UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

PIPGE

(EP/FEA/IEE/IF)

Sistema Alternativo de Pagamento de Energia Elétrica

"Uma Opção Nacional de Baixo Custo"

JOSÉ EDIMILSON CANAES

São Paulo

2006

JOSÉ EDIMILSON CANAES

SISTEMA ALTERNATIVO DE PAGAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

"UMA OPÇÃO NACIONAL DE BAIXO CUSTO"

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia - Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade / Instituto de Física – da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Energia.

Orientador: Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni

São Paulo

2006

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA , DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Canaes, José Edimilson.
Sistema alternativo de pagamento de energia elétrica "uma opção nacional de baixo custo". / José Edimilson Canaes; orientador José Aquiles Baesso Grimoni
São Paulo, 2006.
109 p. : il.; 30cm.

Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Energia elétrica – aspecto econômico 2. Energia elétrica - pré-pagamento 3. Cartão indutivo I. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

EP – FEA – IEE - IF

JOSÉ EDIMILSON CANAES

"Sistema alternativo de pagamento de energia elétrica – 'Uma opção nacional de baixo custo'"

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 19/01/2007 pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni – PIPGE
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Roberto Zilles - PIPGE

Drª Rosana Rodrigues dos Santos – Energias do Brasil

Dedico esse trabalho a três pessoas, a Brasil Geraldo Filho, que sem sua paciência, amizade e incentivo esse trabalho não teria sequer iniciado e a José Maria Canaes Filho e Elide Barbosa de Oliveira Canaes, que mais do que pais são exemplos de força e de dedicação e testemunhos de que sempre se pode ir além.

AGRADECIMENTO

Agradeço em primeiro lugar ao Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni, meu orientador. Indicando caminhos, fazendo críticas e incentivando projetos, mas acima de tudo acreditando no trabalho. Agradeço aos professores do IEE por trazer uma visão holística desse mundo, agradeço aos funcionários, como a Rosa que sempre ajudaram e contornam as dificuldades.

Foi valioso o apoio do pessoal do Laboratório de Calibração do IEE nos testes finais do projeto, agradeço especialmente o Diretor do Laboratório Antonio Lopes e o técnico Marcelo Fernandes.

Agradeço aos amigos de turma do IEE, que tornaram o meu retorno à Universidade uma experiência mais que agradável.

Agradeço meus sócios, Dr. Mário Gualberto e Eng Francisco Carlos Miguel que contornaram minha ausência na empresa nos dias de aula, seminários e trabalho. E por fim agradeço o apoio das empresas Nansen, Copel, FAE e LandisGyr que sempre acreditam em idéias e fomentam o desenvolvimento da tecnologia de nosso país.

RESUMO

Canaes , J. E., **Sistema alternativo de pagamento de energia elétrica - "Uma opção nacional de baixo custo",** 2006, 109 p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo,Outubro,2006

Este trabalho apresenta uma análise de sistemas alternativos de pagamento de energia elétrica enfocando principalmente a utilização de pré-pagamento como forma de diminuir perdas comerciais de empresas distribuidoras. Adicionalmente enfoca o seu uso como forma de cobrança em sistemas isolados, rurais e urbano-rurais e comunidades de baixa renda.

A análise inclui uma breve síntese de experiências no uso de pré-pagamento no mercado internacional de "utilities" e no mercado nacional em setores como telefonia e distribuição de água.

Além disso, esse trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de pagamento de energia elétrica utilizando cartões com tecnologia indutiva e unidades leitoras/gravadores com circuito de desconexão de linha e interface para medidores existentes no mercado nacional. Apresenta, ainda, o Cartão Vale Energia como alternativa ao subsídio para a subclasse residencial de baixa renda evitando, dessa forma, a necessidade do cadastramento do usuário junto às empresas concessionárias e racionalizando os procedimentos contábeis. São mostrados os resultados experimentais desse sistema e as análises de viabilidade econômica.

Palavras chaves: pré-pagamento energia elétrica, cartão indutivo.

ABSTRACT

Canaes, J. E., **Alternative system of electric energy payment – "A national option of low cost equipment"**, 2006, 109 p. Work as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.) of the Interdisciplinary Post-Graduation Program in Energy, University of São Paulo, São Paulo, October 2006.

This work presents an analysis of alternative systems of electric energy payment focusing the pre-payment used mainly as a form to decrease commercial losses of local energy companies and an alternative form of payment in countryside areas, isolated electric installations and in poor areas for social purposes. The analysis includes one brief synthesis of international experiences in the daily pre-payment use in the utilities segment and national experiences in other areas such as telephony and water distribution. Moreover, this work develops an alternative form of payment of electric energy using cards with inductive technology and read/write units with circuit breakers and interfaces for electric measurement equipments. The experimental results show the technical and commercial viability of implantation in the commercial operation.

Work keys: prepayment of electric energy, inductive cards

LISTA DAS ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização de “Leicester” e “Coventry” 21
Figura 2 - Evolução dos telefones móveis pré e pós-pagos 24
Figura 3 - Evolução do telefones públicos 25
Figura 4 - Equipamentos básicos do sistema medição de água 26
Figura 5 - Configuração do sistema de controle de água 26
Figura 6 - Exemplo de células de cartão indutivo 37
Figura 7 - Exemplo de um cartão com 104 células 38
Figura 8 - Exemplos de uso de cartão indutivo 39
Figura 9 - Estrutura interna do cartão de energia 40
Figura 10 - Modelo de funcionamento de uma célula indutiva 43
Figura 11- Digrama elétrico da placa leitora gravadora 45
Figura 12 - Circuito de proteção 47
Figura 13 - Circuito de saída de um medidor Nansem da família KY 52
Figura 14 - Formas de onda de medidores 53
Figura 15 - Ponteiros do relógio energia elétrica 54
Figura 16 - Sistema com medidor eletrônico com de desconexão de linha 55
Figura 17 - Sistema com medidor eletrônico com saída em forma de pulsos 56
Figura 18 - A unidade leitora e medidor instalados separadamente 57
Figura 19 - Unidade leitora gravadora montada 58
Figura 20 - Detalhamento sistêmico 60
Figura 21 - Sintaxe de uma Máquina de estado 62
Figura 22 - Máquina de estado IT1 63
Figura 23 - Máquina de estado IT2 64
Figura 24 - Máquina de estado IT3 65
Figura 25 - Esquema do teste em laboratório 67
Figura 26 - Foto geral do teste em laboratório 68
Figura 27 - Variação típica de consumo ao longo do tempo 77
Figura 28 - Espaço de assinaturas ON/OFF 78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico das perdas totais de energia elétrica no Brasil 4
Tabela 2 - Perdas mundiais (divisão geopolítica) 5
Tabela 3 - Estudo de perdas não técnicas em Salvador, BA entre 2004/2005 7
Tabela 4 - Desconto do valor da energia para usuário baixa renda 9
Tabela 5 - Situação das propriedades rurais paulistas em 1990 14
Tabela 6 - Comparação entre tecnologias de pré-pagamento 30
Tabela 7 - Descrição das funções das células 41
Tabela 8 - Mapa das interações entre as funções do sistema 61
Tabela 9 - Resultado dos testes de laboratório 69
Tabela 10 – Custeio de operação de um sistema convencional e pré-pago 72
Tabela 11 – Custo de ciclo de vida entre sistema convencional e o de pré-pagamento 74

LISTA DE SIGLAS

Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica Integra
CER	"Commission for Energy Regulation" – Ireland
CPFL	CPFL Energia, empresa originaria da Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL Paulista
COELBA	Companhia de Energia Elétrica do Estado da Bahia
DEER	Departamento de Eletrificação Rural
DSP	"Digital Signal Processor" ou processador digital de sinal
EDF	Életricité de France
GEER	Grupo Executivo de Eletrificação Rural
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
ISO	"International Standard Organization"
Nafta	"North American Free Trade Agreement"
PER	Programa de Eletrificação Rural
PLC	"Power Line Communication"
PNER	Plano Nacional de Eletrificação de Cooperativas
PRONI	Programa Nacional de Irrigação
Saneatins	Companhia de Saneamento do Tocantins
SMD	Surface Mountain Design
TUP	Telefone de uso público

LISTA DE SÍMBOLOS

A	ampère
Aac	ampère (corrente alternada)
C	capacitor
GWh	gigawatt-hora
I	corrente elétrica
K	quilohms (indicação sintética de KΩ)
kWh	quilowatt-hora
L	indutor
R$	Reais
RS485	interface serial padrão 485
V	volt
Vac	volt (corrente alternada)
Ve	tensão de entrada
W	watt
Wh	watt-hora

SUMÁRIO

1. Introdução *1*

2. Objetivo *2*

3. Justificativas *3*

3.1 Perdas comerciais: **3**

3.2 Usuário de baixa renda **8**

3.3 Inclusão social **10**

3.4 Usuário rural e urbano rural **12**

3.5 Diferencial: a tecnologia nacional **15**

4. Contextualização e conceituação *18*

4.1 Sistemas de pagamentos e tratamento regulatório **18**

4.2.1 Experiências de países que adotam o pré-pagamento 20

4.2.2 Experiências brasileiras em pré-pagamento 23

4.3 Novidades técnicas introduzidas pela tecnologia indutiva **28**

4.3.1. Alternativa de baixo custo e de alta segurança 30

4.3.2. Implantação de formas alternativas de pagamento 32

5. Metodologia do desenvolvimento *34*

5.1 Especificação de sistema **35**

5.1.1 Especificações básicas e a escolha da tecnologia 35

5.1.2 Descrição de funcionamento do cartão indutivo 37

5.1.3 Especificação do cartão de energia 40

5.1.4 Descrição de funcionamento da unidade leitora de cartão indutivo 43

5.1.5 Especificação da unidade leitora gravadora 44

5.1.6 Descrição das interfaces dos medidores de energia elétrica 48

5.2 Projeto sistêmico **55**

6. Implementação do projeto *58*

6.1 Implementação do hardware **58**

6.2 Implementação do software **59**
6.2.1 Descrição das interfaces 62
6.2.2 Mapeamento físico funcional 65
6.3 Teste e coleta de dados **67**
6.4 Análise e interpretação dos resultados **70**
7. Análise de viabilidade econômica ***71***
8. Introdução a sistemas não intrusivos ***76***
8.1 Recursos de "Data mining": a desagregação de carga **76**
9. Conclusão e recomendações ***79***
10. Bibliografia ***82***
Anexo A - ***86***

1. Introdução

A medição de energia para faturamento tem seu início e pilar fundamental com o medidor tipo Ferraris, eletromecânico, cujo projeto remonta há mais de cem anos e chegou a um estágio de desenvolvimento onde não há mais alterações significativas a serem realizadas com esta tecnologia. O seu funcionamento está baseado no "efeito Ferraris", resultado de interação eletromagnética entre um disco rotativo e bobinas de corrente e de potencial.

Na década de 80 iniciou-se o desenvolvimento de medidores baseados em eletrônica e hoje se pode dizer que os mesmos estão chegando a um relativo amadurecimento. No início, os medidores baseavam-se em componentes discretos para realizar as mais diversas funções. Normalmente esta alternativa envolvia baixa confiabilidade e alto preço. Posteriormente, circuitos integrados denominados microcontroladores ou ainda “DSPs” (processadores de propósito geral de alta velocidade) foram usados e aumentaram a confiabilidade dos medidores. No entanto, o preço do medidor ainda é superior ao do medidor eletromecânico convencional. Recentemente, surgiram plataformas dedicadas à medição, sendo oferecidas a preços mais baixos, possibilitando a redução do preço do medidor. Fornecedores como a Cypress, AnalogDevices, ATMEL e SAMES possuem conjunto de circuitos integrados disponíveis no mercado para desenvolver essas plataformas.

Com a introdução da eletrônica nos medidores, diversificaram os meios de pagamento em muitos países. Foram introduzidos sistemas operando com diversas tecnologias, como “tokens”, cartões, sistemas “off-line” e “on-line”. Particularmente, a Grã-Bretanha e a África do Sul possuem grande experiência em sistemas de pré-pagamento, aplicados principalmente em caso de usuários inadimplentes. Na Grã-Bretanha, o uso de pré-pagamento ocorre tanto na área de energia elétrica quanto na de gás. Na África do Sul foi usado como forma de romper com a cultura do “não pagamento”, problema que tem se disseminado em países de menor grau de desenvolvimento seja na América Latina, na África, Ásia ou no leste europeu.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é o de analisar e desenvolver um sistema alternativo de pagamento de energia elétrica baseado em cartões indutivos para aplicações residenciais ou em locais de baixo consumo, seja em forma de pré ou pós-pagamento.

Também é objetivo desse trabalho realizar o estudo de viabilidade técnica e econômica desta alternativa e análise de alguns nichos de como comunidades de baixa renda e de inclusão social.

3. Justificativas

Em setores como telecomunicações e de distribuição de água existem experiências bem sucedidas de implantação de novas formas de pagamento utilizando cartões das mais diversas tecnologias. Essas novas formas de pagamento geraram incremento dos negócios e melhor satisfação dos usuários. A partir dessas vantagens e observações preliminares foi realizada uma análise das áreas e das razões que justificariam a implantação de uma nova forma de cobrança da energia elétrica. Além da questão de perda comercial foi verificada a adequação do sistema de cobrança a cartão em nichos como inclusão social seja de novos usuários como usuários de baixa renda, sistemas isolados, usuários de áreas rurais e urbanos rurais.

3.1 Perdas comerciais:

As perdas inerentes ao processo de distribuição de energia elétrica são constituídas de perdas técnicas e de perdas comerciais. As perdas comerciais ou não técnicas são referentes à energia entregue e não faturada sendo que, recentemente abrangem também o impacto das ligações clandestinas no sistema de distribuição (ARAUJO, SIQUEIRA, 2006). Ou seja, perdas comerciais são relativas à inadimplência e ao furto (CIPOLI *et. al.* 2001). Tomando como exemplo a Eletropaulo avalia-se pelos dados do IBGE, que existem cerca de 450 mil ligações clandestinas em um universo de 5,3 milhões de unidades consumidoras (fonte: Eletropaulo e "site" www.eletropaulo.com.br, acesso em setembro de 2006).

As perdas técnicas são as perdas ocorridas nos elementos de rede como cabos, transformadores, barramentos, etc, devido ao efeito joule e perdas magnéticas. Considerando-se apenas as perdas técnicas calculadas pela razão entre energia ofertada e consumida verifica-se que elas são da ordem de 7% (FISCHER; IZILDA**,** 2000) resultado esse, próximo à média mundial.

A tabela 1 apresenta um histórico das perdas totais de energia elétrica, técnicas e não técnicas reconhecidas pela Aneel.

Tabela 1 - Histórico das perdas totais de energia elétrica no Brasil

Ano	Perdas totais (%)
1970	16,3
1980	13,0
1990	13,1
2000	15,7
2001	13,9

Fonte: Eletrobrás 2001

Segundo Araújo e Siqueira (2006), as perdas no Brasil são da ordem de 15% da energia requerida, ou seja, 46.904 GWh, sendo 32% correspondem a perdas não técnicas. Em se calculando pelo preço médio de aquisição de energia de R$80,01/MWh pagos pelas distribuidoras, o custo das perdas comerciais é da ordem de R$1,2 bilhão. Mas em se utilizando o custo médio de venda de energia de R$231,35/MWh, que incluem os custos de transmissão e distribuição, o valor da perda comercial subiria para R$4,9 bilhões, ao qual devem ainda ser acrescentados os tributos que deixam de ser arrecadados. Efetivamente, esses custos estão sendo rateados pela sociedade brasileira.

É importante salientar que as perdas se mantêm mesmo com o desenvolvimento tecnológico (ARAUJO; SIQUEIRA, 2006), fenômeno que ocorre na maioria dos paises fora da OCDE. É possível verificar que o perfil de perdas do Brasil aproxima-se dos resultados observados em países menos desenvolvidos. A tabela 2 apresenta um resumo do quadro mundial de perdas de energia elétrica.

A perda em países desenvolvidos tem um forte caráter técnico. Nesses países existem mecanismos legais e tecnológicos para agir em casos de desvio de energia. O Reino Unido,

por exemplo, apresenta um consumo de 337.443 GWh com uma perda de 9%, ou seja 30.822 GWh. Já a África do Sul apresenta um consumo de 175.430 GWh, com perdas de 30.969 GWh, ou seja, cerca de 17% do consumo total (Fonte: "International Energy Agency: Electricity in United Kingdom/ South Africa in 2003").

Tabela 2 - Perdas mundiais (divisão geopolítica)

Região	Número de países	Perdas em 1980	Perdas em 2000	Variação
Oeste europeu	17	7,71	7,56	-0,15
Leste europeu	24	9,68	18,18	+8,50
África	11	11,18	19,63	+8,45
Nafta	3	9,67	9,38	-0,29
América Sul	9	15,50	21,68	+6,18
Sul da Ásia	5	25,20	27,55	+2,35
Sudoeste da Ásia	7	12,14	13,32	+1,18
Leste da Ásia, Australasia	6	8,67	7,65	-1,02
Mundo	102	11,69	16,22	+4,54

Fonte: World Bank, 2003 (ARAUJO, SIQUEIRA, 2006).

As perdas não técnicas no Brasil são notadamente geradas na distribuição de baixa tensão (Grupo B), seja residencial, comercial ou industrial. A indústria, nesse caso, é representada principalmente pelos pequenos negócios onde energia elétrica é insumo importante na composição do custo de produção e os ganhos apresentam forte competição. Exemplo disso é o caso de indústrias de reciclagem em geral.

Inadimplência e furto, em particular apresentam um importante fenômeno cíclico. O fraudador que teve sua energia cortada, em primeiro passo renegocia com a empresa concessionária o restabelecimento do suprimento de energia, com pagamento das devidas multas e acertos. Após esse restabelecimento, esse consumidor continua a utilizar energia acima da capacidade de pagamento gerando inadimplência, corte e posteriormente reincidência do furto. Na verdade, os sistemas do controle de consumo de energia elétrica não apresentam recursos para que esse usuário faça controle e adequação do seu consumo com sua capacidade de pagamento.

Em um estudo feito por Almeida *et. al*., 2006, em Salvador, BA, pela COELBA entre outubro de 2004 e março de 2005 mostrou que as perdas não técnicas podem ser estratificadas em quatro grandes causas. A tabela 3 apresenta estas causas e suas participações no conjunto total.

Tabela 3 - Estudo de perdas não técnicas em Salvador, BA entre 2004/2005

Item	Descrição	Perdas (GWh)	%
1	Ligações clandestinas: ou seja clientes fora do cadastro da concessionária	12,2	5
2	Consumidores auto-religados: clientes que clandestinamente se religaram após corte de fornecimento	80,1	32
3	Consumidores cadastrados que fraudam ou que tem medidores com defeito de medição	160,5	62
4	Iluminação pública com erro de estimativa de consumo	1,4	1
	Total	254,2	100

Fonte: Almeida *et. al*. 2006

As perdas não técnicas no Brasil apresentam uma distribuição muito heterogênea e complexa. A empresa concessionária Ampla, no interior do Estado do Rio de Janeiro fez um grande esforço para diminuir o índice de perda comercial. Em particular, a empresa opera em uma região onde o índice de perdas comerciais é um dos maiores do país. Em reportagem publicada no caderno B1 do jornal Valor Econômico na edição de 8-10 de setembro de 2006, a Ampla informa que as perdas comerciais são da ordem de 17%, menores apenas que os índices verificados nos estados do Maranhão e Rondônia. Segundo a empresa, o índice de 2003 era de 23,1% e cada ponto de melhora teve um impacto de R$ 20 milhões nos seus resultados anuais, ou seja quase 12% do lucro que em 2005 foi de R$173 milhões. A empresa informou que essa queda foi em função da mudança postural de atuação junto ao cliente, com reciprocidade de tratamento que, entre as várias iniciativas permitiu que o seu cliente adaptasse o seu consumo à sua capacidade de pagamento. Um estudo feito pela FGV, Fundação Getúlio Vargas, para a Ampla revelou que o mapa do furto de energia é complexo e

é maior em locais com ocupações irregulares ou com altos índices de assassinatos. Em contrapartida, alguns lugares onde o IDH é maior apresentam paradoxalmente, índices maiores de furto do que os medidos em locais com IDH menores. Não existe uma correlação biunívoca entre pobreza e furto de energia e o quadro revela-se muito complexo envolvendo questões culturais e sociais.

3.2 Usuário de baixa renda

A resolução Aneel N° 246 de 30 de abril de 2002 estabelece as condições para enquadramento de um consumidor na Subclasse Residencial Baixa Renda conforme o disposto nos § § 1°, 5°,6° e 7° do art. 1° da Lei n° 10.438 de 26 de abril de 2002, a qual garante subsídios automáticos para consumidores com ligação monofásica e consumo médio mensal inferior a 80 kWh. Para os consumidores na faixa entre 80 e 220 kWh, a lei exige o que os mesmos estejam no Cadastro Único de Programas Sociais do Governo Federal.

As características de um consumidor baixa renda são as seguintes:

- dever ser atendido por circuito monofásico ou equivalente bifásico a dois condutores,
- ter um consumo mensal médio inferior a 80 kWh nos últimos 12 meses
- não apresentar um consumo superior à 120kWh no período dos últimos doze meses.
- cada consumidor só pode ter uma única unidade consumidora classificada nessa subclasse.

A Resolução Normativa no 044, de 26 de fevereiro de 2004, normaliza questões enquadramento na Subclasse Residencial Baixa Renda a unidade consumidora que tenha consumo mensal entre 80 e 220 kWh, calculado com base na média dos últimos 12 (doze) meses, e seja habitada por unidade familiar cujo responsável esteja apto a receber os benefícios financeiros do Programa Bolsa Família, do Governo Federal. O usuário de baixa renda tem direito a uma tabela de desconto da tarifa como mostra a tabela 4, com valores subsidiados pelo Governo Federal.

Tabela 4 - Desconto do valor da energia para usuário baixa renda

Faixa de consumo em kWh	Valor do desconto
0-29	65%
30-99	40%
100-220	10%

(fonte: Eletropaulo)

A questão relacionada à Subclasse Residencial Baixa Renda é o enquadramento do consumidor nas condições previstas em lei o que implica na construção e atualização de um sofisticado banco de dados para controle da alocação do subsídio a que usuário tem direito. Os problemas são inúmeros que vão do custo de geração e manutenção do banco de dados em si quanto aos de ordem sistêmica que muitas vezes são de difícil resolução, por exemplo: como estabelecer que o José da Silva com RG e o José da Silva com CPF são ou não a mesma pessoa, ou melhor, da mesma unidade consumidora.

Os subsídios são repassados para as distribuidoras a partir de levantamentos desses bancos de dados. Erros na elaboração da planilha de subsídios podem implicar em pesadas multas aplicadas pela ANEEL. Para solucionar a questão do banco de dados está sendo proposto o uso do Vale Energia. O Vale em forma de cartão será entregue ao usuário pelos programas federais ao qual ele deve estar enquadrado. A concessionária não teria mais a responsabilidade de verificar se esse usuário pertence à Subclasse e portanto não teria que gerar e atualizar o banco de dados.

O usuário habilita o uso do cartão na empresa concessionária fazendo os pagamentos pertinentes e insere o seu cartão na Unidade Leitora de Cartões de sua residência. Essa

Unidade Leitora de Cartões faz as análises necessárias para garantir que o consumo desse usuário está dentro dos padrões estabelecidos em lei.

Com uso da Unidade Leitora de Cartões a empresa concessionária não teria mais que desconectar usuários, que passa a ser tratado automaticamente pela Unidade Leitora evitando uma tarefa incômoda e impopular mesmo que necessária. Isso é um ponto importante, pois as empresas concessionárias já estão enfrentando problemas na Justiça, como no caso de Mato Grosso do Sul onde uma resolução impede o corte de energia elétrica de usuários inadimplentes classificados na Subclasse Residencial Baixa Renda.

Segundo a Aneel, cerca de 18 milhões de unidades residenciais são classificados como baixa renda sendo que 14 milhões com consumo mensal inferior a 80 kWh, e em torno de 4 milhões na faixa de consumo entre 80 e 220 kWh/mês. As empresas concessionárias têm dificuldade de enquadrar o consumidor em baixa renda em função da aderência desse consumidor nos programas federais. A avaliação sócio-econômica deveria ser feita pelos municípios que não estão tendo capacidade para realizar tal tarefa. A título de exemplo, a Eletropaulo, que possui cerca de 700 mil usuários de baixa renda, não tem meios para classificar, avaliar e limitar a permanência ou não desse usuário nessa classificação.

3.3 Inclusão social

A questão da universalização do acesso à energia elétrica está regulada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, alterada pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, que em seu art. 14 atribuiu à ANEEL a tarefa de estabelecer metas de universalização, do acesso ao serviço público de energia elétrica, utilizando uma sistemática na qual o atendimento de novas ligações, para unidades consumidoras com carga instalada em tensão secundária de até 50 kW deverá ser realizada sem ônus de qualquer espécie para o solicitante, conforme descrito no site da Aneel (ANEEL, 2006). O termo universalização é recente, e importado do setor de telecomunicações.

Os primeiros esforços para atender comunidades isoladas foram concentrados na eletrificação rural com implantação de programas setoriais, muitos deles baseados em cooperativas seguindo modelos das experiências norte-americanas e canadenses. A proposição atual de universalização procura ter um enfoque mais abrangente do que os anteriores. Segundo Winrock, 2006, aproximadamente 20 milhões de brasileiros vivem em comunidades remotas que não tem acesso energia elétrica de forma confiável. Várias técnicas estão sendo utilizadas para atender tais comunidades e, em todas elas é necessário prover um meio de cobrança de fácil operação, confiável e que prescinda da coleta sistemática de dados como é realizada nos usuários de áreas urbanas.

Em muitos casos para o suprimento energético são utilizados geradores a diesel (BARBOSA *et. al*, 2005), como no caso da implantação de energia elétrica na Vila de São Tomé no Pará. Existem iniciativas com emprego de outras tecnologias como o de células solares e sistemas híbridos. Em todos esses existe a questão da gestão dos sistemas que vai desde o equacionamento de problema de abastecimento, de manutenção até a tarifação da energia utilizada. Na experiência da Vila de São Tomé optou-se pelo sistema de pré-pagamento, pois a cobrança de taxa mensal feita pelo valor médio não refletia o consumo real de cada usuário o que gerava insatisfação entre os mesmos e a instabilidade do sistema. Outras alternativas como tarifação convencional com leitura de consumo e envio de conta tornaram-se inviáveis em função de custo da operação. O pré-pagamento tornou-se a alternativa viável para a sustentabilidade do sistema. Entre as vantagens citadas por Barbosa *et. al.* (2005) tem-se:

- Administração do consumo pelo usuário
- Possibilidade de compra de quantidades de energia livre pelo usuário, podendo inclusive adequar-se à flutuação de renda e estocagem em época de maior fartura;
- Redução de consumo com fim da inadimplência
- Criação de um fundo antecipado para a operação do sistema
- Redução dos custos operacionais

O sistema de pré-pagamento atende os casos de comunidades isoladas, como também apresenta uma solução para cobrança da energia elétrica em comunidades urbano-rurais e rurais, que embora não isoladas, apresentam dificuldades para coleta de dados, distribuição de contas e a cobrança dos valores correspondentes.

Para complementar a questão de inclusão social, o sistema de cobrança a cartão permite a introdução do vale energia. O vale é um meio de pagamento para as pessoas que estão temporariamente impossibilitadas de arcar com os custos de energia, funcionando como uma alternativa à mentalidade do não pagamento. O vale atrelado à cesta de auxílio dos programas federais evita a burocracia de passar informações de cadastro do usuário para as empresas concessionárias simplificando o gerenciamento dessa questão.

3.4 Usuário rural e urbano rural

Embora a questão de eletrificação rural tenha forte conotação de inclusão social seus resultados extrapolam esse aspecto pois o impacto da energia elétrica no campo tem forte conotação econômica na eficiência do agronegócio. Existe um esforço no país para a eletrificação rural que iniciou em 1948. Esse esforço partir da década de 70 passou por vários programas.

Década de 70

O primeiro grande passo foi a criação do Grupo Executivo de Eletrificação Rural - GEER, órgão do Ministério da Agricultura, para assessorar os projetos a serem financiados com recursos do Fundo de Eletrificação Rural. Nessa época apenas 15% das propriedades rurais de São Paulo eram eletrificadas. O I Plano Nacional de Eletrificação de Cooperativas - I PNER, que é considerado marco inicial da eletrificação rural nacional (BERNARDINI, *et. al*, 2000), atingindo em 1975 33 cooperativas com 8.457 associados. Em 1976, a ELETROBRÁS criou o Departamento de Eletrificação Rural - DEER para atuar com as concessionárias. O II PNER, inicialmente com execução prevista para o período de 1978 a 1980, contava com recursos suficientes para eletrificar 56 mil propriedades rurais.

Década de 80

O objetivo dessa época era aumento da produtividade das propriedades agrícolas, especialmente as de São Paulo. O esforço de eletrificação ficava a cargo das empresas concessionárias. Os resultados foram menores que os esperados, principalmente em função do cenário internacional. O III PNER contando com recursos oriundos do retorno do capital investido no I e II PNER, conseguiu eletrificar apenas 4.402 propriedades rurais no País, enquanto esperava a liberação dos recursos externos.

Em 1986 foi implantado o Programa Nacional de Irrigação - PRONI, que juntamente com o Programa Estadual de Irrigação, ampliou em 400 mil ha de área irrigada no Estado de São Paulo. Atingiu-se o patamar de 58,5% de eletrificação no Estado de São Paulo, ou seja, um total de 159.948 propriedades ficando o resto do país com um índice de 17,4%.

Os ganhos de produtividade com uso de irrigação foram muito grandes

Período recente

De 1989 até 1993 o atendimento do mercado rural voltou a ser praticamente em função de solicitação individual dos consumidores, sem qualquer subsídio, com crescimento médio anual de apenas 1,5%. Em São Paulo foi lançado o Programa de Eletrificação Rural - PER, em 1994 com o objetivo de completar o atendimento ao mercado rural em toda a área de concessão da Eletropaulo (GALVÃO, *et al*, 2000).

O Estado de São Paulo instituiu em setembro de 1996 o programa "Luz da Terra" e o sistema unificado de apropriação de custos visando levar energia elétrica para 100% das propriedades rurais do estado. Na esfera federal foram instituídos diversos programas para apoiar estados e municípios na área agrícola como Projeto de Apoio ao Desenvolvimento do Setor Agropecuário – PROESA, Programa Nacional de Fortalecimento à Agricultura Familiar - PRONAF e o Programa de Infra-estrutura e Serviços em Projetos de Assentamento no Âmbito da Reforma Agrária – INCRA, todos condicionados à liberação de verba pelo Congresso e

pelo Orçamento Geral da União. A tabela 5 apresenta a situação das propriedades paulistas em 1990.

Tabela 5 - Situação das propriedades rurais paulistas em 1990

	Número de propriedades rurais	Número de propriedades eletrificadas	Percentual (%)
São Paulo	3.010.582	1.818.591	60,4
Resto do Brasil	5.858.773	1.669.247	28,9

(fonte: BERNARDINI, *et. al*,2000, Eletrobrás,1997)

O número de propriedades rurais eletrificadas sobe para 82% no ano de 2000 (fonte concessionárias de energia e CATI), sendo que o índice alcança quase 90% nas regiões de Campinas e Mogi das Cruzes.

A questão da eletrificação rural carrega consigo a questão da eficiência das propriedades rurais, principalmente no tocante a projetos de irrigação, de refrigeração e da viabilização de agronegócios como granjas e afins. Os custos de implantação da rede de distribuição são altos. Em 1998 foi constatado que no programa rural do Governo do Mato Grosso do Sul, cada quilômetro da rede trifásica com postes de concreto custava R$ 24.700,00, trinta vezes mais do que na cidade francesa de "Raimbolet" perto de Paris, onde sistemas monofásicos com postes de madeira atendem às necessidades de energia de seus moradores (GALVÃO, *et. al*, 2000). Os custos de implantação são muito diferentes em cada área, dependendo da concessionária, da tecnologia envolvida e da integração com os governos e comunidades locais. Outra questão é a gestão do sistema, em função do número de usuários e das distâncias envolvidas. Fica impraticável a operação normal de coleta de dados e emissão de fatura. A CPFL, por exemplo, cobra seus consumidores a cada 6 meses sendo que o próprio usuário

atualiza os dados de consumo que são usados no cálculo da próxima cobrança. A gestão, além de não ser confiável, provoca um alto custo semestral para o consumidor que não consegue diluir seus gastos ao longo dos meses. Esse problema é similar ao que ocorre em comunidades isoladas como em Vila de São Tomé no Pará, com dificuldade de implantação de procedimento usuais.

No caso de instalações rurais, o usuário já possui medidor de energia. A introdução de sistemas de cobrança a cartão, seja com pré ou pós-pagamento parece ser uma solução bastante adequada.

Por parte da concessionária implica em redução de custos de gestão, sem necessidade de coleta de dados e emissão de contas. A coleta, para fins gerenciais, pode continuar existindo, mas com uma freqüência muito mais baixa, seja semestral ou mesmo anual. A Unidade Leitora/Gravadora de Cartão, além do controle de créditos armazena os dados de consumo mensal para fins gerenciais.

Por parte do usuário o sistema permite uma melhor administração de seus gastos e com menor burocracia pois além do controle de consumo possibilita a aquisição de créditos extras para armazenamento em época de sobra de caixa

3.5 Diferencial: a tecnologia nacional

A questão do desenvolvimento de tecnologia nacional está inserida em uma estratégia de inovação e de valoração de produtos, principalmente aqueles com capacidade de exportação. A questão da inovação no Brasil necessita estar adequada às condições impostas pelo ambiente econômico, onde as altas taxas de juros exigem que projetos minimizem o valor de capital investido, ou seja, equipamentos de baixo custo de implantação, mas também que apresentem baixo custo operacional, sob pena de inviabilizar o seu funcionamento. Normalmente o baixo custo de implantação implica em alto custo operacional pois normalmente exige a utilização de mão de obra muito capacitada. Paradoxalmente, apesar do alto desemprego, a estrutura de impostos que possuímos incide principalmente sobre mão de

obra utilizada com forte impacto no custo do processo. As empresas necessitam de sistemas com custos baixos de operação e baixos custos de manutenção.

Normalmente existe um "trade-off" entre custo de implantação e custo operacional. Contudo o estado da arte de tecnologia permite uma diminuição muito grande nos custos de equipamento de modo que esse "trade-off" passa a ser entre investimento em P&D e investimento em equipamentos. O investimento no projeto e no desenvolvimento de um equipamento torna-o mais barato e de maior confiabilidade. Em outras palavras, é como houvesse um adiantamento do investimento da compra para investimento em pesquisa e desenvolvimento. As ferramentas de análise econômica podem auxiliar no equacionamento desse "trade-off", que deve levar em consideração: o dimensionamento de mercado, a velocidade de implantação, a seleção de tecnologia de componentes como no caso de uso de circuitos integrados dedicados, entre outros.

Além, dos custos de capital e de custeio, existe a questão do uso de tecnologia pelo grande público, o qual necessita que a manipulação e operação sejam de fácil entendimento. Treinar a população no uso de uma tecnologia é uma tarefa cara e longa. Em especial o Brasil deve-se considerar que existe um alto grau de analfabetismo funcional. Os exemplos do dia a dia são comuns, principalmente se o usuário tem que interagir com equipamentos compreendendo mensagens e inserindo dados.

Por outro lado, existem exemplos de sucesso, como no caso da operação de telefone público brasileiro. Para realizar uma chamada, o usuário adquire um cartão nos mais diversos pontos de venda, insere no telefone e disca o número desejado. Diversos desenvolvimentos tecnológicos permitiram essa simplicidade de manuseio, entre eles: a criação de um cartão que pode ser inserido de qualquer lado na unidade leitora; a existência de bits de codificação e a existência de bits de crédito que dispensam o uso de códigos e senhas.

O código de identificação permite que o cartão tenha um caráter nacional de modo que pode ser adquirido em uma operadora e utilizado em outra. As operadoras utilizam uma câmara de compensação para contabilizar custos de operação do cartão.

Esse sucesso é também traduzido em números, pois atualmente são produzidos cerca de 40 milhões de cartões telefônicos mensalmente. A manipulação desse cartão é descrita no jargão como sendo “fool-proof”, ou seja, é feito para atender as necessidades de pessoas com pouca instrução ou conhecimento e de operar em condições bastante severas, como forte umidade, poeira, poluição e ampla faixa de temperatura de ambiente externo.

Outro fator de sucesso é a sua confiabilidade. O cartão não é falsificado ou adulterado pelo usuário. Em caso de falha do cartão, existem equipamentos que identificam o tipo de falha e o valor de crédito restante é restituído sem prejuízo ao usuário. O cartão possui codificação permitindo que a operadora controle a quantidade de cartões em uso em campo além, como já foi descrito, opere a câmara de compensação. O conjunto dessas soluções tecnológicas permitiu ganhos ao usuário e às operadoras de telefonia.

O nicho de utilização de sistemas de pré-pagamento de energia abrange comunidades isoladas, rurais, urbano-rurais e ainda a inclusão social e o combate à inadimplência e à fraude. As características sócio-econômicas das populações mencionadas são similares daquelas que usam telefonia pública, levando a crer que os requisitos de simplicidade de uso e confiabilidade dos sistemas devem ser similares.

Essas razões levaram a escolha da tecnologia indutiva como apropriada para o desenvolvimento do sistema de pré-pagamento.

A tecnologia indutiva foi inventada no Brasil e o uso de tecnologia nacional é um esforço da sociedade em manter um processo industrial próprio e independente, capaz de impulsionar a cadeia produtiva de hardware e software na contramão do processo de “des"-industrialização que sofre o país. Esse desmonte do parque industrial, descrito como síndrome ou doença holandesa ocorre em função da quase que exclusiva atenção das forças produtivas do país para os produtos primários sejam agrícolas ou de extração.

4. Contextualização e conceituação

4.1 Sistemas de pagamentos e tratamento regulatório

No segmento de serviços como telefonia, água e energia co-existem diversos sistemas de pagamento no Brasil:

- Pós-pagamento: a maioria das contas de serviços de distribuição de água, energia e de telefonia;
- Pré-pagamento: telefonia pública e a maioria das contas de celulares
- Misto: parte é pós-pago (até o limite de crédito da operadora) e o excedente é suplementado com cartões pré-pagos. Esse sistema está presente tanto em telefonia fixa, nos telefones semipúblicos e na telefonia celular.

A Aneel ainda não regulamentou sistemas de pagamento de energia, além do pós-pagamento existente atualmente. No mundo já foram aplicadas diferentes tecnologias para pagamento de energia: "token", "memory key", "smart-cards", cartão magnético, "optical card" e teclado (DICK, 2003). Alguns sistemas simplesmente desconectam a energia na falta de créditos, outros porém disponibilizam um crédito emergencial.

O sistema regulatório brasileiro não trata diretamente de sistemas de pré-pagamento, mas é detalhado no campo de perdas em transmissão e distribuição de energia elétrica em três segmentos: o tarifário, o técnico e o comercial (ARAUJO, SIQUEIRA, 2006). O objetivo do regulador é a busca da eficiência do setor através de incentivos econômicos. O mecanismo é a redução do custo de operação sem a predeterminação da remuneração do capital investido e sem perder a modicidade tarifária. O mecanismo prevê a apropriação de ganhos de eficiência empresarial e da competitividade. O art.14 da Lei n°9.427 estabelece que:

> "*Art 14: O regime econômico e financeiro da concessão de serviço público de energia elétrica, conforme estabelecido no respectivo contrato, compreende:*
>
> ....

IV – apropriação de ganhos de eficiência empresarial e da competitividade; "

A necessidade de aumento de geração de energia elétrica é pressionada pelo alto valor das perdas de distribuição, que no caso brasileiro está muito distante de países desenvolvidos. O custo marginal de longo prazo de incremento de geração e distribuição de energia elétrica é muito maior que o esforço na redução de perdas, e uma ação efetiva sobre as perdas não técnicas terá resultados mais expressivos, uma vez que elas são os itens de maior peso em perdas.

A estratégia do regulador é de fixar a cada ciclo de negociação um teto de reconhecimento de perdas da concessionária determinando uma diminuição gradativa sobre esses números. No processo de revisão tarifária prevê-se um mecanismo de definição do subnível admitido de perdas não-técnicas, determinando uma curva decrescente levando a concessionária a atuar sobre essa questão. Algumas ações são de caráter técnico e outras de cunho social e de marketing.

Alguns exemplos estão descritos a seguir:

- Mecanismos de combate à inadimplência: pré-pagamento, novas formas de gestão de cobrança de conta e de faturamento, ação social e de comunicação visando aproximação junto à comunidade,
- Mecanismos de combate à fraude: identificação de áreas e de clientes problemáticos, inclusão social dos usuários não cadastrados, equipamentos de medição com detecção de fraude, concentração de medidores em postes[1], etc.

[1]A utilização de medidores em poste foi aprovada pelo Despacho n°401 de 30 de setembro de 1999 e respaldado na Resolução Aneel n°284 de 29 de setembro de 1999, sendo que os critérios de procedimento a serem adotados pela concessionária foram estabelecidos na Resolução Aneel n°258 de 06 de junho de 2003.

- Programas de eficiência energética: para mitigar o desvio de energia e diminuir os custos de energia de camadas mais pobres na esfera de atuação da concessionária.

4.2 Revisão da bibliografia sobre os sistemas de pagamento no Brasil e no mundo

4.2.1 Experiências de países que adotam o pré-pagamento

África do Sul

Sistemas de pré-pagamento foram instalados basicamente para eliminar a inadimplência doméstica (THORNE, 1995). Particularmente na África do Sul, o povo boicotou o pagamento de serviços públicos como instrumento de luta contra o sistema político do "apartheid". Assim, empresas paraestatais como a Eskom, distribuidora de energia elétrica, implantou sistema de pré-pagamento de energia, chamados de dispensadores de energia operando, inicialmente, com "tokens" criptografados. Outros sistemas foram implantados como "smart-cards" e "key-pads". A luta social da África do Sul não ficou circunscrita na área privada, pois a tática de boicote também foi utilizada por autoridades locais e, como exemplo, o "Soweto Town Council" acumulou débitos de cerca de R$65 milhões (US$30 milhões) com a Eskon. O problema da assim chamada "*cultura do não-pagamento"* que se instalou na África do Sul é um dos grandes problemas a serem superados pelo Programa de Reconstrução e Desenvolvimento. Os medidores com pré-pagamento ofereceram por sua vez, uma alternativa viável a esse complicado aspecto social, pois o assim chamado "dispensador de energia" provê, além da garantia do pagamento da energia consumida, um meio indireto de controle de orçamento.

A implantação dos dispensadores de energia teve que suplantar uma série de problemas de ordem técnica, a saber: harmônicos na linha de energia, surtos de tensão provocados por tempestades e infestação de baratas que adquiriram um gosto "particular" por placas de

circuitos impressos. Os técnicos calculam que os problemas técnicos geraram uma perda de 2 a 3% nos lucros do sistema.

A África do Sul fez um esforço de universalização do atendimento elétrico com instalação de sistemas fotovoltaicos domiciliares onde o usuário, para obtenção de sua energia insere mensalmente um cartão magnético na forma pré-pagamento (Santos,2002). Os cartões são vendidos em lojas e comércios locais. O sistema apresenta inúmeros problemas entre os quais fraude, inadimplência de pagamento, manutenção, etc. Muitos dos problemas vêem das sistêmicas de operação do equipamento, como pré-pagamento mensal de uso independentemente do consumo de energia, soluções técnicas de funcionamento que podem provocar a perda da vida útil da bateria, inflexibilidade de modularização de instalação do equipamento, dificuldade de manutenção, uso de um cartão cuja tecnologia permite fraude e finalmente, falta de uma política de operação adequada ao nível sócio-econômico da população usuária.

UK (Inglaterra, Escócia)

Existem na Grã-Bretanha cerca de 5,6 milhões de medidores pré-pagos (fonte: "EA, National Energy Agency", 2004), sendo 15% dos usuários de energia elétrica (3,6milhões) e 10% dos consumidores de gás (2,0milhões). Como exemplo, apenas na London Energy são 250.000 usuários.

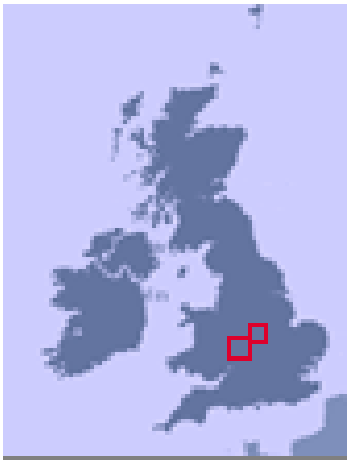


Figura 1 - Localização de Leicester e Coventry

Em 1998, o governo britânico publicou um regulamento denominado "A Fair Deal for Consumers" (DOBLE, 2000), normalizando a competição nos mercados de gás e eletricidade e o uso do sistema de pré-pagamento. Em função do uso desse sistema verificou-se queda nas desconexões dos usuários.

É importante salientar que durante os invernos de 1995 e 1996 foi verificado um grande problema no sistema quando um número expressivo de usuários

idosos sem assistência de conhecidos ou parentes ficou sem energia pois esses usuários não tinham condições de sair para recarregar os seus cartões. Ocorrendo inclusive casos de morte em função da falta de calefação. Identificou-se a necessidade de implantação de um botão de emergência para gerar um crédito extra sem a necessidade de introdução do cartão.

As atuais desconexões estão sendo em sua maioria de curta duração e muitas por razão de conveniência e/ou organização do próprio usuário, como ausência prolongada e não chegaram a provocar uma dura privação entre os mesmos. Em pesquisa de 1991, na cidade de Leicester (ver localização na figura 1), 88% dos usuários de pré-pagamento acreditam que esse sistema é bom, pois evita grandes contas e permite o controle de gastos.

Em outra pesquisa em Coventry, na mesma época, 87% dos consumidores se mostraram bastante satisfeitos. Aparentemente, o comportamento dos usuários é de economizar consumo para manter o fornecimento constante.

Um dado verificado em Leicester é que uma parte das desconexões ocorridas é devido ao fato que o consumidor não perceberam a falta de crédito e que 30% não conseguiram locais abertos para a recarga do cartão do sistema. Mas foi verificado que entre essas desconexões algumas ocorreram por falta de condições de pagamento. Ainda assim existe uma satisfação geral com o sistema de pré-pagamento (PRICE, 2001), principalmente entre pessoas de menor rendimento (PRICE, 2002).

Irlanda

Entre 2000 e 2003 foram instalados 24.000 sistemas de pré-pagamento de energia, ou seja, 1,8% dos usuários (fonte: CER, 2003). A implantação do sistema, segundo a Empresa CER apresenta as seguintes vantagens: redução de custos (leitura e geração de contas), melhoria do controle, redução de inadimplência e a possibilidade do usuário controlar melhor seu orçamento. Os custos ficam por conta do medidor, instalação e sistema de suporte (no caso de suporte de rede para transação de “smart-cards”).

França

Em 1996, a EDF (Életricité de France) conduziu uma pesquisa entre 1500 usuários de sistemas de pré-pagamento chegando aos seguintes resultados (SMART, 1999):

- 94% dos usuários estão satisfeitos e conseguiram economizar emergia
- 89% consideram-se melhor equipados para monitorar o consumo de energia resultando em melhor orçamento
- 50% alteram hábitos que resultaram em economia
- 85% vêem o equipamento como amigável

4.2.2 Experiências brasileiras em pré-pagamento

Sistemas com pré-pagamento em telefonia

Existem várias soluções tecnológicas em uso: o pin-card, crédito em conta, cartão indutivo. O "pin-card" e o crédito em conta são soluções similares onde o crédito do usuário é controlado nos sistemas das empresas operadoras de modo "on-line". O "pin-card" é utilizado pelas pessoas que adquirem cartões de créditos para telefones móveis pré-pagos. O cartão, nesse caso possui apenas um número que deve ser digitado para liberar o valor associado ao cartão.

Em dezembro de 2005 a planta de telefones móveis alcançou 86,2 milhões de acessos (fonte: Relatório Anatel –2005). O telefone pré-pago foi introduzido no Brasil em 1998 e o crescimento foi maior que o pós-pago. As principais causas para esse crescimento, segundo a Anatel são o uso corrente de chamadas locais automáticas a cobrar e a facilidade de controle de gastos. Fatores esses que vêm contribuindo de maneira fundamental para a democratização do uso do telefone em todos os extratos sociais. Vários serviços estão sendo introduzidos pela empresas operadoras visando melhorar esse tipo de pagamento com os chamados "planos de controle", onde o objetivo é respeitar o limite de gastos estabelecido

pelo consumidor. A figura 2 apresenta a evolução de sistemas pré e pós-pagos de telefonia móvel no Brasil entre 1998 e 2005.

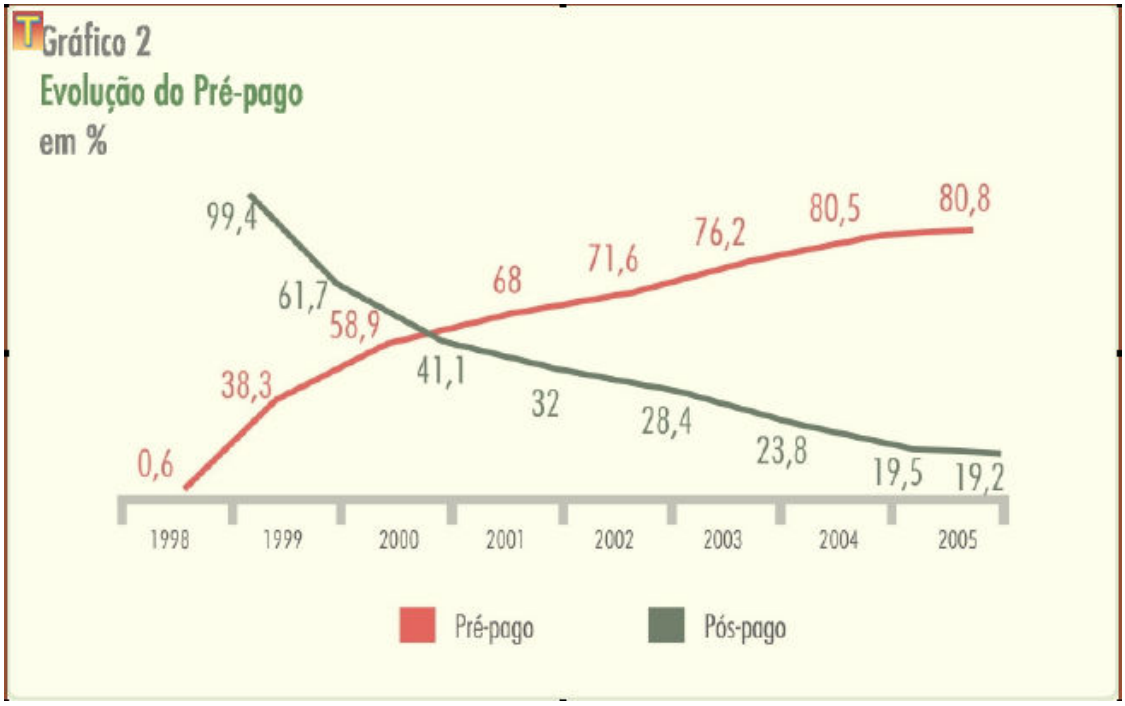


Figura 2 - Evolução dos telefones móveis pré e pós-pagos, Fonte Anatel – Relatório 2005

A telefonia fixa também usa sistemas de pré-pagamento com uma variedade de soluções técnicas. Em particular, a telefonia pública utiliza o cartão de tecnologia indutiva com diversos créditos, sendo os mais populares os de menor valor. Segundo a Anatel, em 2005, a planta de telefones de uso público (TUPs) possuía 1,2 milhões de telefones locais e de DDD nacional. Estão instalados em todo o território nacional, beneficiando não apenas as cidades e como também núcleos isolados, regiões de fronteira, arquipélagos e aldeias indígenas. O telefone público é um dos pilares do plano de universalização do serviço telefônico, pois é o serviço mínimo a ser fornecido quando a população não tem condições de utilizar serviços mais sofisticados .A figura 3 apresenta a evolução do número de telefones públicos no Brasil

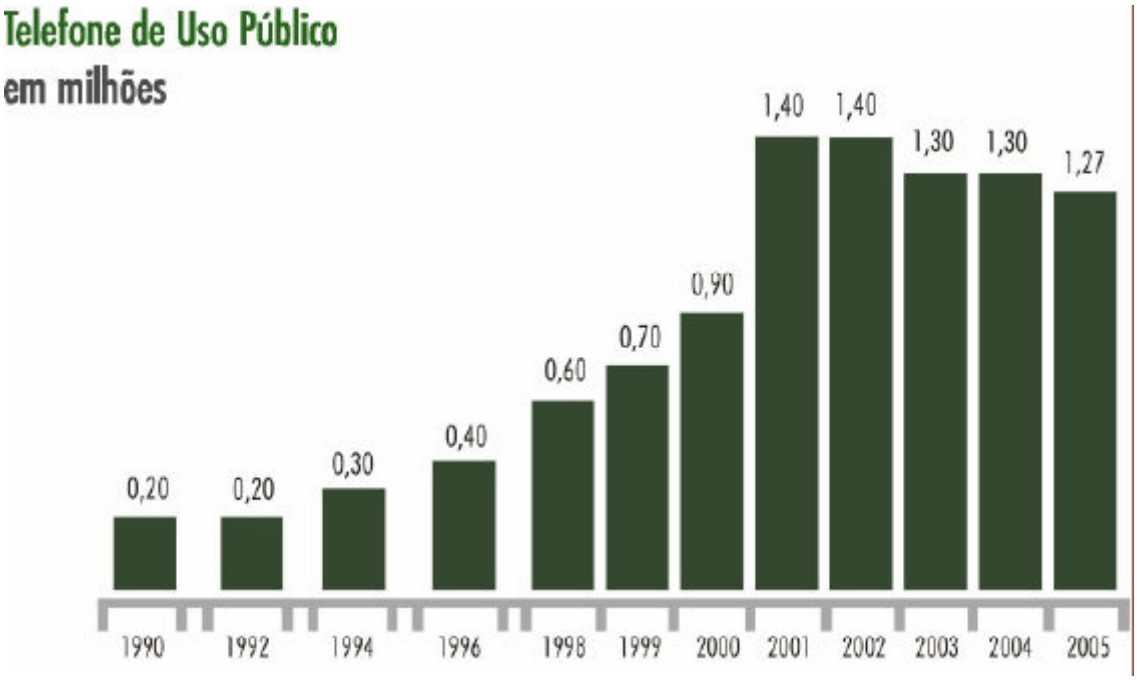


Figura 3 - Evolução do telefones públicos (fonte Anatel – Relatório 2005)

Serviços de distribuição de água

Um dos exemplos de pré-pagamento do setor de distribuição de água foi implantada pela Saneatins na cidade de Palmas, TO. O sistema é composto de uma turbina que substitui o hidrômetro, por um gerenciador de consumo instalado na residência do usuário e pelos cartões como mostra a figura 4 (ALBERTO, 2006).

Figura 4 - Equipamentos básicos do sistema medição de água

O cartão é descartável como o cartão telefônico e o sistema é integrado via linha telefônica como mostra a figura 5.

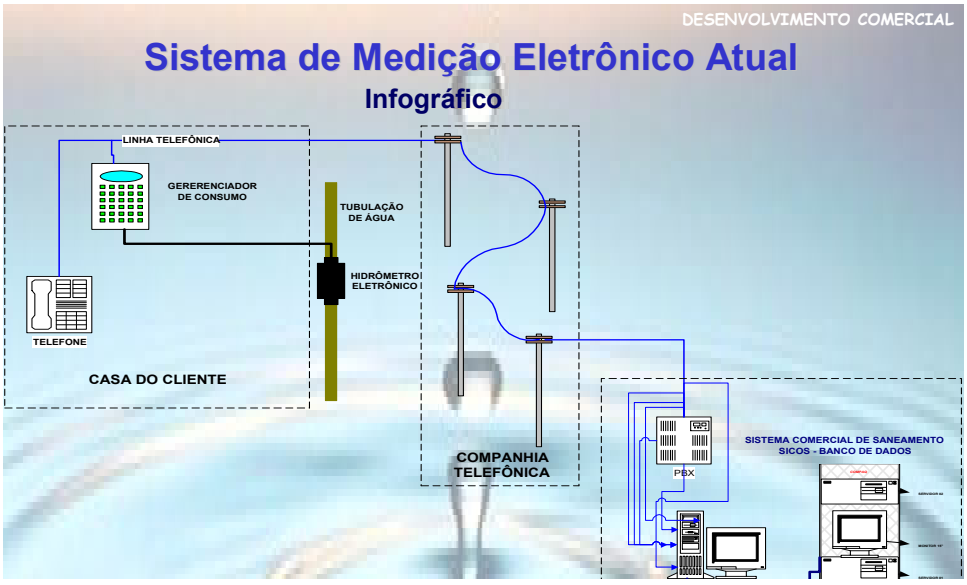


Figura 5 - Configuração do sistema de controle de água

Segundo a empresa Saneatins, as vantagens do sistema são (Saneatins, 2006):

- Melhor relacionamento com o cliente;
- Melhor fluxo de caixa;
- Redução considerável do número de reclamações;
- Redução de fraudes.
- Redução do volume de água produzido face à melhor utilização e controle do consumo.

Sendo que o consumidor tem as seguintes facilidades e vantagens:

- Controle do gasto de água e a quantidade de créditos que ainda restam, podendo adquirir segundo sua necessidade;
- Comparação do consumo de água entre um mês e outro ou diariamente, através do gerenciador de consumo;
- Imediata detecção de possível vazamento interno;
- Adequação do consumo com a disponibilidade financeira.

O faturamento eletrônico implantado pelo sistema permite a execução de leitura, a digitação e impressão de contas, os refaturamentos e o cancelamento de faturas, a entrega de reaviso de débito, a suspensão de fornecimento de água e evita a duplicidade de cadastro. Para complementar o sistema e mitigar o roubo, a Saneatins introduziu equipamento de identificação de desvio de água que, localmente é conhecido como “gambiarra”. O equipamento denominado “geofone” é de uso manual e o operador tenta identificar as tubulações no solo através da propagação de ondas sonoras.

Os ganhos de economia de consumo de água foram entre 20% e 35%, segundo um levantamento de dados feito pela empresa em 2001 (ALBERTO,2006). Não foi possível precisar o quanto que o sistema de pré-pagamento influenciou nos ganhos do sistema e quanto

foi devido ao combate ao furto. Os técnicos da empresa, contudo afirmam que ocorreu uma mudança de posicionamento do consumidor em relação ao consumo de sua água. Esse consumidor passou a combater o desperdiço e controlar o seu consumo e, por conseqüência, os seus gastos.

Sistemas de pagamento de energia elétrica

No Brasil, algumas empresas estão tentando gerar soluções utilizando sistema de cobrança bancária, sistemas de cartões "smart-card" como a "Seed'el" e a Elo Tecnologia. Duas experiências devem ser mencionadas:

- O LACTEC, em associação com a empresa PROCOMP desenvolveu a medição com pré-pagamento a partir de cartões com chip ("smart-card") (BANNACK; NASCIMENTO).
- O Sistema "Cashless" da Eletropaulo (instalados em condomínios verticais na Cidade de São Paulo). Esse sistema é equivalente ao "Electricity Dispenser" da África do Sul, com medidor operando com teclado. O usuário telefona para o "Call Center" da Eletropaulo solicitando a aquisição de energia. O "Call Center" informa o código de 16 números que deve ser digitado no aparelho para obter o crédito correspondente. Em seguida emite uma fatura que é enviada pelo correio. Na verdade é um sistema pós-pago com interação entre consumidor e empresa distribuidora.

4.3 Novidades técnicas introduzidas pela tecnologia indutiva

O desenvolvimento tecnológico é, muitas vezes, impulsionado pelas necessidades de mercado. Contudo, o setor elétrico possui um viés de conservadorismo em questões tecnológicas que não é verificado nos segmentos de telecomunicações ou de informática. O setor elétrico por ser um setor base da sociedade moderna prefere atuar em soluções sólidas e consagradas.

A mudança da plataforma de medidor de energia baseado no efeito ferraris para um medidor eletrônico é um desafio bastante significativo. O custo de um medidor ferraris é da ordem de dezenas de Reais enquanto que os medidores eletrônicos esse custo pula para centenas de Reais, na atual escala de produção. Outro fator também relevante é que os medidores tradicionais têm uma vida útil de 20 anos. Em particular, o Brasil possui um sistema de distribuição de energia com linhas muito longas onde o índice de raios e os picos de energia são maiores que na maioria dos países. A proteção contra tais surtos é complexa. É também um país situado na região tropical onde a proliferação de insetos e bactérias é alta. Como exemplo, basta lembrar que a África do Sul, um país de região temperada sofreu uma infestação de baratas em seus dispensadores de energia. O custo de capital do país é alto, assim o salto tecnológico de introdução de medidores eletrônicos acaba sendo postergado em detrimento de outros investimentos.

A solução tecnológica de cartão indutivo para pagamento de energia tem algumas vantagens que equacionam a questão do custo de implantação de uma nova sistemática de cobrança. A proposta foi de implementar um equipamento que possa utilizar os medidores do tipo ferraris que são mais baratos e de qualidade comprovada. Esse equipamento é constituído de unidade leitora de cartão, de unidade de desconexão de energia e de interface com medidores. É importante ressaltar que as interfaces com os medidores eletrônicos e eletro-eletrônicos são padronizadas pela ABNT, o que permite desenvolver um sistema de alta interoperabilidade.

A opção de cartão indutivo ainda não foi explorada e é a que apresenta o menor custo em comparação a outros sistemas, pois não necessita a prévia aquisição de cartões como “smart-cards”, ou adaptação de “call-centers” ou de implantação de redes e sistemas “on-line”. O cartão é seguro, pois a escrita é destrutiva e não é reaproveitável. É de simples operação e os usuários já conhecem o seu funcionamento com o telefone público. O custo de operação é menor, pois não necessita de rede de comunicação, não necessita de rede bancária para a compra de créditos, substitui a geração de contas e não usa “call-centers”.

O sistema funciona em modo “off-line”, o que evita o chamado custo de crédito negativo. Esse custo ocorre em sistemas “on-line” e é relativamente comum na telefonia pré-paga

quando falhas ou sobrecarga do sistema de controle permite que o consumidor continue a utilizar o telefone mesmo com o término de seus créditos criando um débito em sua conta corrente. Esse débito é de difícil cobrança por parte da empresa que por final acaba assumindo esses custos. No projeto de cartão indutivo, a decisão de corte é local sem a necessidade de intervenção de um sistema central o que impede a formação de créditos negativos.

A maior limitação do projeto é quanto ao envio de dados de consumo do usuário para a operadora. É necessário manter uma coleta de dados, mesmo de baixa freqüência para saber o consumo do usuário. A tabela 6 apresenta alguns aspectos qualitativos entre diversas tecnologias.

Tabela 6 - Comparação entre tecnologias de pré-pagamento

Critérios de Análise	Cartão Indutivo	Smart-card	Sistema Cash Power	Telemedição
Custo de implantação	Baixo	Alto	Alto	Alto
Segurança	Alta	Alta	Média-alta	Alta
Facilidade de operação pelo usuário	Fácil	Médio	Médio	Fácil
Custeio de operação e manutenção	Baixo	Médio	Alto	Médio
Coleta dados de consumo do usuário	Média	Alta	Baixa	Alta

4.3.1. Alternativa de baixo custo e de alta segurança

A unidade de pré-pagamento vai operar com cartões indutivos, desenvolvidos especialmente para o setor elétrico com uma tarja de dobre e destaque. Essa tarja deverá ser arrancada do

cartão antes de seu uso pelo consumidor final. A tarja garante a integridade do cartão permitindo que seja vendido em qualquer ponto de comércio.

A proposta de uso de cartão indutivo nesse projeto está fundamentada nos seguintes aspectos:

1- Domínio tecnológico: o cartão e as unidades leitoras/gravadoras são tecnologia nacional, existem diversos fabricantes no país e são fabricados cerca de 40.000.000 cartões/mês, o que supera em muito a produção de outras tecnologias. A exceção fica por conta do cartão "Edmonson", que é o cartão de tarja magnética utilizado em metrôs e trens, tecnologia que devido às enormes quantidades de fraude deverá entrar em desuso.

2- Custo do cartão varia entre R$0,10 a R$0,45 conforme o modelo escolhido, sendo que esse custo é até 10 vezes mais barato que o "smart-card". É possível popularizar o uso do cartão viabilizando a venda de baixa quantidade de energia. É importante ressaltar que o "smart-card", mesmo sendo reutilizável tem uma vida limitada à cerca de 2 anos e que normalmente é o usuário quem deve bancar o seu custo da troca principalmente em caso de perda ou extravio;

3- A rede de distribuição e comercialização de cartão indutivo foi implantada pelo sistema telefônico e pode ser utilizada para distribuição do cartão de energia;

4- Segurança: o cartão possui diversos níveis de segurança. Por construção é do tipo "*Write Once Read Many"*, ou seja, o número de operações de leitura é ilimitado mas a gravação é única e o cartão não pode ser regravado. Essa característica impede a alteração da informação de células já escritas. Outras tecnologias como magnético ou o próprio "smart-card" permitem a reescrita de dados e por mais que exista segurança eletrônica é sempre possível sobrepujá-las, como está acontecendo com os cartões bancários e de créditos;

5- A geometria interna do circuito do cartão é exclusiva para uso em energia sendo assim, totalmente incompatíveis com outros cartões indutivos utilizados em sistemas telefônicos, controle de acesso, controle de venda, etc;

6- O cartão possui diversas células de proteção, tais como: células de identificação, de “check-sum”, células zeradoras.

7- Garantia na venda: o cartão é munido de tarja dobre e destaque que necessariamente deve ser retirada antes do seu uso garantindo assim, a inviolabilidade do cartão. O cartão pode ser distribuído em qualquer tipo de comércio e pode ser testado antes de sua efetiva utilização;

8- Simplicidade de uso: o cartão é de fácil utilização, sendo que a população já está treinada no uso desse tipo de cartão no telefone público. O cartão é inserido na Unidade Leitora de qualquer lado e os créditos são transferidos ao sistema. Não necessita de outro tipo de ação ou interação com o equipamento;

9- Estratégia do desenvolvimento de tecnologia nacional: o cartão indutivo está sendo exportado para diversos países e esse desenvolvimento vem reforçar o esforço de mudança de enfoque da pauta de exportações brasileiras para produtos de maior valor agregado.

4.3.2. Implantação de formas alternativas de pagamento

O combate à cultura de "não-pagamento" passa pelo controle e gestão de gastos por parte do cliente de forma diária ou contínua e a diminuição da inadimplência com possibilidade de fracionamento da conta. Um dos pilares do sucesso do telefone pré-pago, segundo análise da Anatel foi o de respeitar o limite de pagamento definido pelo usuário, independente de sua estratificação social.

Verifica-se que o comportamento do consumidor brasileiro é o de adequar seu consumo à sua capacidade de pagamento. Embora muitas empresas têm se utilizado desse fato de modo a auferir lucros extorsivos com prestações baixas ocultando juros excessivos, o setor elétrico poderia aproveitar esse comportamento de forma positiva e assim quebrar o ciclo de “fraude”

→ renegociação → consumo acima da capacidade de pagamento → inadimplência → corte → furto mostrado pelo estudo da Coelba em ALMEIDA *et. al*., 2006.

O uso de vale energia é uma forma da sociedade prover um crédito para que uma parcela da população possa ter acesso à energia de forma legal. Um programa de inclusão social do Estado do Paraná estabelece um crédito mensal de 100kWh para famílias de baixa renda é realizado com bastante sucesso. O Vale Energia é um valor mínimo que o próprio usuário pode complementar com compra de créditos extras. O Vale Energia pode ser fornecido sem custo ou respeitando os valores de desconto estabelecidos na Lei n° 10.438 para Subclasse Residencial Baixa Renda.

A introdução de novas políticas de venda de energia elétrica como pré-pagamento trará a vantagem de adiantamento de receita das concessionárias além de ser uma política de mitigação de inadimplência sendo que a operação de desligamento e religamento é automática sem necessidade de deslocamento de equipe de campo. Contudo essa operação pode ser regulada de modo a fornecer um crédito ao usuário antes de realizar o corte final. Esse crédito é um empréstimo e poderia ser realizado por um botão de crédito emergencial.

O cartão irá também exercer um papel de marketing institucional e de aproximação com os usuários. Pode ser usado em campanhas sociais do tipo junte tantos créditos em cartão e troque por investimentos em escolas e organizações civis da comunidade.

5. Metodologia do desenvolvimento

O objetivo do projeto foi o de desenvolver uma Unidade Leitora/Gravadora de Cartões para pagamento e controle de consumo de energia elétrica, levando em consideração as tarifas aplicáveis aos consumidores de baixa renda, com as funcionalidades definidas anteriormente. Essa Unidade é provida de uma interface com o medidor de energia, com uma interface para comunicação de dados para análise de consumo e perfil do usuário e um sistema de corte/religamento de energia elétrica.

O sistema de pagamento opera com cartões indutivos desenvolvidos especialmente para o setor elétrico com uma tarja de dobre e destaque. Essa tarja deverá ser destacada antes de seu uso pelo consumidor final. A tarja garante a integridade do cartão permitindo que seja vendido em qualquer ponto de comércio ou que aproveite os pontos de venda de cartão telefônico já existentes.

A metodologia de desenvolvimento do projeto teve as seguintes etapas:

- Análise das alternativas de sistemas de pagamento existentes
    - Determinação dos requisitos do projeto
    - Especificações básicas e a escolha da tecnologia
    - Descrição das funcionalidades do cartão
    - Descrição das funcionalidades da unidade leitora
    - Determinação dos tipos de medidores a serem utilizados no projeto
    - Especificação dos aspectos de interconexão com os sistemas de coleta de informação externos ao medidor.
- Implementação do projeto
    - Desenvolvimento da leitora de cartões.
    - Desenvolvimento da interface com medidores.

  - Desenvolvimento da unidade de interrupção de energia elétrica.
  - Desenvolvimento do software
- Integração e montagem do protótipo do sistema
- Testes e coleta de dados
- Análise e interpretação dos resultados

5.1 Especificação de sistema

5.1.1 Especificações básicas e a escolha da tecnologia

A primeira atividade de projeto foi realizar uma análise das alternativas tecnológicas e de determinação das especificidades do sistema. Os capítulos 3 e 4 dessa dissertação apresentam o resultado dessa análise que findou pela escolha da tecnologia de cartões indutivos.

O equipamento desenvolvido permite a implantação do sistema de pré-pagamento ou de pós-pagamento, embora o enfoque foi direcionado na utilização do sistema de pré-pagamento. No caso de pós–pagamento, o crédito inicial é fornecido em consignação pela concessionária e os créditos seguintes pagos pelo usuário.

O projeto do cartão prevê as seguintes facilidades:

1. Uso de Cartão Vale Energia ou de Cartão Baixa Renda visando a redução do roubo, aumento da receita, inclusão social e alternativa à cultura do "não pagamento" que normalmente se traduz em inadimplência e furto. Esses cartões têm uma codificação especial que impede a sua comercialização no mercado paralelo como ocorre em outros tipos de vale como transporte e alimentação. Os cartões são fornecidos mensalmente e, em cada mês, a unidade leitora só pode aceitar um único cartão subsidiado. Assim mesmo que o usuário adquira ou arranje

um segundo cartão desse mês, o mesmo não será aceito pela unidade leitora. A coleta será local mas sem a necessidade freqüência mensal;

2. Cartões com vários valores permitindo o fracionamento da conta;
3. Projeto de impressão gráfica de forma a estimular o colecionismo com uma combinação de temas associados a regiões de uso. O colecionismo pode gerar uma receita extra com o mercado existente no segmento, que envolve no país milhares de pessoas. Esse mercado apresenta a peculiaridade de agregar valor ao cartão que ainda não foi utilizado, assim o cartão é vendido pelo preço de face mas sem uso.efetivo Cerca de 3% do mercado de cartões telefônicos vai direto para o colecionismo.

É importante ressaltar que o cartão indutivo é reciclável e atualmente a técnica utilizada é a de moagem com venda para aplicações industriais. É importante ressaltar que a operação de reciclagem exige coleta, transporte e lavagem do cartão que implica em gasto de energia e uso de água. O cartão é um produto estável e não biodegradável. Se for armazenado em lixões, não ocorrerá contaminação do lençol freático ou da atmosfera.

O sistema é constituído pelo cartão, pela unidade leitora gravadora com interface para medidores de energia e unidade de desligamento. Possui as seguintes facilidades:

1. Memória de armazenamento de dados do usuário como: consumo médio, consumo total, picos de consumo, número de cartões utilizados, número do equipamento, curva típica de consumo ao longo do dia;
2. Display de indicação de crédito disponível ;
3. Entrada alternativa para integração com outros “utilities” e com medidores de consumo de água;
4. Características de interoperabilidade permitindo a integração com medidores de energia eletrônicos ou eletro-eletrônicos;
5. Interface de coleta de dados para conexão de micros, “palmtops” ou similares.

5.1.2 Descrição de funcionamento do cartão indutivo

O cartão indutivo é um "memory card" onde os dados estão armazenados em células. A célula possui um pequeno fusível que é feito de uma liga metálica. Como em uma memória de computador, é possível associar códigos a cada célula do cartão, onde o valor é "1" se a célula estiver contínua e "0" se o fusível foi aberto e, conseqüentemente, a célula estiver interrompida. Normalmente, todas as células do cartão são produzidas com valor "1" e gravadas nas unidades de leitura e gravação de cartão. Esta gravação é única e não retornável. Esta característica garante a alta segurança do cartão indutivo

A figura.6 mostra individualmente uma célula com o fusível (também chamado de filete) íntegro que corresponde ao valor “1” e o fusível aberto que corresponde ao valor “0”.

Figura 6 - Exemplo de células de cartão indutivo

A figura 7 mostra um exemplo de disposição de células em um cartão com 104 células, sendo 4 de presença/ausência e 100 para crédito. As células de presença e ausência são células especiais, descritas em BARDINI, 1991, que garantem o correto posicionamento do cartão na Unidade Leitora e Gravadora.

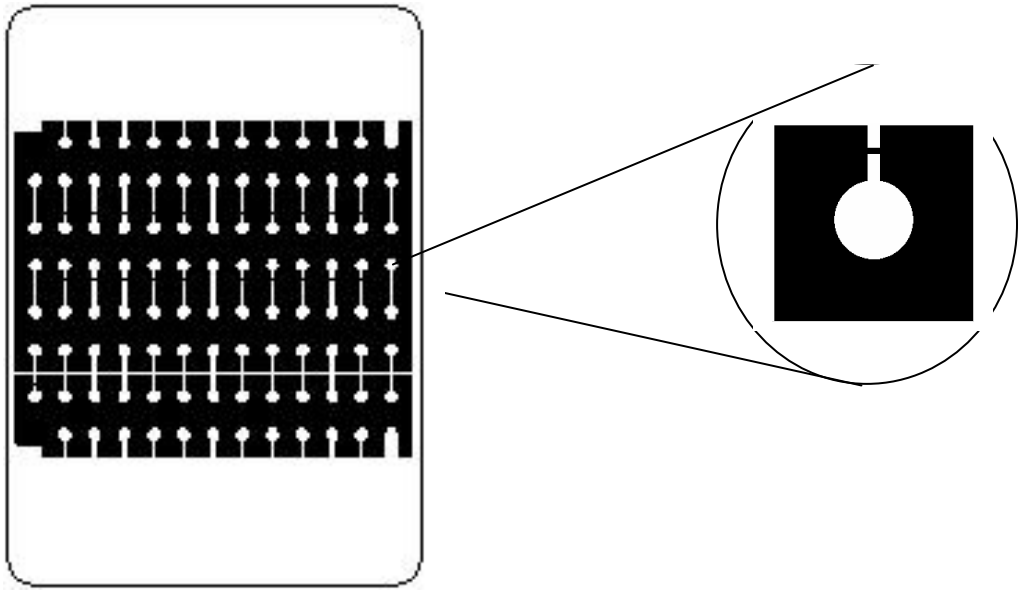


Figura 7 - Exemplo de um cartão com 104 células

Além de altamente seguro, o cartão indutivo não pode ser produzido, copiado ou duplicado fora da indústria, o que lhe confere características antifraude com alta relação custo-benefício. O cartão é fabricado a partir de um material plástico PVC, que é o principal substrato. Ao PVC, é adicionada uma fina camada (5 micra) de uma liga metálica. O desenho do circuito é feito nessa camada metálica, que conterá um número de células necessário para cada aplicação. Uma vez feito o desenho do circuito, aplica-se uma resina que o protege. Ao final desta etapa, o cartão é impresso com o logotipo da empresa tanto na frente como no verso e cortado no tamanho específico que pode ser no formato ISO (85X54mm), ou ainda ½ ISO ou $^{1}/_{3}$ ISO. A figura 8 apresenta alguns exemplos de aplicação de cartão indutivo:

Aplicação telefonia pública exportados pelo Brasil, com cartões com impressão em “off-set” e em “silk-screen” (tamanho ISO).

Aplicação de controle de acesso em eventos com impressão em silk-screen (tamanho ½ ISO)

Aplicação em automação de venda com impressão em silk-screen (tamanho $^{1}/_{3}$ ISO)

Figura 8 - Exemplos de uso de cartão indutivo

Observa-se que os dois tipos de impressão, “off-set” ou “print-screen” atendem os níveis de qualidade para impressão de cartão voltado para o colecionismo.

5.1.3 Especificação do cartão de energia

Para realizar todas as funções previstas na especificação, o cartão deve conter diversas células para indicação de posicionamento, indicação de lado, identificação da empresa concessionária, valor do cartão, mês do vale energia. O cartão foi projetado está mostrado na figura 9.

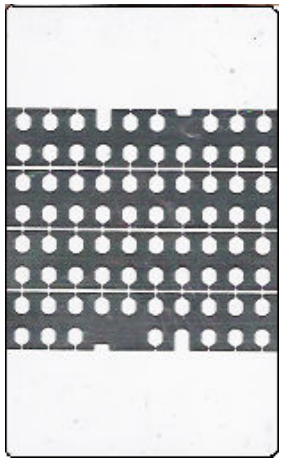


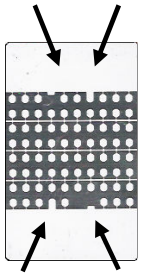
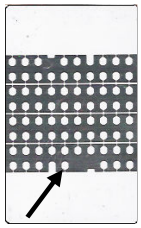
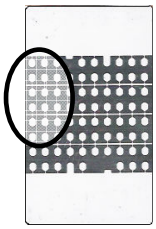
Figura 9 - Estrutura interna do cartão de energia

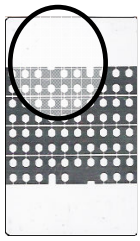
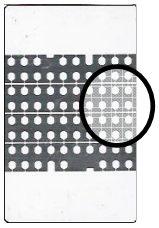
As células foram divididas 5 grupos funcionais: células de presença e ausência, células de indicação de lado de inserção, células de identificação da empresa concessionária, células de identificação do número de lote do cartão, número do mês do vale energia, codificação antifraude e indicação de uso de crédito. As células antifraude foram baseadas na estrutura de proteção de cartão indutivo descrito na patente PI9500538-2 (CANAES *et. al,* 1995). Essa patente prevê o uso de células armadilhas e de células zeradoras. As células armadilhas são colocadas no interior do cartão e se forem alteradas indicam tentativa de fraude e a célula

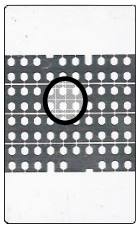
zeradora garante que os créditos do cartão já foram utilizados. O cartão terá 32 células destinadas à energia e 48 células como reserva para futuras aplicações.

A descrição das funções das células está disponível na tabela 7.

Tabela 7 - Descrição das funções das células

Item	Função
1	. Presença e ausência Essas células são fundamentais para determinar o correto posicionamento do cartão na Unidade Leitora (BARDINI, 1991). São pré-formatadas na produção do cartão. 
2	Indicação de lado de inserção. O cartão, segundo especificação pode ser inserido de qualquer lado, assim o software necessita ler duas células para verificação de lado correto de inserção. 
3	Identificação da empresa concessionária: O Brasil possui 64 concessionárias, assim por questões de segurança, a codificação prevê o dobro de empresas. O equipamento só aceitará cartões da concessionária para o qual foi programado em fábrica. Esse número não pode ser alterado em campo para evitar tentativa de fraude. 

Item	Função
4	Número de lote do cartão:  Esse item foi acrescentado por razões segurança. Com esses bits é possível criar 256 lotes. Cada lote possui a indicação de valor de crédito e indicação sua liberação, exemplo: lote 001= 30kWh, .., lote 027= 50kWh,.. lote 110 = não autorizado, .. lote 200 = vale energia de 100kWh (para o Bairro XXXX), lote 201 = vale energia de 100kWh (para o Bairro YYYY). A própria concessionária vai autorizar e especificar o valor de crédito associado a esse cartão. Essa configuração é programada no equipamento e pode ser alterada pela empresa concessionária segundo sua conveniência.
5	Número especial para indicação de mês no caso de cartão vale energia.  O vale energia só pode ser uma única vez por mês e isso é controlado pela indicação por esse número. O total é de 128 meses, ou seja, 10 anos. Para garantir segurança, o mês seguinte possui sempre 2 bits alterados, assim o mês 0 = 0000000, mês 1=0000011, mês 2=00000110. Após encerrar o período total, o mês inicial deve ser reprogramado na unidade leitora..

Item	Função	
6	Codificação antifraude e indicação de uso. Garantia contra a fraude uso e indicação de uso de crédito.	

5.1.4 Descrição de funcionamento da unidade leitora de cartão indutivo

O cartão indutivo é um "memory card" onde os dados estão armazenados em células. A leitura e gravação desse cartão são realizadas por um circuito que utiliza a interação do campo eletromagnético entre o circuito leitor e o cartão. Para cada célula do cartão existe um circuito oscilador associado como mostra a figura.10.

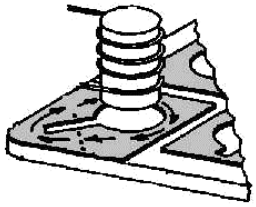


Figura 10 - Modelo de funcionamento de uma célula indutiva

A célula possui um pequeno fusível que é feito de uma liga metálica que está representado na figura 6. O circuito de leitura e gravação é um oscilador e está representado pelo ferrite com diversas espiras enrolas em seu corpo na figura10.

Na verdade a célula corresponde a uma espira fechada e quando uma corrente elétrica variável é gerada no ferrite é induzida uma corrente variável na espira formada na célula do cartão. O conjunto de espirras do ferrite e da célula funcionam respectivamente como o primário e o secundário de um transformador.

Para cada célula do cartão é necessário existir um circuito oscilador sintonizado na placa da Unidade Leitora/Gravadora. Assim, um cartão com 32 células necessita de uma Unidade Leitora com 32 osciladores.

Como existe uma perda de energia com a circulação de corrente na célula é possível medir uma queda de tensão no circuito oscilador da placa. Se a célula é integra, a circulação de corrente provoca uma forte queda de tensão do oscilador. Todavia se a célula estiver interrompida a queda de tensão é baixa. Através da medida da tensão do oscilador é possível verificar o estado do fusível da célula.

Se a energia transferida ao cartão for tal que rompe o “fusível“ existente na célula, teremos um aumento na tensão de oscilação no circuito da placa leitora pois cessa a corrente elétrica que circulava nessa célula.

5.1.5 Especificação da unidade leitora gravadora

Um circuito eletrônico de uma unidade leitora de um cartão com 32 células deveria, a princípio possuir 32 osciladores, um para cada célula. Isso implicaria em um projeto caro e de difícil ajuste em função do número de osciladores. Para resolver esse problema foram utilizados os princípios definidos na Patente Industrial PI8901590-8 (BARDINI, 1989) para simplificar o desenvolvimento. O projeto contém um circuito oscilador central, formado por transistores, indutor e capacitor e mais 32 osciladores locais correspondentes às 32 células,

sendo que esses osciladores são apenas circuitos LC passivos. O circuito tanque é conectado aos osciladores LC através de uma matriz de transistores. Essa configuração diminui o número de componentes, principalmente dos componentes ativos do circuito. A figura 11 apresenta um diagrama esquemático dessa leitora.

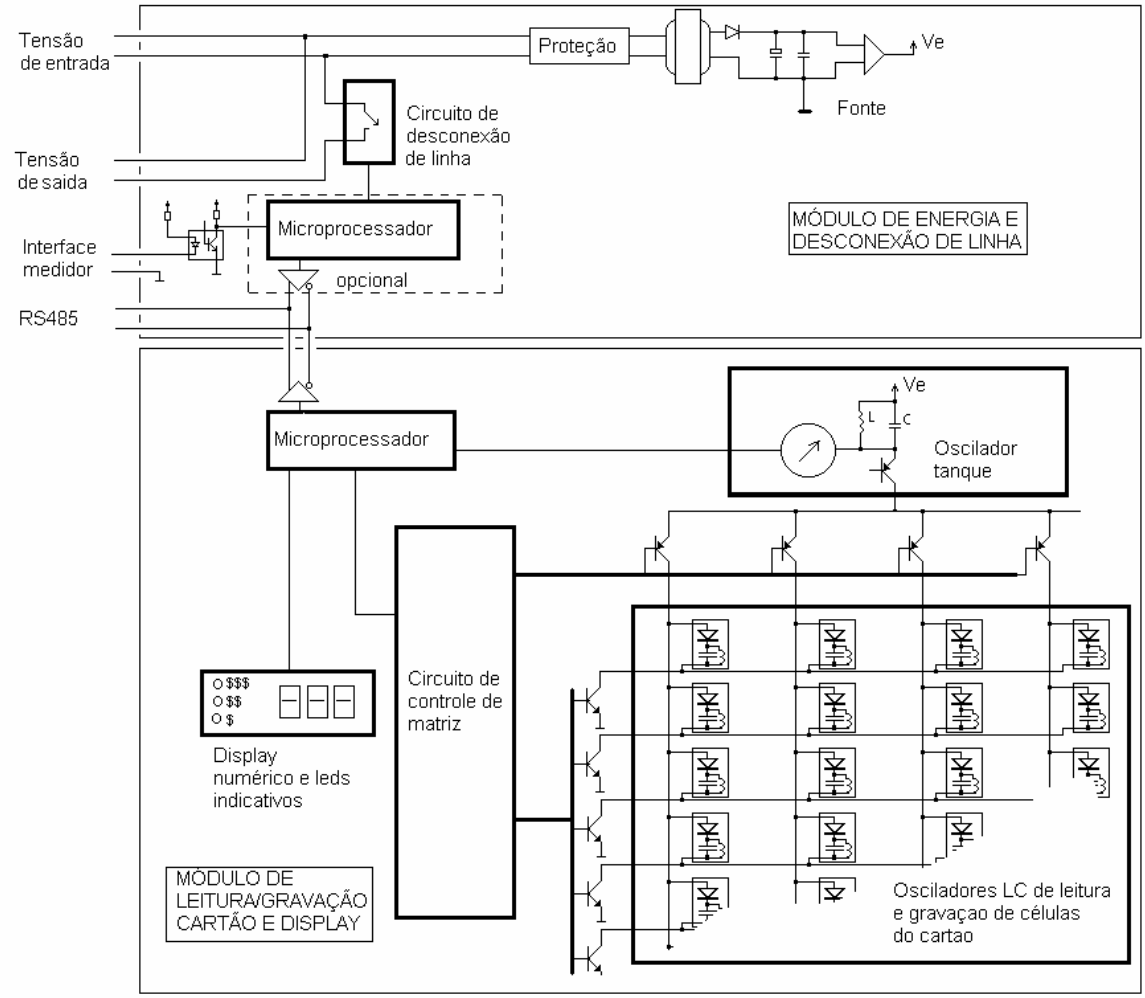


Figura 11- Digrama elétrico da placa leitora gravadora

A sintonia desse tipo de circuito é o item mais difícil de estabelecer. O conjunto possui dois circuitos osciladores, sendo o primeiro o circuito tanque do tipo Colpitts, oscilando em 3,5MHz e o segundo o circuito LC que por sua vez é sintonizado com a célula do cartão. Em cada circuito LC se tem um ferrite que atua como uma "lente" para que o campo eletromagnético seja direcionando ao centro de célula do cartão. Cada circuito oscilador funciona como um dobrador de tensão, assim a tensão de oscilação do circuito tanque é $V_{tanque}=2 \times V_{entrada}$ e a tensão de oscilação do circuito LC é o dobro de V_{tanque} , ou seja, a tensão no oscilador LC $V_{LC}=4 \times V_{entrada}$, sem considerar as perdas. Na prática se tensão $V_{entrada}$ for de 12V, a tensão V_{LC} será em torno de 33V, ao invés dos 48V previstos. A freqüência de oscilação foi ajustada em 3,5Mhz e a leitura do estado da célula é feita através da leitura da tensão de oscilação na saída do oscilador tanque. A corrente envolvida na gravação de uma célula chega a alguns ampères sendo necessária a inclusão de um capacitor eletrolítico na entrada do circuito oscilador. O tempo de leitura de uma célula é de 35 μs e o de gravação em média de 2ms. O tempo de leitura total de um cartão é de 3,6 ms, contando com o gasto de tempo de recarga do capacitor eletrolítico. O tratamento de cartão entre leitura e gravação de crédito deve girar em torno de 10 ms, o que é suficientemente rápido para evitar algum tipo de fraude por parte do usuário.

O conjunto é constituído de dois módulos: o módulo com o display e circuito de leitura/gravação e o módulo de energia com o circuito de desconexão de linha sendo que esse módulo possui um microprocessador opcional. O microcontrolador é instalado apenas quando os dois módulos são instalados em locais diferentes, por exemplo, o módulo de energia no poste com o medidor e o módulo de leitura de cartão no interior da residência do usuário. Quando os dois módulos ficam juntos ao medidor de energia, o microprocessador opcional não é instalado.

O módulo de leitura e gravação possui os seguintes circuitos:

1. Microprocessador, com memória EEPROM, RAM e memória de programação. O processador escolhido foi o 16F870 da Família PIC da Microchip.

2. Circuito de leitura e gravação de dados compreendendo o circuito de controle de matriz, circuito oscilador tanque e matriz de osciladores LC.
3. Interface RS485 para comunicação externa, para envio de dados e para recepção de configuração. Como a interface RS485 é multiponto, pode ser utilizada tanto para envio e recepção de dados, como também para interconexão entre os módulos de display e leitura com o módulo de desconexão e energia;
4. Leds e display numérico para indicação de crédito restante. Os leds foram inseridos para permitir que usuários que não conseguem ler ou tratar números possam verificar a quantidade de créditos de forma mais simples. Está prevista a instalação de um sinal sonoro, substituindo os leds, destinado para pessoas com dificuldade visual;

O módulo de energia e desconexão de linha possui os seguintes circuitos:

1. Fonte de energia, do tipo linear com circuito protetor contra espúrios de tensão de linha. Para proteção do circuito foi escolhida uma combinação de varistor com PTC, como apresentado na figura 12. Em caso de surto de tensão os varistores entram em curto, evitando que o surto atinja os componentes internos. Como os PTCs estão em série como o circuito, a corrente elétrica que passa pelo varistor faz aumentar a temperatura e conseqüentemente a impedância, protegendo o circuito elétrico;

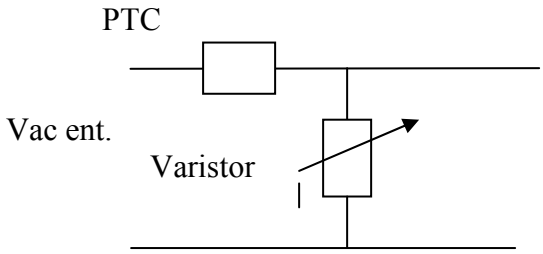


Figura 12 - Circuito de proteção

2. Circuito de desconexão de linha com tecnologia "Latching Relay". Este relé necessita apenas de pulsos para a troca de estado de aberto para conectado ou vice-versa. Esse tipo de tecnologia diminui o consumo de energia além de manter a memória do estado de operação do relé;
3. Interface com medidores de energia que pode ser do tipo pulso ou RS485.

5.1.6 Descrição das interfaces dos medidores de energia elétrica

O projeto prevê o uso de medidores comuns existentes no mercado. Existem 2 tipos básicos de medição: os eletrônicos e os eletromecânicos. Os medidores eletrônicos possuem duas formas de indicação, por pulso ou por interface serial. Alguns medidores eletromecânicos possuem um sistema eletrônico de indicação de consumo em forma de pulsos. O protocolo utilizado na interface serial é aberto como MODBUS[2] e ABNT e a interface pode ser do tipo RS232, RS485 ou ótica.

Medidor eletrônico com interface serial

Embora exista um grande número de modelos de medidores eletrônicos de energia a sua participação no mercado é ainda pequena, principalmente em se tratando do segmento residencial. Nos ensaios de laboratório foram usados equipamentos da Nansem e LadysGyr. No caso da LandisGyr, optou-se pelo do medidor SAGA 1000. Esse medidor pode operar no modo "cash-power", onde recebe créditos de energia através da interface serial e opera um circuito de corte integrado no equipamento.

Os comandos transmitidos pela unidade leitora de cartões possuem 68 bytes e as respostas possuem 260 bytes. Como no protocolo MODBUS, a comunicação é sempre iniciada pela unidade leitora de cartão. Quando uma mensagem é transmitida, podem ocorrer 2 casos: o medidor pode receber a mensagem corretamenteou não.

---

[2] O Modbus é um protocolo de comunicação criado na década de 70, utilizando um acesso do tipo mestre escravo. Faz uso de interface RS232, RS485 ou Ethernet. O mestre, um computador ou um controlador PLC comanda os módulos escravos através de envio de comando ou solicitação de dados. O mestre sempre inicia a conversação, que é composta de um "frame" onde tem o endereço do escravo, o comando a ser executado, uma quantidade variável de dados complementares e uma verificação de consistência de dados.

Caso 1: O medidor recebeu corretamente um pedido

Leitor de cartão		Medidor Saga
Bloco de comando	→	Análise
	←	Resposta

Caso 2: O medidor não recebeu corretamente um pedido de dados

Leitor de cartão		Medidor Saga
Bloco de comando	→	
(time out ± 1ms)		
Bloco de comando	→	Análise
	←	Resposta

Para melhor compreensão da transmissão de mensagem será apresentado um exemplo hipotético onde a unidade leitora de cartão vai inserir 5kWh de energia no medidor que, por sua vez, já possuía 5kWh de créditos armazenados. Nesse exemplo foi determinado que o número da unidade leitora de cartões seja 107329 e que o número do medidor seja 004567.

Comando para inserção de 5kWh no medidor

Octeto	Valor	Descrição
Octeto 1	NN	Códigos exclusivos SAGA
Octeto 2	NN	(não padronizados ABNT)
01	E1	Função de controle de carga
02	10	Número de série do leitor “MSB”
03	73	Número de série do leitor
04	29	Número de série do leitor “LSB”
05	99	Função de crédito
06	03	Crédito de pré-pagamento
07	01	Escrita
08	00	Null
09	05	Valor do crédito “LSB”
10	00	Valor do crédito
11	00	Valor do crédito
12	00	Valor do crédito “MSB”
13	00	Null
	...	
64	00	Null
65	CRC	LSB
66	CRC	MSB

Resposta do medidor para o comando de inserção de 5kWh

Octeto	Valor	Descrição
Octeto 1	NN	Códigos exclusivos SAGA
Octeto 2	NN	(não padronizados ABNT)
01	E1	Função de controle de carga
02	00	Número de série do medidor “MSB”
03	45	Número de série do medidor
04	67	Número de série do medidor “LSB”
05	99	Função de crédito
06	03	Crédito de pré-pagamento
07	01	Escrita
08	00	“Null”
09	00	Modo pré-pagamento habilitado
10	05	Valor do crédito inserido “LSB”
11	00	Valor do crédito inserido
12	00	Valor do crédito inserido
13	00	Valor do crédito inserido “MSB”
14	0A	Valor total (inserido+ valor armazenado) “LSB”
15	00	Valor total (inserido+ valor armazenado)
16	00	Valor total (inserido+ valor armazenado)
17	00	Valor total (inserido+ valor armazenado) “MSB”
18	00	“Null”
…	--	
256	00	“Null”
257	CRC	“LSB”
258	CRC	“MSB”

Por aderência à norma ABNT é necessário preencher os octetos não utilizados com “Null”.

Deve ser utilizado o seguinte algoritmo para cálculo do CRC:

```
void calc_crc(unsigned char data)
{
        unsigned int rbit, b;

        crc ^= (unsigned char) data;
        for (b=0; b < 8; b++) {
                rbit = crc & 1;
                crc >>= 1;
                if (rbit) crc ^= 0xa001;
        }
}
```

Medidores eletromecânicos ou eletrônicos com saída digital

Medidores eletromecânicos ou eletrônicos com saída digital enviam pulsos de sinal indicando o consumo de energia. Os medidores Nansem modelos KY possuem uma interface de saída conforme circuito indicado na figura13.

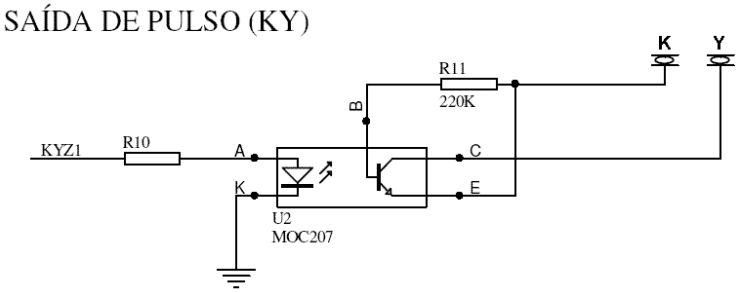


Figura 13 - Circuito de saída de um medidor Nansem da família KY

As linhas K e Y são ligadas na interface de medidor da unidade leitora indicada na figura 11. No caso do medidor Nansem com Ke=0,4 Wh/pulso, os pulsos obtidos entre as linhas K e Y indicam o consumo de 0,4Wh. A constante Ke depende do modelo e marca do medidor.

Nesse tipo de aplicação, a unidade leitora gravadora fará o controle dos créditos e fará a interrupção do fornecimento de energia quando necessário.

No caso de medidores eletromecânicos com saída digital, normalmente o pulso indica um consumo de 0,9 Wh. Na verdade o disco do medidor é dividido em quatro partes e a cada ¼ de volta o leitor óptico gera um semipulso. Enquanto que no medidor eletrônico o pulso tem a duração fixa de alguns milisegundos, nos medidores eletromecânicos a duração do pulso depende da velocidade de rotação do disco do medidor.

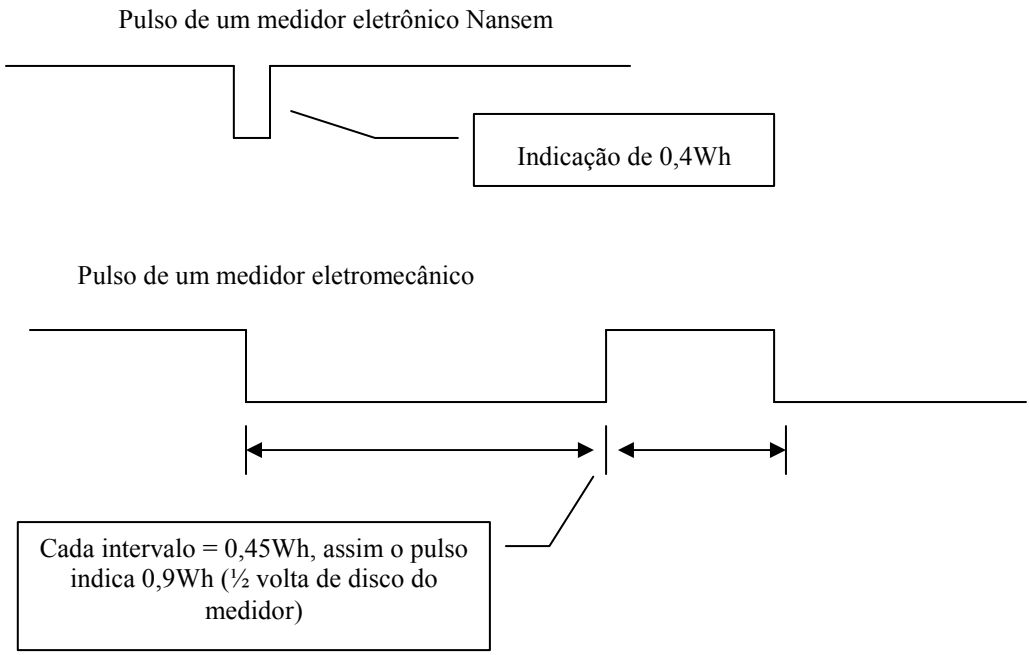


Figura 14 - Formas de onda de medidores

Medidores eletromecânicos

É possível adaptar medidores eletromecânicos de uma forma geral. O circuito eletrônico necessário é simples, mas necessita de uma adaptação mecânica específica para cada equipamento e uma configuração adequada no software. O adaptador é um circuito óptico montado no mecanismo dos ponteiros. A relação de voltas da engrenagem é diretamente proporcional à quantidade de energia mostrada nos ponteiros (ver figura 15).

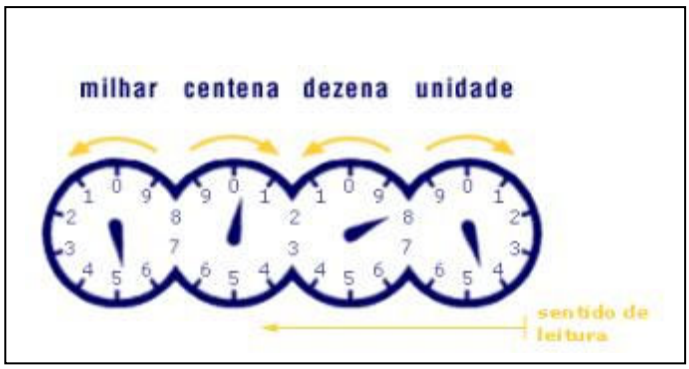


Figura 15 - ponteiros do relógio energia elétrica

Como cada engrenagem tem furos em seu corpo, a unidade leitora passa a medir o número pulsos que o sensor ótico lê no giro dessa engrenagem. Em um relógio de um medidor GE, no consumo de 1kWh são contabilizados 19 pulsos na 1ª engrenagem do mecanismo.

Essa montagem não prescinde das operações de regulagem do mecanismo do medidor o que pode implicar na necessidade de testes de homologação do produto. A solução é viável, mas demanda uma mão de obra especializada para a adaptação do mecanismo e aferição de cada modelo. É necessária uma análise técnico-econômica dessa proposta

.

5.2 Projeto sistêmico

O sistema é constituído de unidade leitora/gravadora de cartão com interface para operar com medidores eletrônicos através da RS485 ou por pulsos. É possível ter duas configurações de montagem, uma em que a unidade de cartão e a unidade de desconexão de linha estão juntas e outra onde essas unidades estão separadas sendo que o módulo de leitura e gravação de cartão é instalado na residência do usuário e o módulo de desconexão de linha fica junto ao medidor no poste de energia. Essa separação implica no custo adicional de um microprocessador e de uma interface RS485[3]. Todavia, além da vantagem de tornar a operação de introdução do cartão mais ergonométrica para o usuário, possibilita instalar o medidor de energia no poste o que é uma das formas de combate ao furto.

A figura 16 apresenta a montagem da unidade leitora de cartão com um medidor eletrônico. Nesse caso, o medidor possui circuito de desconexão de linha e display.

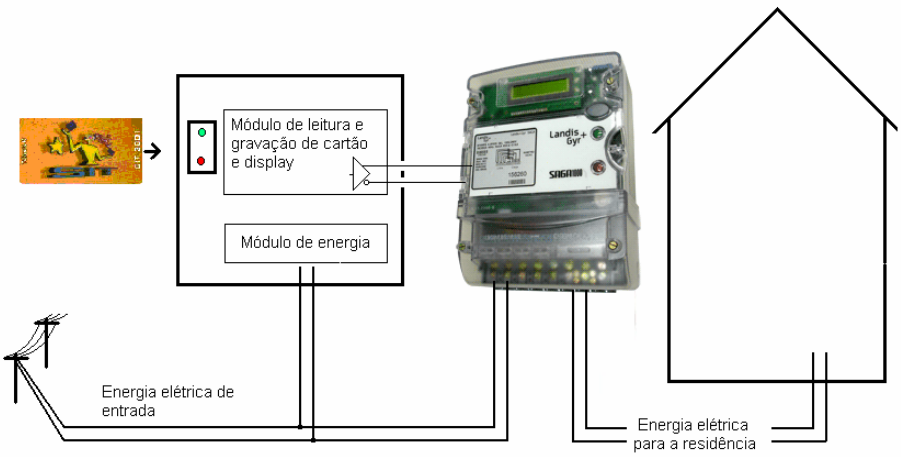


Figura 16 - Sistema implementado com medidor eletrônico
com circuito de desconexão de linha integrado

[3] A interface RS485 é uma interface padrão similar à interface serial RS232 que são utilizadas na maioria dos micros. Contudo a interface RS485 permite uma distância entre os equipamentos muito maior que a RS232,

A figura 17 apresenta uma unidade leitora de cartão com um medidor eletrônico cuja saída é em forma de pulsos. A unidade leitora possui o circuito de desconexão de linha e todo conjunto é montado junto ao medidor de energia elétrica,

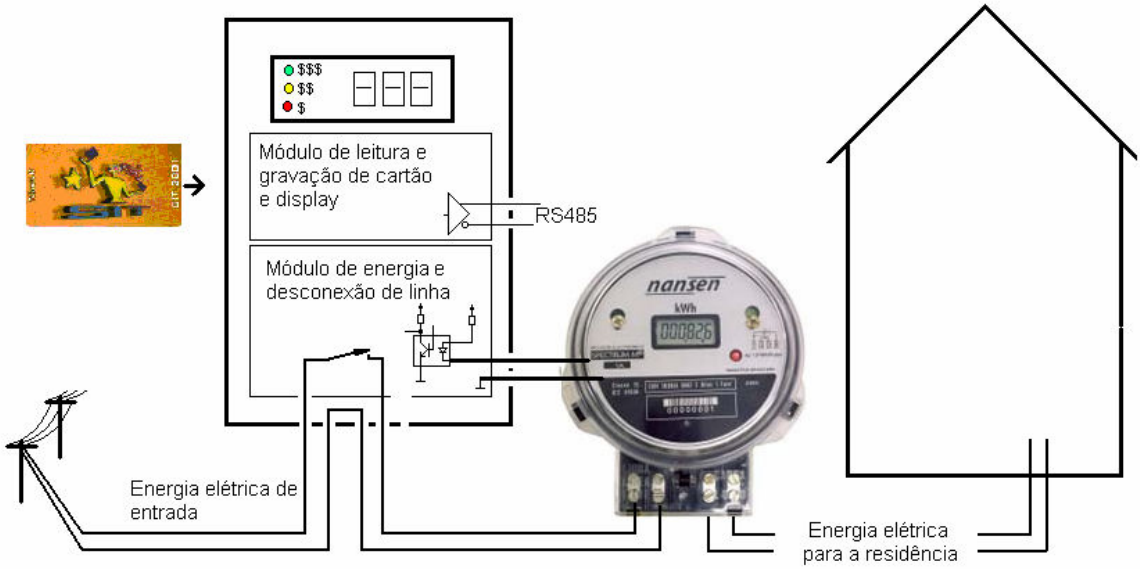


Figura 17 - Sistema operando com medidor eletrônico com saída em forma de pulsos

chegando até 1000 metros quando a velocidade de transmissão é de 9600Bauds. Essa interface é muito utilizada em automação industrial devido a sua robustez e facilidade de instalação.

A figura 18 apresenta uma montagem onde a unidade leitora de cartão está colocada no interior da residência do usuário enquanto que o medidor fica instalado na caixa de energia na entrada da residência ou mesmo no poste de energia. A comunicação entre o módulo de leitura e o módulo de desconexão de linha é através da interface RS485. É necessária a instalação de um microprocessador adicional para realizar a comunicação e para controlar a desconexão de linha.

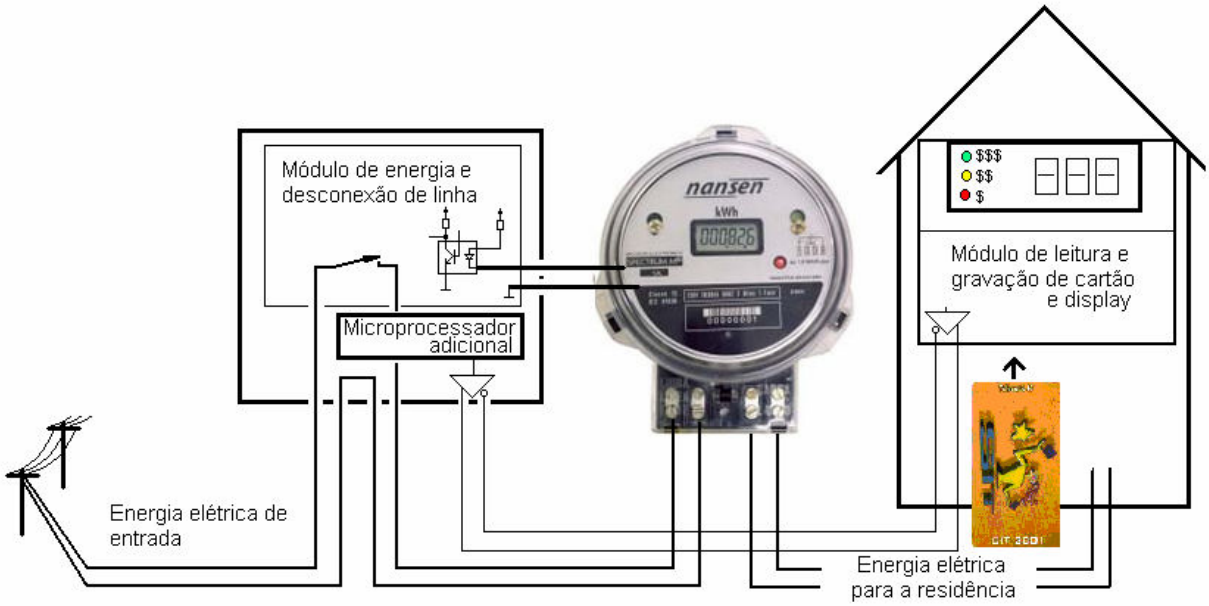


Figura 18 - A unidade leitora de cartões e medidor estão instalados separadamente

6. Implementação do projeto

6.1 Implementação do hardware

Para realizar o projeto foram escolhidos três tipos de medidores:

1. Medidor eletrônico com saída serial: medidor SAGA 1000, marca LandisGyr, o qual possui o sistema de desconexão de linha integrado;
2. Medidor eletrônico com saída em forma pulso: medidor Spectrum M, marca Nansem e Apolo 6001 marca FAE;
3. Medidor eletromecânico com saída em forma de pulso: medidores Schlumberger SLI621 (atual Actaris) e ABB M8C (atual LandisGyr).

A placa unidade leitora gravadora foi implementada em dupla face com dimensões de 90x53mm e utilizou componentes SMD e normais. A figura 19 mostra uma foto da unidade leitora gravadora montada. O processador possui memória EEPROM para armazenamento de dados.

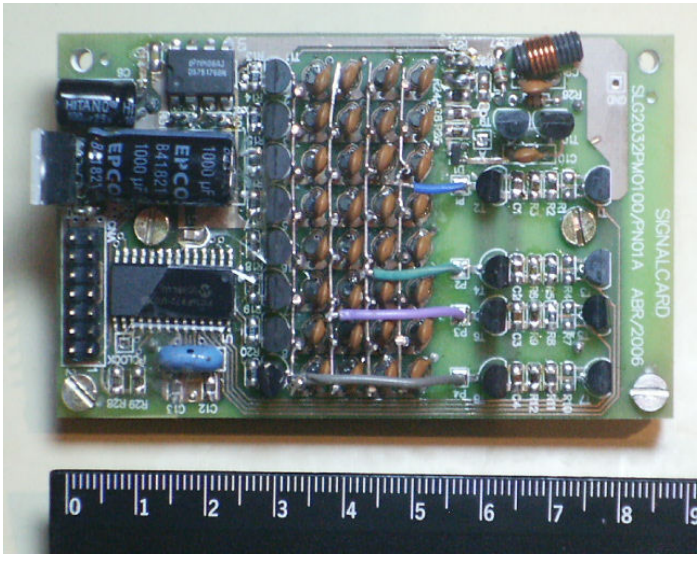


Figura 19 - Unidade leitora gravadora montada

6.2 Implementação do software

O software foi desenvolvido utilizando uma metodologia denominada SYSWARE (MIGUEL, 1992). Essa metodologia está fundamentada no desenvolvimento lógico do sistema e se inicia com estabelecimento das funções lógicas e de suas interfaces, sem levar em consideração as divisões físicas.

A especificação de sistema prevê a existência de uma série de facilidades que necessariamente serão desenvolvidas ao longo do tempo e, algumas delas, só serão implementadas nas próximas versões. A metodologia permite o particionamento do desenvolvimento do projeto de tal modo que novas funções sejam agregadas sem a necessidade de reescrever o aplicativo que está pronto. Por exemplo, a tarja de dobre e destaque do cartão e o sistema de coleta de dados não foram implementados na versão descrita nessa dissertação.

O primeiro passo da metodologia é a definição dos serviços, dos usuários e das interfaces. Usuário nesse caso não significa o consumidor da energia elétrica, mas tem um sentido mais amplo significando qualquer usuário dos serviços disponíveis no sistema como consumidor, medidor de energia, coletor de dados, etc. A metodologia prevê a divisão de qualquer sistema em 4 áreas:

- Interface lógica (trata do protocolo para realizar os serviços)
- Interface física (trata da transmissão e recepção de dados)
- Serviços internos (realizam os serviços do sistema)
- Serviços externos (auxiliam na realização dos serviços, mas são implementados fora do sistema)

A figura 20 apresenta o detalhamento sistêmico do projeto com a definição de todas as funções. Cada função é descrita em uma máquina de estado.

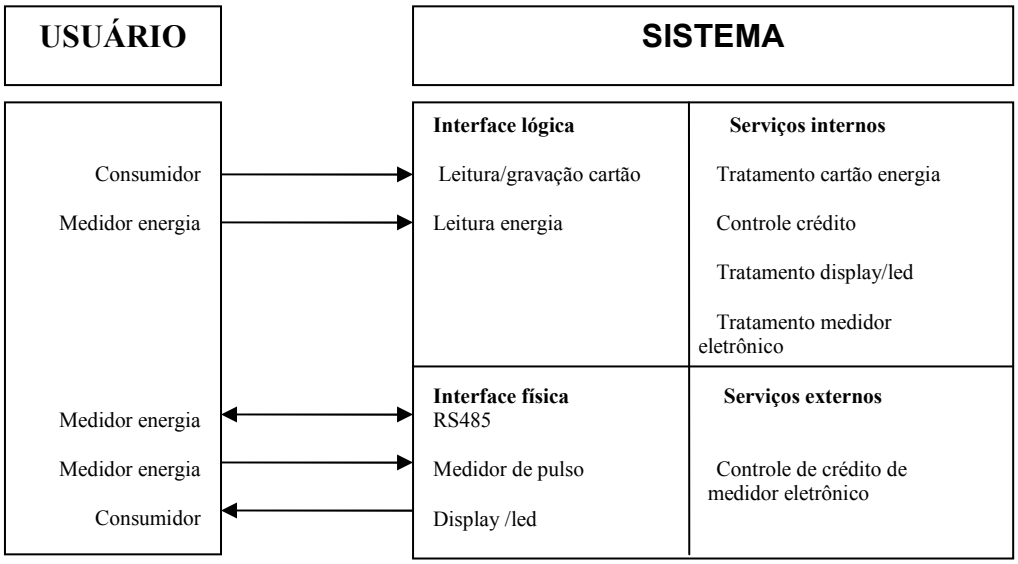


Figura 20 - Detalhamento sistêmico

As 12 funções são as seguintes:

1. CONS - Consumidor
2. MENE -Medidor de energia
3. LGC - Leitura/Gravação do cartão
4. LENE - Leitura de energia do medidor
5. TCEN - Tratamento cartão energia
6. CRED - Controle de crédito
7. TMPD - Tratamento de display/led
8. MELT - Tratamento medidor eletrônico
9. R485 - RS485
10. IPUL - Interface elétrica do medidor de pulso
11. CEXT - Controle de crédito externo pelo medidor eletrônico
12. DISP - Controle de display

Essas funções interagem entre si e para cada uma das interações é criada uma interface. As 9 interfaces mais importantes denominadas IT1, IT2..., IT9 estão mostradas no mapa das interações entre funções na tabela 8.

Tabela 8 - Mapa das interações entre as funções do sistema

	CONS	MENE	LGC	LENE	TCEN	CRED	TMPD	MELT	R485	IPUL	CEXT	DISP
CONS consumidor			IT1									
MENE medidor energia				IT9		IT8						
LGC leit./grav. cartão					IT2	IT3		IT4				
LENE leitura energia												
TCEN trat. cart energia												
CRED cont.crédito												
TMPD trat.med.eletr.												IT5
MELT med.eletrônico									IT7		IT6	
R485 RS485												
IPUL interface pulso												
CEXT créd.externo												
DISP display												

As interfaces são descritas em máquinas de estado cuja sintaxe está indicada na figura 21.

Figura 21 - Sintaxe de uma Máquina de estado

6.2.1 Descrição das interfaces

Dentre as diversas interfaces do sistema serão apresentadas três interfaces a título de exemplo, a saber, IT1, IT2 e IT3.

A Interface 1 (IT1) descreve a interação entre as funções “Consumidor” e “Leitura/ Gravação do Cartão”. Verifica-se que o “Consumidor” também é modelado e descrito como uma máquina de estado, como mostra a figura 22.

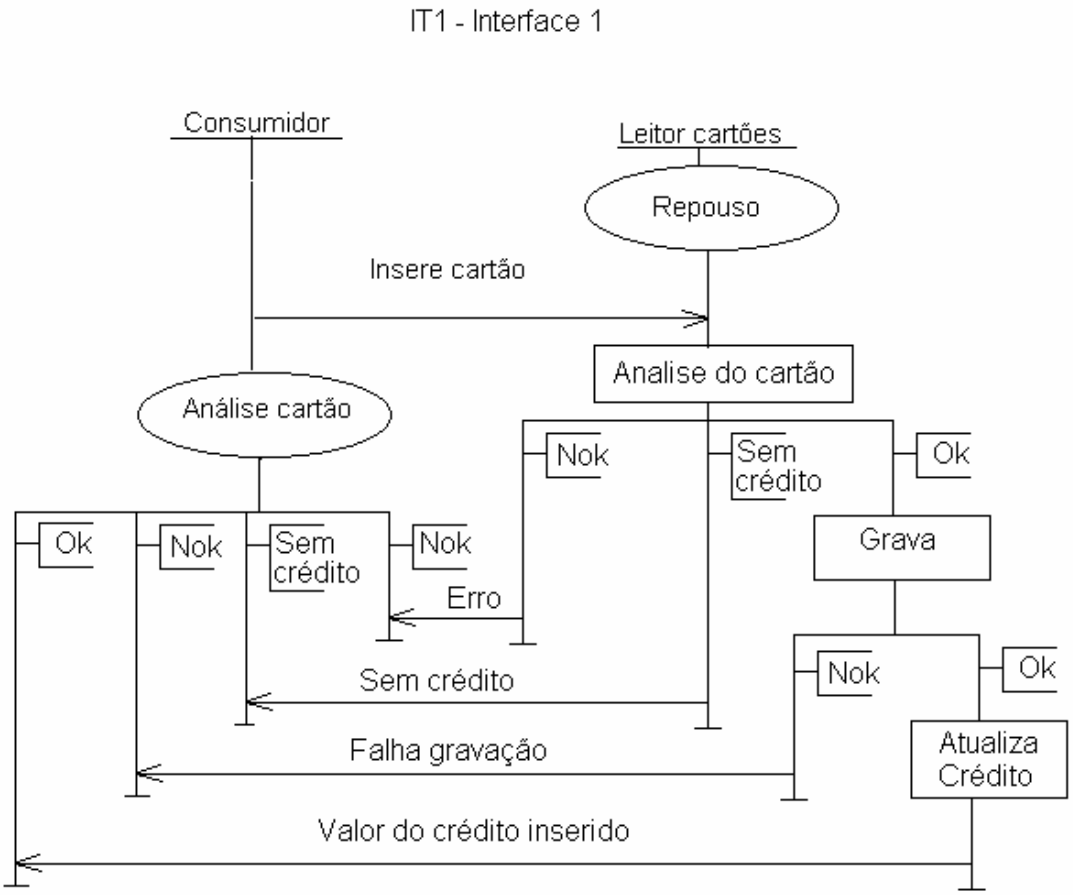


Figura 22 - Máquina de estado IT1

Na descrição da máquina de estado existem três quadrados que representam as atividades: **Análise do Cartão, Grava** e **Atualiza Crédito**. A atividade **Análise do Cartão** está detalhada na Interface 2 (IT2) como mostra a figura 23. Essa interface trata do relacionamento entre as funções "Leitura/Gravação de Cartão" e "Tratamento de Cartão Energia". Quando outros tipos de cartões forem implantados como o de água ou o de gás deverão ser implementadas novas funções específicas para esses tipos de cartão. A atividade **Atualiza Crédito** está detalhada na figura 24 e corresponde à Interface 3 (IT3).

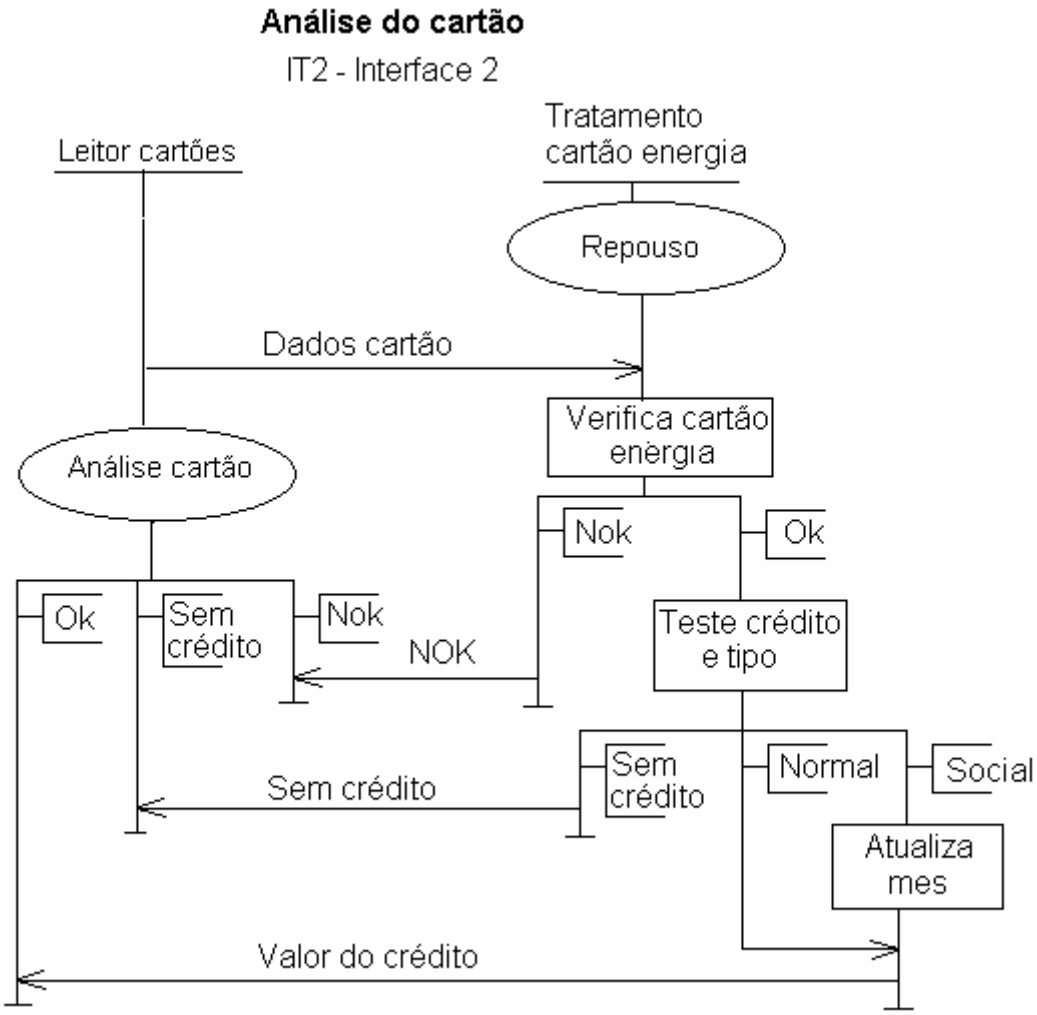


Figura 23 - Máquina de estado IT2

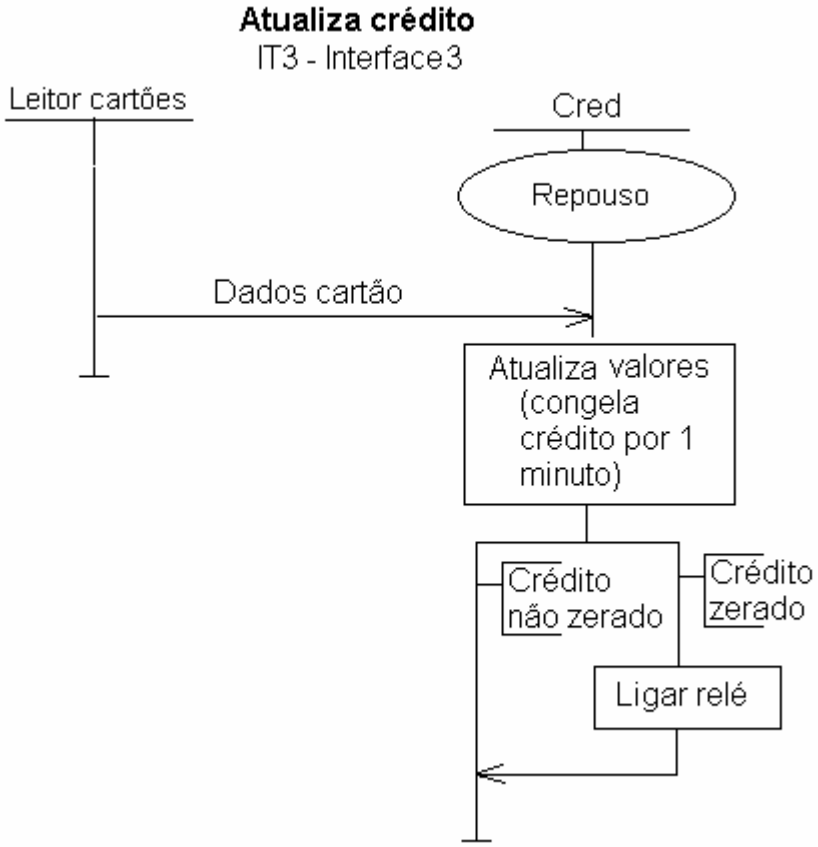


Figura 24 - Máquina de estado IT3

O enfoque dado nessa etapa de projeto é a descrição lógica do problema, sem ainda descrever como essas funções são implementadas fisicamente. A implementação física é detalhada na fase denominada Mapeamento Físico Funcional.

6.2.2 Mapeamento físico funcional

As funções do software que foram definidas na fase anterior são agrupadas ou distribuídas em diversos processos. Os processos são compilados conforme tipo de medidor utilizado. No aplicativo final todos os processos são gerenciados por um monitor que faz uma varredura em

ciclos de 5ms. O monitor ativa um processo em cada ciclo e, esse processo verifica quais os sinais que recebeu, dispara as atividades pertinentes e faz envio de sinais para outros processos.

Cada processo tem um byte para definir o número de seu estado e alguns bytes para armazenar os dados que correspondem aos sinais que são transmitidos a outros processos. Por exemplo, o processo de **Trata Cartão** lê e grava o cartão do usuário e manda sinais para o processo **Trata Crédito**. Quando o processo **Trata Crédito** for ativado ele liga relé se necessário e solicita atualização de "display". Cada processo não interfere com outras atividades do outro processo, apenas solicita seu serviços.

Nesse projeto foram criados 9 processos, sendo que a montagem final do aplicativo utiliza apenas 8:

1. Monitor de controle
2. Processo trata cartão;
3. Processo trata crédito e Processo de envio de dados para medidor (são excludentes e são compilados de acordo com o tipo de medidor escolhido);
4. Processo "display/led";
5. Processo tratamento de recepção de dados;
6. Processo tratamento de transmissão de dados;
7. Processo de tratamento de camada física de dados (envio/recepção);
8. Processo de auto teste da unidade leitora de cartões.

O aplicativo final utiliza 1,7 kbytes de programa, 96 bytes de RAM e 63 bytes de EEPROM. Foi desenvolvido em "assembler" em ambiente MICROCHIP MPLAB IDE v7.30 sobre uma plataforma "Windows 98". Para depuração do aplicativo foram utilizados os recursos simulação e emulador MPLA ICD-2.

6.3 Teste e coleta de dados

Os testes foram realizados no Laboratório de Calibração do IEE. A configuração de teste está mostrada na figura 25. O medidor padrão utilizado para comparação de resultados foi o LandisGyr TVE102/3. Os pulsos foram medidos em um osciloscópio digital de 60MHz marca Agilent. A carga foi uma feita com lâmpadas, ou seja, uma carga real gerando uma corrente de I=2,5A. A tensão de entrada foi de V=115Vac. Nesses testes foram utilizados os medidores eletrônicos Nansen Spectrum M, FAE Apolo 6001 e medidores eletromecânicos Schlumberger SLI621 e ABB M8C.

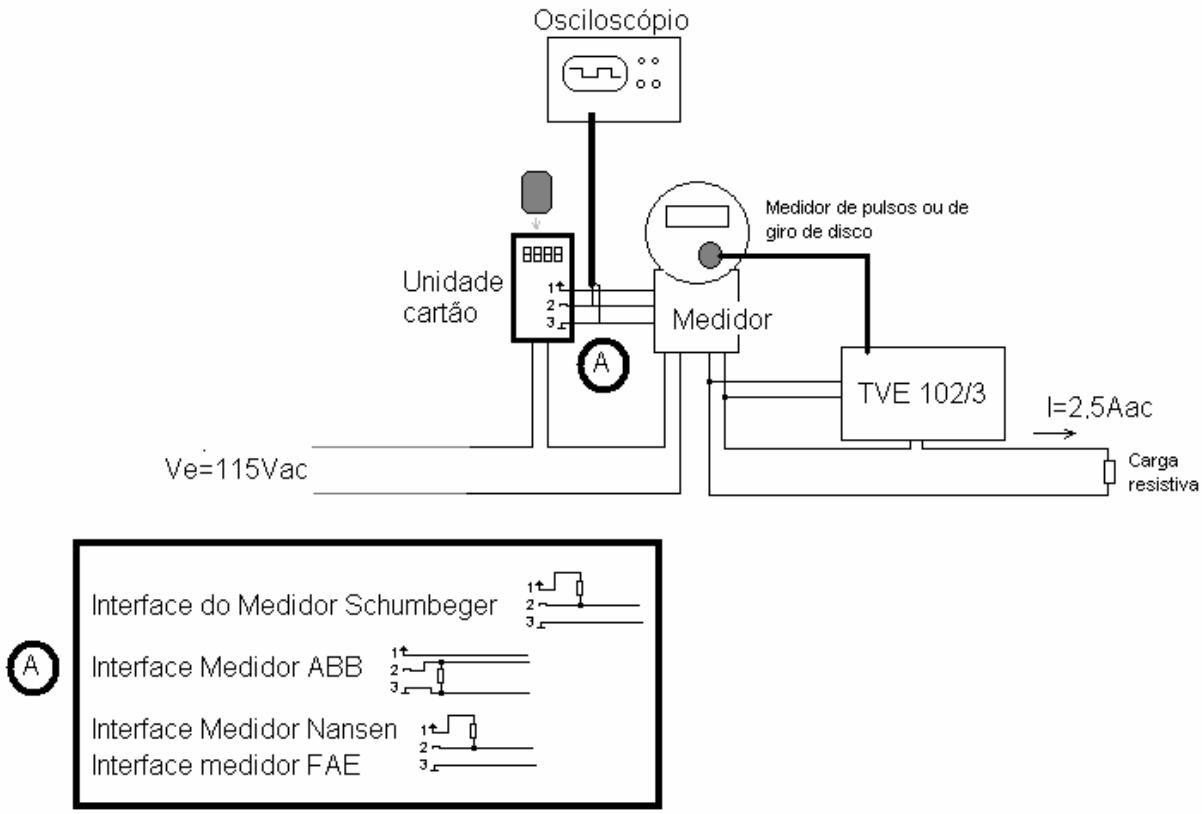


Figura 25 - Esquema do teste em laboratório

Os objetivos do teste foram o de verificar se o consumo de energia indicado na Unidade Leitora de Cartão foi o mesmo que o indicado no medidor padrão TVE102/3 e constatar o corte energia ao término dos créditos.

O medidor TVE102/3 conta o número de pulsos ou o número de voltas do disco do medidor de energia e compara com consumo real na carga. Para esse teste foram preparados seis cartões diferentes. Em uso normal, esses cartões teriam os seguintes valores: cartão de R$10,00 com 40kWh, cartão de R$20,00 com 80kWh, cartão de 30kWh e dois cartões sociais de 100kWh. Entretanto, para facilitar a realização dos testes, os créditos dos cartões foram programados com outros valores, respectivamente de 4Wh, 8Wh, 30Wh e 10Wh. Sendo que o ciclo dos cartões sociais foi reduzido de 36 meses para apenas 2 meses.

A figura 26 mostra uma foto da bancada de teste do sistema.

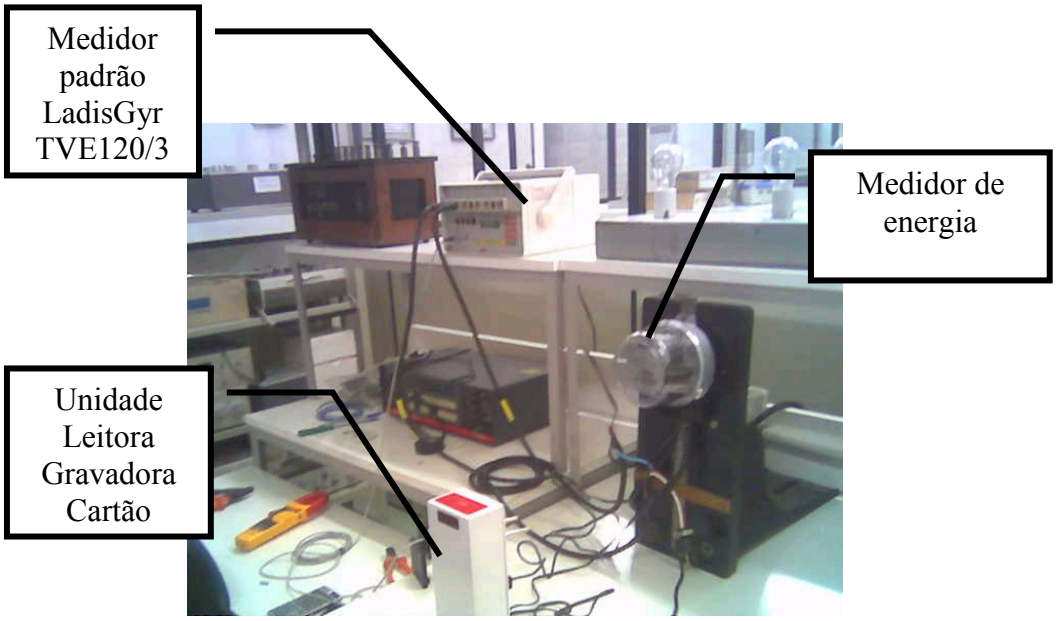
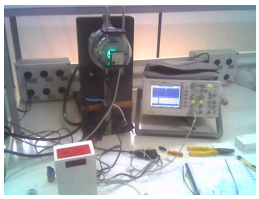
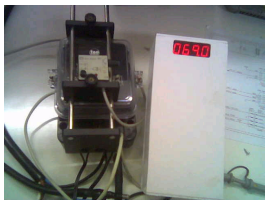


Figura 26 - Foto geral do teste em laboratório

Para a realização dos testes foi inserida uma quantidade inicial de Wh com cartões e ao fim dos créditos foi verificado o corte da eletricidade. Para a validação do consumo de energia foi realizada uma comparação entre o valor no display da Unidade Leitora com o valor lido pelo

medidor padrão LandisGyr TV102/3. Os valores iniciais e finais de cada teste foram aleatórios, para simular condições reais de operação. Os resultados estão disponíveis na tabela 9.

Tabela 9 - Resultado dos testes de laboratório

Equipamento	Valor inicial inserido (Wh)	Valor final medido (Wh)	Δ medida (Wh)	Δ padrão (Wh)	Erro Percentual (%)
Schlumberger I1621 	125	35,9	89,1	87,8	1,5
ABB M8C	113,0	24,8	88,2	87,62	0,7
Nansem Spectrum M	124,4	104,8	19,6	19,58	0,0
FAE Apolo 6001 	86,5	71,5	15	15,31	2,0

Os erros dos medidores eletromecânicos são maiores do que os eletrônicos devido fato de que o equipamento padrão mede voltas do disco e a Unidade Leitora mede pulsos a cada ¼ de volta, ou seja, o sistema pode apresentar uma diferença de até uma volta de disco entre as duas medidas, ou seja de 1,8Wh.

Fato similar ocorre com o medidor da FAE, cujo Ke do pulso tem o valor de 0,315Wh, sendo que o aplicativo Unidade Leitora de Cartões contabiliza 8 pulsos para decrementar 2,5Wh do crédito existente. O menor erro é no medidor Nansem, pois cada pulso equivale a 0,9Wh de decréscimo, não apresentando diferença de fase entre o medidor padrão e os créditos na Unidade de Cartão. Os testes foram validados pelo Laboratório de Calibração do IEE cujo relatório encontra-se no Anexo-A.

6.4 Análise e interpretação dos resultados

Todos os cartões testados tiveram resultado positivo, sejam os cartões comuns como os cartões sociais. Os testes indicaram que os pulsos gerados pelos medidores apresentaram erros inferiores aos aceitos pela classe de operação.

7. Análise de viabilidade econômica

O estudo sobre viabilidade econômica do projeto tem um caráter preliminar e busca avaliar se o projeto está próximo de uma viabilidade econômica para uso normal comparando o seu custo com o de um medidor elétrico normal sem as características de um sistema de pré-pagamento.

A análise levou em consideração dados do Plano Decenal de Expansão 2000-2009 e dados extra-oficiais da ABINEE. Foi estimada a taxa de reposição dividindo-se a diferença entre o total de medidores comercializados ao ano (dados ABINEE) e número de medidores novos (extraído da taxa de crescimento de consumidores fornecida pelo Plano Decenal) pelo número total de consumidores residenciais. Obteve-se então, uma taxa de reposição do parque instalado de 4,8%, o que corresponde a uma vida média útil de cerca de 20 anos para medidores.

Estima-se que o mercado a ser atingido seja de 10% em uma taxa progressiva de 30% aa com uma produção inicial de 20.000 unidades. O "break-even" do projeto ocorre no terceiro ano como mostra o estudo da figura de mérito do custo de ciclo de vida entre sistema convencional e sistema de pré-pagamento.com uso de cartão.

1- Custos de instalação:

Medidor monofásico eletrônico:	R$ 150,00
Instalação [4]:	R$ 32,00
Treinamento instalador[5]:	R$ 0,57
Total:	R$ 182,57
Medidor com cartão:	R$ 375,00
Instalação:	R$ 32,00
Treinamento instalador:	R$ 0,57
Total:	R$ 407,57

[4] Custo médio da CPFL, fonte CPFL.
[5] Custo estimado: 2% do custo do salário com 4 instalações/dia

2- Custos de comunicação social, marketing e ação social (dados obtidos Eletropaulo).

Número de usuários:	5.000.000
Conta publicitária anual:	R$ 200.000.000,00
Ação social da empresa (valor estimado):	R$ 10.000.000,00
Custo mensal publicidade por usuário:	R$ 3.33
Custo mensal de ação social por usuário:	R$ 0,17

3- Receita de uma residência com o sistema convencional e/ou pré-pago

Preço médio do kWh:	R$ 0,31
Custo unitário do cartão:	R$ 0,44

A tabela 10 apresenta uma comparação do custo de operação de um sistema pré-pago e convencional.

Tabela 10 – Custeio de operação de um sistema convencional e pré-pago

	Convencional (R$)		Pré-pago (R$)	
Consumo mensal (monofásica) de 206kWh		62,83		62,83
Leitura, emissão da fatura e cobrança [1]		-1,90		
Inadimplência e fraude	(7%)[1]	-4,40	(1%)[2]	-0,63
Comunicação e propaganda por usuário [3]		-3,33		-1,67
Custo médio da ação social [3]		-0,17		-0,08
Custo médio de venda de 2 cartões / mês [4]				-0,88
Ganho com colecionismo do cartão (1%) [5]				+0,62
Ganho financeiro com a pré-venda (1,5%) [6]				+0,94
Total líquido		51,78		61,13

[1] valor médio fornecido pela CPFL

[2] O sistema de pré-pagamento com cartão instalado conforme figura 18 com separação entre medidor e unidade leitora deve permitir uma queda substancial nas perdas comerciais tornando esse índice próximo ao observado em países desenvolvidos.

[3] O cartão de energia passa a ser um fator de comunicação da concessionária com os seus usuários permitindo inclusive a introdução de novas formas de atividades de ação social, como por exemplo, trocar cartões por computadores para inclusão digital. Com o uso do cartão será possível prever uma diminuição de gastos da concessionária na propaganda e nas ações sociais.

[4] O preço do cartão situa-se em torno de R$0,40 à R$0,50, conforme a escolha de impressão. Foi estimado um custo intermediário de R$0,44.

[5] O colecionismo no setor de telecomunicações gera cerca de 3% de ganho no mercado de cartões de telefones públicos. Hoje existem cerca de 150.000 aficionados por coleção de cartões segundo a

Associação Brasileira de Colecionadores de Cartões Telefônicos. O ganho obtido nesse caso vem do fato que um cartão sem uso tem maior valor para o colecionador. O cartão energia deve ter um tratamento de impressão externa semelhante ao realizado pelo cartão de telefonia e assim conseguir entrar no mercado de colecionismo. Como é um negócio emergente é razoável supor que os ganhos seriam menores que o observado no cartão telefônico e assim está sendo estimado um valor de ganho de 1%.

(6) Como a venda no sistema de pré-pagamento antecipa o faturamento em cerca de 40 dias em relação do processo usual de cobrança, é possível supor uma taxa de até 1,5% de rendimento no mercado financeiro nesse período.

A tabela 11 apresenta a análise de ciclo de custo de vida entre um sistema convencional e um sistema de pré-pagamento para 10.000 usuários. O objetivo dessa análise é verificar quando o VLP (Valor Líquido Presente) passa a apresentar valores positivos. Nesse momento o projeto torna-se mais lucrativo em relação à taxa de desconto utilizada. Taxa de desconto é a taxa de juro do mercado financeiro. Essa figura de mérito utiliza os dados de capital, de receita e de depreciação para então calcular o lucro e o fluxo de caixa descontado.

O CAPEX, uma sigla derivada da expressão "Capital Expenditure", é o investimento total e é calculado pela diferença do investimento de cada sistema que está sendo comparado, ou seja, entre o investimento no sistema convencional e no sistema pré-pagamento a cartão. A Receita é a diferença entre valor recebido entre os dois sistemas. A Depreciação foi calculada como sendo 5% ao ano e a Taxa de desconto estipulada em 20% que é um patamar realista no Brasil.

O lucro é a diferença entre receita e a depreciação. Para cálculo do fluxo de caixa é necessário subtrair o capital investido, que nesse caso existe apenas no primeiro ano que é a data de instalação do sistema. O fluxo de caixa descontado utiliza a seguinte fórmula:

$$\text{Fluxo de caixa descontado} = \frac{\text{Fluxo de caixa}}{(1+\text{taxa de desconto})^{\text{ano}}}$$

O VLP, Valor Líquido Presente é soma do valor líquido do mês anterior com o fluxo de caixa descontado do mês atual. Na Tabela 11 verifica-se que a partir do 3º ano o sistema de pré-pagamento passa a apresentar valores positivos, quando então o projeto passa a ser superavitário.

Tabela 11 – Custo de ciclo de vida entre sistema convencional e o de pré-pagamento

Descrição	Ano1 R$	Ano2 R$	Ano3 R$	Ano 4 R$	Ano 5 R$
Taxa desconto	20%				
Investimento no Sistema Convencional	1.825.700,00				
Investimento no pré-pagamento a cartão	4.075.700,00				
Receita	1.122.000,00	1.122.000,00	1.122.000,00	1.122.000,00	1.122.000,00
CAPEX	2.250.000,00				
Depreciação	203.785,00	203.785,00	203.785,00	203.785,00	203.785,00
Lucro	918.215,00	918.215,00	918.215,00	918.215,00	918.215,00
Fluxo caixa	-1.331.785,00	918.215,00	918.215,00	918.215,00	918.215,00
Fluxo caixa descontado	-1.331.785,00	765.179,17	637.649,31	531.374,42	442.812,02
VLP	**-1.331.785,00**	**-566.605,83**	**71.043,47**	**602.417,89**	**1.045.229,91**

Análise do custo do vale energia

A título de exemplo, será analisada a hipótese de inclusão de 450.000 usuários clandestinos na área de operação da Eletropaulo a qual já possui 5,3 milhões de consumidores cadastrados. Nesse exemplo, os novos usuários irão receber mensalmente um cartão social de 100kWh

utilizando os descontos da Subclasse Residencial Baixa Renda. O custo desse cartão seria da ordem de R$19,00 sendo que:

- Valor kWh=R$ 0,315
- Valor subsidiado para Subclasse Residencial Baixa Renda
  até 30kWh (65% de desconto)= R$ 0,11/kWh
  de 30kWh até 100kWh (40% de desconto)= R$ 0,19/kWh
  Total de 100kWh = R$16,53
- ICMS (alíquota de 18%) = R$ 3,63
  COFINS (9,75%) = R$1,61
  PIS (1,2%) = R$0,02
  Total = R$ 21,79

No caso de vale energia o custo cairia abaixo dos R$ 16,53, pois ainda é necessário descontar os impostos incluídos no custo da energia comprada pela concessionária. Mas realizando a análise com a manutenção dos impostos, o custo de R$21,00 rateado pelo total de consumidores seria de R$1,85/usuário. Em contrapartida, com a diminuição da perda comercial, o preço da energia para o consumidor final também irá diminuir.

8. Introdução a sistemas não intrusivos

As perdas comerciais são resultado majoritariamente da inadimplência e do furto. O furto, inclusive, não mais está associado à questão do consumidor de baixa renda, pois o problema é observado em outros segmentos de classe social. A possibilidade de introduzir eletrônica junto à medição do usuário, permitirá a implementação de diversos recursos para dirimir os problemas relacionados às perdas comerciais:

- Pré-pagamento: solução adequada para diminuir os problemas de inadimplência
- Separação entre leitor de cartões e medidor, sendo um na casa do usuário e outro no poste para evitar ações de furto
- Introdução de sistemas inteligentes com recursos de "data mining" para desagregação de carga com análise de consumo e implantação de sistemas antifraude. A desagregação de carga permite descobrir quais equipamentos elétricos ou eletrônicos estão presentes naquela instalação.

A introdução de recursos de "data mining" permitirá o combate ao furto sem a necessidade de instalar o medidor no poste de energia, que é forma mais eficiente em uso atualmente. Além disso o recurso de "data mining" poderá ser usado no planejamento de rede e em análises para reestruturação tarifária.

8.1 Recursos de "Data mining": a desagregação de carga

A desagregação da carga do usuário permitirá uma análise do perfil do usuário permitindo a verificação do funcionamento de equipamentos existentes nas residências. Normalmente, é esperada a utilização de refrigeradores, condicionadores de ar, chuveiros, aquecedores de água, lâmpadas. A empresa concessionária recebe informação de alteração de funcionamento, mudanças nos valores típicos de consumo ou a inexistência de uso de aparelhos típicos. A ação contra o furto é mais eficiente quando os consumidores perceberem que existe um controle de suas instalações e qualquer ação ilícita é percebida.

A desagregação de carga do usuário será feita através de sistemas não intrusivos, utilizando dados coletados do medidor de energia elétrica pela unidade leitora de cartões. Existem algumas técnicas que podem ser utilizadas nesse projeto, como NALM ("Nonintrusive Appliance Load Monitoring"). A monitoração de carga é realizada através da análise de consumo de equipamentos que se ligam e desligam independentemente na rede, conforme mostrado na figura 27.

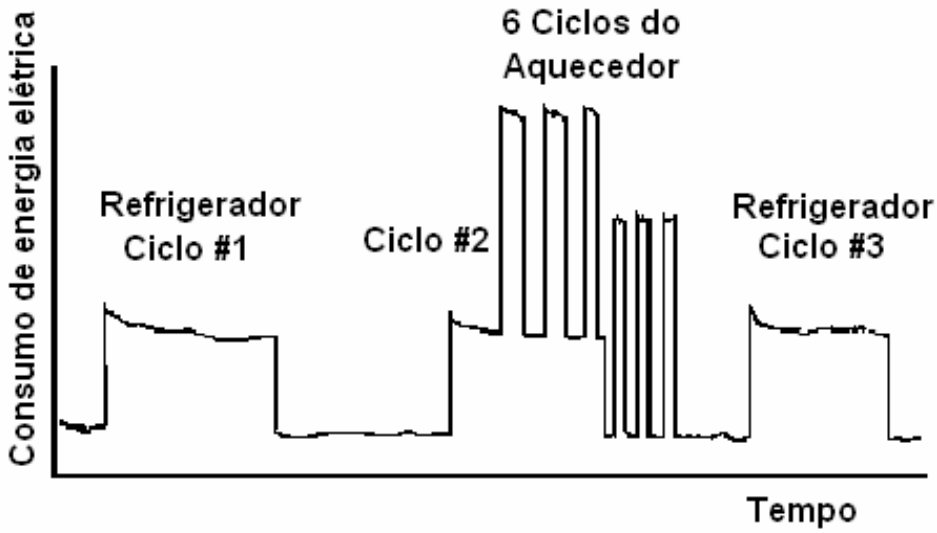


Figura 27 – Variação típica de consumo ao longo do tempo

É estimado o número e a natureza das cargas individuais através das formas de onda da corrente pelo tempo. Essas funções seriam introduzidas por software no sistema de coleta de dados dos medidores de energia elétrica.

O universo dos equipamentos domésticos gera um "espaço de assinatura", conforme apresentado na figura 29. O equipamento deverá, através da análise da carga do usuário, determinar a presença, a ausência ou alteração dos equipamentos típicos daquele perfil de usuário visando monitorar e alarmar quando necessário. O conhecimento do perfil de carga permite além do monitoramento de fraude uma melhor gestão e planejamento de rede.

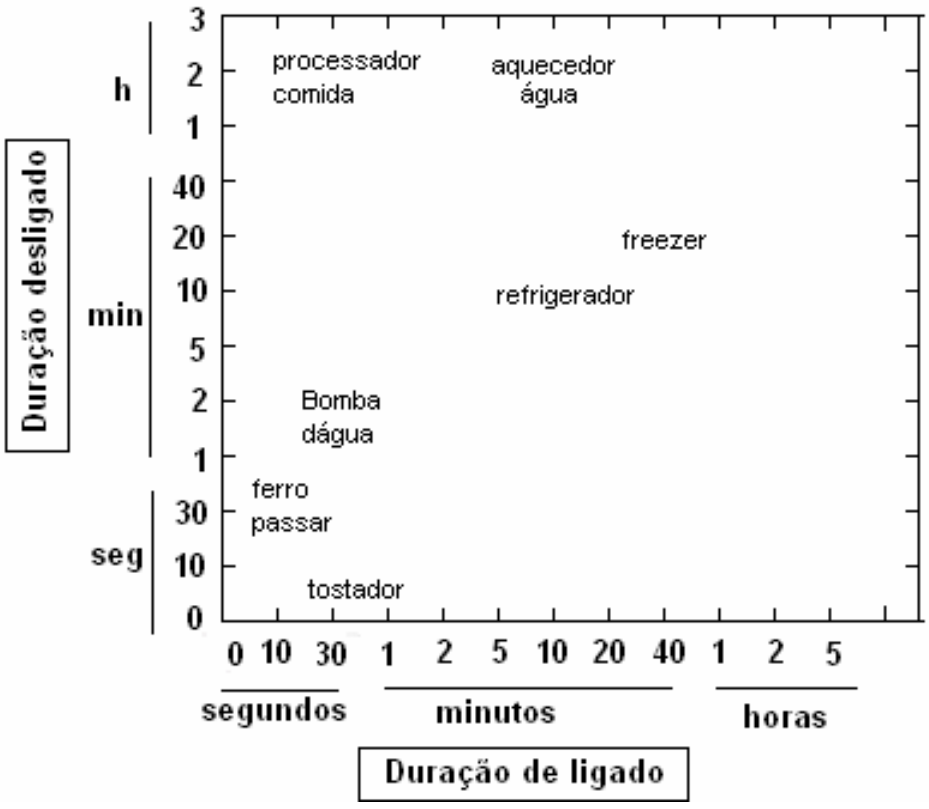


Figura 28 – Espaço de assinaturas ON/OFF

9. Conclusão e recomendações

Esta dissertação relata o desenvolvimento de um sistema alternativo de pagamento de energia elétrica com cartão indutivo. Inclui um estudo sobre os nichos de aplicação mais importantes como as instalações rurais e urbano rurais; em instalações de comunidades isoladas; no combate à inadimplência; na inclusão social viabilizando inclusive, a introdução do vale energia e, finalmente, no combate à fraude separando o leitor de cartões do circuito de desconexão de energia sendo que o primeiro fica instalado na residência e o segundo no poste junto ao medidor.

Foram analisadas experiências de uso de pré-pagamento de energia elétrica em outros países e de pré-pagamento em outros segmentos no Brasil. Os países que apresentam maior experiência no setor elétrico são em sua maioria, de cultura anglicana como Reino Unido, Irlanda e África do Sul.

A experiência brasileira de pré-pagamento existe em outros segmentos como o de distribuição de água e o de telefonia notadamente em telefonia celular. Segundo estudos da Anatel, o grande sucesso do celular pré-pago é o de respeitar o limite de gastos estabelecido pelo consumidor.

Também foi analisada a questão de perdas não comerciais e do esforço da Aneel em dar sinais econômicos para que as concessionárias atuem no sentido de diminuir esses valores visando também, diminuir a necessidade de aumento de produção de energia que é afetada em função dos altos índices de perdas.

No Brasil, o índice de perdas não comerciais possui uma distribuição bastante heterogênea entre as diversas concessionárias. Além disso, a questão do roubo de energia apresenta ciclo vicioso que começa com a descoberta da fraude, que leva para a renegociação junto à concessionária, porém mantendo o consumo acima da capacidade de pagamento, que gera inadimplência, que leva ao corte e, finalmente, a reincidência do furto (ALMEIDA *et. al*.,

2006). Estudos também revelam um quadro complexo na questão do furto influenciado tanto por fatores econômicos quanto culturais. Observa-se que na área de uma mesma concessionária, lugares com maior IDH apresentam índices mais elevados de furto que outros com menor.

Para dirimir esse problema existem diversas ações que devem ser realizadas, mas todas passam pela necessidade de investimento em novas soluções técnicas. A instalação de leitor de cartões separado com o medidor pode ser uma delas.

Para a realização do projeto descrito nessa dissertação foi necessário o desenvolvimento de placas de circuito impresso, de software e de cartões especiais. O desenvolvimento de software foi baseado em uma metodologia denominada SYSWARE que busca um detalhamento lógico bastante refinado antes de definir os processos que são implementados. A metodologia detalha as funções lógicas e suas interfaces, e ela descreve o funcionamento dessas interfaces através de máquinas de estado e finalmente define os processos a serem implementados.

O teste do equipamento foi feito com diversos tipos de medidores de mercado, pois a interoperabilidade do sistema era uma das premissas de projeto. Os resultados do teste em laboratório foram extremamente positivos o que deixou claro a viabilidade técnica do projeto. A análise econômica, embora preliminar mostra a viabilidade econômica do mesmo.

Recomendações

A partir dos resultados obtidos com essa dissertação e para refinar o projeto realizado recomendam-se alguns temas para análise e para futuros trabalhos:

- Realizar testes de campo com o sistema de pagamento a cartão em alguns nichos de aplicações como comunidades isoladas, comunidades rurais e inclusão social;

- Fazer um estudo para verificar a implantação de análise de carga não intrusiva no sistema visando criar uma ferramenta de auxílio a combate à fraude e de auxílio ao planejamento de rede;

- Fazer um desenvolvimento para implantar interface PLC, substituindo a atual RS485 entre o leitor de cartões com circuito de desconexão de linha e interface com medidor;

- Realizar uma análise econômica mais detalhada a partir dos resultados de teste em campo e a partir de dados de custos mais sólidos incluindo sistemas bifásicos e monofásicos.

10. Bibliografia

ALBERTO, José **"Apresentacão_Sistema_Medicao_Eletronica_15_08_05.ppt**". [mensagem pessoal]. Mensagem recebia por <jecanaes@uol.com.br> em 13 de set. 2006.

ALMEIDA, M. A. S.; SILVEIRA, M.; BASTOS P. R. F.; MICHELI I., DANTAS P.R.P., , "Metodologia para Identificação de Perdas Não-Técnicas : Matriz de Perdas".In: *SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 17.,2006,* Belo Horizonte. **Anais. SENDI.XVII.** Belo Horizonte, 2006.

"Metas de Universalização - Modelos de Elaboração dos Planos - Planos 2004 - Planos 2005-2008 - Projeções de Domicílios**".** Disponível em : < **http://aneel.gov.br/207.htm**>. Acesso em setembro de 2006.

ARAUJO; SIQUEIRA, Antonio Carlos M. de; AGUIAR, Claudia. "Considerações sobre as Perdas na Distribuição de Energia Elétrica no Brasil". In: *SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 17., 2006,* Belo Horizonte. ***Anais. SENDI XVII.*** *Belo Horizonte, 2006*

BANNACK, Ângelo; NASCIMENTO, Jose Carlos, "**Sistema Eletrônico de Medição de Energia Elétrica com Pré-Pagamento Utilizando Smart-Card**".

BARBOSA, C.F. de O.; PINHO J.T.; GUALHARDO,M.A.B.; CRUZ,D.P.; ARAÚJO R.G."**Implantação e Operação de Primeiro Sistema de Pré-pagamento de Eletricidade no Brasil , instalado em uma Localidade Isolada na Região Amazônica".**

BARDINI, N. G., 1989, **"Patente Industrial PI-PI8901590-8:** Oscilador formado por um excitador e um circuito LC, chaveado de uma matriz de circuitos LC, para ser aplicado em cabeçote de leitura/gravação de cartões indutivos". Rio de Janeiro : *INPI*, 1989.

BARDINI, N.G., 1991, **"Patente Industrial PI9107336-7**: Cartão indutivo de leitura estática contendo um arranjo de células especiais de presença/ausência". Rio de Janeiro, *INPI*, 1991.

BERNARDI, Wanderley; JULIANI, José Alberto; PAGLIARDI, Odail; GEMIGNANI SOBRINHO, Ângelo "Os principais programas de investimento na eletrificação rural paulista e seus benefícios**". *Enc. Energ. Meio Rural***, *Ano 3,* Set., 2000

CANAES, José E.; MIGUEL, FRANCISCO Carlos; FERRAZ, Mário, G.P., **"Patente Industrial PI-9500538-2** : Codificação anti-fraude para cartões indutivos"*.,* Rio de Janeiro : , *INPI,* 1995.

CER COMMISSION FOR ENERGY REGULATION, 2003, "Prepayment Meters – A consultation paper", *CER 03/291*, December.

CIPOLI, J.A; MARCO, M.A.; SIMÃO, N.; FRONTEROTTA, S.E.;GRAMULIA JR, J.; OLIVEIRA, L.C. "Metodologia para Avaliação e Medição das Perdas Técnicas, Comerciais e Totais da Distribuição"**. *CITENEL, 2001*.**.

DICK, Alan. "Electricity prepayment meters in the UK", *Metering International* ***Magazine Archive***, Feb., 2003.

DOBLE, Michael "A Regulatory Policy for Self-disconnection: An Examination of the Reasons for and Implications of Pre-payment Meter Stoppages". ***Policy Studies****, Vol. 21, No. 3*., 2000

FISCHER, Izilda Maria. "Perfil Energético Mundial". ***IEE- USP***, 2000..

GALVÃO, Luiz Cláudio Ribeiro; RIBEIRO, Fernando Selles; KURAHASSI Luiz Fernando; PAZZINI, Luiz Henrique Alves; PELEGRINI, Marcelo Aparecido. "Custos Unificados para a Eletrificação Rural em São Paulo". ***Enc. Energ. Meio Rural***, *An. 3,* Set., 2000.

HART, GEORGE W**.,** "Nonintrusive Appliance Load Monitoring"**.** ***Electric Power Research Institute with Dept. of Electrical Engineering and the Center for Telecommunications Research, Columbia University New York***, 1992.

MIGUEL, Francisco C. 1992, "Sistema de Projeto Estruturado –SYSWARE", fevereiro, 1992.

NEA, National Energy Agency, 2004. Disponível em : <**http://www.nea.org.uk/Policy_&_Research/Policy_position_papers/Prepayment_Meters**>. Acesso em Maio de 2005.

PRICE, Catherine Waddams, "Prepayment Meters: Boon or Bane?. **Energy *Action***, *Centre for Competition and Regulation and School of Management, University of East Anglia, Nº 84, Aug., 2001UK*, August. 2001.

PRICE, CATHERINE WADDAMS, "Prepayment meters: The consumer perspective". ***Energy Action****, Centre for Competition and Regulation and School of Management,* University of East Anglia, n. *86*, pp 14-15, March., 2002

SANAETINS Disponível em: <http//www.saneatins.com.br>, Acesso em 12 de setembro de 2006.

SANTOS, ROSANA RODRIGUES dos, "Procedimentos para a Eletrificação Rural Fotovoltaica Domiciliar no Brasil: Uma Contribuição a Partir de Observações de Campo",***Tese de Doutorado do Programa de Interunidades de Pós-Graduação de Energia da Universidade de São Paulo****,* Julho de 2002.

SMART, D.J., "Separate consumer interface increases flexibility and security. In: *Mates´99 Conference,* Birmingham,1999. **Proceedings**

THORNE, STEVE, "Electricity dispensers and affordable energy services", ***Energy for Sustainable Development****, Vol. I No.6*, March., 1995

WINROCK, "Trade Guide on Renewable Energy in Brazil". ***Energy Program*** *USAID/Brazil*, October, 2002.

Anexo A -

Relatório de Teste do Laboratório de Calibração do IEE

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP: 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 62.020

Um Sistema de controle de créditos de energia elétrica para instalações de pequeno porte, funcionando como um sistema de pré ou de pós-pagamento, identificado como: ENE2032. Este sistema utiliza cartões indutivos para o carregamento de créditos e é constituído de uma unidade leitora/gravadora de cartão, de um display numérico para indicação de créditos remanescentes e de uma interface para coletar dados de consumo de energia de medidores de energia ativa.

A FIGURA 1 ilustra o sistema ENE2032.

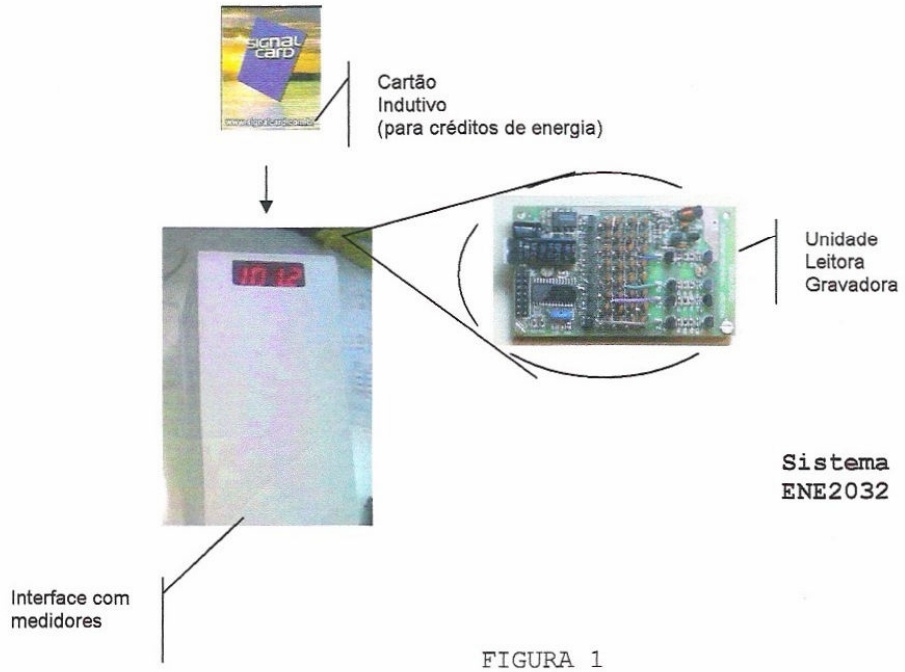


FIGURA 1

O Sistema ENE2032 contempla uma interface serial RS485 e uma interface de medição de pulsos podendo, assim, se conectar com medidores de energia elétrica, sejam eles eletrônicos ou eletromecânicos com saída de pulsos.
O esquema mostrado na FIGURA 2 representa uma configuração típica da inserção deste sistema junto a uma instalação com medidor de energia com saída em pulsos.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste documento arquivado por um período mínimo de cinco anos.

MARGENS EM AMARELO, DIZERES E LOGOTIPO IEE/USP EM PRETO. FORMULÁRIO Nº 2001CQ00FR008, REV.0

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 62.020

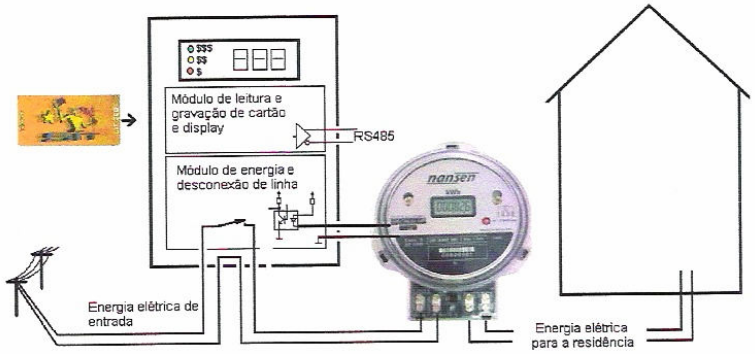


FIGURA 2

O sistema ENE2032 apresenta as seguintes características elétricas:

a) tensão de alimentação: 110-127/220 V;
b) consumo próprio: 6,0 W;
c) capacidade de interrupção de corrente: 100 A

INTERESSADO: JOSÉ EDIMILSON CANAES
Rua Ubatã, 558.
CAMPINAS - SP.

OBJETIVO: Ensaio de verificação funcional.

OBSERVAÇÕES: - Registrado sob a OS - 2006953 E;
- O ensaio foi realizado em 31/10/2006 pela Seção Técnica de Equipamentos de Medição deste INSTITUTO;
- O ensaio foi acompanhado pelo INTERESSADO.

1. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

A verificação do funcionamento do sistema foi feita através do controle da energia elétrica disponibilizada a uma instalação constituída por um banco de lâmpadas incandescentes de 60 W, alimentado por circuito monofásico em 110 V, 60 Hz.

• A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
• Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
• O IEE/USP manterá o original deste documento arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP: 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 62.020

Para medição do consumo de energia do banco de lâmpadas foram instalados medidores de energia fornecidos pelo INTERESSADO e discriminados a seguir:

a) Medidor de energia, eletromecânico, marca: SCHLUMBERGER; modelo: SL1621; identificado pelos números: 0994400120 / 2127739; número de fases: 1; número de elementos 1; número de fios: 2; freqüência nominal: 60 Hz; tensão nominal: 120 V; corrente nominal: 15 A; corrente máxima: 100 A; classe: 2; Kd: 1,8 Wh/r; Kp: 0,90 Wh/p; P/R: 2. Neste Relatório, por brevidade, este medidor será identificado como: ***"MEDIDOR SCHLUMBERGER"***. A FIGURA 3 mostra este medidor.

b) Medidor de energia, eletromecânico, marca: ABB; modelo: M8C; número de série: 2096285; número de catálogo: 8899C05639; número de fases: 1; número de elementos 1; número de fios: 2; freqüência nominal: 60 Hz; tensão nominal: 120 V; corrente nominal: 15 A; corrente máxima: 100 A; classe: 2; Kd: 1,8 Wh/r; Kp: 0,45 Wh/p; P/R: 4. Neste Relatório, por brevidade, este medidor será identificado como: ***"MEDIDOR ABB"***. A FIGURA 4 mostra este medidor.

c) Medidor de energia, eletrônico, marca: NANSEN; modelo: SPECTRUM M; identificado pelo número: 00120434; número de fases: 1; número de elementos 1; número de fios: 2; freqüência nominal: 60 Hz; tensão nominal: 120 V; corrente nominal: 10 A; corrente máxima: 100 A; classe: 1; Ke: 0,4 Wh/p. Neste Relatório, por brevidade, este medidor será identificado como: ***"MEDIDOR NANSEN"***. A FIGURA 5 mostra este medidor.

d) Medidor de energia, eletrônico, marca: FAE; modelo: 6001-A; identificado pelo número: 00000174; número de fases: 1; número de elementos 1; número de fios: 2; freqüência nominal: 60 Hz; tensão nominal: 120 V; corrente nominal: 15 A; corrente máxima: 100 A; classe: 1; Ke: 0,3125 Wh/p; P/R: 6. Neste Relatório, por brevidade, este medidor será identificado como: ***"MEDIDOR FAE"***. A FIGURA 6 mostra este medidor.

- **A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.**
- **Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.**
- **O IEE/USP manterá o original deste documento arquivado por um período mínimo de cinco anos.**

MARGENS EM AMARELO, DIZERES E LOGOTIPO IEE/USP EM PRETO. FORMULÁRIO Nº **2001CQ00FR008, REV.0**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP: 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 62.020

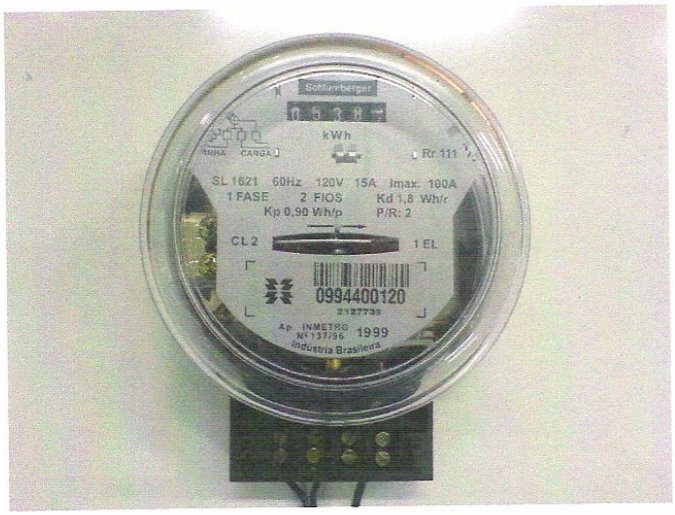


FIGURA 3

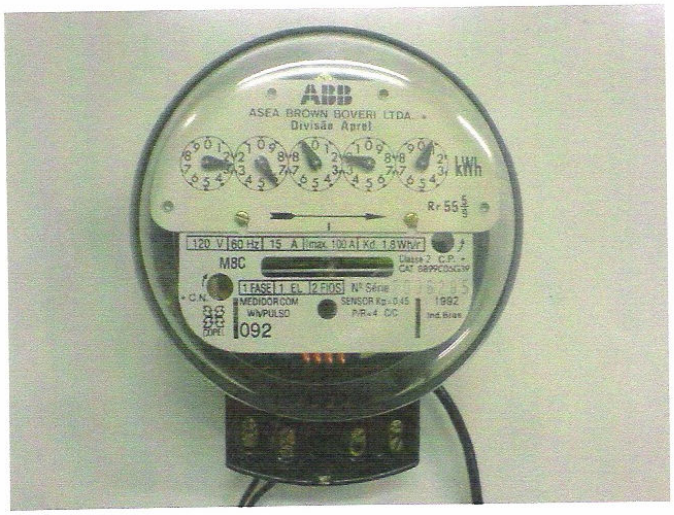


FIGURA 4

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste documento arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP: 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 62.020

FIGURA 5

FIGURA 6

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste documento arquivado por um período mínimo de cinco anos.

Para a medição da energia disponibilizada ao circuito foi instalado, ainda, um medidor de energia - padrão, marca LANDYS & GYR, modelo TVE 102/3, pertencente a este INSTITUTO. Os valores medidos pelo medidor de energia - padrão foram tomados como referência para se avaliar o consumo de energia indicado pelo sistema ENE2032.

O sistema ENE2032 registra uma quantidade de energia a ser disponibilizada ao circuito mediante a inserção do cartão indutivo na leitora/gravadora, habilitando um determinado crédito em Wh.
A quantidade disponível de energia em Wh é indicada através de um mostrador digital de 4 dígitos. A medida em que a energia é consumida, o mostrador indica a quantidade de energia restante.
O sistema ENE2032 contabiliza a energia consumida através da contagem do número de pulsos do medidor de energia da instalação. Uma vez utilizado o crédito em Wh, o sistema interrompe o fornecimento de energia através do relê interno do equipamento.

2. CONDIÇÕES DE ENSAIO

2.1 Os circuitos de ensaio para cada um dos medidores de energia fornecidos pelo INTERESSADO.

2.2 Para cada circuito de ensaio foi estabelecido um crédito inicial em Wh, conforme indicação do INTERESSADO.

2.3 A carga instalada no circuito do banco de lâmpadas foi mantida para todas as configurações de ensaio.

2.4 Os pulsos de referência para o medidor de energia - padrão e para o sistema ENE2032 foram aquisitados do medidor de energia utilizado.

2.5 A quantidade de energia consumida no circuito foi estabelecida através de um número fixo de pulsos do medidor de energia padrão. Adotou-se para cada ensaio um número de 50 pulsos. Ao término da contagem de pulsos, o medidor de energia - padrão indica a quantidade de energia consumida, enquanto o sistema ENE2032 indica a quantidade de energia restante em relação ao crédito inicial.

2.6 Conforme indicação do INTERESSADO, a corrente foi mantida em 2,5 A, devido a limitação do relê interno do sistema ENE2032.

• A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
• Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
• O IEE/USP manterá o original deste documento arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP: 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 62.020

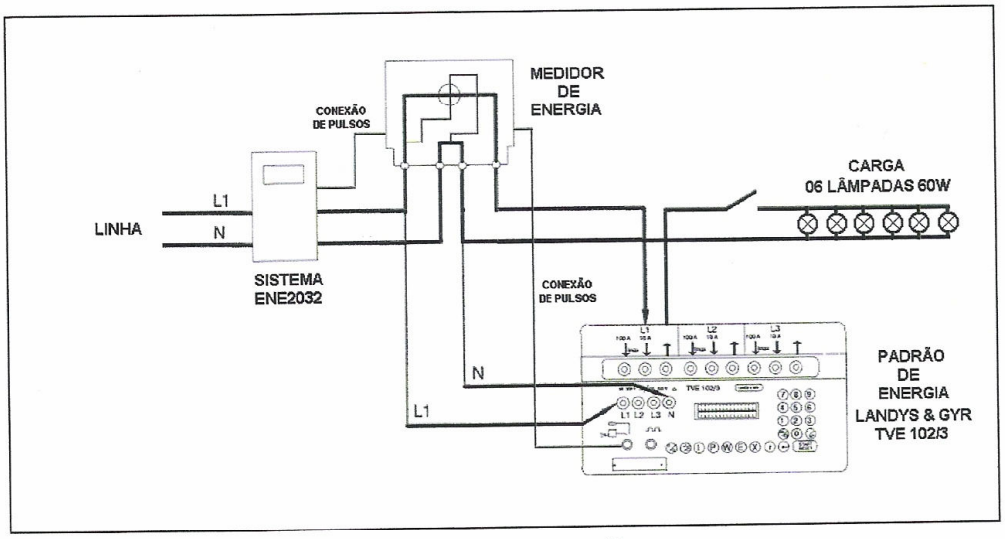


FIGURA 7

3. CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A temperatura ambiente e a umidade relativa do ar mantiveram-se, respectivamente, entre (25 ± 2)°C e (55 ± 15)%, durante a realização dos ensaios.

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Verificação de funcionamento do sistema ENE2032 utilizado em conjunto com o ***"MEDIDOR SCHLUMBERGER"***

SISTEMA ENE2032 VALORES INDICADOS PELA UNIDADE LEITORA		VALOR INDICADO PELO MEDIDOR DE ENERGIA - PADRÃO	ERRO (Wh)	ERRO RELATIVO (%)
CRÉDITO INICIAL	125,0 Wh			
CRÉDITO FINAL	35,9 Wh			
ENERGIA CONSUMIDA	89,1 Wh	87,8 Wh	+ 1,3	+ 1,48

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste documento arquivado por um período mínimo de cinco anos.

MARGENS EM AMARELO, DIZERES E LOGOTIPO IEE/USP EM PRETO. FORMULÁRIO Nº 2001CQ00FR008, REV.0

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP: 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 62.020

4.2 Verificação de funcionamento do sistema ENE2032 utilizado em conjunto com o ***"MEDIDOR ABB"***..

SISTEMA ENE2032 VALORES INDICADOS PELA UNIDADE LEITORA		VALOR INDICADO PELO MEDIDOR DE ENERGIA - PADRÃO	ERRO (Wh)	ERRO RELATIVO (%)
CRÉDITO INICIAL	113,0 Wh			
CRÉDITO FINAL	24,8 Wh			
ENERGIA CONSUMIDA	88,2 Wh	87,6 Wh	+ 0,6	+ 0,68

4.3 Verificação de funcionamento do sistema ENE2032 utilizado em conjunto com o ***"MEDIDOR NANSEN"***.

SISTEMA ENE2032 VALORES INDICADOS PELA UNIDADE LEITORA		VALOR INDICADO PELO MEDIDOR DE ENERGIA - PADRÃO	ERRO (Wh)	ERRO RELATIVO (%)
CRÉDITO INICIAL	124,4 Wh			
CRÉDITO FINAL	104,8 Wh			
ENERGIA CONSUMIDA	19,6 Wh	19,6 Wh	0,0	0,00

4.4 Verificação de funcionamento do sistema ENE2032 utilizado em conjunto com o ***"MEDIDOR FAE"***.

SISTEMA ENE2032 VALORES INDICADOS PELA UNIDADE LEITORA		VALOR INDICADO PELO MEDIDOR DE ENERGIA - PADRÃO	ERRO (Wh)	ERRO RELATIVO (%)
CRÉDITO INICIAL	86,5 Wh			
CRÉDITO FINAL	71,5 Wh			
ENERGIA CONSUMIDA	15,0 Wh	15,3 Wh	- 0,3	- 1,96

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste documento arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP: 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 62.020

5. NOTAS

5.1 Padrão de Trabalho utilizado

MEDIDOR - PADRÃO DE ENERGIA TRIFÁSICO, marca LANDIS & GYR, modelo TVE 102/3 e nº de série 68607596, com Certificado de Calibração nº DIMCI 1223/2006, de 18/07/2006, emitido pelo INMETRO.

5.2 O erro corresponde à diferença entre a quantidade de energia medida através do medidor de energia – padrão e a quantidade de energia medida pelo sistema ENE2032, expressa em Wh.

5.3 O erro relativo percentual corresponde ao erro de medição dividido pelo valor medido pelo medidor de energia - padrão, expresso em percentagem.

* * * * * *

São Paulo, 31 de outubro de 2006.

Eng.º Luiz Carlos Lopes
Serviço Técnico de Metrologia Elétrica - IEE/USP
Diretor

Eng. Antônio Carlos de Silos
Seção Técnica Equipamentos de Medição-IEE/USP
Chefe

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste documento arquivado por um período mínimo de cinco anos.