chips apresentam como filosofia básica uma arquitetura interna mais ágil e veloz e são fabricados em versões desde a básica (poucas E/Ss e memória) até estendida (grande capacidade de E/Ss e memória além de periféricos especiais). Hoje o projetista encontra a disposição um chip adequado a uma determinada aplicação, a um preço competitivo.

Como já se dispunha do ambiente de desenvolvimento da família 8051, optou-se pela utilização do microcontrolador 89S8252.

Um microcontrolador irá gerenciar toda a operação do sistema, inclusive a transmissão dos dados. Esta transmissão será feita através da rede de distribuição. A próxima seção apresenta alguns conceitos ligados a este tópico.

2.4. Transmissão de sinais via rede de distribuição

O uso da rede de distribuição de energia elétrica como meio de propagação de sinais de comunicação é conhecido há mais de 50 anos. Até recentemente, esses sinais de comunicação transportavam somente informações de interesse da própria empresa concessionária de energia elétrica (sistema carrier).

Atualmente é bastante difundido o uso da rede para o envio de sinais de acionamento de dispositivos ou para a recepção de sinais que indiquem o estado de dispositivos (por exemplo, o estado aberto ou fechado) ou de uma chave na rede primária de distribuição [13].

Dado ao pequeno volume de informações requeridas em períodos de tempo relativamente longos para a realização destas funções, tem sido possível, até agora, o

uso de sinais com baixas taxas de transmissão, utilizando portadoras com frequências relativamente baixas ou moderadas.

Recentemente, com a crescente demanda por serviços de telecomunicações [14] (Internet, por exemplo), vem sendo investigado o uso da rede de distribuição de energia elétrica como meio alternativo de transmissão rápida de blocos maiores de informação, o que implica, obrigatoriamente, na utilização de canais de transmissão utilizando portadoras de frequências mais elevadas.

Na aplicação que será desenvolvida neste trabalho, embora não seja necessário transmitir grandes blocos de informação, a quantidade a ser transmitida não é mínima. Por esta razão, pretende-se utilizar portadoras na faixa de 300 kHz.

A comunicação entre o medidor e o concentrador que será realizada via rede de distribuição irá ser o meio que permitirá a criação de uma arquitetura mestre-escravo útil à implementação do sistema. Detalhes desta arquitetura são apresentados na próxima seção.

2.5. Rede de comunicação mestre-escravo

Uma rede de comunicação mestre-escravo [15] baseia-se na idéia de que existe um ponto da rede que controla a comunicação. Este ponto é denominado de mestre enquanto os demais pontos que executam as instruções enviadas pelo mestre para enviar ou receber dados são denominados escravos. Toda a comunicação é centralizada pelo mestre. Mesmo quando dois escravos necessitam se comunicar, é o mestre que irá intermediar a conversação.

Esta situação ocorre geralmente quando a via de comunicação da rede é a mesma para todos os pontos, impossibilitando a comunicação simultânea de dados entre vários pontos.

Um exemplo de topologia da rede mestre-escravo é apresentado na Figura 10. Nesta figura se pode observar que só existe um canal de recepção para todos os pontos escravos, bem como somente um canal de transmissão. Logo, o controle de quem vai receber ou transmitir os dados é realizado pelo ponto mestre, que sempre está presente na comunicação e que tem a função de coordenar as transmissões, recepções e o fluxo de dados na rede.

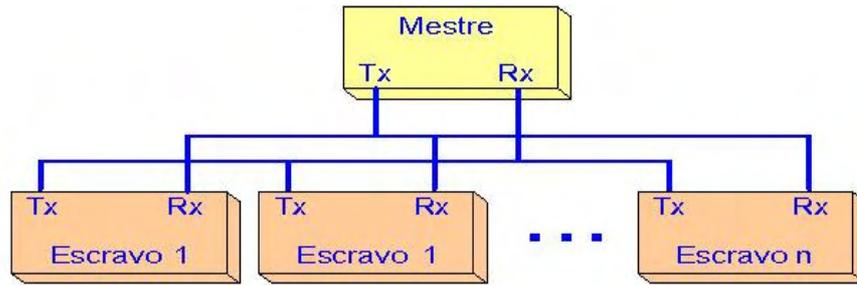


Figura 10 – Topologia de rede mestre-escravo.

Após um estudo aprofundado, neste trabalho decidiu-se pela utilização do DTMF (*Dual-Tone-Multiple-Frequency*) para codificação dos dados que serão transmitidos. Na próxima seção se apresenta conceitos ligados a este tópico.

2.6. Sinal DTMF

As companhias telefônicas têm uma enorme rede de pares de fios que carregam voz e sinais de controle. Com os antigos telefones de disco, quando um número era discado, a conexão de corrente contínua com a central era interrompida de acordo com o número discado, fazendo com que a central selecionasse o número desejado. O circuito ficava energizado até que se colocasse o telefone no gancho interrompendo a ligação. Uma das características de uma central telefônica decádica era, portanto o barulho de milhares de relés abrindo e fechando.

Conforme as companhias foram se modernizando, esse sistema de discagem com relés eletromecânicos foi sendo substituído por dispositivos de estado sólido. Foi necessário achar uma solução que funcionasse com os pares de fios existentes, pois não era viável simplesmente abandonar o parque instalado e começar de novo.

Um elemento comum em todas as conexões telefônicas era a voz. A largura de banda necessária para transmitir um sinal de voz vai de 300 Hz a 3Khz. Percebeu-se então que se poderia transmitir tons na faixa de áudio para fazer as discagens. Passou-se então a usar um simples tom ou frequência para cada número discado. Seriam necessários 10 tons de frequências diferentes para que o telefone pudesse manipular os dez dígitos. Na prática isso se tornou inviável, pois durante a conversação, a frequência da voz poderia coincidir com os tons de discagem.

Os engenheiros acharam uma solução bem mais segura e inteligente. Esta solução não usava um tom para cada número, mas dois tons para cada número. Com dois tons separados, sem relação harmônica entre eles, diminuiu-se muito a chance da voz produzir um par válido de tons. Combinando 7 tons em uma matriz 4x3, conseguiu-se 12 combinações. Isso foi suficiente para todos os 10 números e mais dois extras. Os telefones de tom usam essa combinação, permitindo números de 0-9 mais os sinais * e #. Desta utilização de dois tons para cada número, surgiu o nome DTMF, do inglês *Dual-Tone-Multiple-Frequency*, ou seja, Duplo Tom – Múltiplas Frequências.

Logo depois, foi adicionado um oitavo tom aos sete primeiros. Com essa nova matriz 4x4, apresentada na Figura 11 conseguiu-se 16 combinações diferentes. Foram então adicionadas as letras A, B, C e D, aumentando as possibilidades de controle. Pode-se notar que a quarta coluna não está normalmente presente em aparelhos telefônicos, estando presente, entretanto em quase todos os teclados de rádios de VHF/UHF para radioamador. Presentes ou não nos teclados, esses tons estão presentes em todos os circuitos que utilizam o DTMF [16].

Frequência Baixa	Frequência Alta			
	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	1	2 ABC	3 DEF	A FO
770 Hz	4 GHI	5 JKL	6 MNO	B F
852 Hz	7 PRS	8 TUV	9 WXY	C I
941 Hz	*	0 OPER	#	D P

Figura 11 – Teclado DTMF completo.

A título de exemplo, apresenta-se a seguir o funcionamento da tecla D. Ao apertar esta tecla, se estará combinando o tom da última linha que é de 941Hz (Figura 12), com o tom da última coluna, que é de 1633Hz (Figura 13).

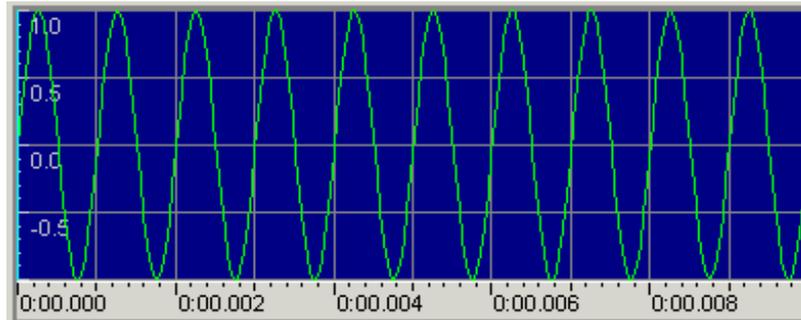


Figura 12 – Forma de onda de um sinal de áudio de 941Hz [17].

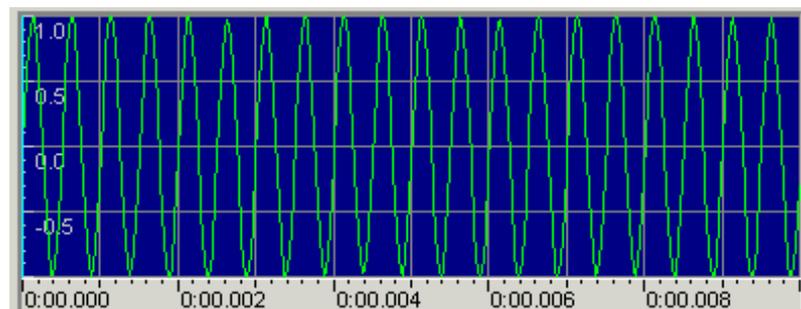


Figura 13 – Forma de onda de um sinal de áudio de 1633Hz [17].

O resultado é a soma dos tons que representará a tecla D, conforme apresentado na Figura 14.

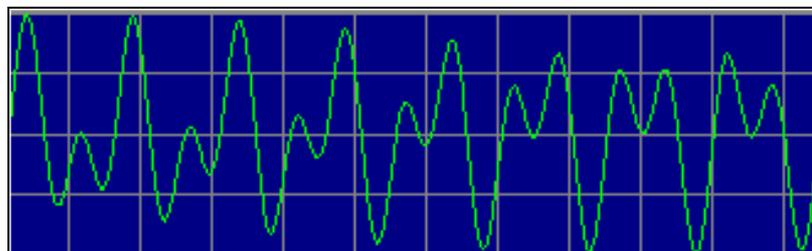


Figura 14 – Forma de onda do sinal DTMF da tecla D [17].

Gerar essas combinações de tons para a transmissão é relativamente simples. Decodificá-las do outro lado é mais difícil. Receber e detectar esses tons há uns 30 anos foi algo complexo. Circuitos sintonizados usando capacitores e indutores aceitavam ou rejeitavam as frequências, e então se conseguia descobrir o número enviado. Mas era comum, por causa da variação de temperatura, o circuito sair de sintonia, o que exigia constante manutenção. Na atualidade este problema foi minimizado, já que a detecção é feita por circuitos integrados que fazem todo esse trabalho sem sofrer alterações por causa das variações de temperatura.

Neste trabalho pretende-se utilizar a rede de distribuição das concessionárias para transmitir os sinais DTMF entre o concentrador (mestre) e os dispositivos de leitura (escravos). Para que se possa implementar esta solução é necessário que se realize o acoplamento do sinal a rede de distribuição. Conceitos ligados a este tópico são apresentados na próxima seção.

2.7. Acoplamento de sinal a rede de distribuição

A rede de distribuição é composta por vários circuitos alimentados com tensões inferiores a 230 kV. O sistema se divide em rede de alta tensão (AT), media tensão (MT) e baixa Tensão (BT). Recebe nome de rede de distribuição secundária a parte final de distribuição de energia realizada pelas concessionárias. Esta parte da rede de distribuição, como mostra a Figura 15, é constituída pelo circuito que vai desde o secundário do transformador até o centro de medição dos usuários finais em baixa tensão. Esta rede é projetada para conduzir a energia até os pontos de consumo final, sendo que no Brasil a energia é transmitida em tensão alternada de 60 Hz.

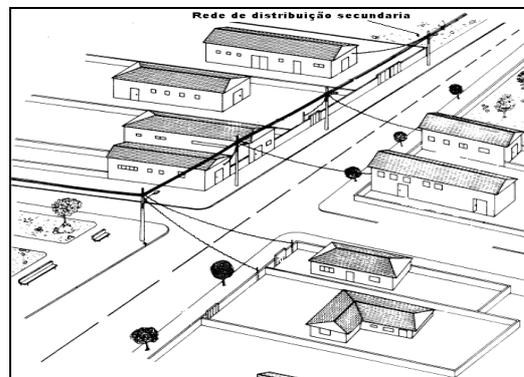


Figura 15 – Rede de distribuição secundária.

Para que seja possível o aproveitamento desta rede para transmissão de outro sinal é necessário que se realize o desacoplamento elétrico do sistema, bem como a instalação de filtros para que os sinais existentes não interfiram no sinal que se deseja transmitir. A solução mais simples passa pela utilização de circuitos LCs.

Circuitos LC (associação de indutor L com capacitor C), em série ou paralelo, usados para selecionar ou rejeitar uma determinada frequência são chamados *trap* (do inglês, "armadilha"). A Figura 16 apresenta as duas configurações possíveis.

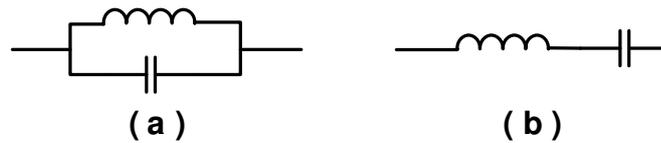


Figura 16 – Trap (a) paralelo - (b) série.

No circuito LC paralelo, apresentado na Figura 16a a impedância equivalente é dada por:

$$Z_{eq} = \frac{Z_l \times Z_c}{Z_l - Z_c} \quad (1)$$

Na frequência de ressonância ($Z_l = Z_c$, por definição) tem-se:

$$Z_{eq} = \frac{Z_l \times Z_c}{0} = \infty \quad (2)$$

Isto é, na frequência de ressonância o circuito LC paralelo comporta-se como se estivesse aberto, apresentando resistência infinita. Quando se deseja evitar que certa frequência entre no circuito deve-se projetar um circuito LC paralelo onde a frequência indesejável seja igual à frequência de ressonância.

O circuito LC série, apresentado na Figura 16.b, apresenta impedância equivalente:

$$Z_{eq} = Z_l + Z_c \quad (3)$$

Na frequência de ressonância ($Z_l = Z_c$), esta frequência equivalente será:

$$Z_{eq} = 0 \quad (4)$$

Ou seja, este circuito representa um curto (impedância nula) quando em ressonância. Para selecionar uma única frequência que entre no circuito enquanto todas as outras são rejeitadas, deve-se projetar um circuito LC série onde a frequência desejada seja igual à frequência de ressonância.

Um circuito LC como o apresentado na Figura 17 permite através da escolha das indutâncias e das capacitâncias bloquear toda frequência acima de determinado valor, transmitindo as inferiores. Chama-se a este circuito de Filtro Passa Baixa do tipo π (Figura 17.a) ou do tipo T (Figura 17.b).

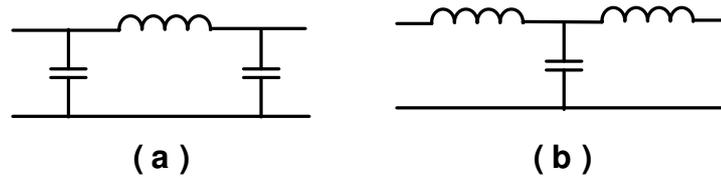


Figura 17 – Filtro Passa-Baixa (a) π (b) T.

Neste circuito pode-se observar que a reatância capacitiva que é dada por $Z_c = 1/2\pi f C$, diminui com o aumento da frequência o que faz com que os dois capacitores desviem sinais de alta frequência. Já a reatância indutiva dada por $Z_l = 2\pi f L$ cresce com o aumento da frequência, fazendo com que o indutor do filtro provoque a transmissão de sinais de baixa frequência. Outra denominação dada a este circuito é *Filtro Passa-Baixa*.

Outro tipo de filtro é o *Filtro Passa-Alta* ilustrado na Figura 18, com o formato π em (a) e o T em (b). Sua concepção é inversa a do filtro passa-baixa: ele bloqueia frequências abaixo de certo valor a partir da escolha das indutâncias e capacitâncias, transmitindo as superiores. A reatância indutiva desvia sinais de baixa frequência, aos quais apresenta baixa resistência, enquanto a reatância capacitiva transmite sinais de alta frequência, aos quais mostra pouca resistência.

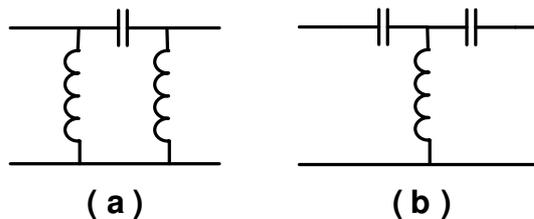


Figura 18 – Filtro passa-alta: (a) π - (b) T.

Um Filtro Passa-Faixa é um dispositivo que permite a passagem das frequências de uma certa faixa e rejeita (atenua) as frequências fora dessa faixa. Um exemplo de um filtro passa-faixa analógico é o circuito RLC (um circuito resistor-indutor-capacitor), como ilustrado na Figura 19. Estes filtros também podem ser obtidos através da combinação entre um Filtro Passa-Baixas e um Filtro Passa-Altas.

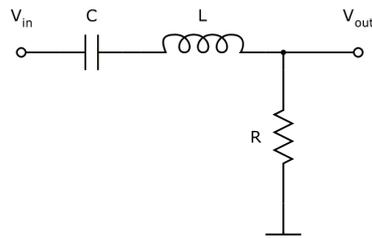


Figura 19 – Filtro Passa-Faixa.

O desacoplamento elétrico pode ser conseguido com a introdução de um transformador de sinal, pois o circuito magnético do transformador isola eletricamente o primário do secundário, implementando um filtro adequado.

Além da necessidade do desacoplamento do sinal, diversas situações, como por exemplo, a presença de ruídos e interferências podem fazer com que seja necessário modular o sinal que será transmitido. Por esta razão, neste trabalho emprega-se a modulação do sinal. Na próxima seção apresenta-se conceitos ligados a este tópico.

2.8. Modulação de sinal

A fim de que um sinal de informação seja transmitido ao longo de um meio físico com a menor degradação possível, é necessário um processo de adaptação deste sinal. Neste processo o conteúdo espectral do sinal pode ser deslocado adequadamente, de acordo com a resposta em frequência do meio.

O deslocamento em frequência é obtido através da modulação de uma onda portadora. Deve-se levar em consideração que um processo inverso (demodulação) deve ser realizado para recepção da informação.

Os elementos básicos envolvidos no processo de modulação [18] são identificados na Figura 20.

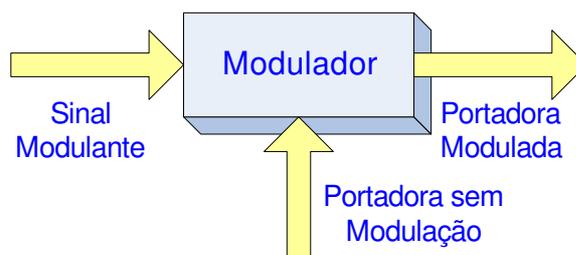


Figura 20 – Esquema de um modulador de sinal.

O sinal modulante consiste no sinal que contém a informação a ser transmitida; já a portadora sem modulação é o sinal que, pela modulação de um dos seus parâmetros, permite a transposição espectral da informação. O sinal obtido da junção dos dois sinais constitui a portadora modulada.

As modulações possíveis dependem do tipo da informação do sinal modulante e da portadora (digital ou analógica) como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de modulação.

Portadora	Sinal	Processo	
Portadora Analógica	Informação Analógica	AM	
		FM	
		PM	
	Informação Digital	FSK	
		ASK	
		PSK	BPSK QPSK
		QAM	
Portadora Digital	Informação Analógica	PAM	
		PWM	
		PPM	
	Informação Digital	PCM	
		DPCM	
		ADPCM	

Neste trabalho optou-se por uma modulação em amplitude (AM), onde a portadora é um sinal senoidal e o sinal a ser transmitido está representado na amplitude da portadora.

Para a compreensão do processo inicialmente serão apresentadas algumas definições.

- Freqüência da portadora: f_p
- Freqüência do sinal modulado: f_m
- Onda portadora: $v_p(t) = V_p \times \sin(2\pi f_p t)$
- Onda do sinal modulante: $v_m(t) = V_m \times \sin(2\pi f_m t)$

- Taxa ou índice de modulação: $M = V_m/V_p$

A onda modulada é dada pela sobreposição da portadora e do sinal modulante e, portanto, define-se a amplitude da onda modulada em AM como:

$$v_{am}(t) = [V_p + v_m(t)] \times \sin(2\pi f_p t) \quad (5)$$

Substituindo-se as definições na equação 5 obtém-se:

$$v_{am}(t) = V_p [1 + M \sin(2\pi f_m t)] \sin(2\pi f_p t) \quad (6)$$

Efetuando o produto de senos obtém-se:

$$v_{am}(t) = V_p \times \sin(2\pi f_p t) + \frac{M}{2} V_p \cos(2\pi(f_p - f_m)t) - \frac{M}{2} V_p \cos(2\pi(f_p + f_m)t) \quad (7)$$

Cada um dos termos da equação 7 apresentada tem um nome, conforme descrito a seguir:

- $V_p \times \sin(2\pi f_p t)$: *Portadora*
- $\frac{M}{2} V_p \cos(2\pi(f_p - f_m)t)$: *Raia Lateral Inferior*
- $\frac{M}{2} V_p \cos(2\pi(f_p + f_m)t)$: *Raia Lateral Superior*

Logo, uma onda AM difere da portadora pura pelo fato de conter além da portadora, duas raias laterais de mesmo nível iguais a $M V_p / 2$ e com frequências simétricas em relação a frequência da portadora f_p , tendo a raia lateral superior frequência de $f_p + f_m$ e a raia lateral inferior $f_p - f_m$.

A Figura 21 apresenta a forma de onda de uma modulação AM [18]. A curva imaginária chamada “envoltória”, que representa o valor de pico atingido pela onda AM em função do tempo e sua forma, é exatamente a do sinal modulante.

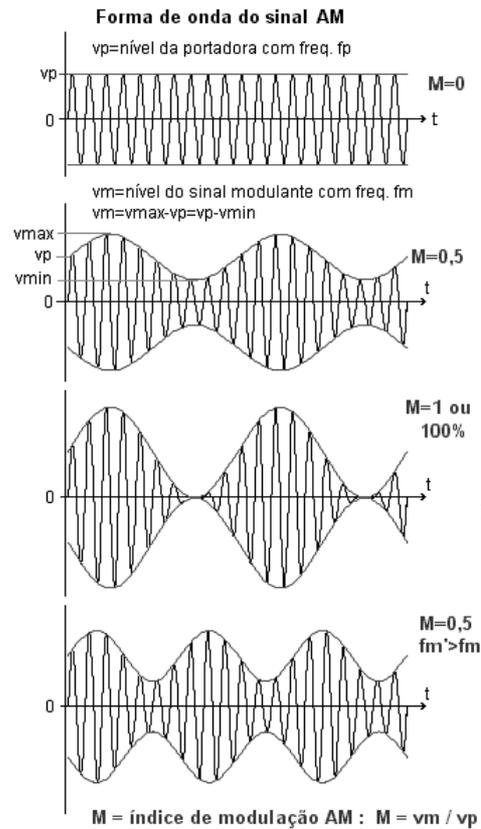


Figura 21 – Exemplo de Sinal AM com modulante senoidal.

Além da comunicação em uma rede mestre-escravo que será usada entre um concentrador e unidades de controle local, um outro tipo de rede será utilizado para aquisição de dados do concentrador. Na próxima seção se apresenta conceitos de tecnologia GSM/GPRS que será utilizada com este objetivo.

2.9. Sistema GSM/GPRS

A Rede GSM (*Global System for Mobile Communication*) é uma rede otimizada para a voz que é a sua principal aplicação [19]. Inicialmente suas especificações procuraram reproduzir na rede móvel os serviços de dados que estariam disponíveis na rede fixa através da ISDN (*Integrated Services for Digital Network*) padronizada pela UIT (*Union Internationale des Télécommunications*). A estrutura flexível dos canais físicos do GSM bem como a utilização do protocolo SS7 facilitou a introdução de serviços como SMS (*Short Message Service*), FAX e transporte de dados com taxas de 2400 a 9600 bits/s. O crescimento das aplicações de dados como acesso a Internet, e-mail, entretenimento, levou a necessidade de desenvolver soluções que

permitissem o transporte de dados a taxas maiores. No GSM, cada canal de RF (Rádio Freqüência) ocupa uma banda de 200 kHz e transmite um sinal digital com taxa de 270,833 kbit/s com uma estrutura de quadro (*frame*) com 8 intervalos de tempo (*time slots*). Nenhum canal ou *slot* físico está designado a priori para uma tarefa em particular. Os canais lógicos, de voz, dados ou sinalização de controle são mapeados nestes *slots* de tempo. No GSM padrão, ao se estabelecer uma conexão, é utilizado um *slot* de tempo para voz ou para dados com taxas de até 9,6 kbit/s.

A solução mais simples para aumentar a taxa de transporte de dados em uma rede GSM é a utilização de mais de um *slot* de tempo do quadro de um canal de RF em uma conexão de dados. Esta foi a técnica adotada pelo *High-Speed Circuit-Switched Data* (HSCSD), cujos primeiros sistemas apareceram no ano 2000. Dependendo do número de *slots* utilizado, a taxa de transporte de dados pode ser então multiplicada por 3 (28,8 kbit/s) ou mais vezes. A desvantagem do HSCSD é que ele consome uma grande quantidade de recursos da rede, uma vez que os *slots* ficam reservados para o transporte de dados enquanto durar a conexão.

No GPRS (*General Packet Radio Service*) os pacotes de dados também são enviados através de múltiplos *slots* de tempo, mas não existe reserva [20]. Os *slots* são alocados conforme a demanda dos pacotes enviados ou recebidos. Consegue-se desta forma um serviço de dados com conexão permanente sem a necessidade de reservar permanentemente *slots* de tempo para o transporte de dados.

As principais características do GPRS são:

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

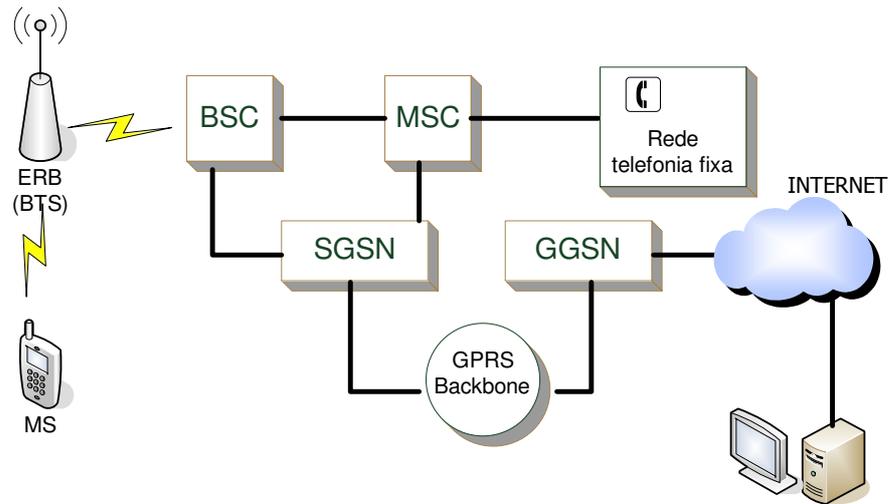


Figura 22 – Arquitetura da rede GSM/GPRS.

Na arquitetura GSM/GPRS, apresentada na Figura 22, a estação móvel (*Mobile station* - MS) representa o terminal que é utilizado pelo assinante. Este terminal é carregado com um cartão inteligente (*subscriber identity module* –SIM card), e se conecta com uma célula base que é formada por uma estação de transmissão base (*Base Transceiver Station* – BTS). Esta estação é controlada por uma estação base de controle (*Base Station Controller* – BSC), que está por sua vez conectada a uma central de comutação e controle (*Mobile-Services Switching Centre* – MSC) que se conecta com a rede de telefonia fixa. Na figura pode-se notar também a presença de um Módulo denominado SGSN (*Serving GPRS Support Node*) que desempenha o papel de manter a conexão lógica das estações móveis quando eles passam da área de cobertura de uma célula para outra. Este Módulo que se conecta com GPRS *backbone* que por sua vez está conectado ao GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), que é a porta de conexão com a Internet. Através desta porta tem-se a interligação com outras redes interligadas a Internet.

Quando realizada a conexão, a estação móvel recebe um endereço IP interno a rede da operadora e têm acesso a Internet e outras redes por uma porta (GGSN). Deste modo, a conexão entre uma estação móvel e um equipamento externo só se inicia no sentido da estação móvel para o equipamento, pois o equipamento externo não consegue visualizar a MS por esta não ter a priori um endereço IP válido na Internet.

Um fator prático de enorme relevância na aplicação do sistema que está sendo desenvolvido neste trabalho é a estrutura tarifária que pode ser aplicada ao consumo de energia, pois uma utilização inteligente do sistema em desenvolvimento deve levar em consideração esta estrutura. A próxima seção apresenta alguns detalhes da tarifação de energia.

2.10. Tarifas Atuais

Para entender os tipos de tarifação é necessário saber como as concessionárias classificam seus clientes. Esta classificação é feita por grupos [21] conforme se pode observar na Tabela 2 e na Tabela 3.

Tabela 2 - Consumidores do Grupo A.

Grupo A: Suprido em tensão ≥ 2300 Volts	
Subgrupos do Grupo A	
A1	230 kV ou mais
A2	88 a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 a 44 kV
A4	2,3 a 25 kV
AS	Subterrâneo

Tabela 3 - Consumidores do Grupo B.

Grupo B: Suprido em tensão < 2300 Volts	
Subgrupos do Grupo B	
B1	Residencial e Residencial Baixa Renda.
B2	Rural, Cooperativa eletrificação rural. Serviço público de irrigação.
B3	Demais Classes.
B4	Iluminação Pública.

De acordo com o grupo ao qual o consumidor pertence ele é tarifado de maneira diferente. A seguir apresentam-se os tipos de tarifa para grupos específicos.

Para o Grupo A (c.f. Tabela 1) observa-se uma tarifa denominada Tarifa Binômia, na qual é faturado o consumo de energia elétrica ativa mais a demanda faturável, além de impostos e outros valores. Ainda dentro do grupo A existem duas estruturas tarifárias, que são apresentadas na seqüência.

1. Tarifa Convencional: estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano.
2. Tarifa Horo-Sazonal: estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano. A estrutura de tarifação Horo-Sazonal divide-se em períodos de ponta e fora de ponta, em relação às horas do dia, e em período úmido e seco, em relação aos meses do ano.

O período de ponta é definido pela concessionária e composto por três horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais, considerando as características do seu sistema elétrico. O período seco é definido por sete meses consecutivos: de maio a novembro. Já o período úmido é definido como sendo composto de cinco meses consecutivos: de dezembro a abril do ano consecutivo. Assim, os segmentos horo-sazonais podem ser divididos em:

- PS: Horário de Ponta em Período Seco.
- PU: Horário de Ponta em Período Úmido.
- FS: Horário Fora de Ponta em Período Seco.
- FU: Horário Fora de Ponta em Período Úmido.

A estrutura de tarifação Horo-Sazonal divide-se ainda em duas modalidades: Azul e Verde. A diferença consiste na diferenciação da demanda, como apresentado na Tabela 4.

Para consumidores do Grupo B (c.f. Tabela 3) observa-se uma tarifa denominada Tarifa Monômnia, na qual é faturado apenas o consumo de energia elétrica ativa, além de impostos e outros valores.

Tabela 4 - Modalidades de Tarifação Horo-Sazonal.

	Azul	Verde
Demanda	Ponta e Fora de ponta	Preço Único

Como pode-se observar, os grandes consumidores são tarifados na modalidade horo-sazonal de forma a inibir o consumo nos horários de pico do sistema.

Os médios e pequenos consumidores podem optar pelas categorias horo-sazonal ou “Convencional”, mesmo quando pertencentes ao grupo A. Os demais consumidores se enquadram no grupo B, como é o caso dos consumidores residenciais.

Como pode ser observado, a tarifação horo-sazonal Azul e Verde são aplicadas somente em grandes consumidores, o que exclui quase que inteiramente os consumidores residenciais. Entretanto, ainda existe a Tarifa Amarela, que conforme a Resolução ANEEL 056, de 3 de março de 1998, em seu Artigo 1º autorizou a “Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG a aplicar, a partir de 04 de março de 1998 até 31 de outubro de 1998 e em caráter experimental, a Tarifa Amarela no município de Juiz de Fora, Minas Gerais.” Ainda, “A referida aplicação deverá ser feita em unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais selecionadas e indicadas pela CEMIG, em projeto-piloto controlado”

Em seu Artigo 2º a Resolução determina: “Considerar, para efeito da aplicação piloto aos consumidores residenciais, o horário de ponta de 2 horas (de 18h01 às 20h00), ponta complementar de 17h01 às 18h00 e de 20h01 às 22h00, e fora de ponta de 22h01 às 17h00 e, para os consumidores industriais e comerciais, o horário de ponta de 2 horas - de 18h01 às 20h00 - e o horário fora de ponta de 20h01 às 18h00, horários válidos para os dias úteis.”

No Artigo 5º consta: “Aos fornecimentos às unidades consumidoras citadas no Art.1º serão aplicadas tarifas binômias com resultado econômico idêntico ao obtido com tarifas convencionais monômias vigentes, para comportamento médio de referência da classe, as tarifas são as seguintes:”

Tabela 5 – Tarifa Amarela no projeto piloto da CEMIG

Tarifas	Componentes das Tarifas Binômias						Monômia
	Energia (R\$/MWh)			Demanda (R\$/kW.mês)			Convenc. (1)
	Ponta	Fora de Ponta	Ponta Complementar	Ponta	Fora de Ponta	Ponta Complementar	
Residencial	394,70	59,33	104,88	1,38	0,05	0,19	127,24
Industrial	226,89	72,93	-	4,22	2,67	-	118,80
Comercial	226,89	72,93	-	4,22	2,67	-	118,80

Nota (1): Tarifa vigente autorizada pela Portaria DNAEE N° 113, de 07 de abril de 1997.

O projeto piloto de Tarifa Amarela implantado pela CEMIG em Juiz de Fora obteve excelentes resultados. No entanto, a implementação de um novo modelo tarifário depende de regulamentação por parte da ANEEL. A CEMIG enviou o relatório de avaliação referente ao projeto piloto e aguarda um posicionamento da ANEEL.

Para que se possa implementar um modelo de tarifas horo-sazonais para os consumidores residenciais é necessário que os medidores de energia sejam capazes de diferenciar as horas do dia (Ponta, Fora de Ponta e Ponta Complementar) e os meses do ano (Seco e Úmido). Esta possibilidade será oferecida pelo sistema desenvolvido. Esta característica deverá tornar possível a aplicação de políticas que levem a uma utilização mais racional da energia. Esta racionalização pode se dar pelo gerenciamento do consumo pelo lado da demanda (GLD) que será apresentado na próxima seção.

2.11. Gerenciamento pelo Lado da Demanda

Programas de gerenciamento do consumo pelo lado da demanda são intervenções deliberadas de uma empresa de energia elétrica no mercado consumidor (demanda), com o intuito de promover alterações no perfil e na magnitude da curva de carga [22]. As alterações almeçadas podem ser a redução da potência no horário de pico, o preenchimento de vales, mudanças na carga, conservação estratégica, crescimento estratégico e a construção de curvas de carga flexíveis.

O conceito de gerenciamento pelo lado da demanda surgiu em meados dos anos 70 e o primeiro autor a reportá-lo foi Clark W. Geílings. Apesar de relativamente novo, esforços de gerenciamento pelo lado da demanda são conhecidos desde o início da indústria da eletricidade.

Ainda em 1890, basicamente o único uso para a energia elétrica era a iluminação noturna. Em Nova Iorque, nesta época, a empresa Thomas A. Edison Pearl Street começou a promover aparelhos e serviços elétricos para o uso durante o dia. A idéia por traz desta iniciativa era aumentar a utilização e o fator de carga das matrizes geradoras, diminuindo assim os custos do provimento de energia elétrica.

A crise do petróleo dos anos 70 marcou um dramático período de mudanças também para a indústria de eletricidade. O aumento drástico no custo da energia aliado à imprevisibilidade da oferta e ao alto custo do capital alterou dramaticamente a economia das empresas. Neste momento, principalmente nos países industrializados, a indústria de eletricidade começou a procurar caminhos alternativos a tradicional visão de provimento pela oferta. Vislumbrou-se então profícuo campo de trabalho no lado da demanda.

Mais do que um campo separado de estudo, o gerenciamento pelo lado da demanda tem que ser tomado num contexto de Planejamento Integrado de Recursos. Através de análises de custo e benefício, alternativas de gerenciamento pelo lado da oferta podem ser comparadas com opções pelo lado da oferta, derivando-se daí qual o caminho mais eficiente e de menor custo para se prover potência e a energia desejadas.

Nos países industrializados, práticas de gerenciamento pelo lado da demanda são bastante comuns e estão incorporadas ao planejamento integrado. Já no Brasil, há que se destacar o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), criado em 1985 e desenvolvido no âmbito da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.). Este programa não atua diretamente em atividades de gerenciamento pelo lado da demanda, porém engloba ações dirigidas a conservação de energia elétrica. Através da racionalização do uso e de incentivos ao desenvolvimento de produtos mais eficientes e de menor consumo. Com isso, se reduz desperdícios e se assegura uma redução dos custos e também nos investimentos em novas unidades geradoras.

O PROCEL não atua diretamente no segmento residencial, sendo que as suas áreas de atuação são os segmentos comercial, industrial, iluminação pública e serviços de saneamento.

No setor comercial, um exemplo de atividade de gerenciamento pelo lado da demanda desenvolvida pelo PROCEL é a termo-acumulação, sistema de produção e acumulação de gelo ou água gelada, usado em sistemas de ar-condicionado. Já no setor industrial, busca-se promover a eficiência energética em sistemas motrizes, além de dar treinamento e capacitação para que os profissionais se tornem multiplicadores dos conceitos de eficiência energética.

Este programa atua também na área de educação, buscando possibilitar que os professores dos ensinos fundamental e médio trabalhem como multiplicadores e orientadores, junto aos seus alunos, de atitudes e conceitos anti-desperdício de energia.

Para que a conservação da energia e o gerenciamento do consumo pelo lado da demanda seja possível, as atuais medições de energia elétrica nos consumidores deveriam ser alterados, trocando os medidores ou modificando o sistema existente. O sistema desenvolvido neste trabalho e apresentado na próxima seção pode ser utilizado com este objetivo.

3. GERENCIADOR DE ENERGIA EM BAIXA TENSÃO – GEBT

O sistema desenvolvido e apresentado neste trabalho tem como objetivo a automatização da leitura de energia de consumidores, que possuem instalados medidores de energia elétrica eletromecânicos de indução tipo Ferraris. Neste trabalho este sistema será denominado Gerenciador de Energia em Baixa Tensão – GEBT. Um estudo sobre as possibilidades tecnológicas de implantação de um sistema semelhante foi apresentado por Philips e Adams [22], que discutem a possibilidade de acoplamento óptico para a obtenção da leitura do medidor eletromecânico e mostram um esquemático de um sistema microprocessado para a leitura dos dados, citando algumas possibilidades de leitura tanto local como remota.

O sistema idealizado não substitui os medidores existentes, mas automatiza-os, para permitir que se realize um processo de leitura remota utilizando a arquitetura apresentada na Figura 23.

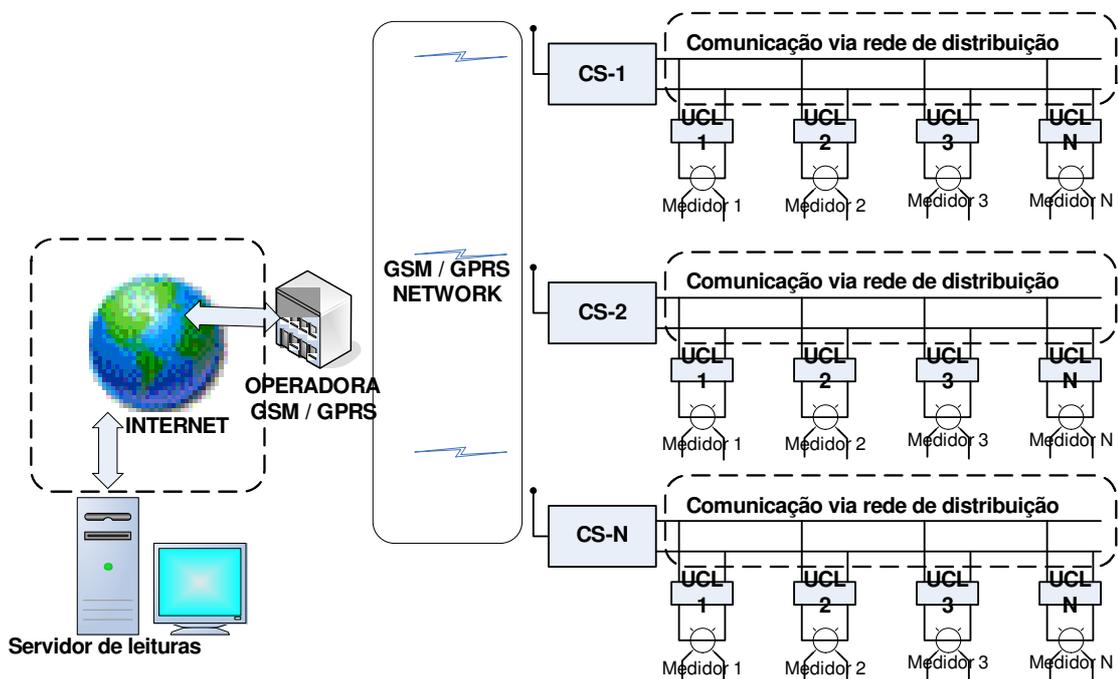


Figura 23 – Arquitetura do sistema proposto.

Como ilustrado na Figura 23, em cada medidor será instalada uma Unidade de Controle Local – UCL – (c.f. seção 3.1), que terá a função de acoplar-se ao medidor coletando os dados da energia consumida e associando a estes dados outros dados como uma base de tempo, identificação da unidade consumidora e o tipo de ligação

entre outros. Estes dados serão transmitidos através da própria rede de distribuição de baixa tensão até um Concentrador Setorial – CS– (c.f. seção 3.2), instalado na estação transformadora de baixa tensão mais próxima. Deste ponto os dados poderão ser transmitidos para um servidor de leituras da concessionária, via a rede de telefonia celular utilizando a tecnologia GPRS.

Na seqüência do trabalho a Unidade de Controle Local e o Concentrador Setorial serão apresentados.

3.1. Unidade de Controle Local – UCL

A Unidade de Controle Local tem por finalidade coletar os dados de leitura dos medidores eletromecânicos, armazená-los, interpretá-los, disponibilizar opcionalmente as leituras para os consumidores e transmitir as informações para o Concentrador Setorial. O diagrama da Figura 24 apresenta a arquitetura que foi implementada. Nas próximas seções são detalhados os componentes da UCL.

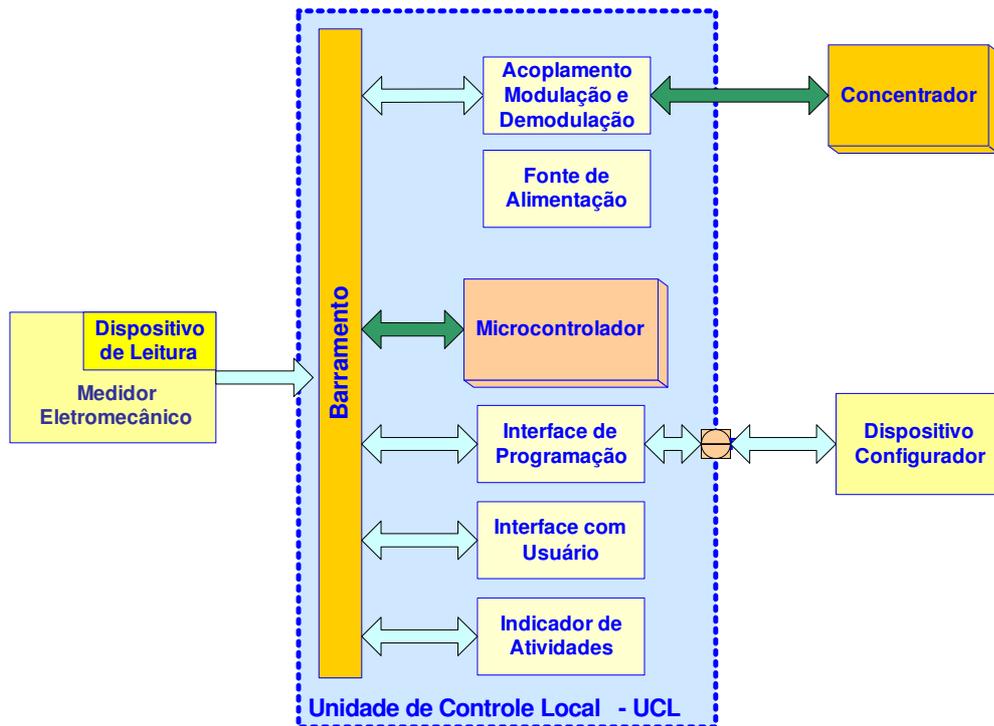


Figura 24 – Arquitetura da UCL.

3.1.1 Dispositivo de leitura

O dispositivo de acoplamento atua na conversão das rotações do disco do medidor eletromecânico em um sinal que possa ser interpretado pelo sistema. Para isto, algumas soluções podem ser adotadas, entre elas pode-se citar:

- Acoplamento óptico: pode-se acoplar um sensor óptico que possa entender quando o disco está completando uma volta. Esta solução também foi estudada por Chan [24] e por Baranski [25]. O trabalho destes autores apresenta alguma diferença, pois na solução proposta por Chan deve-se obrigatoriamente abrir o medidor para a implementação do acoplamento óptico enquanto a solução proposta por Baranski não obriga que o medidor seja aberto. Os dois estudos se baseiam, entretanto, na instalação de um transmissor e um receptor de infravermelho que consegue identificar um determinado ponto no disco do medidor.
- Acoplamento mecânico: pode-se adaptar um sensor mecânico que a cada volta abra ou feche um contato
- Acoplamento magnético: pode-se colocar um ponto magnético no disco do medidor para que seja possível detectar cada passagem deste ponto pelo sensor magnético.

Neste estudo optou-se, por sua simplicidade e eficiência, pelo acoplamento óptico que permite identificar quando o disco do medidor completa cada volta.

Esta solução foi implementada realizando um furo no disco do medidor e adaptando-se um sensor (um foto acoplador), de tal modo que quando o furo passa pelo sensor, a luz que ultrapassa o furo aciona o foto-transistor presente no sensor, que nesta situação se comporta como uma chave fechada. Sem a passagem de luz pelo foto-transistor o mesmo se comporta como uma chave aberta. Deste modo, cada passagem da luz é contabilizada como uma volta do disco do medidor. Esta solução difere da solução baseada no acoplamento óptico adotada Chan [24] e por Baranski [25].

O esquema utilizado é apresentado na Figura 25. A análise deste circuito permite verificar que com o foto-transistor saturado obtém-se na saída um nível lógico baixo e com o foto-transistor em corte obtém-se um nível lógico alto na saída. Estes sinais são

interpretados facilmente pelo sistema, possibilitando a contagem das voltas que o disco do medidor realiza. Deste modo, pode-se adquirir dados que representam a energia consumida.

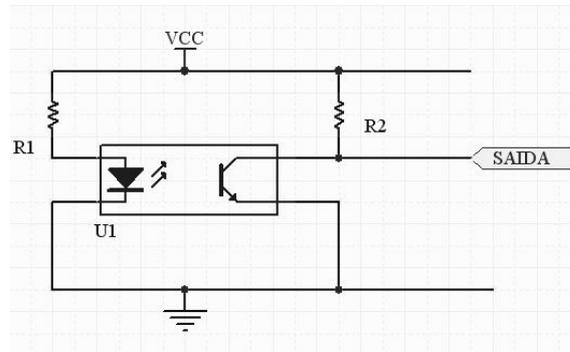


Figura 25 – Circuito de acoplamento óptico.

3.1.2 Interface de programação

Cada medidor a ser automatizado possui suas características, como Fator de Multiplicação, número, modelo, entre outras. Isto faz com que seja necessária uma configuração inicial. Esta configuração também é necessária em manutenção ou troca de parâmetros devido a alterações no sistema. Logo, uma comunicação com um equipamento de manutenção ou programação torna-se necessária. Para tanto será implementada uma interface de programação.

Várias possibilidades são possíveis. Neste trabalho a implementação desenvolvida para esta interface se resume a uma porta de comunicação serial padrão RS232, através da qual podem ser realizadas as configurações necessárias.

3.1.3 Interface do usuário

Os dados coletados pelo sistema podem ser opcionalmente disponibilizados para os consumidores. Também neste caso várias opções podem ser adotadas desde um simples sinal sonoro indicando, por exemplo, consumo elevado até a disponibilização de todos os dados coletados e armazenados *on line* para os usuários.

No presente estudo esta interface é feita através de um display de cristal líquido onde é possível visualizar vários dados de consumo. No sistema desenvolvido o display pode ou não estar presente. Esta opção é oferecida como meio de diminuir o custo do sistema. No entanto, por força da legislação vigente, a concessionária de

energia é obrigada a disponibilizar um meio para que o consumidor possa visualizar seu consumo de energia.

3.1.4 Indicador de atividade

Para uma visualização simples, indicativa do funcionamento do sistema serão implementados sinais luminosos e sonoros para identificar a atividade do equipamento bem como a ocorrência de possíveis falhas.

No trabalho proposto serão implementados os seguintes indicadores:

- Indicador de atividade da CPU: led vermelho, que quando aceso indicará que o sistema está energizado, quando piscando indicará que o sistema está energizado e em atividade e quando apagado indicará que o sistema está fora de funcionamento.
- Indicador de acoplamento com o medidor: led verde que indicará piscando cada volta do disco do medidor.
- Indicador de falhas do sistema: sinal sonoro indicando falhas, como falta de energia, falha de comunicação, violação do sistema entre outros.
- Indicador de comunicação com o concentrador setorial: dois leds representando transmissão e recepção. Estes leds piscarão quando estiverem sendo realizadas as transmissões e recepções.

3.1.5 Modulador / Demodulador

Conforme apresentado no Capítulo 2, a comunicação via rede de distribuição em baixa tensão atualmente é usada para várias funções, até mesmo para a comunicação de computadores através de uma rede TCP/IP.

No escopo deste projeto, como pontos limitantes, têm-se que o fluxo de dados e a velocidade exigida são muito pequenos, enquanto a confiabilidade dos dados a serem transmitidos é de extrema importância. Um outro fator a ser considerado na transmissão dos dados é que o sistema deverá ser simples, principalmente por motivos econômicos, mas também em razão da necessidade de tamanho reduzido, haja vista que quaisquer problemas associados a transmissão de dados podem inviabilizar a implementação do sistema.

A solução adotada foi utilizar sinalização DTMF, que conforme exposto é um sistema bem difundido, testado pela rede de telefonia e de baixo custo. Para uma maior confiabilidade e um melhor desempenho o sinal DTMF será modulado possibilitando um canal de transmissão e outro de recepção. Assim, será possível uma comunicação simultânea entre transmissão e recepção. A modulação será analógica em amplitude (AM), pois esta solução atende plenamente aos requisitos técnicos e também devido a simplicidade deste tipo de modulação.

No projeto desenvolvido será necessário que exista em cada UCL e CS um modulador e um demodulador sendo que as frequências dos moduladores e demoduladores das UCLs e as do CS devem ser as mesmas.

3.1.6 Acoplamento à rede de distribuição

Para que o sinal a ser transmitido seja introduzido na rede de distribuição será necessária à implementação de um circuito de acoplamento à rede. No projeto proposto será utilizado um filtro LC, que além de isolar a rede do sistema desenvolvido, possibilita a filtragem das frequências fora da faixa utilizada para a comunicação. O circuito implementado é apresentado na Figura 26. Neste circuito, conforme se pode observar, para os indutores foram utilizados os transformadores T2 e T3, de núcleo de ferrite e com indutância determinada experimentalmente em laboratório para a frequência de trabalho.

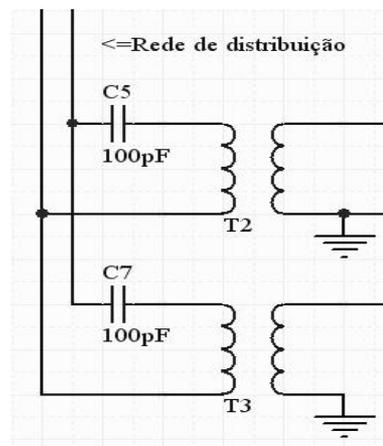


Figura 26 – Circuito de acoplamento com a rede.

3.1.7 Fonte de alimentação

A fonte de alimentação deve atender às características do sistema além de conter um sistema de bateria para possíveis faltas de energia, e ainda um sistema de prevenção contra descargas atmosféricas, de modo que se possa evitar danos aos circuitos eletrônicos do sistema. O circuito elétrico da fonte utilizada é apresentado na Figura 27.

Figura 27 – Circuito elétrico da fonte de alimentação.

3.2. Concentrador Setorial – CS

O Concentrador Setorial tem por finalidade coletar os dados das UCLs e transmiti-los ou disponibilizá-los para leituras centralizadas. O digrama da Figura 28 apresenta a arquitetura do CS.

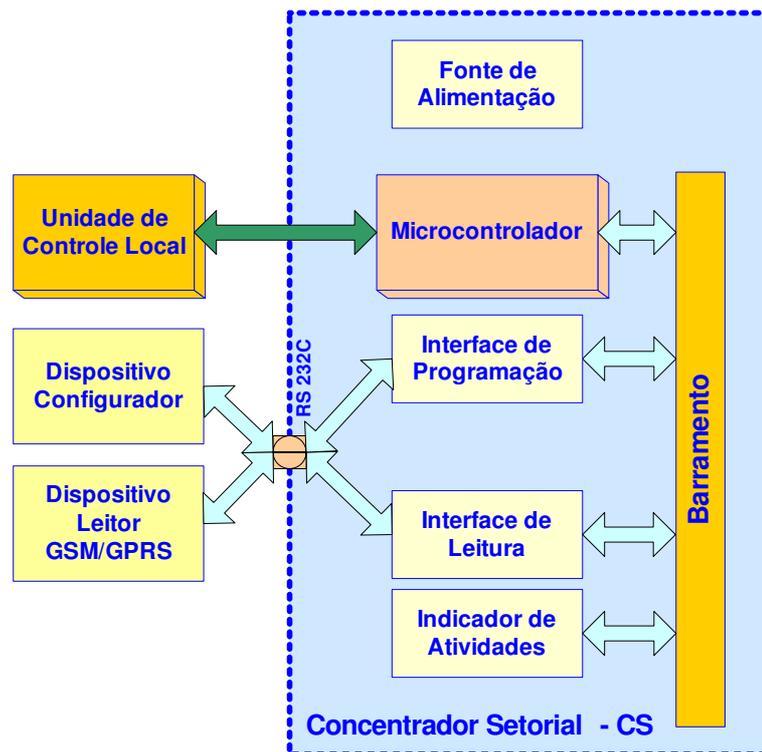


Figura 28 – Arquitetura do Concentrador Setorial.

Conforme se pode notar na Figura 28, várias partes do CS são idênticas às da UCL. Deste modo, decidiu-se pela utilização de um único elemento para as duas funções. A diferença básica entre os dois se dá pela inversão das frequências de transmissão e recepção, pois para que possa haver comunicação entre eles, as

freqüências de transmissão e recepção de cada elemento deve ser compatível, ou seja, a freqüência de transmissão da UCL deve ser igual a freqüência de recepção do CS e vice-versa. Além disso, os programas presentes em cada elemento são diferentes já que cada um deles desempenha uma função distinta. Na próxima seção se apresenta o protótipo desenvolvido e que será utilizado como CS e UCL.

3.3. Protótipo Implementado

Para verificação do funcionamento e testes do protótipo, o sistema foi dividido em dois Módulos, o primeiro com o processamento dos dados e o acoplamento com o medidor e o segundo contendo a fonte, a transmissão dos sinais e o acoplamento com a rede de distribuição. A Figura 29 apresenta as partes constituintes de cada Módulo. Conforme se pode observar na figura, tanto os elementos da UCL como os do CS fazem parte do protótipo.

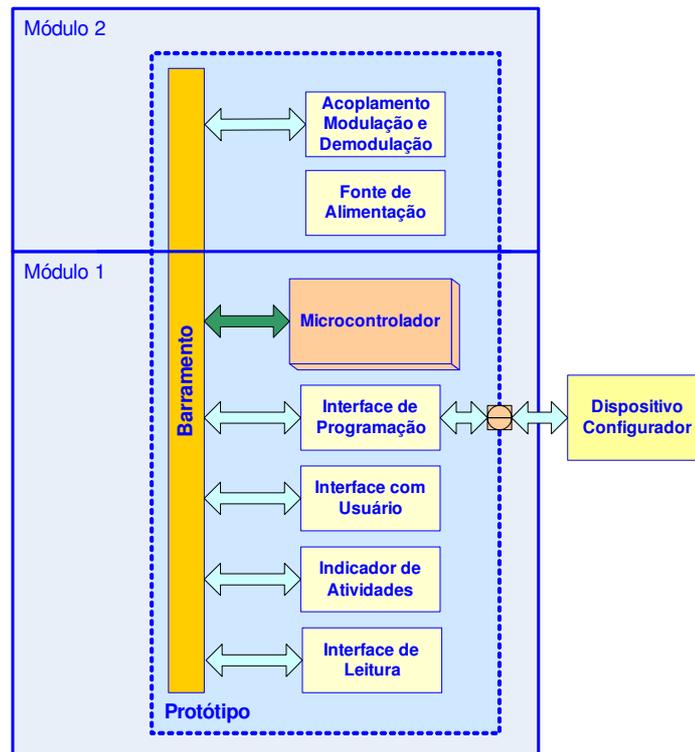


Figura 29 – Divisão dos Módulos do protótipo.

3.3.1 Módulo 1

O detalhamento do esquema elétrico do Módulo 1 pode ser visto na Figura 30. Neste esquema, para a unidade de controle é utilizado o microcontrolador 89S8252, que apresenta todas as características necessárias ao desenvolvimento do protótipo.

A partir do esquema detalhado na Figura 30, foi elaborado uma placa de circuito impresso para a montagem do Módulo 1. Após a montagem do Módulo foram implementados programas teste que possibilitaram a verificação do funcionamento de cada parte do Módulo. Os testes realizados são descritos a seguir:

- Teste do display: o programa para teste do display LCD foi implementado para verificação das funções de escrita e leitura nos registradores de comando e de dados, e escrita de todos os caracteres possíveis no LCD. Em função dos testes e da função de configuração do LCD no projeto foram desenvolvidas funções de leitura, escrita e inicialização para uso pelos programas do sistema.

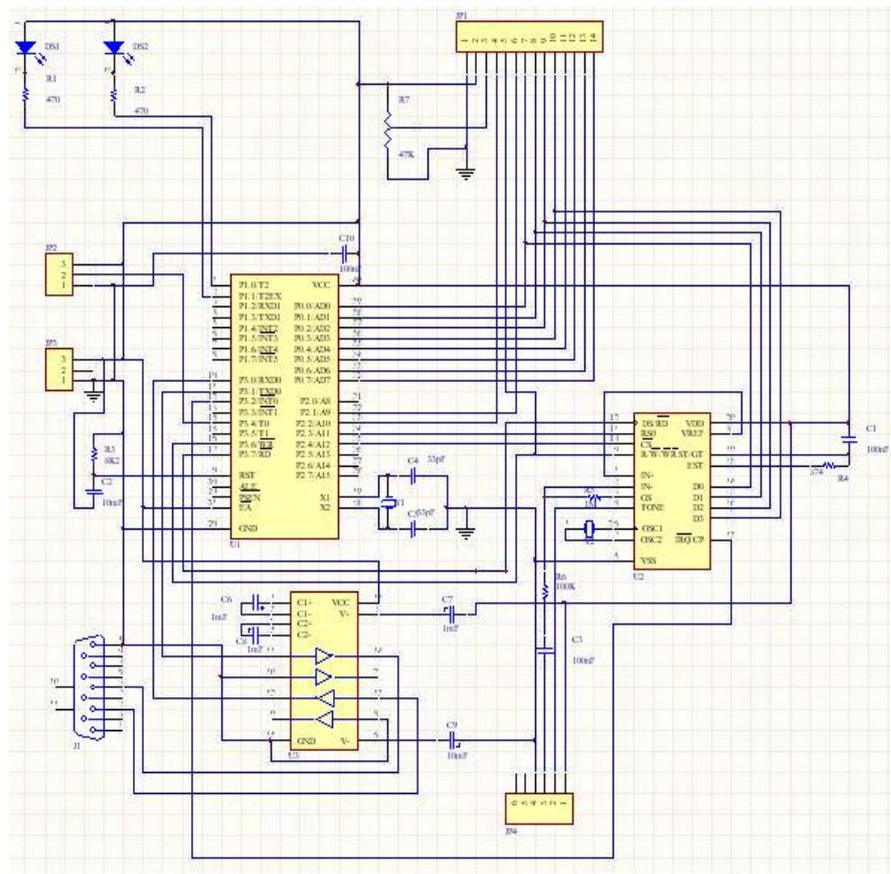


Figura 30 – Esquema elétrico do Módulo 1 - protótipo.

- Teste de memória: inicialmente para verificar o funcionamento da memória foram gravados e lidos diversos dados na memória. Um programa mais específico foi elaborado para a memória EEPROM pois a escrita neste tipo de memória requer cuidados maiores, visto que o tempo de gravação é diferente das demais memórias. Deste modo um sistema de espera para confirmação de gravação foi implementado. Como no teste anterior várias funções de escrita, leitura e configuração de memória foram elaboradas para uso futuro.
- Teste da comunicação serial: o teste da comunicação serial foi dividido em duas partes. Na primeira foram verificadas as funções de escrita e leitura nos registradores de status e dados e efetuado um laço interno ao sistema ligando o TX (transmite dado) ao RX (recebe dado). Foram também enviados e lidos vários bytes para comprovação do funcionamento da comunicação. Numa segunda parte foi elaborado um programa com funções de inicialização, envio e recebimento de bytes. Nesta parte, utilizando as funções já desenvolvidas para o display e a comunicação serial, foi possível interligar o Módulo a um computador usando o Hyperterminal (Programa da *Microsoft* para comunicação). Também foram implementadas funções para uso pelo *software* do GEBT.
- Teste dos contadores e temporizadores internos: com o intuito de aproveitar as fases de testes para desenvolver funções para uso do sistema final, foi desenvolvido um programa de contagem de tempo com os contadores e temporizadores internos. Este programa possibilitou a implementação de uma base de tempo para o sistema final, ou seja foi construído um programa relógio.
- Teste do sistema DTMF: para estes testes foram implementadas funções similares às desenvolvidas para a comunicação serial, de leitura e escrita nos registradores de dados e controle, laço interno de envio e recebimento de bytes. Além disso, foi realizado um experimento em laboratório de envio de bytes e a observação dos sinais no osciloscópio, para a comprovação do sinal dual tone (DTMF).

Com os testes verificou-se que o funcionamento do Módulo atende aos requisitos, permitindo que se executassem corretamente todas as funcionalidades planejadas. A Figura 31 apresenta o Módulo 1 em testes.

Com o funcionamento do Módulo 1 comprovado através dos testes, foi então possível realizar os testes do acoplamento com o medidor eletromecânico.

O acoplamento do circuito utilizado (c.f. Figura 25) para a contagem das voltas do disco do medidor foi realizado conforme se pode observar na Figura 32 e na Figura 33.



Figura 31 – Módulo 1.

Conforme explicado na seção 3.1.1 o acoplador óptico mostrado na Figura 32 funciona como um detector de passagem ou não de luz, visto que de um lado do disco fica o emissor de infravermelho e do outro lado o receptor. Desta forma, com a execução de um pequeno furo no local adequado torna-se possível a detecção de cada volta executada pelo disco, pois a cada passagem do furo pelo acoplador óptico, o foto-transistor é chaveado.

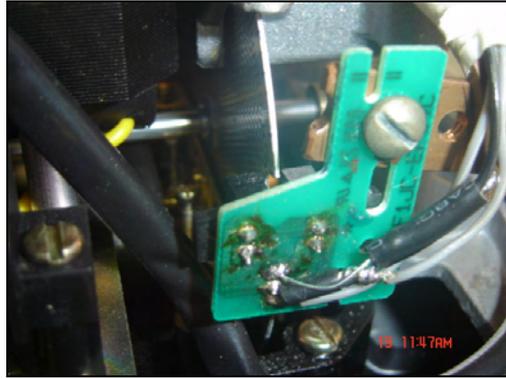


Figura 32 – Vista lateral do medidor, com o acoplador.



Figura 33 – Vista frontal do medidor, com o acoplador.

Para o teste do funcionamento do acoplamento foi elaborado um programa de contagem de voltas do disco que apresenta o número de voltas no display.

A adaptação do acoplador óptico ao medidor apresentou uma dificuldade ligada ao fato de que o disco pode rotacionar em diferentes velocidades e que uma mudança de velocidade pode ocorrer justamente na passagem do furo pelo acoplador. Isto pode ocasionar leituras incorretas. Para solucionar este problema a leitura é feita unicamente quando o furo chega ao feixe de infravermelho do acoplador óptico, e deste modo sua permanência no furo não é aceita como indicação de nova volta. Para se computar outra volta o furo tem que sair inteiramente da área do acoplador. Só quando o furo passar novamente pelo feixe é que uma nova volta será computada.

Nesta fase dos estudos já foi possível realizar testes para verificar as possibilidades de automatização das leituras do medidor. Isto foi feito conectando ao Módulo 1 os dados provenientes do acoplador óptico. Assim, foi possível obter, a partir das rotações do disco, valores de energia consumida com a vantagem adicional da

incorporação de uma base de tempo fornecida pelos programas desenvolvidos para os contadores e temporizadores do microcontrolador. Deste modo as leituras puderam ser divididas em função de períodos do dia. Nesta fase ainda se pôde coletar valores das leituras registradas pelo Módulo, utilizando-se sua porta serial. A comunicação via DTMF não foi utilizada nesta fase. Sua utilização necessita de interfaces específicas o que fez com que esta característica fosse abordada a partir da incorporação do Módulo 2 ao Módulo 1.

3.3.2 Módulo 2

A arquitetura do Módulo 2 pode ser observada na Figura 34. O modulador presente nesta figura é detalhado na Figura 35.

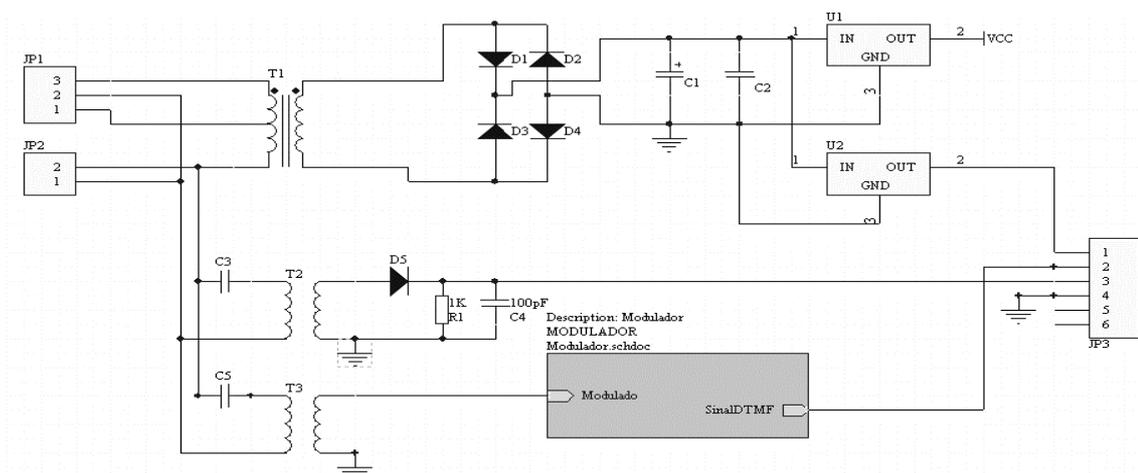


Figura 34 – Esquema do Módulo 2.

No diagrama da Figura 35 se pode observar que o modulador presente no Módulo 2 se subdivide em três partes, sendo a primeira um circuito de geração de uma onda senoidal, que tem como função ser a portadora para o sistema de modulação. A segunda parte é o modulador propriamente dito sendo onde o sinal DTMF é modulado em AM para a transmissão. Por fim, a terceira parte é um amplificador de sinal que será acoplado à rede.

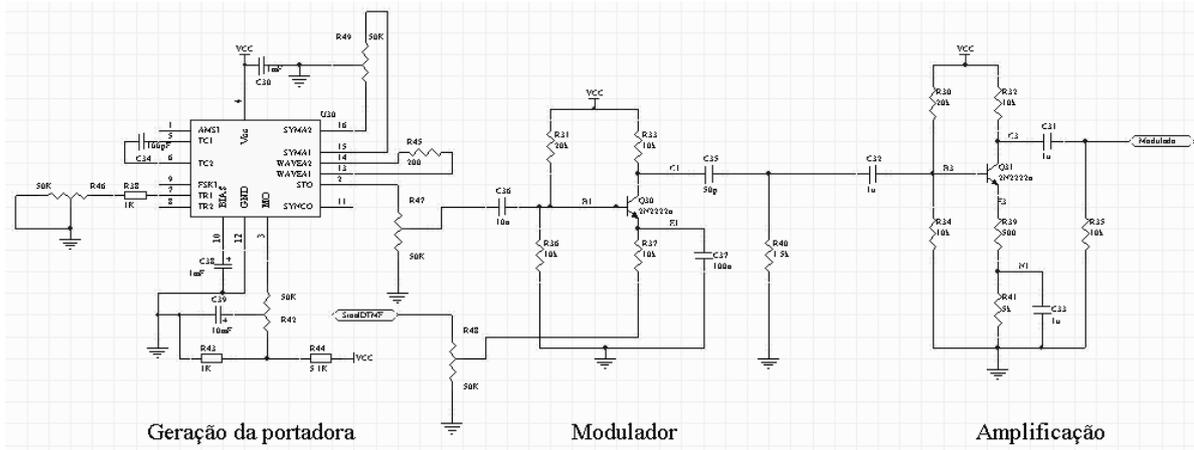


Figura 35 – Modulador do Módulo 2.

Com o projeto do Módulo 2 realizado efetuou-se a confecção do PCB e passou-se a montagem do circuito. A Figura 36 mostra o Módulo 2 montado. Na seqüência se pôde realizar a fase de testes em laboratório para observação do funcionamento das partes do circuito. Os testes realizados são descritos a seguir.

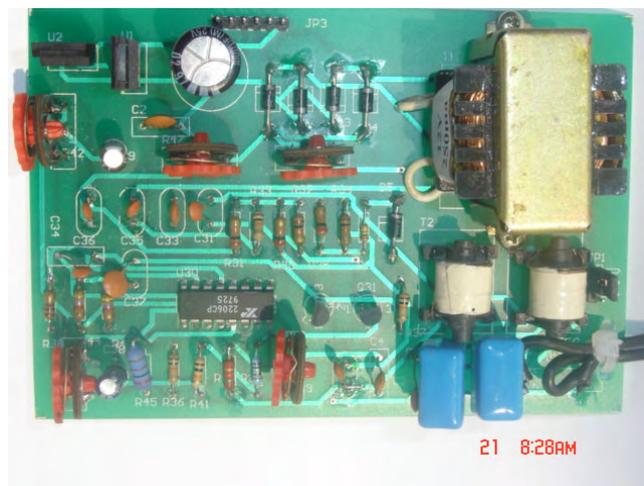


Figura 36 – Módulo 2.

- Teste da geração da portadora: no projeto do Módulo 2 optou-se por implementar o controle da amplitude e frequência do sinal gerado a partir de potenciômetros presentes no circuito. Utilizando esta possibilidade, verificou-se que a portadora gerada apresentava as características necessárias a sua utilização no projeto.
- Teste do modulador e do amplificador: o teste foi realizado de modo conjunto para os dois elementos, pois a verificação do funcionamento do

amplificador se resume a observar a saída do sinal modulado amplificado. Para o teste do modulador foram primeiramente injetados a ele dois sinais provenientes de um gerador de funções. Estes sinais representavam o sinal de entrada e a portadora. Este primeiro teste comprovou o funcionamento do modulador. Na seqüência substituiu-se a portadora gerada pelo gerador de funções, pela gerada pelo Gerador de Portadora do Módulo 2 (c.f. Figura 35). Para o sinal a ser modulado continuou-se a utilizar o gerador de funções. Após esta integração observou-se uma distorção do sinal da portadora. Uma análise aprofundada foi realizada e a partir de um novo projeto se chegou a solução do problema. A integração das duas primeiras partes ao amplificador ocorreu então sem problemas.

- Teste da fonte: para este teste, foram medidos os níveis de tensão de saída que se mostraram estar em padrões aceitáveis para o projeto, com variações condizentes com os dados de fábrica dos reguladores utilizados. Para análise do nível de corrente, acoplou-se ao circuito uma carga que obrigou a fonte a operar em níveis superiores aos requeridos pelo sistema. Nesta situação observou-se a corrente máxima do componente limitante, que no caso é o transformador de entrada. Nesta situação a resposta foi adequada e todos os componentes funcionaram adequadamente.
- Teste do acoplamento com a rede: a execução desse teste foi feita através da observação de dois critérios importantes para o sistema, isolamento elétrico do circuito com a rede de distribuição de energia elétrica e ganho ou perda de sinal com a variação da freqüência. Estes critérios são importantes pois permitem que se verifique a exatidão dos cálculos dos filtros e a escolha da melhor freqüência de trabalho. O teste de isolamento foi feito aplicando ao circuito, pelo lado da rede, uma tensão de 700 volts. Nesta situação observou-se que os componentes isolaram eletricamente o circuito do Módulo 2 da tensão aplicada. Para o teste da melhor freqüência de trabalho, inicialmente o circuito foi conectado a

rede elétrica. Na seqüência, diferentes sinais com frequências distintas foram inseridos na parte interna do circuito (na entrada do modulador) observando-se para quais frequências os sinais se acoplavam melhor à rede. Neste teste observou-se que duas faixas de frequências se apresentavam como ótimas, o que estava de acordo com o projeto realizado, já que o projeto do acoplamento previa uma frequência para envio e outra para o recebimento do sinal, permitindo que a comunicação fosse *full duplex*. As faixas de frequência encontradas foram de 200 kHz para recepção e 400 kHz para transmissão dos sinais.

Com o funcionamento do Módulo 2 comprovado passou-se a sua integração ao Módulo 1.

A Figura 37 mostra os Módulos interligados com o medidor eletromecânico. O funcionamento dos dois Módulos de forma unificada foi observado através de um osciloscópio em virtude do CS não estar ainda desenvolvido nesta etapa do trabalho. Na seqüência se apresenta o desenvolvimento desta unidade.



Figura 37 – Módulos 1 e 2 interligados.

Para o protótipo do CS foi utilizado o mesmo elemento utilizado pela UCL, apenas com mudança no software e no acoplamento do sistema de transmissão até o servidor de leitura, que neste estudo se resume a um computador ligado a Internet, com um endereço IP válido.

Para a transmissão dos dados do CS para o servidor de leituras optou-se pela utilização do sistema GSM/GPRS, e para tanto utilizou-se um modem GPRS disponível no mercado (c.f. Figura 38). O modem utilizado se conecta ao CS através da porta RS 232 presente no sistema. O sistema desenvolvido que interliga o CS ao modem GPRS pode ser visto na Figura 39. A conexão do Módulo GPRS com o servidor é realizada utilizando *sockets* e um protocolo de comunicação TCP/IP.



Figura 38 – Modem GPRS.



Figura 39 – Concentrador setorial com GPRS.

Os programas desenvolvidos para o funcionamento do sistema são apresentados na próxima seção.

3.3.3 Software de Controle da UCL e do CS

Foram desenvolvidos softwares diferentes para o gerenciamento das UCLs e dos CSs, já que estes elementos desempenham papéis diferentes no sistema. Estes softwares foram denominados, UCL - Versão 1.0 para a UCL e MESTRE Versão - 1.0 para o CS.

Também foram desenvolvidos para cada Módulo, em ambiente Windows, dois softwares de configuração, leitura e manutenção. A Figura 40 ilustra uma das telas do software denominado Tcontrol que pode ser utilizado para configurar a UCL. Já a Figura 41 ilustra uma das telas do software Mcontrol que pode ser utilizado para configurar o CS.

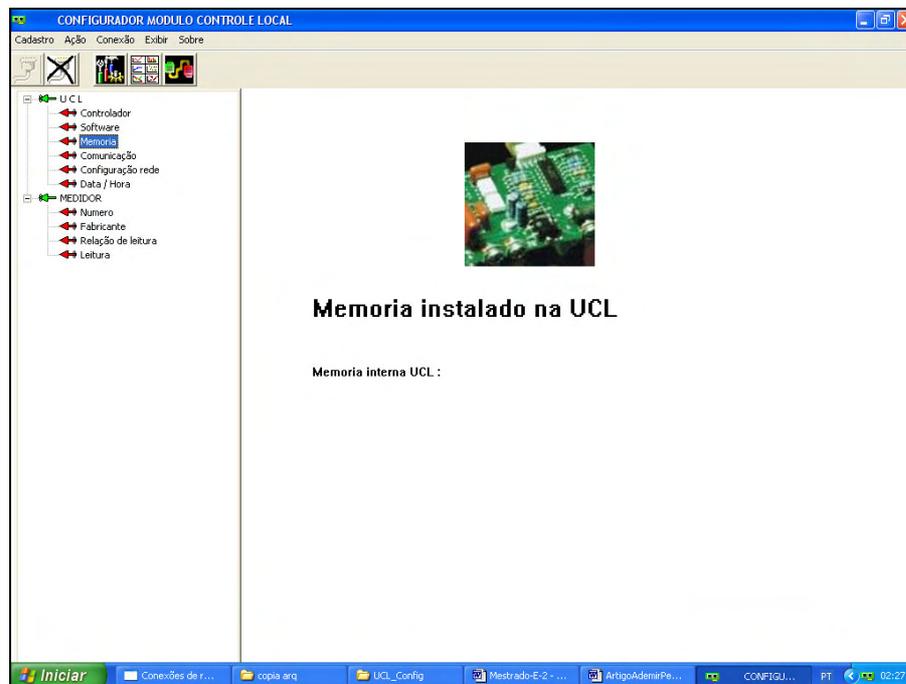


Figura 40 – Tela do programa Tcontrol.

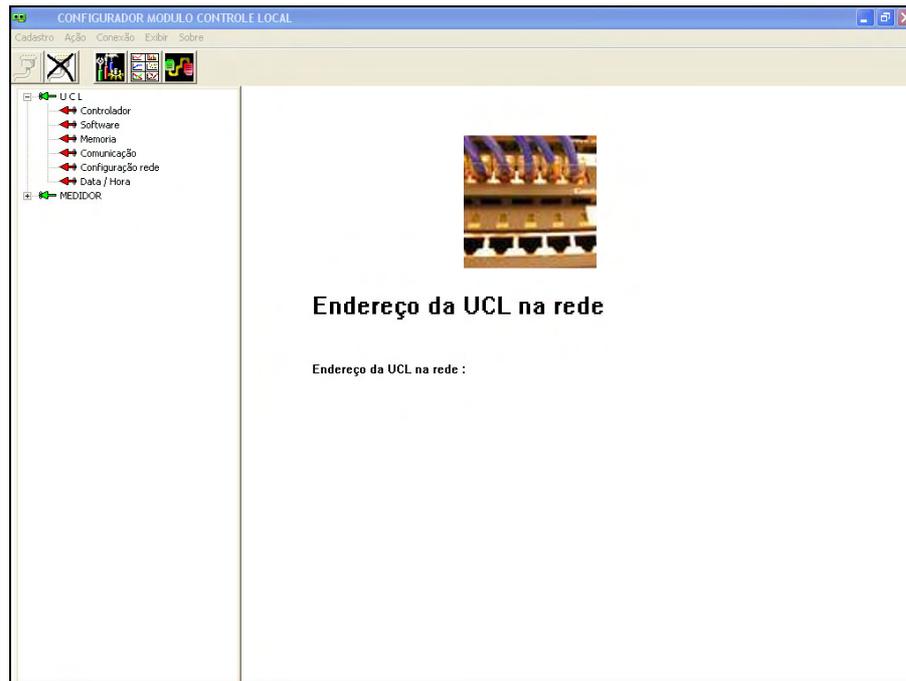


Figura 41 – Tela do programa Mcontrol.

Os software `Tcontrol` e `Mcontrol` têm funções similares, possibilitando a leitura dos dados armazenados na memórias EEPROM das unidades. Através deles pode-se também efetuar a configuração das unidades para o perfeito funcionamento do sistema. Na UCL os dados configuráveis são:

- **Leitura atual:** permite a transferência do valor da leitura de consumo presente em um medidor, utilizando para tanto o computador, para a UCL para configuração inicial, ou o envio dos dados presentes na UCL para o computador para obtenção da leitura (pode ser necessário caso ocorra uma eventual falha de transmissão entre a UCL e o CS).
- **Numero do medidor:** este parâmetro é utilizado para identificar cada um dos medidores que fazem parte do sistema de modo que seja possível ao concentrador identificar cada um dos medidores individuais.
- **Data e hora:** dados necessários para a configuração inicial da base de tempo das ULCs.
- **Fator de Multiplicação:** este parâmetro é usado na configuração inicial para que a UCL possa realizar o cálculo que compatibiliza o consumo em Wh às rotações do disco.

- Microcontrolador, memória, rede e software: estes dados são utilizados apenas como informações adicionais do sistema para simples visualização dos dados de configuração e componentes internos da UCL.
- Fabricante: esta informação configura na UCL um código relativo ao fabricante do medidor eletromecânico acoplado.

Os programas foram instalados nos Módulos e todas suas funções foram testadas. Após diversas correções obteve-se uma versão totalmente funcional do sistema (Versão 1.0) para as duas unidades

Para o servidor de leituras implementou-se um programa denominado *Servecontrol*, que se conecta com o CS através da rede Internet. O programa, através do uso de *sockets* TCP/IP permite que os dados armazenados no CS sejam transmitidos para servidor. No servidor os dados são armazenados e podem ser visualizados. Uma copia de tela do programa *Servecontrol* é apresentada Figura 42.

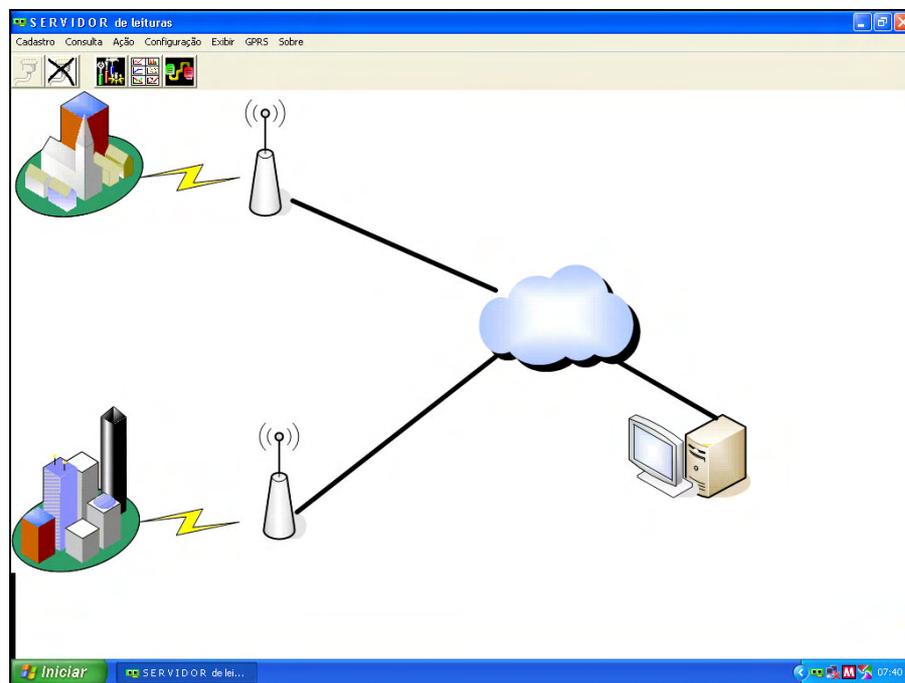


Figura 42 – Tela principal *Servecontrol*.

Conforme citado anteriormente, a implementação e utilização do sistema proposto neste trabalho oferece vários benefícios ao sistema de distribuição, tanto em relação à conservação de energia como em relação ao controle do consumo pelo lado

da demanda. Assim, no próximo capítulo cenários que poderiam ser utilizados para implementar estes benefícios são apresentados.

4. IMPLANTAÇÃO DE TARIFAS DIFERENCIADAS

Com a utilização do sistema proposto, as concessionárias poderiam implementar um esquema de tarifa diferenciada para seus consumidores residenciais. Uma análise de três cenários distintos e seus possíveis impactos no consumo e na conservação da energia são comentados e seus resultados apresentados na seqüência. Os cenários propostos são:

- **Cenário I - Custo de energia diferenciado:** para este cenário propõe-se que a energia no horário de ponta tenha um preço diferente da do restante do dia. Este preço seria ainda diferenciado para diferentes faixas de consumo.
- **Cenário II – Meta de demanda no horário de ponta:** para este cenário propõe-se que a energia no horário de ponta tenha o mesmo preço que no restante do dia. No entanto, a demanda da residência teria um limite, e caso este limite fosse ultrapassado haveria a cobrança de uma multa;
- **Cenário III – Meta de energia no horário de ponta:** para este cenário propõe-se que a energia no horário de ponta tenha o mesmo preço que no restante do dia. Entretanto, se o consumo no horário de pico ultrapassar a energia contratada haveria a cobrança de uma multa.

De forma resumida, pode-se dizer que para o Cenário I a energia consumida no horário de ponta teria um valor diferenciado da do restante do dia. Já nos Cenários II e III, o valor pago pela energia consumida seria igual para todo o dia, mas no Cenário II a demanda seria limitada no horário de ponta e no Cenário III existiria uma meta da energia que poderia ser consumida durante o horário de ponta. A ultrapassagem dos limites, nos Cenários II e III implicaria no pagamento de multas.

Na Tabela 6 se propõe três Classes hipotéticas de consumidores residenciais com valores usuais de consumo, cada uma delas apresentando um perfil característico de uma classe sócio-econômica. Para efetuar uma análise do impacto dos cenários propostos, cada um destes cenários é analisado tendo por base as classes da Tabela 6.

Tabela 6 – Consumo de Energia para Consumidores Residenciais

Classe	Consumo mensal (kWh)	Consumo Médio Diário (kWh)	Consumo Médio por Hora (kWh)	Carga Instalada (kW)
A	1250	41,67	1,74	35,0
B	350	11,67	0,49	14,6
C	100	3,33	0,14	3,6

Para o Cenário I consumidores da classe A seriam severamente forçados a diminuir seu consumo no horário de ponta pois seu consumo mensal deve ser elevado também neste horário, e além disso a eles seria também aplicada a tarifa diferenciada de maior valor. Já a influência seria menor sobre os consumidores da classe B e menor ainda sobre os da Classe C.

Com a implementação da tarifação proposta pelo Cenário I, haveria um estímulo maior para a troca por equipamentos que utilizem tecnologias mais eficientes, visto que a energia no horário de pico teria um preço mais elevado. Portanto, o retorno do investimento em equipamentos novos seriam maiores, tendo em vista que o potencial de redução do pico de demanda conseguido com a substituição de equipamentos com melhorias tecnológicas é de 21% [1]. Também haveria a possibilidade do deslocamento do horário de consumo, em função da energia ser mais barata nos outros horários. Este cenário poderia também ocasionar maiores investimentos em energias alternativas, pois o retorno financeiro poderia ser mais atraente se esta energia fosse usada no horário de pico.

Com o Cenário II, considerando que seja permitida uma demanda de apenas 50% da carga instalada no horário de ponta, todas as classes de consumidores necessitariam adotar um controle rigoroso da demanda, ou alternativamente a substituição do fornecimento de parte da carga por outras fontes de energia. Estes consumidores poderiam ainda utilizar equipamentos que apresentassem melhorias tecnológicas.

No Cenário II, pode-se imaginar também que um controle das demandas das residências se tornaria necessária, estimulando um deslocamento do horário de uso dos equipamentos, bem como o uso de controladores automáticos de demanda. Neste caso, é possível controlar melhor a demanda no horário de ponta, o que auxiliaria no gerenciamento do despacho da geração e no planejamento de novos investimentos no setor elétrico.

Já no Cenário III, tendo por base que o objetivo é obter uma curva de carga constante para os consumidores e admitindo como limite de consumo no horário de ponta a média horária, pode-se constatar que consumidores de todas as classes teriam que controlar seus gastos ou procurar novas soluções, já que o consumo de pico é bem maior que a média horária.

O Cenário III representa uma combinação dos dois primeiros cenários, pois haveria um estímulo à utilização de novas soluções tecnológicas para que não se ultrapassasse o consumo de energia contratada. Um controle da energia consumida se tornaria também viável. Isto ocorreria porque seria necessário saber quanto se poderia consumir em determinado horário, e também conhecer qual seria a reserva de energia de ponta que ainda poderia ser consumida sem pagamento de multa. Também o uso de energia alternativa quando da ultrapassagem da energia contratada seria viável.

Para o Cenário I, o sistema desenvolvido poderia ser utilizado, pois sua base de tempo permitiria identificar a energia consumida nos períodos de ponta e fora dela. No Cenário II, o sistema desenvolvido poderia calcular a demanda das instalações num determinado período, de ponta e fora dela. No Cenário III uma abordagem similar poderia ser utilizada já que o sistema desenvolvido, como no Cenário I, poderia registrar a energia consumida.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Principais Contribuições

Este trabalho apresentou a base teórica, as tecnologias utilizadas, a arquitetura e o desenvolvimento de um Gerenciador de Energia em Baixa Tensão – GEBT. Apresentou também cenários que poderiam ser utilizados pelas Concessionárias de Energia para implantar o gerenciamento de energia pelo lado da demanda.

A utilização do GEBT é feita pela instalação, em cada medidor eletromecânico de uma Unidade de Controle Local (UCL), que tem a função de coletar os dados da energia consumida e associar a estes dados outros dados como uma base de tempo, identificação da unidade consumidora e o tipo de ligação entre outros. Os dados coletados podem então ser transmitidos através da própria rede de distribuição de baixa tensão até um Concentrador Setorial (CS), instalado na estação transformadora de baixa tensão mais próxima. Deste ponto os dados podem então ser transmitidos para um servidor de leituras da concessionária, via a rede de telefonia celular utilizando a tecnologia GPRS.

O funcionamento do GEBT em laboratório mostrou-se promissor. Sua utilização incentivaria a conservação de energia elétrica através da redução do consumo implementando o gerenciamento pelo lado da demanda para consumidores de baixa tensão. A utilização do sistema desenvolvido levaria ainda a uma atualização tecnológica dos medidores existentes.

5.2. Desenvolvimento Futuro

Embora o sistema desenvolvido tenha apresentado em laboratório excelentes resultados, compatíveis com os requisitos iniciais pretendidos quando do início de seu desenvolvimento, o GEBT, para ser utilizado em escala industrial necessita de algumas melhorias e testes exaustivos em campo.

Com o desenvolvimento inicial finalizado, pode-se pensar na implementação de algumas melhorias. Entre elas se pode citar um aprimoramento da técnica a ser utilizada para o acoplamento do sensor do disco do medidor. Na solução adotada, é necessário que o medidor seja aberto para a inserção do sensor. Este fato pode ser problemático para uma utilização em escala, devido a grande diversidade de medidores

existentes e a necessidade de aferições para comprovar a alteração ou não na classe de exatidão do medidor. Entretanto, acredita-se que a adaptação do sensor poderia ser feita nas oficinas da própria Concessionária para minimizar este problema. Um estudo que apresentasse novas abordagens para a solução desse problema poderia ser realizado.

Outro ponto que poderia ser abordado objetivando aprimorar o protótipo, diz respeito ao poder de processamento e recursos do microcontrolador utilizado. O microcontrolador 89S8252, embora tendo atendido as necessidades iniciais do projeto, não permitirá que a evolução do sistema seja feita de maneira adequada. Este processador foi utilizado para reduzir os custos de desenvolvimento já que se possuía o ambiente de desenvolvimento para este processador. Em novas versões do sistema um estudo poderia ser feito para definir um novo microcontrolador para o sistema.

Outra melhoria que poderia ser implementada diz respeito a fonte de alimentação. Observou-se ao final do desenvolvimento que o próprio transformador da fonte (logicamente após um projeto adequado) poderia ser utilizado para realizar o acoplamento a rede, o que diminuiria substancialmente o tamanho físico do sistema.

Um desenvolvimento futuro, além de incorporar as sugestões já apresentadas deveria levar em consideração um estudo profundo do sistema objetivando uma atualização tecnológica que permita uma redução substancial do tamanho do GEBT.

Outra possibilidade de desenvolvimento futuro diz respeito a utilização do GEBT acoplado a medidores eletrônicos já presentes em algumas unidades consumidoras. Acredita-se que esta utilização seria facilitada porque os medidores eletrônicos já disponibilizam os dados de consumo de forma digital.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GARBELOTO, L. A.; CAMARGO, C. C. B.; TEIVE, R. C. G. Estudo Comparativo de Tecnologias Utilizadas para Gerenciamento de Cargas em Programas de GLD. **Anais do XVII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**. Uberlândia, M.G. Out., 2003.
- [2] ANDRADE, J. C. B.; GONÇALVES, E. H. Gerenciamento de Edifícios com Alta Tecnologia: Retrofit e Automação. **Anais do XVII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**. Uberlândia, M.G. Out., 2003.
- [3] ALMEIDA, M. A.; SCHAEFFER, R.; ROVERE, E. L. **The Potencial for Electricity Conservation and Peak Load Reduction in the Residential Sector of Brazil**. *Energy*, v. 26, n.7, 2001, p. 413-429.
- [4] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – <http://ons.gov.br>, acesso em 11/10/2005.
- [5] GRUPO DE ESTUDO EM ENERGIA- <http://www.green.pucminas.br>, acesso em 11/10/2005.
- [6] ILKAN, M.; ERDIL, E.; EGELIOGLU, F. **Renewable Energy Resources as an Alternative to Modify the Load Curve in Northern**. *Cyprus Energy*, v. 30, n.7, 2005, p. 555-572.
- [7] RAMOS, G. N.; HEARD, C.; FISCAL, R. E.; MAQUEDA, M. Z.; MORALES, L. S.; CEJA, R. B.; GUTIÉRREZ, J. L. **Computer System for Energetic Diagnoses un Residential Customers**. *Energy Policy*, v. 29, n.7, 2001, p. 595-603.
- [8] RANKIN, R.; ROUSSEAU, P.G.; ELDIK, M. **Demand Side Management for Commercial Buildings Using an Inline Heat Pump Water Heating Methodology**. *Energy Conversion & Management*, v. 45, n.7, 2004, p. 1553-1563.

- [9] MATHEWS, E. H.; KLEINGELD, M.; TAYLOR, P. B. **Estimating the Electricity Savings Effect of Ceiling Insulation. Building and Environment.** Energy, v. 34, n.7, 1999, p. 505-514.
- [10] CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA S.A. SERVIÇOS AO CLIENTE, http://www.celesc.com.br/atendimento/auto_leitura.php, acesso em 21/09/2005.
- [11] ESB ELETRONIC SERVICES, PRODUTOS, http://www.esb.com.br/_medidores/produtos.html, acesso em 21/09/2005.
- [12] SILVA, V. P. **Aplicações Práticas do Microcontrolador 8051.** São Paulo: Érica, 1994.
- [13] LOBASHOV, M.; PRATI, G.; SAUTER, T. **Implications of Power-line Communication on Distributed Data Acquisition and Control Systems.** IEEE, 03/03/2003, p. 607-613.
- [14] PAVLIDOU, N.; VINCK, A. J. H.; HONAY, B. **Power Line Communications: State of the Art and Future Trends.** IEEE Communications Magazine, april 2003, p. 34-40.
- [15] DONAHOO, M.; CALVERT, K. **TCP/IP Sockets in C: Practical Guide for Programmers.** Ed. Morgan Kaufmann, 2001.
- [16] COUCH, L. W. **Digital and Analog Communication Systems.** New Jersey, Prentice Hall, Inc., 1997.
- [17] ZEEBAR TECHNOLOGY SERVICES, Inc., **DTMF Tones.** <http://www.dialabc.com/sound/dtmf.html>, acesso em 23/09/2005.
- [18] BLACK, H. S. **Modulation Theory.** New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1953.
- [19] WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA, <http://en.wikipedia.org/wiki/GPRS>, acesso em 19/07/2006.
- [20] TELECO INFORMAÇÃO EM TECNOLOGIA DE TELECOMUNICAÇÕES, <http://www.teleco.com.br/tutorialgprs/default.asp>, acesso em 19/07/2006.

- [21] **CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos.** Vários autores. Editora da EFEI, 2001.
- [22] CAMPOS, A. **Gerenciamento pelo Lado da Demanda: Um Estudo de Caso.** 2004. 94p. Dissertação (mestrado) – Programa Interunidades de Pos-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [23] PHILIPS, M. E.; ADAMS B. J. **Transforming the ferraris disc meter into a key element in an automated meter reading system.** IEEE Metering and Tariffs for Energy Supply, 3-5 july 1996, p.170-174.
- [24] YEW, T.; CHAN, T. W. **Experimenting Remote Kilowatthour Meter Reading Throught Low-Voltage Power Lines at Dense Housing Estates.** IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, 2002, p.708-711.
- [25] BARANSKI M.; VOSS J. **Non-Intrusive Appliance Load Monitoring based on an Optical Sensor.** IEEE Bologns PowerTech Conference, 2003.