



XV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – SENDI 2002

NOVAS CONTRIBUIÇÕES PARA A REDUÇÃO DAS PERDAS TÉCNICAS E MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO EM BAIXA TENSÃO

ALOISIO DE OLIVEIRA – Dr.

Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - MG – Brasil
E-mail: aloisio@rapidanet.com.br

FABIANO A. OLIVEIRA – Msc

ABB LTDA - Guarulhos – SP – BRASIL
Universidade de São Paulo – USP
São Paulo - SP – Brasil
E-mail: fabiano.oliveira@br.abb.com

PALAVRAS-CHAVE: Crise Energética, Perdas Técnicas, MUV.

RESUMO DO TRABALHO: o objetivo do presente trabalho é apresentar os resultados de investigações sobre os consumidores residenciais/comerciais sob o enfoque do consumo de reativos e da qualidade da energia. O trabalho discute também as ações do governo brasileiro voltadas à eficiência energética e as medidas adotadas no ano de 2001 para se evitar as interrupções no fornecimento de energia, as quais atingiram diretamente os segmentos das indústrias, e principalmente, residências e comércios do setor elétrico nacional. Na sequência, o artigo procede a abordagem de uma nova filosofia para a diminuição das perdas de energia (perdas técnicas) nas instalações em BT. Nesse particular, destaca-se um dispositivo automático para a compensação de reativos. Adicionalmente, o trabalho apresenta um medidor da qualidade da tensão, concebido para monitorar os resultados e verificar os impactos causados pela nova tecnologia aplicada à redução das perdas de energia como também um equipamento que além das características do anterior, é capaz de qualificar e quantificar outros índices de qualidade de energia. Finalmente, o artigo apresenta uma reflexão sobre a eficiência da solução alternativa apresentada, em relação às medidas de racionamento até então adotadas pelos brasileiros.

I. Introdução

No planejamento da distribuição e da qualidade da energia elétrica, verifica-se uma carência de informações, tanto a nível nacional quanto internacional, relativas aos consumidores residenciais/comerciais. Neste contexto, destacam-se as questões econômicas vinculadas ao fator de potência na distribuição e a qualidade da energia elétrica resultante.

Atualmente, as medidas de racionamento impostas pelo governo brasileiro têm tratado com o mesmo rigor indústrias, residências e comércios. Nesse sentido, o até então insignificante consumo doméstico, passou a ocupar um papel de destaque no cenário elétrico nacional.

Naturalmente, estes acontecimentos reforçam a importância de investigações na baixa tensão, afim de

conhecer as particularidades desse segmento do setor elétrico, e contribuir para amenizar o problema da falta de energia através de soluções alternativas, sem sacrificar o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida da população.

Reconhecendo a relevância destes fatos, experiências e resultados obtidos nas instalações elétricas brasileiras [1,2,3], as propostas deste artigo objetivam:

- Apresentar os resultados reais de medições realizadas em transformadores da distribuição em uma rede elétrica com 1000 consumidores residenciais;
- Discutir as ações para a conservação da energia elétrica adotadas pelo governo brasileiro nos últimos tempos;
- Apresentar novos equipamentos desenvolvidos no Brasil, destinados à compensação de reativos/redução de perdas técnicas e gerenciamento da qualidade da tensão;

II. Verificação Experimental do Consumo de Reativos em Residências na Ceb – Brasília – Df

Os autores têm apontado, através das referências [1,2,3,4], sobre o consumo de reativos e os níveis de perdas causados no sistema de distribuição, devido a operação das cargas em BT.

No intuito de comprovar a real contribuição das residências no tocante ao consumo de reativos, uma parte da rede elétrica de Taguatinga (DF) foi investigada através de medições. O sistema compreende 1000 consumidores, supridos por 10 (dez) transformadores de distribuição, totalizando uma potência de placa da ordem de 1.1 [MVA] e demanda real no horário de ponta de aproximadamente 1,05 [MVA].

II.1 Resultados das Medições

Os resultados apresentados na sequência mostram o comportamento das potências, fator de potência, correntes e distorções harmônicas registrados no alimentador geral em 13,8 kV.

As figuras 1, 2 e 3 representam, respectivamente, o perfil trifásico das potências aparente, ativa e reativa, e do fator de potência presentes no alimentador supracitado, com enfoque ao horário de ponta.

As distorções harmônicas totais de tensão e corrente são apresentadas nas figuras 4 e 5, respectivamente. Enquanto que a figura 6 ilustra o perfil da corrente medida no referido alimentador.

Verifica-se através dos resultados uma variação da potência reativa de 290 a 400 [kVAR]. No horário de ponta, embora a potência ativa atinja valores elevados e o fator de potência seja de 0,91, o montante de reativos também acompanha esta elevação, evidenciando a ocorrência de elevados níveis de perdas (RI_q^2) e a ocupação das linhas de distribuição.

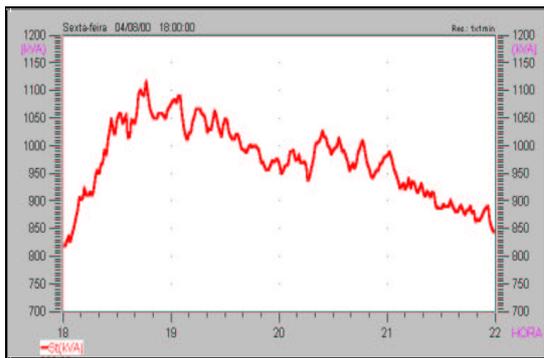


Figura 1 – Potência Aparente: conjunto de 1000 consumidores

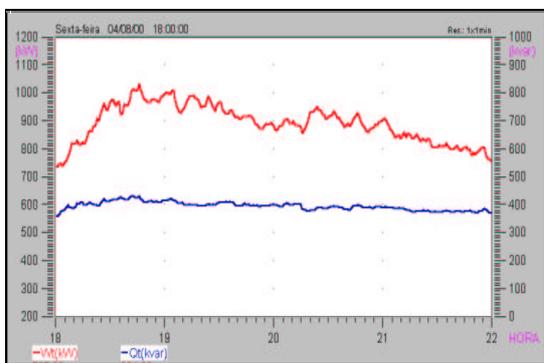


Figura 2 – Potência ativa e reativa: conjunto de 1000 consumidores

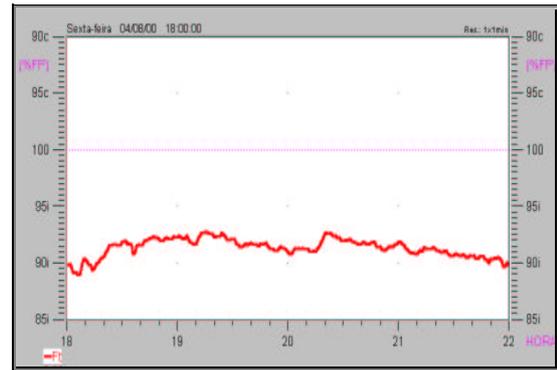


Figura 3 – Fator de potência: conjunto de 1000 consumidores

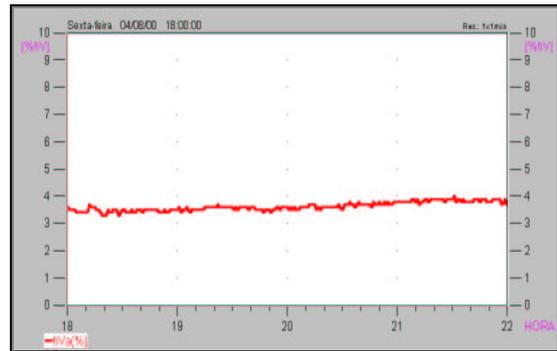


Figura 4 – Distorção harmônica total de tensão: conjunto de 1000 consumidores

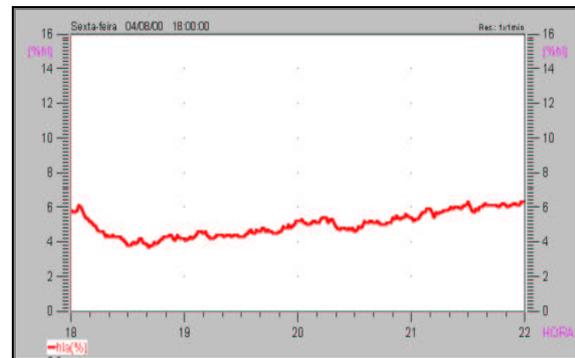


Figura 5 – Distorção harmônica total de corrente: conjunto de 1000 consumidores

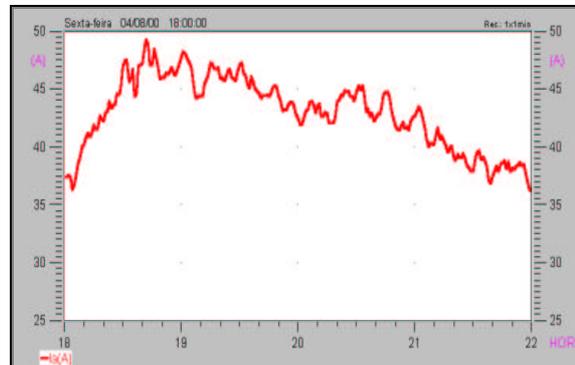


Figura 6 – Perfil da corrente – conjunto de 1000 consumidores

III. Carregamento das LT's e Combate ao Desperdício de Energia

Nas últimas décadas o consumo de energia elétrica tem apresentado taxas de crescimento superiores à do produto interno bruto. Foi verificado no período de 1995 a 1998, um aumento anual médio de 4,9%, para um crescimento de 2,1% no PIB.

Com uma forte predominância hidrelétrica, o sistema elétrico brasileiro tem, aproximadamente, 65.000 [MW] instalados, dos quais cerca de 56.000 [MW] correspondem a usinas hidrelétricas, 4.800 [MW] a termelétricas convencionais e 660 [MW] à usina nuclear de Angra.

Uma vez que os investimentos requeridos não foram realizados integralmente no passado, o sistema brasileiro apresenta alguns pontos de vulnerabilidade decorrentes de:

- sua grande dependência de regimes hidrológicos favoráveis;
- a necessidade de transferência de grandes blocos de energia, por meios de interligações entre os sistemas regionais;
- a falta de usinas termelétricas próximas aos grandes centros de consumo de eletricidade;
- a obsolescência tecnológica de grande partes das usinas termelétricas já instaladas.
- a grande dependência das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, em relação à energia produzida em Itaipu;
- o envelhecimento dos equipamentos da rede básica;
- a dificuldade das concessionárias em obter financiamentos para a modernização e constante aprimoramento dos esquemas de controle de emergências, sistemas de supervisão, controle e proteção;
- a limitação imposta pela legislação vigente, às concessionárias públicas, para a aquisição de peças e equipamentos com base em critérios de qualidade e confiabilidade técnica;
- falta de renovação dos quadros de pessoal das empresas públicas;
- longo prazo de maturação dos processos para obtenção de licenças ambientais;
- a ausência de linhas de financiamento específicas.

Para minimizar os pontos de vulnerabilidade do setor elétrico brasileiro, e garantir o atendimento satisfatório do aumento da demanda, foram previstos para 1999/2002 investimentos de R\$ 34 bilhões nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

III.1 "ONS" e a Sugestão de uma Ação Imediata

Diante das necessidades de atender ao aumento no consumo de eletricidade, estimado em 6% para os últimos anos, segundo os noticiários, o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) tem, incessantemente, buscado um programa de racionamento associado a grandes

consumidores. Isto acontece porque a demanda de eletricidade bateu recorde histórico em Abril/2000 (55.753 MW no dia 27), além do nível dos reservatórios que estavam em baixa por falta de chuvas em 2001. Em maio de 2001, o país ultrapassou o limite de segurança duas vezes: nos dias 17 e 24.

Na verdade, houve um aumento no consumo de energia sem o correspondente incremento da infra-estrutura de produção.

III.2 Incentivo ao Programa de Combate ao Desperdício de Energia

A Agência Nacional de Energia (ANEEL) tem por obrigação criar mecanismos de estímulo ao uso eficiente da energia elétrica. Por isso, os contratos de concessão assinados pela Agência com empresas distribuidoras de energia prevêm a utilização de 1% de sua receita líquida anual para a criação e aplicação de Programas de Combate ao Desperdício de Energia, Pesquisa e Desenvolvimento. Entre 1998 e 1999, o total de investimentos no combate ao desperdício alcançou mais de R\$ 200 milhões. Das 63 distribuidoras de energia elétrica do País, 41 já assinaram contratos de concessão que incluem cláusulas relativas à obrigatoriedade de desenvolvimento dos programas, o que faz prever a aplicação de R\$ 1,5 bilhão com essa finalidade nos próximos cinco anos.

III.3 Resultados dos Programas de Conservação de Energia Adotados pelo Governo

As ações adotadas pelo governo até o mês de maio de 2001 não foram satisfatórias. Em função da ausência de resultados efetivos dos programas governamentais até o presente momento, o Brasil mergulhou numa crise energética noticiada via imprensa falada, escrita/internet. Neste contexto, dentre os programas adotados destacaram-se:

- Horário de Verão;
- Programas educacionais;
- GLD (Gerenciamento pelo lado da Demanda);
- Chuveiros solares;
- Energia fotovoltaica;
- Etc.

Buscando mostrar os resultados de alguns dessas medidas, a figura 8 apresenta a redução percentual de energia com a implementação do horário de verão desde o ano de 1985 até o ano 2000. Enquanto que a figura 9 informa os custos (R\$ Milhões) dos programas de eficiência energética para algumas concessionárias de energia, e a demanda [MW] retirada na ponta no ciclo 1998/1999.

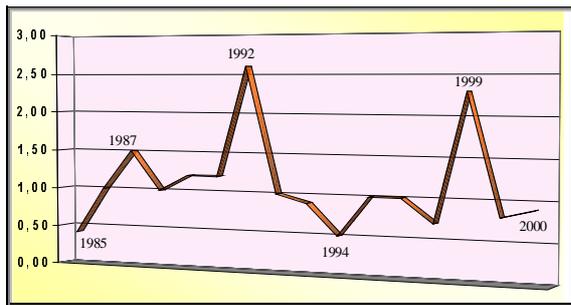


Figura 8 – Redução de energia [%] com o horário de verão – 1985 a 2000.

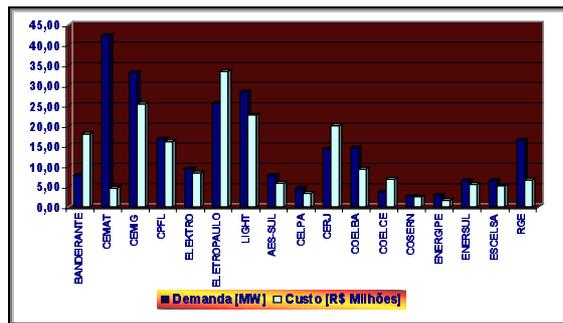


Figura 9 – Custos dos programas de eficiência energética e demanda retirada na ponta – 1988 /1999

IV. A Crise e o Racionamento

As informações compiladas, desde o início do indicativo de problemas no setor elétrico, foram apresentadas ao povo brasileiro, e sobretudo, demonstraram que as ações tecnológicas/científicas não foram suficientes para resolver a questão, confirmando o racionamento da energia e as previsões de futuros cortes no fornecimento (“apagões”).

IV.1 As Medidas Impostas Para o Racionamento

Tendo em vista a necessidade emergencial de frear o consumo de energia, agravada pela ausência de chuvas e, conseqüentemente, pelo baixo nível dos reservatórios das hidrelétricas brasileiras, o governo, através da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (CGE), decreta em maio/2001 as novas medidas para um racionamento imposto. A meta a ser cumprida implicou numa redução no consumo de energia no país em, no mínimo 20%. O racionamento imposto atinge a todos os segmentos do setor elétrico nacional, de alta e inclusive o de baixa tensão.

IV.1.1. Consumidores residenciais

Os consumidores com consumos menores ou iguais a 100 kWh/mês estariam isentos da redução obrigatória de 20%. Os demais que consumissem acima de 100 kWh,

teriam uma meta correspondente a 80% do consumo médio dos meses de maio, junho e julho de 2000: Para consumos acima de 200kWh/mês tinha um acréscimo nas tarifas da seguinte forma:

- Consumo entre 201 kWh e 500 kWh: acréscimo de 50%.
- Consumo acima de 500 kWh: acréscimo de 200%.

Se a meta não fosse cumprida, o consumidor estaria sujeito ao corte do fornecimento por até 3 dias no primeiro descumprimento, e por até 6 dias no caso de reincidência.

Quem economizasse ganharia um bônus do governo:

- até 100 kWh, o bônus seria de dois reais por real economizado;
- acima de 100 kWh, o bônus seria de até 1 real por real economizado.

IV.1.2 Consumidores de Baixa Tensão Industriais e Comerciais

Os consumidores tinham uma meta correspondente a 80% do consumo médio dos meses maio, junho e julho de 2000. O consumo abaixo da meta poderia ser vendido pelo consumidor à distribuidora ou acumulado para uso futuro.

O consumo acima da meta, se não fosse compensado por uma economia anterior, seria cobrado com base no preço do Mercado Atacadista de Energia (MAE), e o consumidor ficaria sujeito a corte.

V. Novos Equipamentos Para o Combate ao Desperdício, Redução Imposta de Energia e Controle da Qualidade da Tensão

Os autores, parte desta sociedade da engenharia, preocupados com o setor elétrico, colocam em apreciação a proposta de uma solução emergencial. Embora esta não tenha a pretensão de resolver o problema na sua totalidade, se propõe ao menos, utilizar uma tecnologia nacional, gerar empregos e disponibilizar uma parcela de energia, sem entretanto, recorrer a novas usinas hidrelétricas, termelétricas, etc., e amenizar os problemas decorrentes do racionamento para a população brasileira.

Para atingir esta meta, propuseram-se duas contribuições [5,6]:

- Micro Usina Virtual (MUV): Patente Requerida Nº 004967:10/12/1999;
- AQT.128: Patente Requerida Nº 000824:29/02/2000.

V.2. Micro Usina Virtual - (MUV)

Quanto às implementações das MUV's, estes dispositivos permitem uma nova forma de recuperar as perdas técnicas, desta vez instaladas no padrão de entrada das residências, conforme ilustra a figura 10.

O princípio de ação desta usina virtual é o de compensar os efeitos das perdas reativas (RI_q^2) na rede de distribuição de energia elétrica, com respectivos impactos na rede básica e geração. Propiciando uma nova forma de conservação de energia, sem entretanto influenciar na venda do produto por parte das concessionárias de energia. A micro usina proporciona uma redução na faixa de 12% a 20% das perdas totais encontradas nos sistemas das concessionárias, produzindo virtualmente a energia que deveria ser suprida por usinas convencionais.

Além da eficiência energética, o método proposto possui a vantagem de eliminar os transitórios proveniente das redes elétricas que provocariam as falhas e queimas de eletrodomésticos, e sobretudo evitar impactos junto ao meio ambiente.

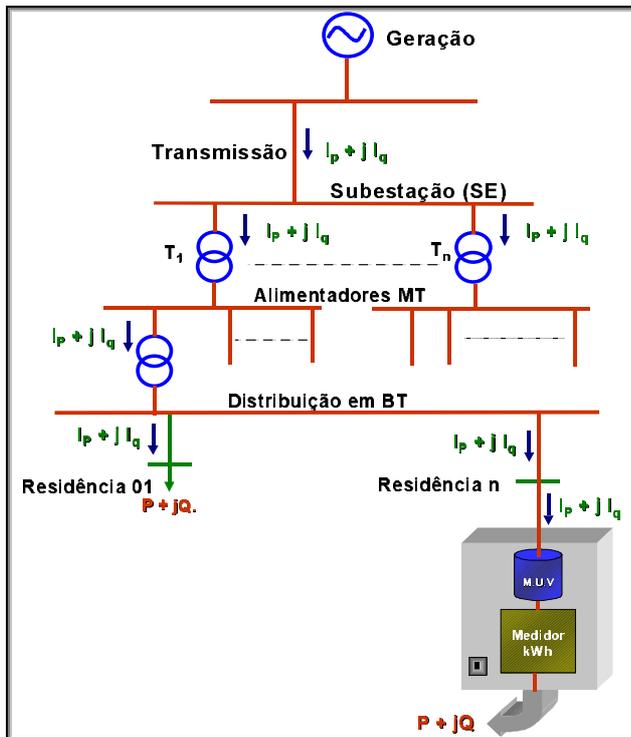


Figura 10 - Conexão da MUV ao medidor de energia

V.2.1. Projeto Piloto para Redução de Perdas Técnicas em BT - MUV

Um projeto piloto para redução de perdas técnicas em BT, através das MUV's, foi implementado na Centrais Elétricas de Brasília – CEB, na mesma rede elétrica citada na seção 2. Em função dos resultados das medições previamente apresentados, foram propostas as seguintes metas:

- Efetuar uma compensação de 300 [kVAr], propiciando no horário de ponta, um fator de potência próximo ao unitário;
- Redução da perda técnica, em função da componente reativa, da ordem de 12 a 18%, observada diretamente através da corrente global de consumo em 13,8 kV;
- Alívio no carregamento do alimentador dos transformadores.

V.2.2. Resultados Obtidos

Após a inserção das MUV's foram efetuadas novas medições dos perfis trifásicos das potências aparente, ativa e reativa, e do fator de potência, ilustrados através das figuras 11, 12 e 13.

Quanto as distorções harmônicas totais, estas são apresentadas nas figuras 14 e 15, enquanto que a figura 16 ilustra o perfil da corrente medida no referido alimentador após a compensação reativa.

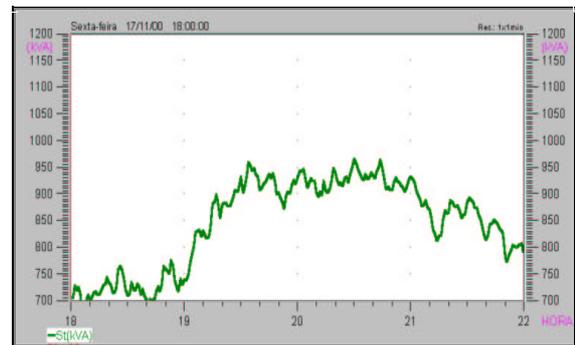


Figura 11 – Potência Aparente após a implementação das MUV's



Figura 12 – Potência Ativa e Reativa após a implementação das MUV's

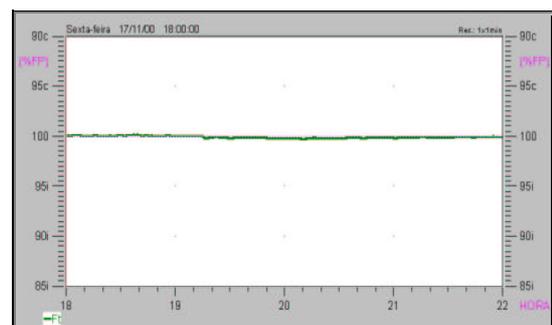


Figura 13 – Fator de potência após a implementação das MUV's

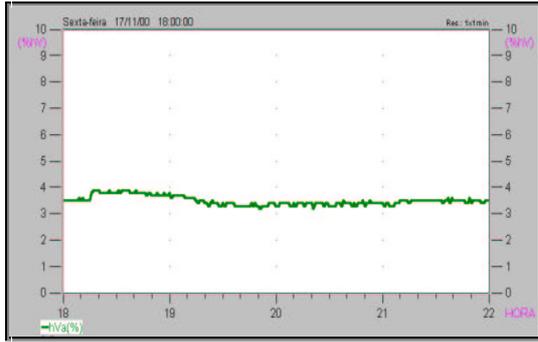


Figura 14 – Distorção harmônica total de tensão após a implementação das MUV's

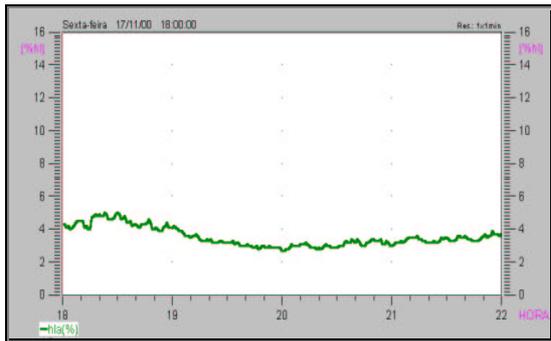


Figura 15 – Distorção harmônica total de corrente após a implementação das MUV's

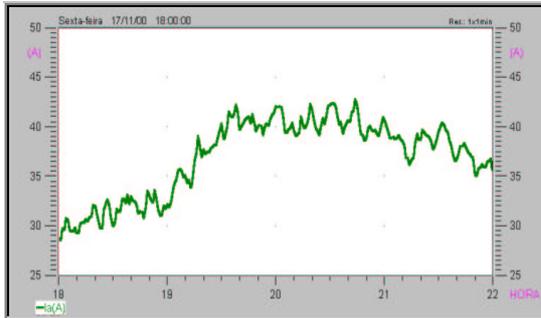


Figura 16 – Perfil da corrente após a implementação das MUV's

A tabela 2 apresenta uma compilação das grandezas medidas no horário de pico, antes e após a instalação das MUV's, mostrando um redução de cerca de 10% na potência aparente e 13% da corrente em 13,8 kV. As distorções harmônicas de tensão e corrente tiveram seus valores reduzidos no horário de ponta. Finalmente, o fator de potência ficou próximo ao unitário e, praticamente, sem oscilações.

Tabela 2 – Resumo das grandezas medidas antes e após a instalação das MUV's – horário de ponta

Parâmetro	Antes da MUV	Após a MUV
Pot. Ativa [W]	1032	955
Pot. Reativa [VAR]	431	64
Pot. Aparente [VA]	1117	958
Fator de Potência	0,92	≅ 1,00
DHI %	4,0	3,0
DHV %	3,5	3,3
Corrente [A]	48,5	42,38

V.3. AQT.128 – Analisador da Qualidade de Energia

O AQT.128 com o propósito fundamental de verificar a qualidade da energia e permitir à sociedade da engenharia uma estimativa das perdas correspondentes ao fornecimento indevido de energia, este equipamento possui funções diversas tais como:

- medição da tensão RMS verdadeira;
- variações de tensão (SAG e SWELL);
- distorções harmônicas e desequilíbrios da tensão de fornecimento.

Além da aplicação nas indústrias, e de proceder medições na rede básica em MT, o AQT.128 pode ser, estrategicamente, instalado nos sistema de distribuição (BT) das concessionárias, para monitoração da qualidade da tensão dos milhares de consumidores residenciais/comerciais.

A título de exemplo, os gráficos das Figuras 17 e 18 a seguir, ilustram aquisições obtidas com o AQT.128. A figura 17 apresenta o perfil da tensão média e a figura 18 indica os eventos de “Sag” ocorridos durante a monitoração.

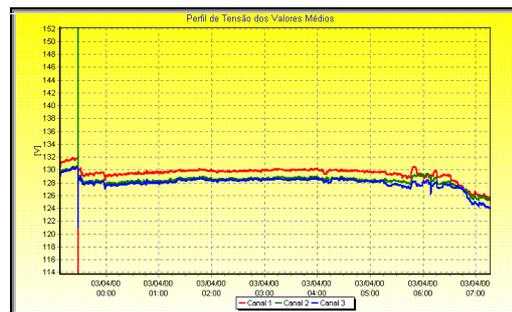


Figura 17 – Perfil trifásico da tensão média

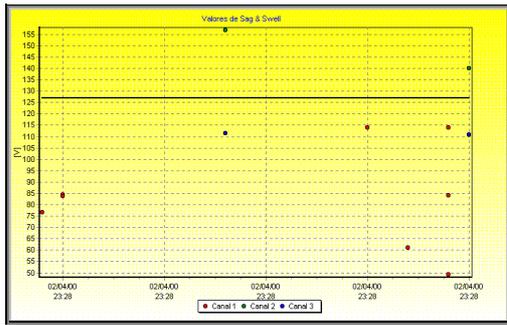


Figura 18 – Eventos de “Sag”

V.4. LCO – Um novo Analisador com protocolo via Internet

Novos desenvolvimentos foram realizados e surgiu uma nova geração de equipamento para a qualidade de energia - o “LCO” que além das vantagens do AQT.128 apresenta formas de qualificar e quantificar:

- índices de continuidade;
- regulação da tensão;
- distúrbios de transitórios;
- capturar formas de ondas.

O processamento de sinal é obtido de uma técnica digital que ocorre em ciclos intercalados. Para uma nova aquisição é necessário utilizar o tempo correspondente a um ciclo, permitindo ao equipamento uma capacidade de avaliação probabilística superior a 87% dos eventos que ocorrem na rede elétrica.

Dentre as principais características do LCO, destacam-se:

- portabilidade;
- opção de alimentação por bateria;
- custo inferior a USD 90,00;
- comunicação on-line pela Internet com a central de recepção;
- emissão de relatórios.

As ilustrações a seguir mostram o valor da tensão rms, a forma de onda da tensão rms e a respectiva forma de onda de tensão rms capturada.

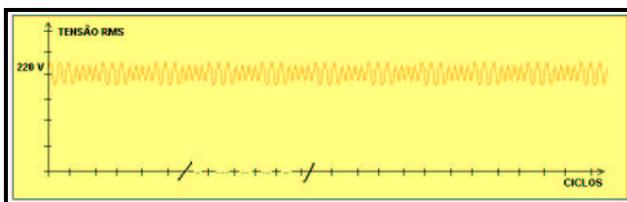


Figura 19 – Valor da tensão rms

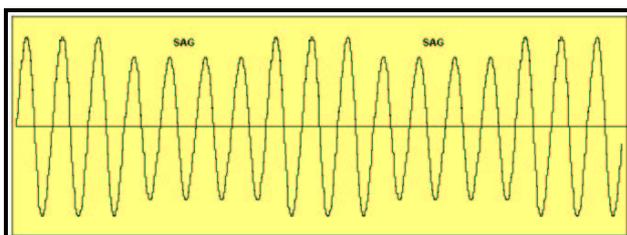


Figura 20 – Forma de onda da tensão rms.

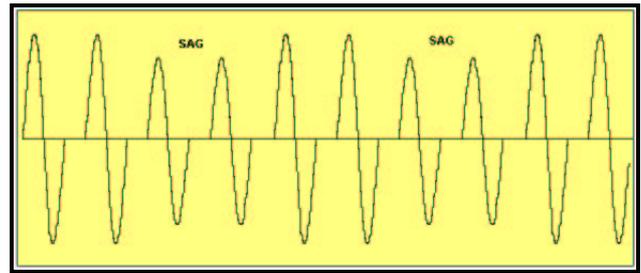


Figura 21 – Forma de onda da tensão capturada (intercalada).

Resumidamente, a figura 22 mostra a transmissão dos dados adquiridos pelo equipamento LCO em uma residência, a transmissão dos mesmos através da linha de telecomunicação e o recebimento pela central com emissão dos relatórios.

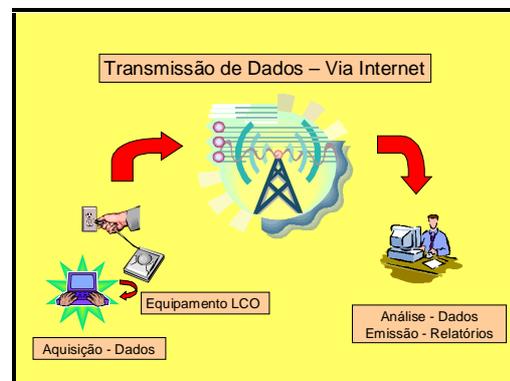


Figura 22 – Sistema simplificado de transmissão de dados

VI. Conclusões

Enfatizou-se nesse trabalho a importância de investigações no âmbito da baixa tensão, sobretudo, nas instalações residenciais e comerciais. Através de medições e estudos mostrou-se o elevado consumo de reativos presente no sistema de distribuição e as perdas técnicas vinculadas.

Abordou-se as principais medidas adotadas pelos órgãos governamentais no intuito de reduzir o consumo de energia no país, sem entretanto alcançar os resultados efetivos esperados. Neste contexto, destacou-se a importância assumida pelos consumidores residenciais no atual cenário de crise energética brasileira. As metas e diretrizes do racionamento apresentadas pelo governo, atingem todos os segmentos de consumo de eletricidade, elevando significativamente o grau de importância das residências e comércios no consumo global de energia no Brasil.

Buscando contribuir para a atenuação dos problemas da falta de energia elétrica, os autores apresentaram algumas soluções alternativas, frutos de trabalhos desenvolvidos ao longo de vários anos, e que poderão auxiliar de forma efetiva em momentos de crises.

As MUV's, através do projeto piloto implantado na CEB, apresentaram uma redução de aproximadamente 10% na

potência aparente do sistema, além da diminuição significativa de reativos na rede, da elevação do fator de potência próximo ao unitário, e uma redução de 13% da corrente no alimentador (13,8 kV).

O AQT.128, como um novo equipamento para análise da qualidade da tensão, que além da aplicação nas indústrias, e de proceder medições na rede básica em MT, pode ser estrategicamente instalado nos sistema de distribuição (BT) das concessionárias, para monitoração da qualidade da tensão dos milhares de consumidores residenciais / comerciais.

As novas tecnologias apresentadas visam proporcionar benefícios diretos para as geradoras e transmissoras de energia, concessionárias, empresas de consultorias na área da conservação e eficiência da energia, envolvidas com o diagnóstico de desempenho de sistemas de distribuição de energia elétrica, consumidores residenciais e comerciais.

Fundamentando-se no AQT.128 foi desenvolvido um novo medidor de qualidade de energia com transmissão dos dados via protocolo Internet.

VII. Referências Bibliográficas

- [1] Soares, E. L., Oliveira, A., Albuquerque, F. L., Farhat, M. T., “Uma Análise do Impacto dos Consumidores Residenciais e Comerciais Sobre as Perdas Técnicas/Qualidade da Energia no Sistema de Distribuição” XIV SENDI, Foz do Iguaçu - PR, Brasil, Novembro, 2000.
- [2] Soares, E. L., Oliveira, A., Ribeiro, A. C. V., Paula, S. F., “Uma Análise do Impacto Técnico e Econômico Devido aos Harmônicos Gerados pelos Consumidores Residenciais” III SBQEE, Brasília-DF, Brasil, Agosto, 1999.
- [3] Soares, E. L., “Uma Investigação dos Consumidores Residenciais Sob o Enfoque da Qualidade da Energia Elétrica”, Dissertação de Mestrado – UFU, Março, 1999.
- [4] Oliveira, A., Pinto, P. R. V., “Desenvolvimento Experimental para Minimização de Perdas em Consumidores Residenciais - CEB – II Reunião Técnica Sobre Programas Anuais de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica e Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, Costa do Sauípe – Bahia, Brasil, Junho, 2001.
- [5] Oliveira, A., “Desenvolvimento da Micro Usina Virtual (MUV)”, Patente requerida nº 004967:10/12/1999 – Egypt Engenharia LTDA.
- [6] Oliveira, A., “Desenvolvimento do Analisador da Qualidade da Tensão (AQT.128)”, Patente requerida nº 000824, 29/02/2000 – Egypt Engenharia LTDA.