



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Desenvolvimento e Implantação de Medição Através de Cartão de Energia

Rogers Demonti*	Carlos G. Bianchin	Giordano B. Wolaniuk
Lactec – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento	Lactec – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento	Lactec – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
rogers@lactec.org	bianchin@lactec.org	giordano@lactec.org.br
Geraldo D. Bazelatto		
Escelsa - Energias do Brasil		
geraldob@enbr.com.br		

* Autor correspondente

Palavras-chave

Cartão de Energia

Medição de Energia Elétrica

Pré-pagamento

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do projeto “Desenvolvimento e Implantação de Medição Através de Cartão de Energia”, como resultado do projeto estabelecido entre a Espírito Santo Centrais Elétricas S.A. – Escelsa e o Lactec (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento), dentro do programa de P&D coordenado pela ANEEL. Trata-se de um trabalho completo sobre a implantação de um sistema de cobrança de energia elétrica na modalidade de pré-pagamento utilizando cartões *smart-card* e medidores desenvolvidos especificamente para este propósito.

1. Introdução

A presente proposta de pesquisa e desenvolvimento teve como objetivo a realização de um diagnóstico sobre um sistema de pré-pagamento de energia elétrica através de cartões. Este sistema conta com plena funcionalidade, contendo módulos responsáveis tanto pelo gerenciamento e venda de energia como também pela medição e controle do consumo. Foram instalados medidores apropriados à realização do sistema de pré-pagamento de energia elétrica em residências de consumidores determinados pela concessionária. Estes medidores realizam a medição e o controle do consumo de cada residência através de créditos de energia. A técnica a ser utilizada, bem como a forma adotada no gerenciamento permite que seja possível transportar informações nos dois sentidos, ou seja, da concessionária para o cliente e vice-versa. Este recurso foi extremamente útil no decorrer da pesquisa para o levantamento de informações e características de consumo de cada cliente.

Também foram ser estudadas as vantagens obtidas, que justificam o desenvolvimento e implantação do sistema de pré-pagamento, tais como:

1. Eliminação de leituras;
2. Simplificação de cortes e religamentos;
3. Eliminação de faturas;
4. Gerenciamento de energia pelo consumidor.

2. Metodologia e descrição do projeto

2.1. Metodologia

A metodologia a adotada no desenvolvimento deste projeto circunscreveu-se na própria metodologia apresentada na proposta inicial, permitindo alcançar os objetivos propostos. Desta forma o primeiro ano do processo de pesquisa teve como meta o desenvolvimento de um sistema de vendas com os requisitos necessários para sua implantação nas dependências da Escelsa. Neste desenvolvimento foram consideradas todas as particularidades do processo de vendas da concessionária. Estas informações possibilitaram a implementação de um *firmaware* e hardware que permitiu reduzir ao máximo as incompatibilidades com o sistema convencional de faturamento da concessionária.

Também neste primeiro ano foram montados os medidores monofásicos, bifásicos e trifásicos, iniciando-se a sua instalação assim que estes ficaram prontos, testados e calibrados. De maneira diferente da metodologia descrita no formulário de projeto, a instalação do lote se deu em uma única etapa. Esta decisão foi tomada após muitos debates e levou em consideração o fato de que a amostra de consumidores a ser escolhida para utilização dos medidores não era homogênea, ou seja, era composta por consumidores monofásicos, bifásicos e trifásicos. Implantado de outra forma o projeto poderia perder os padrões de comparação já que alguns consumidores teriam menos tempo para utilizar os medidores com pré-pagamento.

No segundo ano foram realizadas eventuais correções que se fizeram necessárias, tanto no sistema de vendas, como nos próprios medidores.

A pesquisa com os consumidores realizada ao final do projeto forneceu indicadores de qualidade para referência nas tomadas de decisões por parte da concessionária em termos de utilização do sistema pré-pago de energia e permitiu a divulgação dos resultados.

No decorrer do projeto foram realizadas diversas reuniões entre os participantes de forma a se escolher uma determinada região incluindo todos os clientes em relação ao consumo de energia e levantadas as informações referentes às necessidades da concessionária relativas ao projeto, bem como o estudo dos resultados obtidos e conclusões. Assim determinou-se o universo de consumidores que fariam o teste do lote de medidores com pré-pagamento.

A seguir foram providenciados todos os materiais para a montagem do lote de protótipos incluindo a confecção de placas de circuito impresso a implementação de funções especiais através de programação do *firmware* dos medidores, etc.

Paralelamente foi elaborada uma interface para a venda de créditos que foi instalada em um computador criando-se assim a estação de venda de créditos.

Também foram projetados os softwares e definido o protocolo de comunicação.

Foram adquiridos os componentes que constituem os medidores do lote piloto e montados os equipamentos, assim como o desenvolvimento de circuitos eletrônicos, partes mecânicas, construção e testes de todos os medidores, verificação de conformidade com normas e ensaios.

Uma vez enviados para a Escelsa, os medidores, os respectivos terminais de carga de créditos e a unidade computadorizada de venda de créditos foram instaladas sendo que o Lactec acompanhou e prestou todo o apoio necessário em cada etapa.

Uma empresa de pesquisas, a Futura, realizou entrevistas com os usuários do sistema após um determinado período de tempo com o objetivo principal de buscar informações que pudessem avaliar o sistema de venda de energia e de utilização do medidor e do cartão pré-pago.

Os objetivos específicos eram os seguintes:

1. Identificar o perfil do entrevistado;
2. Avaliar a aceitação do medidor;
3. Avaliar o uso do cartão pré-pago Escelsa junto aos funcionários que o utilizaram;
4. Identificar as principais opiniões e expectativas;
5. Identificar os motivos da não-aceitação do medidor pré-pago junto aos funcionários que não aceitaram testar o produto.

Esta etapa é considerada de extrema importância para este projeto já que fornece informações inéditas sobre a implementação e utilização de um sistema de cobrança antecipada de energia elétrica fora do ambiente laboratorial e com utilização de consumidores comuns que utilizavam o sistema convencional pós-pago.

Na sequência foi realizado um workshop, etapa destinada à interação entre os participantes, com o objetivo de difundir os conhecimentos adquiridos ao longo da realização dos trabalhos, esclarecer e treinar os membros da equipe e acima de tudo ouvir as opiniões e sugestões dos próprios usuários do sistema pré-pago.

3. Descrição do Projeto

Para alcançar os objetivos propostos desenvolveu-se medidores de energia pré-paga com tecnologia nacional e adequado às condições brasileiras de fornecimento e cobrança de energia elétrica. Montou-se um lote completo composto por cem protótipos divididos em 20 medidores monofásicos, 50 medidores bifásicos e 30 medidores trifásicos.

Todos os medidores foram calibrados em laboratório através de um software específico também desenvolvido no Lactec. Para realizar a medição e o controle do consumo de cada residência através de créditos de energia nos horários adequados os medidores dispõem de um relógio de alta precisão e calendário incluindo os feriados e finais de semana. Com a inclusão deste calendário pode-se facilmente definir quando o sistema poderá realizada a interrupção da energia no caso de falta de créditos. A técnica utilizada, bem como a forma adotada no gerenciamento permite que seja possível transportar informações da concessionária para o cliente e vice-versa. Este recurso também é útil para se fazer o levantamento de informações e características de consumo de cada cliente.

4. Componentes do sistema

4.1. Medidores pré-pagos

Os medidores desenvolvidos no Lactec registram energia ativa (Wh), e controlam os créditos. A unidade dos créditos é o Wh. Possuem relógio interno programável para permitir o desligamento da energia somente em horário comercial ou determinado pela concessionária. Estes medidores também controlam automaticamente o horário de verão que, como não tem data fixa para começar e terminar no Brasil, permitem a reprogramação em cada nova carga de créditos, ou seja, as informações de horário de verão são armazenadas no cartão *smart-card* e transferidas para o medidor quando da transferência de créditos.

Em seu interior os medidores eletrônicos são compostos basicamente por dispositivos que convertem as amostras analógicas de tensão e corrente em energia, microcontroladores de gerenciamento dos sistemas, relógio de tempo real, bateria responsável por manter o relógio em funcionamento mesmo na ausência de energia, display Dot Matrix 2x16 que realiza a interface entre o consumidor/leiturista e o medidor, LED de calibração necessário para a verificação da calibração do medidor, porta RS-232 que perfaz a interface de comunicação e porta ISP que permite interface de gravação de *firmware* no medidor.

Para a interrupção e religação automática da energia elétrica há um relé adequado à corrente nominal do medidor.



Figura 1. Medidor monofásico de energia com pré-pagamento.

4.2. Gerenciador de Pré-Pagamento.

O gerenciador de pré-pagamento é uma unidade remota de carga/comando que permite um total monitoramento do consumo de energia por parte do usuário. Além disso, essa unidade irá disparar alarmes sonoros e visuais para informar ao consumidor a duração estimada e a quantidade remanescente de seus créditos.

Possui interface desenvolvida para facilitar ao máximo a operação por parte do consumidor e pode ser instalado em lugares de fácil acesso dentro de residências e escritórios, sendo constituído por um único módulo. Incorpora os seguintes componentes:

- Leitor de *smart-card* com sensor de inserção de cartão;
- Display de cristal líquido de 2 linhas com 16 caracteres;
- Teclado de Funções de membrana com 3 teclas;
- Interface de comunicação serial padrão RS 485 para comunicação com o Medidor Eletrônico de Energia;
- LED de sinalização;
- Buzzer de alarme.

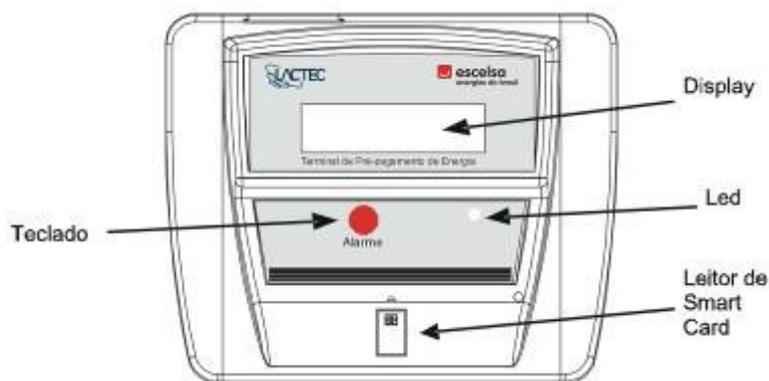


Figura 2. Gerenciador de pré-pagamento.

4.3. Sistema de vendas customizado

Este sistema tem como objetivo realizar a venda dos créditos de energia para os consumidores que possuem o medidor de energia pré-pago. O computador no qual o software será instalado se comunicará com o terminal de vendas e carga de créditos através de uma interface serial RS232. Esta interface será utilizada para que o terminal envie para o computador as informações do cartão do cliente que está comprando os créditos e também para que as informações sobre os créditos adquiridos sejam salvas no cartão.

O programa foi desenvolvido para a plataforma Windows 2000 ou superior, sendo utilizado o modelo cliente/servidor. Neste modelo as informações estão centralizadas em um servidor que disponibiliza as informações aos programas clientes, conforme a Figura 3.

Para a troca de informações entre o programa cliente e o servidor foi utilizada a tecnologia de web services da Microsoft, que se constitui na troca de informações entre aplicativos remotos como se fossem acessos a páginas web encapsulados no formato XML.

Desta forma pode-se ter vários pontos de recarga de créditos interligados por uma intranet e com as informações centralizadas em um único servidor. Caso se utilize apenas um ponto de venda, basta instalar o programa cliente e o servidor no mesmo computador.

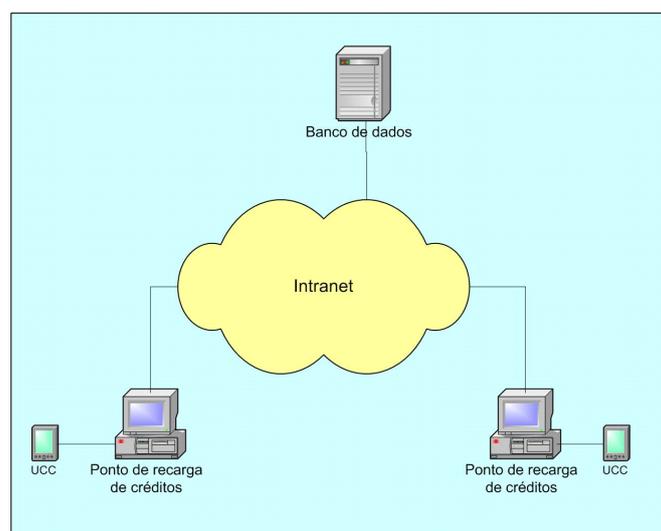


Figura 3. Modelo cliente servidor.

4.3.1. Venda de créditos

Ao se pressionar o botão de leitura do cartão, os dados do cliente são mostrados na tela principal, conforme a Figura 4. Para se efetuar a venda de créditos, digita-se o valor desejado no campo correspondente e pressiona-se o botão salvar. As informações referentes a venda serão salvas no cartão e no banco de dados.

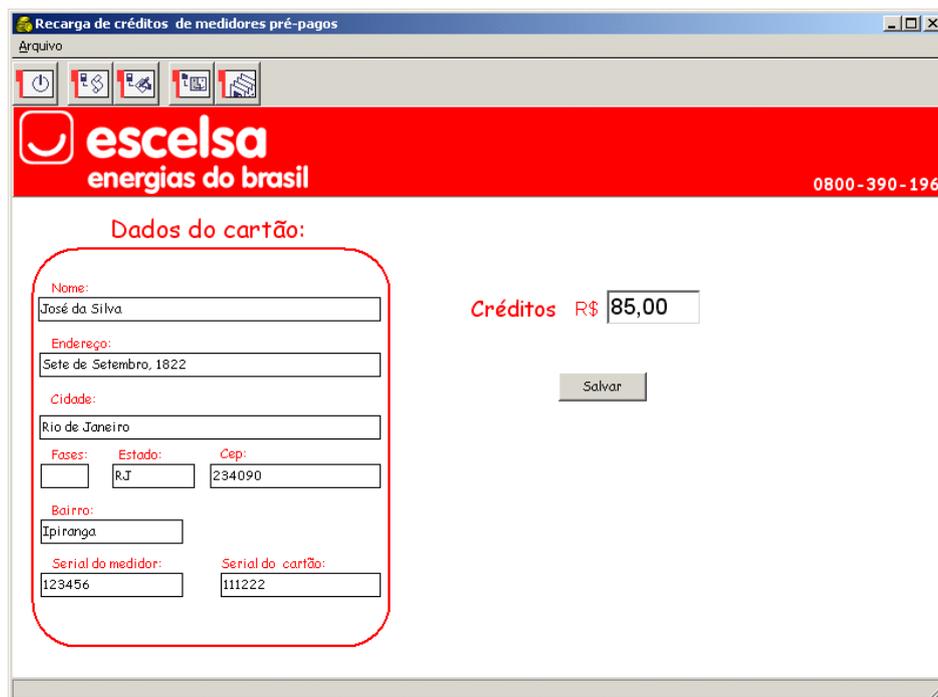


Figura 4: Interface do software de venda de créditos de energia.

4.3.2. Cadastro dos clientes.

Ao se pressionar o botão de cadastro de novos clientes será aberta uma janela como a da Figura 5. Para iniciar uma busca pelo nome, basta preencher o campo correspondente e pressionar o botão de busca. Ao se selecionar um cliente na grade correspondente, serão mostrados na grade de medidores os medidores cadastrados para este cliente. Da mesma forma quando se seleciona um medidor na grade correspondente, serão mostrados na grade de cartões os cartões cadastrados para este medidor. Para editar ou cadastrar um novo item basta pressionar o botão correspondente. O software desenvolvido também permite e controla o cadastro de usuários, que são as pessoas que podem utilizar o programa para a venda dos créditos e portanto devem estar devidamente cadastradas no sistema.

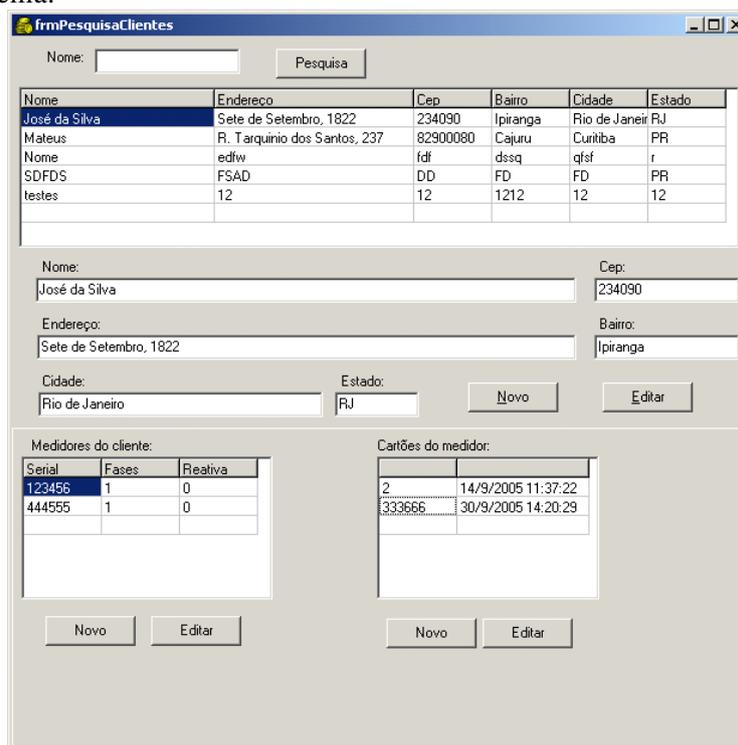


Figura 5: Tela de cadastro de novos clientes.

4.4. Cartão pré-pago

O cartão *smart-card* é o elemento de transporte dos créditos.

O sistema de venda de créditos e seu software específico se encarrega de inserir os créditos no cartão. As informações armazenadas em cada recarga são:

- Número de série do cartão;
- Número de série do medidor;
- Valor da energia ativa (Wh);
- Créditos a serem carregados (Wh);
- Data e hora da venda dos créditos;
- Série dos 12 últimos registros de energia ativa acumulada (mês/ano e valor);
- Programação de data de início e fim de horário de verão do ano corrente;
- Data e hora da última transferência de créditos bem sucedida;
- Número Sequencial Único (NSU) para controle do número da transação de transferência de créditos (fraude);
- Data, hora e saldo de créditos do último desligamento por falta de créditos;
- Horário Comercial;
- Calendário dos feriados móveis;
- Chave criptográfica.

Assim que o consumidor insere o cartão no terminal do seu medidor, os créditos são transferidos para a memória interna da unidade de leitura e apagado do cartão; A unidade de leitura se encarrega de gravar estes créditos no medidor. Se o medidor corresponde ao número de série do cartão, a unidade de leitura vai realizar a operação normalmente.



Figura 6. Cartão *smart-card* utilizado no projeto.

5. Implantação de lote de medidores monofásicos, bifásicos e trifásicos.

Esta etapa abrange o processo de implantação dos medidores monofásicos, bifásicos e trifásicos no local definido previamente. Com o término de todos os testes em laboratório e do desenvolvimento do sistema de vendas customizado assim como a montagem dos protótipos dos medidores o processo de instalação foi iniciado.

Primeiramente foi realizada uma reunião na Escelsa para demonstrar o funcionamento de um sistema de vendas e um medidor, através da construção de um módulo didático para este fim. Nesta

oportunidade, os funcionários da Escelsa que estavam envolvidos com o projeto puderam acompanhar com mais detalhes a forma de operação do sistema, tirar dúvidas e colocar sugestões. No projeto inicial a idéia era instalar primeiro os medidores monofásico e depois os trifásicos. Entretanto por motivos técnicos de instalação optou-se, em comum acordo, pela instalação de todos dos medidores em uma única etapa. Assim foram iniciadas as instalações de todos os medidores com seus respectivos terminais de carga de créditos.

5.1. Escolha dos consumidores

Os possíveis consumidores candidatos a realização dos testes foram escolhidos entre os funcionários da Escelsa, de modo que o processo de avaliação e venda de créditos pudesse ser melhor controlado.

O processo iniciou-se com a confecção de um folder para divulgação entre os possíveis participantes, com explicação de como seria feito o processo.

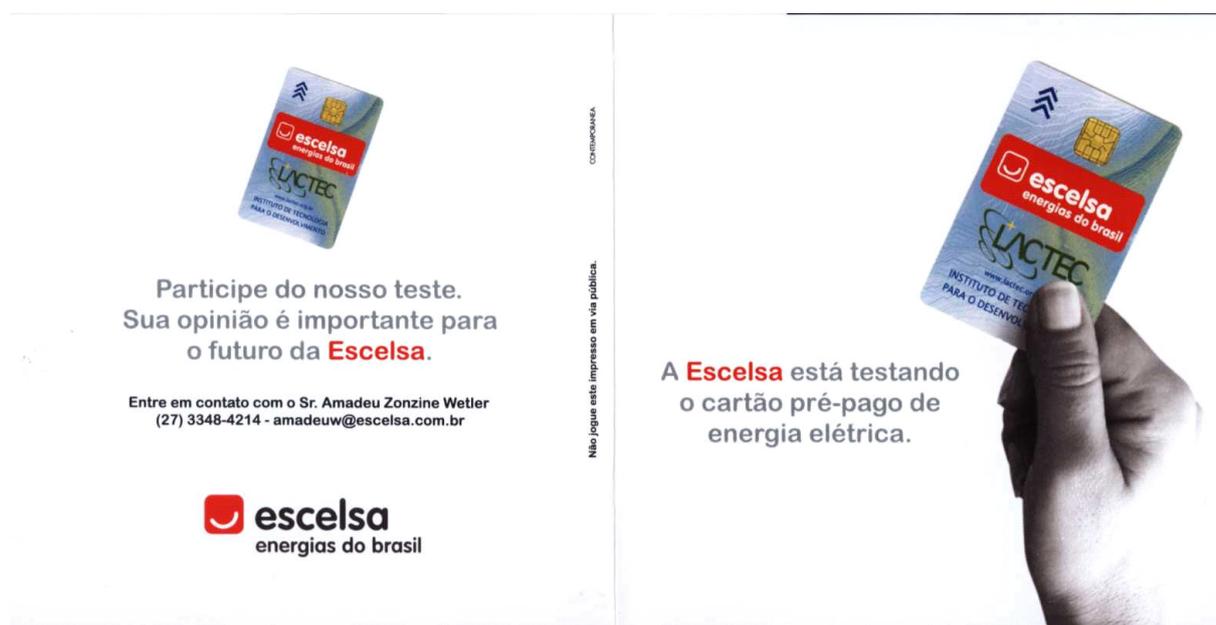


Figura 7. Impresso promocional utilizado para divulgação do projeto e seleção dos participantes.

5.2. Implantação do Sistema de vendas

O sistema de venda de créditos e seu software específico foi instalado em um computador situado na Escelsa. Neste ponto de vendas eram também resolvidas as dúvidas apresentadas pelos usuários dos medidores com pré-pagamento. Algumas funções que não foram previstas no software inicial foram implementadas em nova versão tais como a possibilidade de eliminar o cadastro de um usuário (aquele que é autorizado a utilizar o sistema de vendas).

Neste momento foi realizada também a atualização do sistema inserindo-se uma nova coluna no banco de dados que informa se o usuário está ou não ativo. Com isso pode-se descadastrar usuários no sistema. Para que esta atualização fosse feita foi necessário trocar o banco de dados e o arquivo executável do servidor.

5.3. Módulo para diagnóstico em campo

Para auxiliar a instalação e manutenção dos medidores em campo foi desenvolvido um módulo com auxílio de um computador portátil. Com este módulo foram detectados problemas tais como localização de uma mensagem de erro ao ler o banco de dados sempre que fazia uma operação, sendo necessário fazer cada operação duas vezes; uma mensagem de erro de escrita em banco de dados sempre que se faz a operação de carga de créditos.

6. Pesquisa Qualitativa com Consumidores Atendidos

A etapa de pesquisa com consumidores atendidos pelo sistema pré-pago representou um item de grande importância para este projeto já que forneceu informações inéditas sobre a implementação e utilização de um sistema de cobrança antecipada de energia elétrica fora do ambiente laboratorial e com utilização de consumidores comuns que tinham o sistema convencional pós-pago.

Os principais resultados obtidos na pesquisa realizada junto aos funcionários foram:

O cartão pré-pago de energia elétrica foi aprovado pelos funcionários que participaram do teste desse produto. Cerca de 90% o avaliaram como ótimo ou bom e 95% desse público afirmou que indicaria o cartão para outras pessoas.

Além disso, a facilidade de adaptação ao novo sistema é grande: 89,47% dos que utilizaram o sistema afirmaram que se adaptaram bem a ele e apenas 10,53% não tiveram fácil adaptação ao cartão.

A maioria (63,16%) dos voluntários não teve dificuldades na utilização do cartão pré-pago de energia elétrica. As sugestões de melhoria do sistema mais citadas estão relacionadas à comunicação do medidor com o display e à facilidade de recarga do cartão.

Os pontos positivos do cartão pré-pago de energia elétrica na opinião dos funcionários mais citados são o acompanhamento e o controle do consumo (principalmente no caso de casas alugadas).

Com relação aos pontos negativos, a maioria não sabe/não respondeu ou afirmou não haver pontos negativos. Ou seja, as pessoas não conseguem enxergar, em um primeiro momento, dificuldades na utilização do sistema, mesmo aqueles que não tiveram acesso a ele. Vale ressaltar ainda que ocorreram mais citações de pontos positivos do que negativos.

Quanto à adesão dos funcionários ao novo sistema, 94,74% dos que participaram do teste afirmaram que se houvesse a possibilidade de comprar energia pelo sistema pré-pago (cartão), passariam a usar o novo sistema na casa onde residem, e, dos que não participaram, 36,89% disseram que sim.

7. Workshop

Ao final do projeto foi realizado na Escelsa um Workshop onde participaram todos os envolvidos no projeto e utilização do sistema de pré-pagamento de energia.

Após a abertura do evento foi feita um breve histórico do projeto e foram ouvidas as colocações dos participantes, tanto consumidores como dos instaladores e operadores do sistema de venda dos créditos.

7.1. Problemas e sugestões observados e discutidos

Diversos problemas e sugestões foram levantados nesta reunião. Alguns referem-se às dificuldades na utilização ou no funcionamento dos medidores do terminal de recarga.

1 – Não existe a possibilidade de apagar os créditos existentes em um medidor. Isso dificulta o realocação de medidores caso eles já possuam créditos.

2 – A estimativa de tempo de autonomia é feita em cima da carga instantânea. Isso gera muita oscilação sobre o tempo restante. Essa oscilação gera desconforto ao usuário.

3 – Em muitos casos o alarme não entrou em funcionamento quando a estimativa era menor ou igual a 5 dias (sugere se que o problema seja devido ao usuário ter apertado o botão do display e este então ter travado o alarme e não mais voltar ao estado normal).

4 – Uma sugestão e também a estimativa ser feita sobre a demanda e não da potência instantânea. Isto representaria uma forma mais compreensível de avaliar o dia do término dos créditos.

5 – Foi colocada a possibilidade de haver incentivos na forma de redução do custo do kWh para o sistema pré-pago, observando-se que tal decisão só poderia ser tomada com respaldo dos órgãos reguladores e concessionárias.

6 – Outra questão interessante que também é uma sugestão é a possibilidade de no futuro o usuário consumidor poder escolher de qual concessionária comprar energia, quando ambas possuírem sistemas pré-pagos de venda de energia.



Figura 8: Realização do workshop.



Figura 9: Participação dos envolvidos no projeto.

8. Conclusões

O projeto cumpriu seus objetivos de realizar um diagnóstico técnico-comercial do sistema de pré-venda de energia elétrica através de cartões, bem como sua implantação com todas as características necessárias para a completa operação, fornecendo inclusive informações que poderão ser utilizadas tanto pelas concessionárias como pelos institutos de pesquisa para desenvolvimento de projetos de P&D mais aprimorados e inovadores.

As principais características observadas foram a possibilidade de realizar o gerenciamento de energia pelo consumidor - O próprio consumidor faz o gerenciamento do seu consumo de energia - podendo racionalizar melhor o uso de todos os seus equipamentos elétricos, a eliminação da inadimplência, impedindo que o consumidor atrase o pagamento da energia que já consumiu além de permitir a leitura remota de forma que os dados de consumo de cada consumidor podem ser

coletados através dos cartões, quando da recarga, e transmitidos pelo terminal de venda à concessionária sem nenhum custo adicional.

Outra função que se destaca, para o lado do consumidor, é a proteção contra desligamentos em horários indevidos. Ela impede que ocorra o desligamento em finais de semana e horários em que o consumidor não consiga fazer uma recarga de créditos devido aos estabelecimentos comerciais estarem fechados.

Este projeto de P&D teve como resultado positivo a observação de que um desejo por parte dos envolvidos de se dar continuidade no desenvolvimento da tecnologia de venda de energia elétrica com pré-pagamento.

Segundo as opiniões dos participantes, tanto da Escelsa como do Lactec e consumidores, o sistema pré-pago é interessante não apenas para a área de medição mas também para a área de mercado, tarifação e perdas.

9. Agradecimentos

Os autores agradecem a dedicação dos colegas do Lactec e da Escelsa que colaboraram para o êxito deste projeto, esforçando-se ao máximo na solução dos problemas e no cumprimento dos prazos determinados.

10. Referências bibliográficas

- 1 BANNACK, Ângelo & NASCIMENTO, José C. do, Sistema Eletrônico de Medição de Energia Elétrica com Pré-Pagamento utilizando *Smart Card*, COBRAPI, Curitiba, PR, Fev 2002.
- 2 NASCIMENTO, José C. do & PEDRONI, Volnei, Medição Eletrônica de Energia - Lactec, Criando alternativas antes impossíveis, Revista COPEL Informações, Ano XXXI, Nº 247, Jul 2000, pp. 23-25.
- 3 PEREIRA, João A., Equipamento Detector de Desvio de Energia. In: Relatório Técnico Lactec, Doc. 2886/1999, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - Lactec, Set 1999.
- 4 GAMBOA, L. R. A., Desenvolvimento de TC para Localizador de Falhas, LAC-UFPR/COPEL, Relatório CNEL 505/96, Curitiba, PR, 1996, p. 6.
- 5 CHUEIRI, I. J. & LIPPMAN J. R., L. & SCIAMMARELLA, S. F. & Ramos, L. F. R. de M. & Klimkowski, M., Localização de Falhas em Redes Aéreas de Distribuição de Energia Elétrica. In: Revista Energia - Informações, Estudos, Ensaios, V. 3, nº 4, Mar 1996, p. 21-25.
- 6 MIODUSKI, Alfons Leopold. Elementos e Técnicas Modernas de Medição Analógica e Digital, 1982.
- 7 MEDEIROS Filho, Solon de. Medição de Energia Elétrica, 1983.
- 8 KARSA, Bela E. F. Electrical Measuring Instruments and Measurements, Vol. 3, 1967.
- 9 FAUSSE, A. & FERRAND, P. & MERCIER, P. - Schlumberger Industries - Les Compteurs D'Energie: Réalités et Perspectives, RGE nº 11/94 - Dez 1994, p. 45-53.
- 10 COSTA, Reynaldo S. da & CALDAS, Roberto P., Medidor Eletrônico para BT, com circuito integrado dedicado. In: Eletricidade Moderna, nº 212, Nov 1991, p. 30-35.
- 11 ASSEF, Marcelo Mizziara, Medidor Eletrônico de Energia em Desenvolvimento pela Eletropaulo, X Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Rio, Out 1988, p. 02-07.
- 12 SGORZELNIK, Eugene F., Solid-State Metering, Electrical Word, nº 3, Vol 202. Mar 1988, p. 47-52.
- 13 CALDAS, R. P. & LIPPINCOTT, M., Very Low Cost Meters for Low Power Consumers. In: Power Engineering Journal, Ago 1996, p. 176-180.

- 14 Portaria nº 379 de 4/10/95 do DNAEE, estabelecendo faturamento em Ampère-hora(Ah).
- 15 KYRIAZIS G. A (INMETRO), Desempenho do medidor de Ampère-hora para faturamento de energia ativa. In: Revista Eletricidade Moderna. Ago 1996.
- 16 NBR 8378/1994 - Norma Brasileira para Medidor de Energia Ativa.
- 17 ANSI C12.16-1991, Standard for Solid State Electricity Meters.
- 18 KIMURA, K., A bipolar four-quadrant analog multiplier with unbalanced coupled pairs. In: IEEE Journal of Solid-State Circuits. Jan 1994, Vol. 29, nº 1, p. 46.
- 19 POPOVIC, R. S., Hall effect devices", Sensors and Actuators, Elsevier, Holanda. Vol. 17, 1989.
- 20 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Medidor de energia ativa: Especificação, NBR 8377. Rio de Janeiro, 1995. p 17.
- 21 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Medidor de energia ativa: Método de ensaio, NBR 8378. Rio de Janeiro, 1995. p. 12.
- 22 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Verificação em serviço de medidores de energia ativa: Procedimento, NBR 8380. Rio de Janeiro, 1984. p. 23.
- 23 Aneel -Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução no 456, de 29 de Novembro de 2000.
- 24 IEEE Proceedings of 1992 Conference on Metering Apparatus for Electricity Supply. ISBN 0-85296-555-9.