



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GCE-13
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XIV
GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – GCE**

ESTUDO COMPARATIVO DE TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA GERENCIAMENTO DE CARGAS EM PROGRAMAS DE GLD

**Luiz A. Garbelotto
CELESC**

**C. Celso do Brasil Camargo
UFSC**

**Raimundo C.G. Teive*
UNIVALI**

RESUMO

Neste trabalho é apresentado o gerenciamento de carga como uma alternativa eficiente para o gerenciamento pelo lado da demanda. Neste sentido, são analisadas as principais técnicas para o controle direto sobre as cargas e as tecnologias de comunicação envolvidas para viabilizar o acionamento remoto de determinadas cargas e a modulação da curva de carga. No que tange as tecnologias de comunicação para o gerenciamento de carga, são analisadas rádio-frequência, *ripple control*, PLC e a promissora telefonia celular.

PALAVRAS-CHAVE

Gerenciamento de cargas, Gerenciamento pelo Lado da Demanda, Controle direto sobre cargas

1.0 - INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica per capita no Brasil é atualmente de 1853 kWh/ano, muito abaixo da média mundial que é de 2364 kWh/ano por habitante (1). Estima-se que o consumo de energia elétrica per capita no País, em 2015, será de 2800 kWh/ano.

Para atingir esta meta, sem conservação de energia, o País necessitará investir U\$ 10 bilhões por ano para aumentar a oferta de energia em 70.000 MW em 14 anos, ou seja, quase duplicar a capacidade de geração atual.

Esta, certamente, não é uma solução fácil de ser implantada, levando em consideração não apenas aspectos financeiros, mas também questões

ambientais relacionadas com a exploração dos recursos naturais envolvidos com a construção em série de novas usinas.

A busca da conservação de energia, surge naturalmente como uma componente fundamental para o equacionamento deste problema.

Desta forma, a utilização da conservação de energia elétrica, mesmo que teoricamente sendo contrária ao princípio básico de busca de lucro sob quaisquer condições, será uma prática não somente adotada pelos consumidores, mas também estimulada pelas próprias empresas do setor e pelos órgãos reguladores, visando a manutenção e atendimento dos seus mercados.

O gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) surge não somente como uma ferramenta para implementação de políticas de conservação de energia, mas também como uma alternativa de operação dos sistemas de distribuição no que se refere ao controle e modulação da curva de carga do consumidor.

De forma geral, o GLD diz respeito ao planejamento, a implementação e acompanhamento daquelas atividades que modificam a curva de carga dos consumidores (gerenciamento de carga), mediante parcerias entre estes e as empresas concessionárias. Isto pode ser feito mediante incentivos financeiros, adotando tecnologias e processos de uso final da energia mais eficientes e que irão substituir os menos eficientes, resultando em reduções globais e significativas no uso da energia.

No caso particular do gerenciamento da carga, foco principal deste trabalho, procura-se alterar a forma da

*Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI - Campus São José
Laboratório de Pesquisa em Energia – LAPEN
teive@sj.univali.br

curva de carga mediante basicamente quatro processos: corte da ponta, enchimento dos vales, deslocamento da carga e curva de carga flexível, como apresentado em (2).

Neste trabalho são analisadas comparativamente as principais tecnologias de comunicação empregadas no gerenciamento direto de cargas de consumidores residenciais, destacando-se: rádio frequência, PLC (*Power Line Communication*), *ripple control* e a telefonia celular, observando-se as principais aplicações práticas envolvendo estas tecnologias e os aspectos técnicos mais relevantes.

Dentro desta análise, levantou-se ao final, as vantagens e desvantagens das tecnologias elencadas anteriormente, demonstrando-se as restrições operacionais e viabilidade, ou não, das mesmas para aplicações práticas, considerando-se as quatro formas de gerenciamento de carga estudadas.

2.0 - TIPOS DE GERENCIAMENTO DE CARGA

O gerenciamento da carga, de um modo geral, procura conciliar a confiabilidade e vantagens econômicas na operação do sistema, com os meios de se evitar uma propagação e ampliação de situações de emergências frente a desbalanços carga/produção, sobrecargas em equipamentos e alterações não previstas no futuro, como por exemplo um crescimento repentino da carga provocado por variações climáticas excepcionais.

Neste tipo de GLD a concessionária controla o uso final de determinado tipo de equipamento de forma remota ou no próprio local. Através de um canal de comunicação apropriado a empresa irá controlar, por exemplo, aparelhos de ar condicionado, desligando e ligando os compressores por períodos determinados. Aos consumidores participantes são oferecidas vantagens financeiras.

A seguir serão discutidos os quatro programas de GLD que visam o gerenciamento de carga, considerando-se a ação destas técnicas sobre uma curva de carga residencial típica (1), representada pela Figura 1.

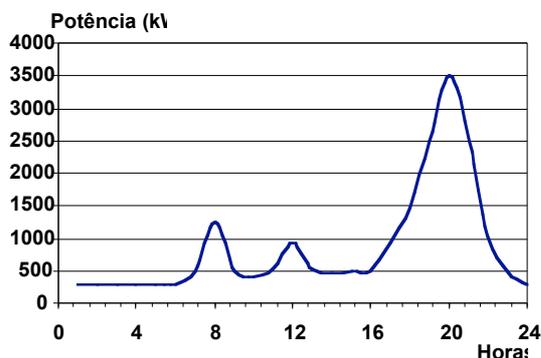


FIGURA 1 – Curva de Carga Residencial Típica

a) Corte da Ponta

O corte da ponta é conseguido principalmente através do controle direto sobre a curva de carga, desligando ou não permitindo que determinadas cargas fiquem ligadas no período da ponta, diminuindo assim a demanda máxima neste período. Na Figura 1, mostrada abaixo, é representada uma curva de carga residencial típica (1).

Considerando a curva de carga típica da Figura 1, um exemplo de corte da ponta é apresentado na Figura 2, onde o corte foi executado quando a carga atingiu 2500W.

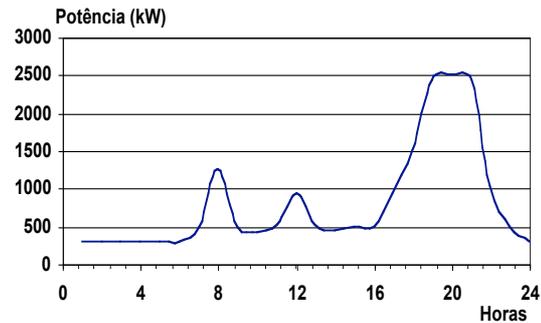


FIGURA 2 – Corte da Ponta

Com o efeito de corte da ponta, a concessionária poderá postergar investimentos em expansão no seu sistema. Usualmente, este tipo de gerenciamento de carga (controle de demanda) é implementado através da utilização de relé horário, relé prioritário ou mesmo o uso de dois disjuntores com capacidades diferentes, sendo que no período de ponta, o disjuntor de menor capacidade é habilitado pela concessionária, via um canal de comunicação apropriado.

b) Enchimento dos Vales

A técnica de enchimento dos vales tem o objetivo de modular a curva de carga no sentido de reduzir a diferença entre as potências máximas e mínimas de consumo, buscando aumentar o fator de carga do consumidor, o que para a concessionária é interessante. A Figura 3, mostrada abaixo, representa como a utilização desta técnica afeta a curva de carga da Figura 1.

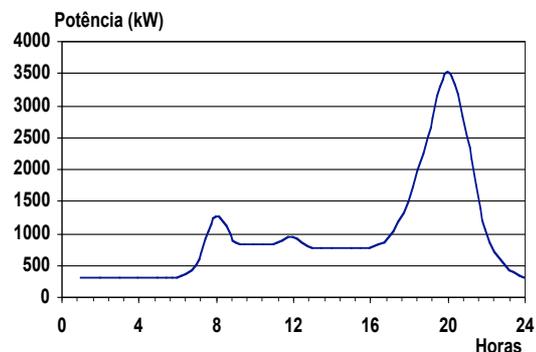


FIGURA 3 – Enchimento dos Vales

Esta técnica estimula o consumidor a utilizar mais energia nos períodos onde a concessionária, provavelmente, possui energia de baixo custo disponível. A aplicação desta técnica é conveniente para a concessionária, quando o custo marginal de eletricidade é menor do que o custo médio (3). O enchimento dos vales pode ser implementado através do armazenamento de energia térmica, o qual é feito fora da ponta, para que esta água quente seja utilizada no horário da ponta, substituindo o chuveiro, por exemplo.

c) Deslocamento da Carga

O deslocamento da carga como o próprio nome indica, consiste no deslocamento de cargas do horário de ponta para outros horários, com o objetivo de transferir parte do consumo do período de ponta para fora da ponta, incentivando a mudança nos hábitos do consumidor pela utilização mais consciente da eletricidade no horário de ponta. (1)

A aplicação do deslocamento da carga tem, na prática, um efeito combinado de corte da ponta e enchimento dos vales (5). Contudo, como observado em (3), não necessariamente o consumo total da instalação será modificado, o que já ocorre na técnica de enchimento dos vales.

A Figura 4, mostrada a seguir, representa como o deslocamento da carga pode reduzir o consumo no horário de ponta da curva de carga da Figura 1. Neste exemplo, o consumo no horário de ponta foi reduzido, enquanto que no período compreendido entre 13h e 16h houve um aumento do consumo, sinalizando, por exemplo, uma mudança de hábito de consumo por parte do consumidor.

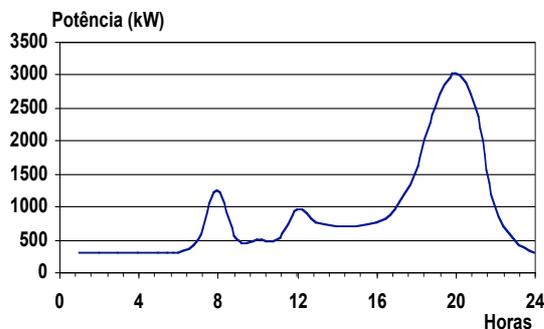


FIGURA 4 – Deslocamento de Cargas

O deslocamento de cargas é obtido na prática através de duas formas: armazenamento de energia térmica e controle de equipamentos. A primeira forma consiste no aquecimento de água, via aquecimento elétrico, nos períodos fora da ponta, para que a mesma seja utilizada no período de ponta, eliminando assim a utilização do chuveiro elétrico no horário de ponta. A segunda forma consiste no desligamento remoto das cargas em regime de rodízio. Neste caso, por exemplo, o ar condicionado, estaria fora de serviço durante todo o período, sendo que a duração deste período e o número de vezes que tal expediente seria usado no ano, especificados no programa. Os consumidores são normalmente divididos em grupos e os desligamentos são efetuados por rotação entre estes grupos.

A estratégia a ser usada pela concessionária, neste caso, será caracterizada pelo tempo de não funcionamento do aparelho, em termos percentuais, relativo ao período de 1 hora. Assim uma estratégia de 25% seria, por exemplo, ter o equipamento por 7,5 minutos desligado contra 22,5 minutos ligado. No período de 01 hora teríamos então o aparelho fora de operação por 15 minutos, ou seja 25% do tempo. (4)

d) Curva de Carga Flexível

A curva de carga flexível está associada à confiabilidade do serviço e é conseguida oferecendo aos consumidores a escolha de vários níveis diferentes de qualidade em troca de incentivos financeiros. Como exemplos deste tipo de técnica de gerenciamento de carga podemos citar: serviço de subscrição de demanda, preço variável com a confiabilidade e tarifas de interrupção.

A Figura 5 representa a atuação desta técnica sobre a curva de carga típica da Figura 1.

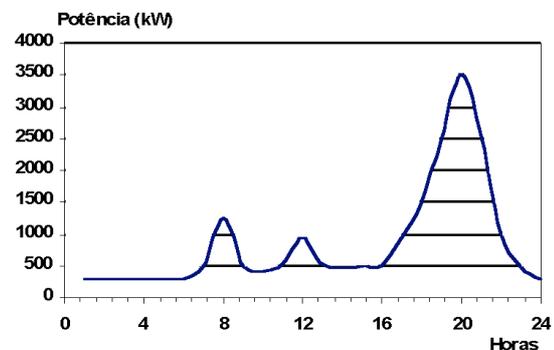


FIGURA 5 – Curva de carga Flexível

A Figura 5 representa uma curva de carga, cuja área abaixo, a qual representa a energia consumida em um dia, pode ser modificada em função do nível de confiabilidade estabelecido no programa de conservação de energia adotado.

Conforme é observado em (5), este tipo de programa possibilita aos despachantes maior flexibilidade, no sentido de reduzir ou postergar demandas para um grupo de consumidores selecionados (àqueles que se dispuseram a ingressar neste programa).

3.0 TECNOLOGIAS EMPREGADAS NO GERENCIAMENTO DE CARGA

Para executar todas as técnicas de gerenciamento de cargas vistas no item anterior, existem diversas tecnologias que podem ser aplicadas pela concessionária para viabilizar o controle de demanda remoto.

O gerenciamento de carga de consumidores residenciais, bem como o monitoramento do tempo de uso de consumo, tem sido alvo de interesse de muitas concessionárias americanas, conforme observa (16).

Neste estudo (16), são apresentados os resultados de uma pesquisa com 115 concessionárias de energia americanas, indicando que 9% destas já utilizam leitura de medidor automática e outros 22% pensam em utilizar tais sistemas, visando monitorar o tempo de uso de consumo, ou seja, conhecer o perfil de consumo de seus consumidores.

Para realizar serviços de leitura remota ou mesmo gerenciamento de carga propriamente dito, é necessário que se utilize tecnologias de comunicação apropriadas. Neste sentido serão descritos a seguir as tecnologias mais utilizadas para comunicação entre concessionárias e consumidor: rádio-freqüência, ripple control, PLC e telefonia celular.

a) Rádio-freqüência

A tecnologia rádio-freqüência (RF), também conhecida por sistema de rádio difusão, o qual é muito utilizado pelas emissoras de rádio e televisão, apresenta, segundo (6), alguns aspectos positivos:

- Percorrem longas distâncias;
- Penetram em paredes (podem ser utilizados em ambientes abertos e fechados);
- Desviam de obstáculos sólidos;
- Ondas Onidirecionais (percorrem todas as direções);
- Simplicidade e baixo custo.

A facilidade que este sistema oferece em atingir longas distâncias, a simplicidade e o baixo custo dos equipamentos e manutenção são qualidades muito interessantes para uma aplicação de GLD e gerenciamento de cargas. Porém este sistema apresenta algumas problemas:

- Interferência entre os diversos utilizadores;
- Baixa segurança das informações;
- Baixa largura de banda (apenas um usuário transmitindo por vez);
- Comunicação Half-Duplex.

A questão da comunicação unidirecional dos sistemas de rádio-freqüência impede a comunicação no sentido consumidor para concessionária, o que pode ser importante em algumas aplicações de gerenciamento de carga.

Além disto, tem-se observado que receptores de gerenciadores de carga que atuam através de sinais de rádio-freqüência, conforme relata (7), podem sofrer interferência de outros equipamento, tais como máquinas industriais, atuando assim de forma indevida.

b) Ripple control

O sistema *Ripple Control* foi desenvolvido na década de 60, tendo grande utilização hoje em dia, especialmente na Europa (10).

A tecnologia *Ripple Control* consiste em utilizar a rede de distribuição de energia elétrica para estabelecer uma comunicação unidirecional com o consumidor de baixa tensão, permitindo assim o controle de carga e de tarifa. A principal característica deste sistema é a

utilização da rede elétrica para transmissão de mensagens de controle de baixa freqüência.

A mensagem do *Ripple Control* é superposta usualmente com uma freqüência de 175 Hz sobre a freqüência da rede. A duração de uma mensagem é cerca de dois minutos. Vários comandos para gerenciamento de carga podem ser transmitidos em uma única mensagem.

Esta técnica apresenta na literatura alguns problemas ligados à superposição de sinais de tensão, como o reportado em (8), onde é apresentada a ocorrência de *flicker* devido à utilização de *ripple control* na rede. Neste caso, foi observado níveis de tensão de até 50V em 665 Hz superpostos na tensão de fornecimento de 240V e 50Hz.

c) PLC

A utilização da rede elétrica como meio de comunicação de dados e voz remonta os anos 50, onde já se utilizava o termo PLC (*Power Line Carrier*). Nesta época utiliza-se a rede elétrica para envio de sinais para comando de relés de proteção.

A partir da década de 80 começou a aparecer estudos mais densos sobre a técnica de PLC, como o que pode ser encontrado em (9).

O sistema PLC é projetado para viabilizar comunicação sobre a rede elétrica, envolvendo todo o circuito do do lado do secundário do transformador de distribuição.

As vantagens desta tecnologia são óbvias (HOOIJEN, 1996):

- toda infra-estrutura já instalada;
- conexões com todos os consumidores;
- Custos de instalação baixos, consistindo basicamente do custos com os dispositivos transmissor e receptor.

Para esta tecnologia as técnicas de modulação mais utilizadas na prática são: FSK (*Frequency Shift Keying*), *Spread Spectrum* e ASK (*Amplitude Shift Keying*). Os protocolos de comunicação mais encontrados nestas aplicações são o padrão *CE-bus* e o X-10.

Com relação a freqüência da portadora, esta varia em função do cristal de quartzo utilizado. Por exemplo, tem-se trabalhado com o transceiver PLC da Phillips (TDA 5051AT), o qual trabalha com um cristal de 7,37 MHz, gerando uma freqüência portadora de 115,2 kHz. Entretanto, tem-se observado aplicações utilizando-se portadora com freqüência de até 500 kHz.

A taxa de transmissão, a qual é uma limitação do transceiver, segundo as aplicações observadas na literatura, tem variado de 1.200 bps até 20.000 bits por segundo.

Um problema com a aplicação desta tecnologia está relacionado com a falta de conectividade da rede elétrica em situações de contingências, como é observado em (11). Neste trabalho é colocado que a perda do sinal *carrier*, a qual acontece quando alguma

linha de transmissão elétrica abre durante alguma falha, ou mesmo a dificuldade dos sinais *carrier* em atravessar chaves abertas e transformadores é a principal desvantagem desta tecnologia.

d) Telefonia celular

A telefonia celular passou de artigo de luxo para instrumento de trabalho obrigatório para qualquer cidadão que desempenhe ao menos parte de suas funções em campo, quaisquer que sejam suas atividades profissionais. (12)

Os aparelhos móveis disponíveis no mercado oferecem não só o serviço de comunicação de voz, mas também permitem a transferência de dados através das plataformas de serviços como: WAP (*wireless access protocol*), conexão discada (por exemplo, comunicando diretamente com uma base de dados através de um FTP - *file transfer protocol* e SMS (*short message system*), as quais estão sendo muito difundidas pelas inúmeras aplicações que oferecem.

Dentro da telefonia celular, tem-se o serviço de mensagens curtas (SMS – *short message service*), o qual apresenta muitas vantagens em relação às tecnologias estudadas e cuja utilização, tanto em nível internacional (Europa principalmente), quanto em nível nacional, tem crescido fortemente nos últimos anos. Este serviço será melhor discutido no próximo item.

4.0 - GERENCIAMENTO DE CARGA VIA SMS

Conforme (13), SMS é uma forma de comunicação através de mensagens de texto entre telefones celulares, computadores ou dispositivos móveis como PDA (*Personal Digital Assistant*).

O serviço SMS, este está sendo muito utilizado em vários tipos de aplicações voltadas para corporações que necessitam de manter uma determinada flexibilidade de acesso aos dados empresariais.

O serviço de mensagens curtas apresenta muitas vantagens em relação a outros serviços de transferência de dados, porém como qualquer outro serviço, este apresenta algumas restrições como podemos observar:

Vantagens do serviço SMS:

- Serviço *Store-and-Forward* (Garantia de entrega);
- Permite envio de mensagens bidirecionais;
- Alta disponibilidade (simultâneo com comunicação de voz);
- Baixo Custo;
- Não necessita realizar conexão;
- Confirmação de entrega (recebe o aviso de chegada da mensagem).

Restrições do serviço SMS:

- Limite de tamanho da mensagem de 160 caracteres (140 bytes);
- Canal de sinais relativamente lento (SMS disputa o canal com outros sinais de controle

como localização de telefones e gerenciamento de chamadas em curso).

As mensagens SMS podem ser enviadas contendo no máximo 160 caracteres em alfabeto latino e 70 caracteres não-latino (como chinês ou árabe). Devido a essa limitação faz-se uso de abreviações, facilitando a entrada de texto e aumentando o conteúdo passível de ser transmitido de uma única vez. A mensagem pode ser transmitida a um usuário ou grupo de usuários da mesma operadora de telefonia celular digital ou até outra operadora no mesmo país (13).

Geralmente, as mensagens SMS são transmitidas em poucos segundos, mesmo quando o canal está sendo utilizado. No entanto, se o aparelho estiver desligado ou fora da área de serviço, as mensagens ficam armazenadas nas redes das operadoras e entregues assim que o telefone voltar a funcionar ou reentrar na área de cobertura.

Quando uma mensagem é recebida por um aparelho, ela é armazenada e pode ser lida posteriormente. Geralmente os telefones celulares tem capacidade de armazenar 30 mensagens.

Além disto, a outra ponta do sistema de transmissão pode ser um computador com acesso a internet, pois as mensagens SMS podem ser enviadas para um endereço de e-mail.

Atualmente, um grande número de empresas, no Brasil e no mundo, tem demonstrado interesse em utilizar aplicações com característica de mobilidade. Tem-se utilizado SMS como ferramenta de controle de estoque, gestão de força de vendas e disponibilidades de informações à distância.

Exemplos de aplicações de SMS no Brasil, envolvem áreas de automação de equipes de vendas; monitoramento de IT remoto, acesso remoto a intranets, cuidados médicos e comunicação com equipes de manutenção de plataformas de petróleo.

Um exemplo interessante encontrado na Europa, voltado para o lado energético, pode ser visualizado em (14), onde é apresentado um sistema de comunicação que permite que a concessionária de energia gerencie e controle os micro-geradores de energia residencial através do envio de mensagens SMS. Esta solução foi projetada para ser utilizada na rede GSM.

As redes de telefonia celular que suportam esta funcionalidade de envio de mensagens, através do serviço de mensagens curtas SMS, utilizam vários padrões digitais de tecnologia como GSM (onde surgiu este serviço), IS-95 e o IS-136 (os dois últimos já devidamente implantados no Brasil).

5.0 - CONCLUSÃO

As técnicas de gerenciamento pelo lado da demanda têm tido aceitação crescente dado os altos custos de investimentos no setor elétrico e a preocupação com os recursos ambientais, quase sempre prejudicados pela expansão dos sistemas elétricos de potência. Neste trabalho foram analisados os principais tipos de gerenciamento direto da carga bem como os principais meios de comunicação entre a concessionária e o consumidor. Este tipo de serviço deve priorizar a comunicação bidirecional, entre a concessionária e o cliente, leitura remota do consumo e facilidades de comunicação com os clientes. Neste aspecto, a tecnologia da telefonia celular tem se mostrada como uma alternativa eficiente.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ELETROBRÁS. Plano Decenal de Expansão 2000/2009 – **Eletrobrás** – MME. RJ. 1999.
- (2) Raad, A. et alli O Mercado de Gerenciamento pelo Lado da Demanda no Brasil: Controladores de Demanda e Tarifas Diferenciadas. **Anais do XVI SNPTEE**. Campinas, SP, 2001.
- (3) Paracha, Z. J. , Doulai, P. Load Management – techniques and methods in Electric Power System. **IEEE TRANS on PAS**. 1998.
- (4) Borenstein, C. R. ; Camargo, C. C. B. **O Setor Elétrico no Brasil – Dos desafios do passado às alternativas do futuro**. Sagra Luzzatto Editores. POA.1997.
- (5) Bellarmine, G. T. Load Management Techniques. **IEEE TRANS. ON PAS**. 2000.
- (6) Tanenbaum, A. S. **Redes de Computadores**. 4^a edição, RJ. Editora Campus, 1997.
- (7) Gardner, E. Load Management DSM: Past, Present & Future. **IEEE TRANS. ON PAS**. 1995.
- (8) Norris, T. B. ; Bodger, P. S. Ripple Control Signal Interference due to a Lightly Loaded Rural Distribution Line. **IEE Proceedings**. Vol 136, No 6, November, 1989.
- (9) POWER SYSTEMS COMMUNICATION COMMITTEE. Guide for Power Line Carrier Applications. **IEEE Trans. On PAS**. Vol. PAS 99, No 6, Nov / Dez, 1980.
- (10) Köntges, U. Integration of a Ripple Control System for the Switching of Electric Night Storage Heating in a Network Control System. **IEEE TRANS. ON PAS**. 1991.
- (11) McCollough, N. Remote Communication Devices for Electric Utility Applications. **IEEE TRANS. ON PAS**.
- (12) Filho, Sergio Vianna; Souza, Geraldo Marcelo Cabral de. Acesso em tempo-real a bases de dados corporativos e à internet utilizando-se a telefonia móvel através do serviço SMS. 13 p. **Pós Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte**.
- (13) INPHOMATCH. Desafio Wireless. Disponível em: <<http://www.inphomatch.com.br/whatwedo/challenge.html>>. Acesso em: 10/05/2002.
- (14) Boait, P. J. Telecommunications Architectures and Protocols for control and dispatch of embedded micro generators. **Anais do V International Conference on Power System Management and Control**. V PSMC. Londres, Abril, 2002.
- (15) Hooijen, O. G. A Robust System for Digital Data Transmission Over Low Voltage Network Using Spread Spectrum Techniques. **IEEE trans. On PAS**. 1996.
- (16) Transmission and Distribution World Utilities eye residential time-of-use, but most not looking to use automated technology to enable programs. Disponível em <http://tdworld.com/newsarticle.asp>. Acesso em 10/01/03.