



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Giordano Bruno Wolaniuk	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento	giordano@lactec.org.br
Guilherme Pereira de Resende	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento	guilherme.resende@lactec.org.br
Vilson Rodrigo Mognon	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento	vilson@lactec.org.br
Paulo Roberto Machado Filho	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento	paulofilho@lactec.org.br
Voldi Costa Zambenedetti	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento	voldi@lactec.org.br
Reginato Domingos Scremim	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento	reginato@lactec.org.br
Alberto Jarske	Espírito Santo Centrais Elétricas S.A.	alberto.jarske@edpbr.com.br

Dispositivo de Combate a Fraudes em Sistemas de Medição de Energia de Unidades Consumidoras Alimentadas por Médias Tensões.

Palavras-chave

Medição de Energia

Média Tensão

Perdas não técnicas

Resumo

Estima-se que perdas não técnicas representam cerca de 4,5% do mercado nacional de energia elétrica. Em redes de baixa tensão, o combate a essas perdas vem sendo feito em muitas cidades brasileiras com completa exteriorização da medição. O presente trabalho propõe metodologia semelhante a ser aplicado em unidades consumidoras alimentadas por médias tensões.

Este novo sistema exteriorizado para medição de energia em médias tensões pode ser aplicado diretamente à rede de distribuição de energia, e pode ser instalado sem necessidade de envio de aviso à unidade consumidora. Permite a análise da maneira como a fraude é feita e a possibilidade de cálculo das perdas totais de energia por ela causadas, permitindo cálculos para ressarcimento à concessionária pelo uso indevido da energia.

Diferente dos sistemas exteriorizados convencionais, compostos por medidores de baixa tensão acoplados à rede através de transformadores de potencial e transformadores de corrente, o dispositivo proposto tem projeto específico, o que o torna leve e de fácil instalação e tal processo não exige desligamento da rede.

O protótipo gerado pelo trabalho está sendo testado pela concessionária Escelsa, em Vitória (ES). Serão apresentados resultados e o processo de desenvolvimento do novo sistema.

1. Introdução

Qualquer gerador de energia elétrica gera grande impacto ao meio que se insere ou em decorrência de seu processo de fabricação. A correta medição da energia elétrica é um pressuposto para seu uso eficiente e, por conseguinte, uso eficiente dos recursos naturais disponíveis.

A ANEEL estima que 15% da energia elétrica comprada pelas distribuidoras brasileiras correspondem a perdas no sistema de distribuição. Além de perdas técnicas, inerentes ao processo de transmissão de energia, esse percentual abrange as perdas não técnicas, compostas por erros de medição e leitura, impossibilidade de leitura, fraudes e furtos de energia e relativos a gestão comercial.

O combate à fraudes nos sistemas de medição de média tensão é particularmente importante, pois uma única unidade consumidora pode demandar grande quantidade de energia que não será medida. Além disso, nestes casos, o custo da energia também é relativo ao custo do aparato necessário para a transmissão da potência utilizada pelas cargas do local. Sistemas fraudulentos não permitem a correta estimativa de característica de carga, o que obriga a distribuidora a sobredimensionar seus sistemas e aumentar seus custos e, por consequência, suas tarifas.

Atualmente, quando há suspeita de fraude no sistema de medição de grandes clientes (unidades consumidoras abastecidas em médias tensões) é feita inspeção visual dos equipamentos da concessionária instalados na infraestrutura do consumidor. Contudo, fraudes em unidades consumidoras alimentadas por rede primária, considerando a complexidade da ligação dos equipamentos envolvidos, são feitas por indivíduos ou entidades especializadas em sistemas de medição de energia. Em geral, isso significa que existe algum sistema para ligar e desligar o aparato da fraude, e em grande parte dos casos isso pode ser feito remotamente. A fraude pode ser permanente ou feita em momentos diferentes do ciclo de funcionamento da unidade consumidora, o que torna a simples inspeção um meio ineficiente de combate à fraude.

Se a suspeita persiste depois de seguidas inspeções, um sistema de medição exteriorizado pode ser instalado em substituição ao sistema convencional. No entanto, não há comprovação técnica da fraude. A instalação destes sistemas requer caminhões dotados de guindastes, como os usados para instalação dos transformadores de distribuição, desligamento do sistema e uma equipe de técnicos especializados, pois os sistemas necessitam de configuração prévia que pode ser bastante complexa. O processo de instalação é demorado e precisa ser agendado previamente pela concessionária, o que dá tempo ao cliente fraudulento de desligar seu sistema de desvio de energia. Obtém-se sucesso no combate às perdas, mas não é possível punir clientes que agiram de má fé.

Dentro do contexto apresentado, este trabalho visa responder as seguintes questões norteadoras: Como verificar a existência de fraudes no sistema de medição de energia de unidades consumidoras alimentadas por média tensão, já que todos os aparatos de medição de energia são internos à unidade consumidora e permitem o livre acesso de pessoas não autorizadas? Como fazer isso de forma segura, sem conhecimento do consumidor e evitando acesso não autorizado ao novo sistema?

Uma possível resposta a estas questões será apresentada na forma do desenvolvimento de um novo sistema de medição de energia para aplicação em qualquer ponto da rede de média tensão. A fraude será detectada pela discrepância entre a medição tradicional e a do novo equipamento. Como resultado espera-se que a existência deste equipamento torne menos atraentes aos consumidores atitudes fraudulentas, e que um novo paradigma para medição de energia em média tensão baseada na metodologia proposta possa ser usado para faturamento.

Além disso, a instalação deste medidor em determinado circuito permite comparação de sua medida com a energia total faturada pelo mesmo circuito (composta de vários medidores de baixa tensão), permitindo a avaliação de sua taxa de perdas.

Como um dos resultados, a inovação proporcionada pelo invólucro desenhado para conter os dispositivos medidores de energia recebeu o Registro de Desenho Industrial DI7004918-1 (Purim et al., 2011) e uma das vertentes do sistema recebeu a Patente de Invenção PI0700186 - "Sistema detector de desvio de energia elétrica para instalações de consumidores em média tensão" (Pereira et al. 2008).

2. Desenvolvimento

2.1 Contexto

Atualmente a exteriorização da medição em unidades consumidoras alimentadas por médias tensões é feita com por equipamentos que exigem desligamento e adequação da rede, como ocorre na Figura 1. O processo de instalação precisa ser previamente agendado com o cliente e isso permite o desligamento de eventuais sistemas de fraude. Esse processo leva de três a quatro horas e exige equipe especializada e caminhão com guindaste.



Figura 1 - Instalação de sistema convencional de medição exteriorizada em linhas de média tensão

No Brasil, a maior parte das unidades alimentadas por médias tensões até 15 kV é conectada ao sistema em ligação delta, e cargas até 34,5 kV em ligação estrela com centro aterrado. A medição de energia é feita convencionalmente em cabines de medição instalados dentro da unidade consumidora e possibilita acesso por parte dos usuários ao conjunto de medição composto por medidor e seus acoplamentos à rede.

Os medidores de energia usados em cabines de medição ou nos equipamentos de medição exteriorizada convencionais são os mesmos aplicados a sistemas de baixas tensões, porém, acoplados à rede por transformadores de potencial e de corrente. Devido as características específicas dos custos de transporte de energia a essas unidades consumidores, estes medidores tem grande precisão nas medidas de energia, de potência e de fator de potência. Além disso, implementam algoritmos de memória de massa para armazenar em memória interna grandezas elétricas acumuladas e instantâneas em intervalos de tempo programável, de forma que se possa obter a estampa de tempo de cada um desses eventos. Essa informação é particularmente útil para caracterizar curvas de carga e faturar o consumo pelo período em que ocorreu.

2.2 Topologia para o novo sistema de medição

Como um sistema de medição em cabine ou exteriorizado convencional, o novo sistema deve ter todas as capacidades citadas no item anterior, abrangendo ainda facilidade e flexibilidade de instalação sem que isso signifique fragilidade no quesito de isolamento elétrico, garantindo a segurança de usuários e operadores. Além disso, são requisitos desejáveis o custo reduzido e fabricação nacional.

Dentre as diversas possibilidades topológicas para o novo sistema, elegeu-se a diagramada na Figura 2, que permite que o equipamento seja instalado com vara de manobra e possui número mínimo de dispositivos mecânicos móveis em sua construção.

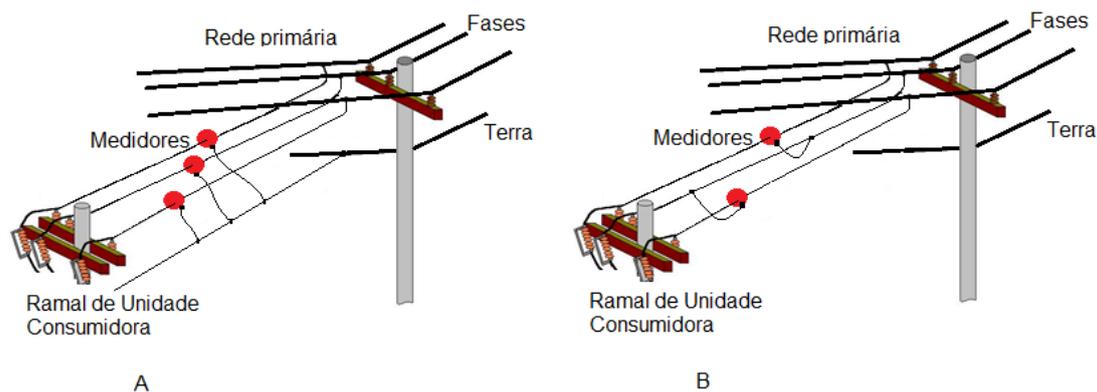


Figura 2 - Topologia eleita para o novo sistema em redes trifásicas: A- Sistemas a quatro fios; B- Sistemas a três fios.

Como pode se notar na Figura 2, o novo sistema de medição é composto de medidores monofásicos de energia conectados a um condutor e com referência em algum outro condutor. Isso permite a economia de um medidor em sistemas em conexão delta, de acordo com o teorema de Blondel:

Teorema 2.2.1 (Blondel) "A potência total entregue a um sistema de cargas por n condutores é dada pela soma algébrica indicada por n wattímetros inseridos um em cada um dos n fios, sendo a potência de referência de todos os n wattímetros conectados a um ponto comum; esse ponto comum pode ser conectado a um dos n condutores, assim a potência total é dada por $n-1$ medidores de potência".

O uso de medidores de energia referenciados aos condutores adjacentes se deve a necessidade de calibração em laboratório do equipamento. O uso de sensores não referenciados baseados em medida de campo elétrico é susceptível à geometria do local de instalação, isto é, varia com a localização e proximidade de objetos e dos próprios condutores.

2.3 Componentes do equipamento.

O sistema é composto de medidores de energia monofásicos projetados para aplicação em médias tensões como 15 kV ou 34,5 kV equipados com rádio transmissor e dispositivo de leitura de dados, que pode ser um computador tipo *notebook* ou *handhelp*. A leitura dos dados de cada um dos medidores é feita através de um transmissor de rádio conectado a uma das portas USB do leitor.

2.2.1 Medidor de energia.

Os medidores de energia projetados seguem o diagrama mostrado na Figura 3. Conforme o diagrama, não há diferenças significativas no projeto do medidor de energia proposto e um medidor convencional, porém, as mudanças no processo construtivo são bastante extensas.

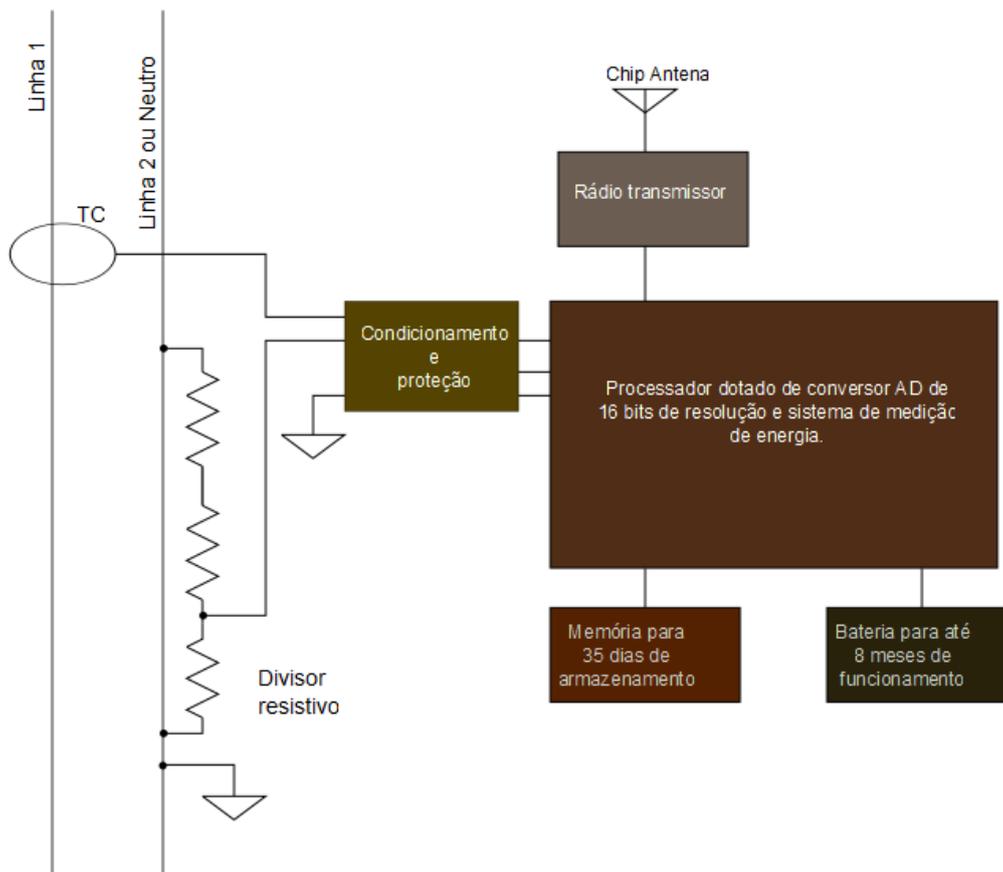


Figura 3 - Diagrama do medidor de energia

Divisores resistivos são utilizados na maior parte dos medidores de energia para amostragem de tensão da rede (Figuras 4 e 5). Parte deste divisor foi acondicionada internamente em um isolador elétrico, juntamente com um fusível, para evitar falha no isolamento entra as fases ou fases e neutro do sistema. O divisor é conectado ao medidor por cabo blindado com isolamento dielétrico de 35 kVcc. A escolha do valor total do divisor é crítica. Se for muito baixo, a potência dissipada internamente ao isolador será suficiente para que haja aumento de temperatura, e como materiais para isolamento elétrico também são bons isolantes térmicos, essa energia não será dissipada. Já se o valor do divisor for muito alto, a amostra de tensão será comprometida pela incidência de ruídos eletromagnéticos do meio. Além disso, os resistores utilizados devem ser fabricados especialmente para uso em grandes diferenças de potencial, não sendo possível o uso de resistores comuns.

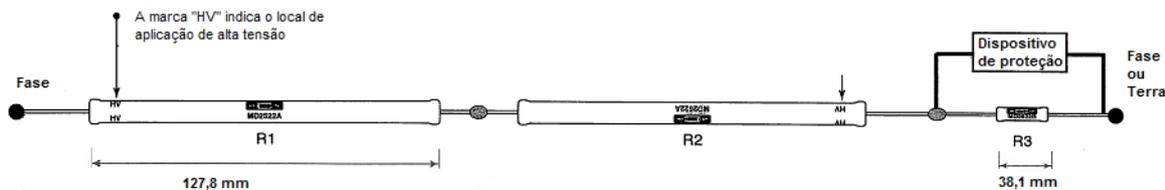


Figura 4 - Divisor Resistivo utilizado, composto por 2 resistores para 45 kV, que são acondicionados em um isolador.

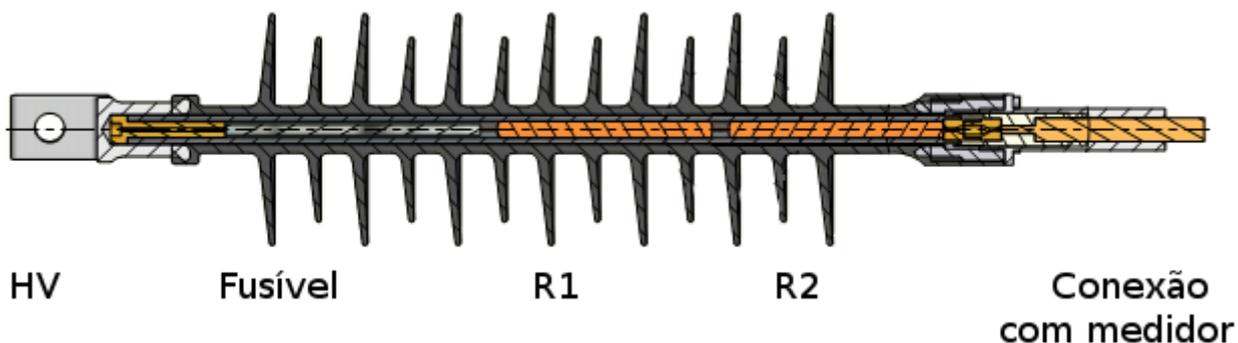


Figura 5 - Os dois resistores maiores foram inseridos dentro de um isolador para maior segurança do sistema.

O sensor de corrente utilizado baseia-se em um núcleo aberto em 'U' de ferrosilício (Figura 6). O uso do núcleo aberto diminui a complexidade mecânica do equipamento e reduz o número de variáveis que influenciam na medida de potência. Para viabilizar o uso do núcleo aberto em diferentes diâmetros de condutor sem comprometimento da medida de corrente, foi necessário o desenvolvimento de um sistema compensador. Condutores de diâmetros maiores se aproximam mais da abertura do núcleo, diminuindo o acoplamento magnético e, por conseguinte, a medida de corrente.

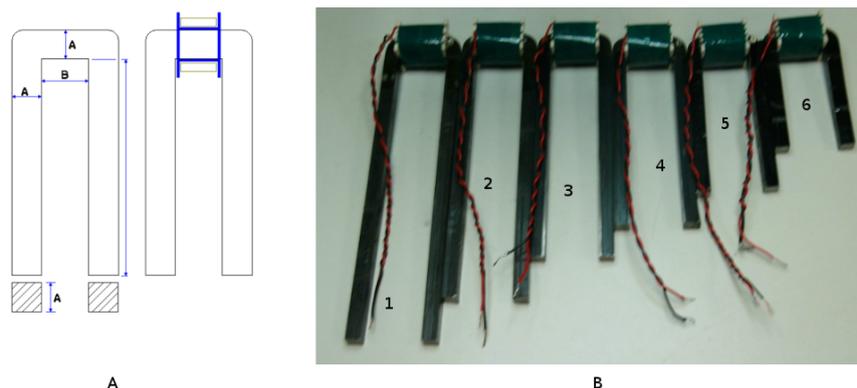


Figura 6 - Núcleos avaliados para utilização no medidor.

Internamente ao invólucro desenvolvido (Figura 7) estão os circuitos eletrônicos, a bateria, parte do divisor resistivo e o transformador de corrente. Os circuitos eletrônicos foram divididos em duas placas de circuito impresso, sendo uma para o processamento dos sinais e outra, menor, onde fica a proteção elétrica do circuito. A alimentação do processador e do sistema de comunicação é feita por bateria não recarregável, especificada para duração de até oito meses, tempo suficiente para a constatação da fraude.

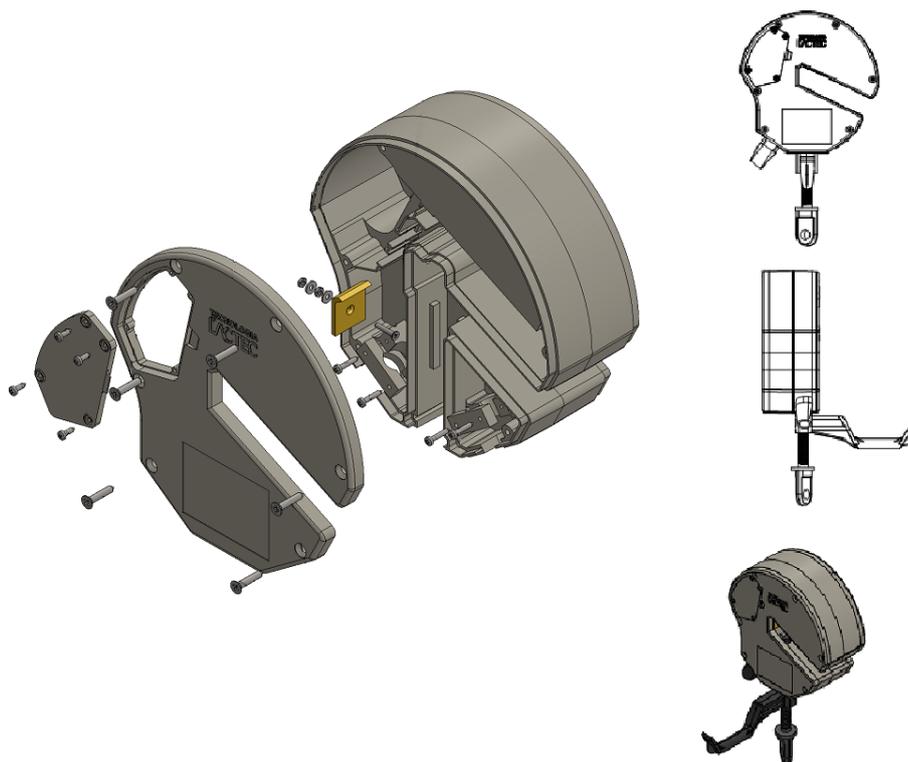


Figura 7 - Invólucro desenvolvido

O medidor usa como unidade de processamento o microcontrolador *MSP430FE427* da *Texas Instruments*, que foi projetado para uso em medidores de energia de baixa tensão e possui internamente dispositivos auxiliares para cálculos de tensão e corrente efetivos e a integralização da potência em energia. Conectado ao microcontrolador há um transceptor de rádio para comunicação com o leitor, uma memória ferroelétrica na qual são armazenados os dados de consumo e os circuitos de condicionamento analógico do sensor de corrente e tensão.

A memória foi especificada para armazenar dados por 65 dias, sendo quase o dobro do especificado em medidores convencionais, nos quais a memória é dimensionada para um período de faturamento, ou seja, até 35 dias.

2.2.2 Leitor de dados.

Para a leitura de dados foi desenvolvido um transceptor de rádio para conexão em portas USB de um computador que pode ser visto na Figura 8. Também foi desenvolvido um *software* capaz de se comunicar com todos os medidores na área de alcance de sua antena. Os dados de medição instantâneos e acumulados podem ser lidos, assim como a memória de massa, com os valores instantâneos e acumulados do medidor.

Quando a memória de massa alcança seu limite, o medidor para de adquirir novas medidas e aguarda que o leitor, através do *software*, leia os dados presentes ali. Depois de lidos, os dados são

apagados e a memória de massa passa a armazenar novamente.

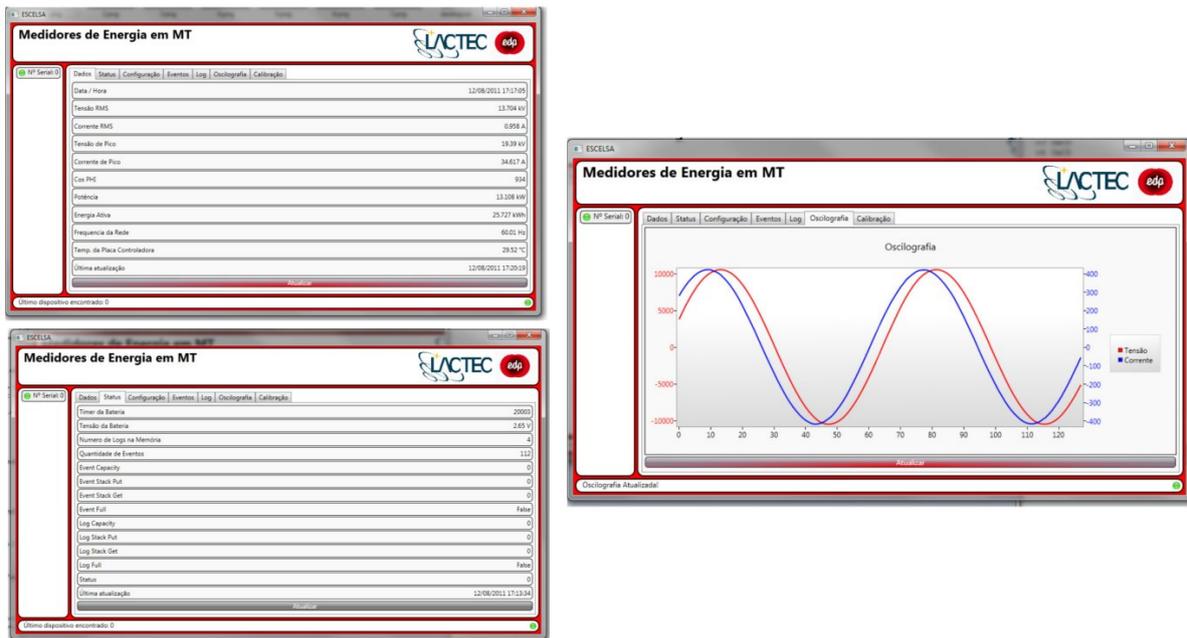


Figura 8 -Software para leitura de dados

2.3 Instalação e testes

A primeira instalação do equipamento em campo foi feita em setembro de 2011 em Vitória - ES (Figura 9). Naquele momento detectou-se que o valor do divisor resistivo escolhido ocasionou erros de medida de tensão, pois os ruídos eletromagnéticos do meio influenciavam as medidas, fato que não ocorrera em laboratório, onde há somente uma fase para o processo de calibração. A diferença entre a medida esperada e a adquirida para a tensão variou em torno de 10% para cada fase.

Durante os ensaios em laboratório, percebeu-se que ao se blindar um dos resistores internos ao isolador o efeito do ruído era reduzido. Foram, então, montadas novas amostras com essa blindagem e feito novo ensaio em campo. Notou-se que o ruído foi reduzido, mas não o suficiente para que o medidor possa ser usado para faturamento. Ficou em torno de 3% a diferença entre medida esperada e adquirida para cada fase. Esta instalação deu-se em janeiro de 2012 no mesmo local anteriormente utilizado.

Novos testes estão sendo programados para nova configuração sem blindagem interna ao isolador, pois entende-se que esta blindagem pode reduzir a eficiência do isolador de proteção dielétrica entre as fases. Serão utilizados resistores de valor menor, para reduzir o efeito do ruído do ambiente na medida do sensor de tensão.



Figura 9 - Instalação do equipamento em campo em sistema a quatro fios.

3. Conclusões

Fraudes em sistemas de medição são vetores de desperdício de um importante recurso, a energia elétrica. Em baixas tensões a medição exteriorizada tem sido muito usada como alternativa, por ser um sistema de medição mais robusto. Este trabalho apresentou um equipamento capaz de suprir a mesma demanda para unidades consumidoras alimentadas em médias tensões. Porém, como determinava a proposta inicial, o sistema foi projetado para instalação temporária para constatação de fraude e contabilização da energia não faturada.

O protótipo desenvolvido traz um novo paradigma para a medição de energia em médias tensões, com equipamentos desenvolvidos especificamente para este uso. A redução de peso, a flexibilidade e a facilidade de instalação proporcionadas pelo novo medidor fazem do equipamento uma ótima ferramenta para análise de perdas não técnicas. Não é necessário desligar o ramal da unidade consumidora, não há alarde de instalação de novo equipamento e possíveis fraudes podem ser detectadas pela comparação entre este medidor e o medidor convencional presente.

4. Referências bibliográficas

Alexander, R. (1992). Handbook for Electricity Metering. Washington, DC: Edison Electric Institute, 9 edition.

ANEEL (2000). Resolução 456. Resolução.

ANEEL (2001). Resolução 505. Resolução.

ANEEL (2003). Resolução 258. Resolução.

ANEEL (2011). Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional. PRODIST.

Bianchin, C. G., Demonti, R., de Resende, G. P., and Loddi, T. (2011). Desenvolvimento de um controlador automático para bancos capacitivos otimizados para sistemas de distribuição. In VI Citenel, Fortaleza.

de Medeiros Filho, S. (1983). Medição de Energia Elétrica. Guanabara Dois.

Filho, V. S. (1996). Desenvolvimento de um sensor de campo elétrico alternado com transmissão por fibra-Óptica. Master's thesis, Universidade Federal do Paraná-Setor de Ciências Exatas-Curso de Pós-Graduação em Física.

Gerfer, A., Zenker, H., and Rall, B. (2002). Trilogy of Inductors. Würth Elektronik GmbH.

Hage, F. S. E., Ferraz, L. P. C., and Delgado, M. A. P. (2011). A Estrutura Tarifária de Energia Elétrica - teoria e aplicação. Synergia.

Lucas, J. R. (2001). High Voltage Engineering. Open University of Moratuwa, Katubedda, Sri Lanka.

McLyman, C. W. T. (1993). Designing Magnetic Components for High Frequency dc-dc Converters. Kg Magnetics, Inc.

Pereira, J. A., de Resende, G. P., Wolaniuk, G. B., and Chueiri, I. J. (2008). Sistema detector de desvio de energia elétrica para instalações de consumidores em média tensão. Patente PI0700186-0 A2- Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (BR/PR).

Purim, C. A., Scremim, R. D., Wolaniuk, G. B., de Resende, G. P., Mognon, V. R., and Zambenedetti, V. C. (2011). Configuração aplicada em sensor de engate para média tensão. Registro de Desenho Industrial -Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (BR/PR).

Santana, F. J. R., Zambenedetti, V. C., Resende, G. P., Mognon, V. R., and Wagner, R. (2011). Desenvolvimento de sensores inteligentes para detecção de faltas em linhas aéreas com comunicação via plc (power line communications). In VI Citenel, Fortaleza.

Sen, P. C. (1996). Principles of Electric Machines and Power Electronics. John Wiley and Sons, 2 edition.

Zambenedetti, V. C., Santana, F. J. R., Almeida, L. A. L., de Resende, G. P., Mognon, V. R., and Wagner, R. (2010). Sensores inteligentes para detecção de faltas em linhas aéreas de distribuição da coelba. In Sendi, São Paulo.