



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Sistema de Gestão de Indicadores de Qualidade de Energia Elétrica e a sua Integração à Central Inteligente de Qualidade de Energia da CPFL

Se Un Ahn	Sigmar M. Deckmann	Sergio Zimath	Josué Camargo; E. F. Nunes; V. H. Pereira.
CPFL Energia	UNICAMP	Reason Tecnologia	Expertise Engenharia
seun@cpfl.com.br			

PALAVRAS-CHAVE

Análise de dados
Indicadores
Sistema de Gestão
Gestão de QEE

RESUMO

O trabalho descreve sucintamente o desenvolvimento do RIQEE - Registrador de Indicadores de Qualidade de Energia Elétrica e os resultados da implementação da CIQ - Central Inteligente de Qualidade da CPFL Energia, na qual utiliza um Sistema de Gestão de Indicadores, desenvolvidos num projeto do Programa de P&D. O artigo demonstra a importância da seletividade das informações para incorporação da gestão da QEE no processo produtivo da concessionária. Esta seletividade é obtida através do tratamento distinto dos grupos de usuários e da aplicação de ferramentas inteligentes, ambos garantem a eficácia da CIQ. Além de apresentar uma proposta de evolução conceitual sobre o processo de medição e análise das perturbações.

1. INTRODUÇÃO

O processo de diagnóstico de qualidade de energia elétrica é normalmente feito pela medição direta *in loco* e a partir da medição, com auxílio de um programa próprio, processa-se as análises e as providências cabíveis. Este procedimento iniciou no Brasil nos meados de anos 90, e como todo processo inicial houve vários avanços tecnológicos na medição e procedimentos de análise, porém a demanda pelos engenheiros especialistas não aconteceu na mesma proporção. A CPFL ciente dessa demanda e com intuito de contribuir para desenvolvimento dos processos de análise de perturbações, implantou um Sistema de Gestão de QEE do seu sistema distribuidor com desenvolvimento do RIQEE e CIQ.

RIQEE é um equipamento de baixo custo, o que possibilita a sua difusão plena na CPFL e a sua inegável contribuição técnica. Além de fomentar o conhecimento técnico, possibilita uma nova metodologia de gerenciamento da Qualidade de Energia Elétrica da CPFL.

A CPFL tem 52 medidores instalados nas suas subestações que mede e processa e envia as informações dos indicadores e os eventos de VTCD Variação de Tensão de Curta Duração (*sag* e *swell*). Numa localidade onde apresentar uma perturbação significativa, e neste caso e somente neste caso, uma equipe treinada efetuará uma medição detalhada e mitigar uma solução alternativa.

A Central Inteligente da Qualidade (CIQ), da CPFL em desenvolvimento no projeto de pesquisa, está introduzindo uma nova forma de tratamento da Qualidade de Energia dentro da concessionária. Constituída por um parque de Registradores de Indicadores de QEE (RIQEE), que se encontram instalado em campo, e uma base de dados, a CIQ começa a fornecer subsídios para a tomada de decisão em diversas áreas da empresa.

É apresentada na metodologia deste trabalho a arquitetura da Central Inteligente da QEE (CIQ) demonstrando os resultados das interfaces deste sistema dentro da companhia e algumas outras ferramentas utilizadas para garantir a seletividade no fluxo de informação, proporcionando procedimentos eficientes na gestão da qualidade de energia dentro da concessionária.

2. DESENVOLVIMENTO DO RIQEE.

Num projeto de P&D anterior foi desenvolvido um equipamento denominado RIQEE, em parceria com a UNICAMP, Expertise e Reason Tecnologia. O RIQEE foi desenvolvido para solucionar a falta de mão de obra especializada e com uma contribuição mais importante, que é tratar a questão da análise de Qualidade de Energia Elétrica de um modo sistemático e não mais pontual para atender uma reclamação ou uma solicitação dos clientes, gestor ou de órgão regulador.

O RIQEE foi concebido e seu protótipo fabricado pela Reason. Os ensaios de validades foram feitos nos laboratórios da Unicamp.(Figura 1)

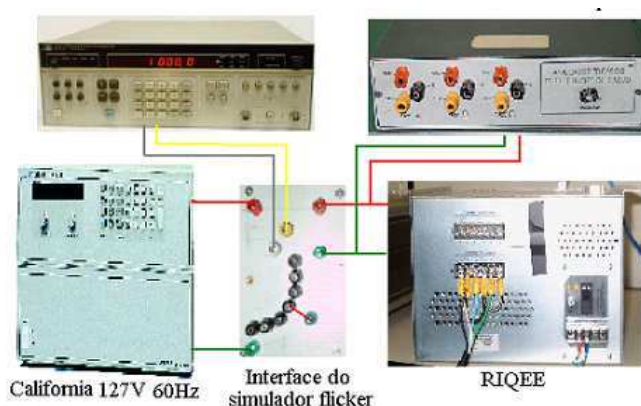


Figura 01 – Ensaio dos RIQEE, primeira versão no laboratório da UNICAMP

O RIQEE mede e registra as seguintes perturbações: Distorção harmônica total de tensão e corrente por fase, flutuação de tensão (*flicker*) Pst e Plt por fase, Desequilíbrio de tensão e corrente por fase, além de monitorar os eventos de VTCD.

Ao término do ciclo de 24 horas, automaticamente processa a sua memória de massa e estima as perturbações acima citadas levando-se em conta os limites recomendados e dentro dos percentis apropriados a cada fenômeno. No caso dos VTCD registra e envia todos os eventos com as suas características: duração e valor da tensão remanescente e a fase envolvida. Como todos os RIQEEs são sincronizados via GPS, podem auxiliar a equipe na solução dos problemas, identificando a origem e extensão do problema envolvido.

Os valores calculados então são enviados ao servidor da CPFL, via rede interna ou modem celular. E são disponibilizadas as informações a todos os usuários da CPFL através da intranet. O diagrama de coleta e envio dos dados é mostrado na Figura 2.

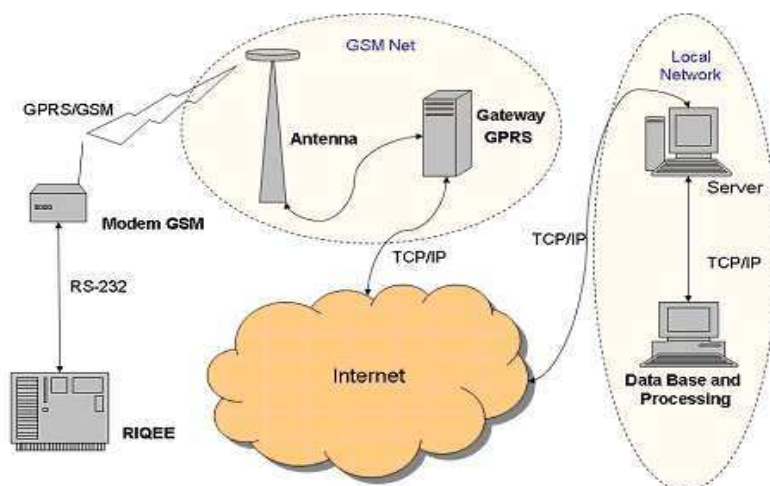


Figura 2 – Diagrama esquemático de coleta e transmissão de dados do RIQEE

Após anos de desenvolvimento, em 2007, o RIQEE foi atualizado e apresentado um modelo moderno integrado ao painel da subestação. A sua instalação não mais necessita de um móvel especial e de modo mais pratico. (Figura 3).



Figura 3 – Versão atual da RIQEE

Ao iniciar o projeto de integração, foi desenvolvida uma versão de um *software* de tratamento dos indicadores, denominado de SGCP (Figura 4), porém com a implantação do CIQ da CPFL, esta versão foi atualizada, com as mesmas funcionalidades. Algumas novas metodologias de tratamento de dados foram pesquisadas e implementadas, entretanto este assunto será mostrado em detalhe num outro artigo.

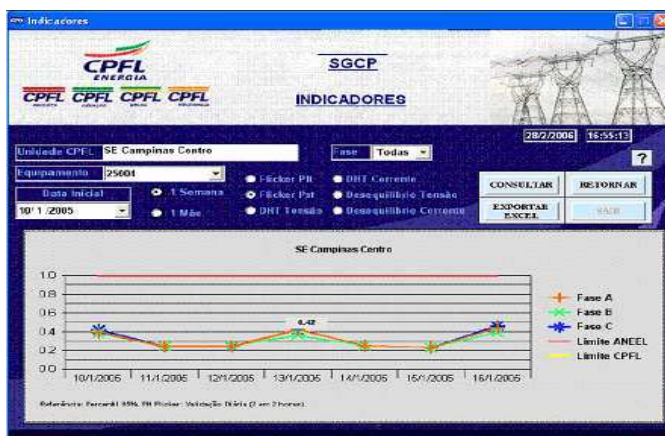


Figura 4 – Primeira versão do Software de tratamento de indicadores para RIQEE

3. METODOLOGIA

3.1. Aquisição de Sinais

Os sinais de tensão e corrente são adquiridos diretamente dos transformadores de potencial (TP) e dos transformadores de corrente (TC). Existem equipamentos instalados em 11,9 kV, 25 kV, 69 kV e em 138 kV.

3.2. Processamento

Neste Sistema os fenômenos da Qualidade (*flicker* pst, *flicker* plt, DHT de tensão, DHT de corrente, desequilíbrio de tensão e desequilíbrio de corrente) são resumidos dia a dia por um valor estatístico no qual 95 % das amostras estão abaixo deste valor. Essas amostras são integralizadas a cada 10 minutos, exceto para as amostras de *flicker* plt que são integralizadas a cada 2 horas. As Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD) são resumidas pelo seu afundamento e duração. Ou seja, através da metodologia desenvolvida pela Unicamp (Prof. Dr. Sigmar Deckmann), o sistema facilita a análise das informações, pois os dados já estão processados, gerando “informações lapidadas” para a análise de qualidade de energia.

3.3. Transmissão de Sinais

Após a meia noite, com os indicadores consolidados, os dados são enviados através de arquivos tabulares (.CSV). O Modem conectado ao registrador faz uma conexão GPRS com o servidor e alimenta o banco de dados. A metodologia de compactação dos dados possibilita que cada ponto de medição utilize 5 Kbytes para transmissão de dados, diminuindo o custo de comunicação do sistema.

4. SISTEMA DE GESTÃO

O Sistema de gestão é responsável pela inserção dos dados na Data Base, fazendo a leitura dos arquivos enviados pelos RIQEEs e inserindo as informações em uma base Oracle.

As consultas também são realizadas pelo Sistema de gestão, as informações podem ser visualizadas em forma de tabela, em forma gráfica e também através de relatórios. A Figura 5 apresenta uma das telas de consulta do sistema de gestão. O cadastramento de equipamentos e pontos de medição também é gerenciado pelo sistema.

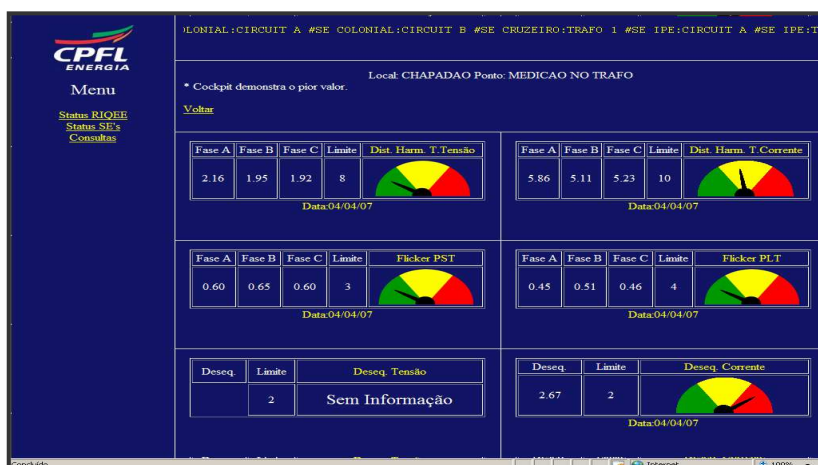


Figura 5 – Sistema de Gestão

5. RESULTADOS

5.1. Interfaces do sistema de gestão na companhia

Durante o primeiro ano de desenvolvimento foi prospectada nos diversos setores da CPFL uma demanda por informações relativas à qualidade de energia da rede. A Figura 6 ilustra as áreas que se relacionam ou se relacionarão com a CIQ, são elas: Operação, Comercial, Jurídico, Estações Avançadas, Serviços de Campo, Gestão de Ativos, Regulatório e Engenharia, esta última subdividida em Proteção, Planejamento, Sistemas, Normas de Conexão e Estudos da Qualidade.



Figura 6 – Interfaces da CIQ

Cada área possui na CIQ um ambiente específico, no qual apenas as informações pertinentes à área podem ser consultadas, sendo que estas informações já estão formatadas para que todos os encaminhamentos e providências possam ser tomados sem nenhuma necessidade de pós-processamento de informação. Estas informações são disponibilizadas através de consultas on-line, relatórios periódicos de acompanhamento, relatórios gerenciais, relatórios operacionais, relatórios esporádicos (para eventos) e alertas via e-mail.

Para que a informação chegue ao usuário de maneira clara e que seja pertinente às sua atividade desenvolvida dentro da companhia, algumas ferramentas inteligentes são usadas para garantir esta seletividade.

6. FERRAMENTAS INTELIGENTES

Uma das ferramentas utilizadas são as máscaras. Em um espaço amostral, definido pelo tamanho da janela em análise, extrai-se a média e o desvio-padrão, e a composição da média mais duas vezes o desvio-padrão caracteriza a máscara. Assim essa análise é realizada amostra a amostra, com a janela deslizando.

Os pontos de medição cujo valor amostrado extrapola a máscara, automaticamente entram em “quarentena”, em estado de observação, no qual a CIQ realiza um acompanhamento detalhado da evolução dos indicadores. Neste período a CIQ recolhe subsídios para identificar se houve realmente uma mudança significativa naquele ponto de medição ou então foi apenas um evento esporádico causado, por exemplo, por uma manobra na subestação.

Hoje na CIQ existem dois tipos de máscara:

- Máscara para acompanhamento dos indicadores em um ciclo de 7 dias com janela de tempo determinada pelo ciclo de carga, que se repete na indústria de uma em uma semana. Com esta

máscara é possível acompanhar dia-a-dia a evolução dos indicadores e verificar sua normalidade atrelada a um peso histórico de uma semana.

- Máscara para acompanhamento dos indicadores no ciclo de uma estação, 3 meses, para cada dia da semana separadamente. Com esta máscara é possível acompanhar em cada dia da semana separadamente a evolução dos indicadores. A normalidade é determinada por um peso histórico de 3 meses (12 semanas), ou seja, uma estação climática. A Figura 7 exemplifica esta máscara com os dados de *flicker* PST da Subestação Campinas-Centro, no período de 27 de dezembro de 2004 até 27 de maio de 2006.

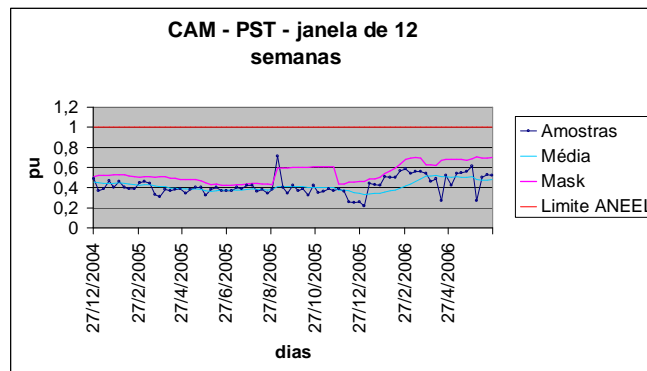


Figura 7 – Máscara de 3 meses

Note que no mês de setembro de 2005 uma amostra ultrapassou os limites da máscara, porém as amostras posteriores indicam que aquela elevação excessiva foi uma ocorrência isolada, e após 12 amostras a máscara volta ao seu patamar normal.

Outra ferramenta utilizada para dar seletividade à informação são as consultas correlacionadas das séries históricas, na qual a correlação é dada pelas Equações 1, 2 e 3, onde y_i e x_i são as amostras e \bar{y} e \bar{x} são as médias aritméticas das séries:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

A correlação é obtida entre dois pontos de medição distintos para um mesmo indicador. A Figura 8 ilustra os resultados obtidos para o alimentador 11 da Subestação Paineiras com a barra de 138 kV da mesma subestação, para o indicador *flicker* PST, no período de 7 de março de 2007 a 10 de maio de 2007.

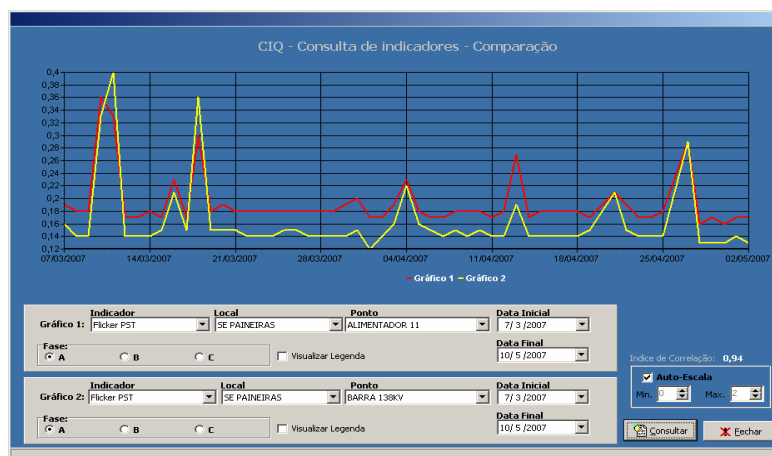


Figura 8 – Correlação de entre pontos

Neste período a correlação entre os pontos de medição foi de 0,94.

O valor da correlação varia de 1 a -1, onde 1 significa uma alta correlação, 0 significa que não existe correlação entre as séries e -1 traduz uma correlação inversamente proporcional. Ou seja, a correlação de 0,94 obtida demonstra que o *flicker* PST da barra de 138 kV e do alimentador 11 da Subestação Paineiras, variam conjuntamente.

A correlação também é usada no Central de Inteligente da QEE para comparar diferentes indicadores em um mesmo ponto de medição.

A Figura 9 demonstra a correlação entre o *flicker* PST e o Desequilíbrio de Tensão no alimentador 11, no período de 1 de janeiro de 2007 a 10 de maio de 2007.

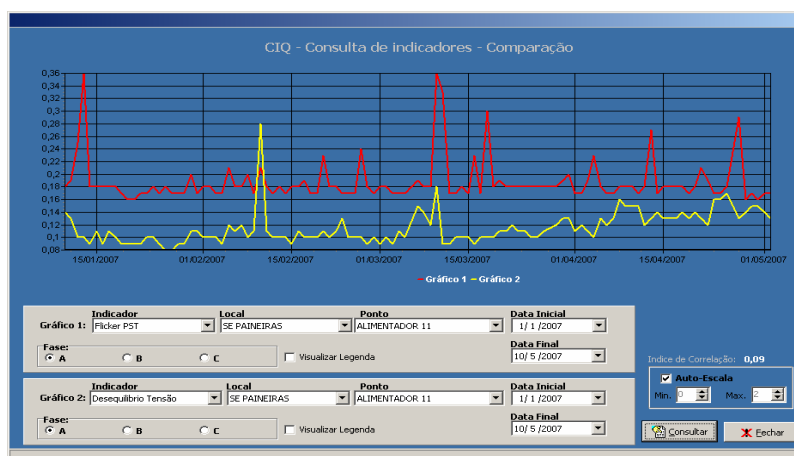


Figura 9 – Correlação entre Indicadores

Neste exemplo o gráfico aponta para uma correlação de 0,09, ou seja, os indicadores de *flicker* PST e Desequilíbrio de Tensão variam independentemente neste ponto.

A correlação de indicadores em pontos distintos também é utilizada para formar grupos correlacionados. A Tabela 1 apresenta a correlações entre 20 pontos de medição para o indicador de *flicker* PST. Correlações acima de 0,90 estão em verde, sinalizando um alto grau de correlação. Em marrom estão as correlações médias, entre 0,50 a 0,90 e em vermelho as correlações baixas, entre 0,00 e 0,50. É importante ressaltar que os limites são modulares, pois a correlação varia de -1 a 1.

TABELA 1: TABELA DE CORRELAÇÕES

Correlação	Piracicaba	São Pedro	Saltinho	Ipê	Morumbi
Piracicaba	1,0000	0,9948	0,6740	0,6386	0,9521
São Pedro	0,9948	1,0000	0,6603	0,5969	0,9435
Saltinho	0,6740	0,6603	1,0000	0,9359	0,8037
Ipê	0,6386	0,5969	0,9359	1,0000	0,7447
Morumbi	0,9521	0,9435	0,8037	0,7447	1,0000
Campinas	0,9302	0,9215	0,4683	0,6043	0,8411
Campo Verde	0,7094	0,6911	0,9776	0,9023	0,8551
Chapadão	0,6559	0,6065	0,9008	0,9346	0,8091
Colonial	0,7256	0,6993	0,9542	0,9576	0,8587
Cosmópolis	0,9770	0,9788	0,5476	0,6459	0,9862
Indaiatuba Tr1	0,2672	0,2009	-0,0351	0,1834	0,1016
Indaiatuba Tr2	-0,0016	-0,0902	0,0407	0,2462	0,1149
Morro Azul	0,9663	0,9723	0,6834	0,6242	0,9136
NAP	0,9988	0,9907	0,7919	0,6915	0,9719
Orquídea	0,9889	0,9826	0,7541	0,7077	0,9808
Paulínia	0,9831	0,9850	0,8101	0,8732	0,9919
Souzas	0,8808	0,8691	0,7418	0,6406	0,9576
Sumaré	0,6719	0,6286	0,5758	0,6504	0,6790
Taquaral	0,9658	0,9628	0,7384	0,6854	0,9717
Nova Veneza	-0,0102	-0,1073	0,2223	0,5005	0,0521

Através da tabela de correlação montada, obtêm-se então os grupos correlacionados. Todos os pontos de medição que apresentam correlação alta entre eles formam um grupo correlacionado. A tabela 2 ilustra todos os grupos formados.

TABELA 2: TABELA DE GRUPOS CORRELACIONADOS

Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4	Grupo5	Grupo6	Grupo7
Piracicaba	Saltinho	Cosmópolis	Indaiatuba Tr2	Morumbi	Sumaré	Nova Veneza
São Pedro	Ipê	Indaiatuba Tr1	-	Cosmópolis	-	-
Morumbi	Campo Verde	-	-	Orquídea	-	-
Campinas	Chapadão	-	-	Paulínia	-	-
Cosmópolis	Colonial	-	-	Souzas	-	-
Morro Azul	-	-	-	-	-	-
NAP	-	-	-	-	-	-
Orquídea	-	-	-	-	-	-
Paulínia	-	-	-	-	-	-
Taquaral	-	-	-	-	-	-

A formação de grupos correlacionados subsidia uma distribuição inteligente e eficaz de medidores na rede da CPFL, pois a identificação desses grupos possibilita remanejamento de ponto de medição selecionando pontos onde ainda não se conhece o comportamento da rede quanto a QEE.

7. RECOMENDAÇÕES

- Instalar novos e remanejar RIQEEs na rede da concessionária segundo os requisitos a seguir:
 - Acessibilidade do ponto: Facilidade de acesso físico à SE, acesso a TP e TC e disponibilidade de comunicação via rede Ethernet.
 - Vulnerabilidade a distúrbios: Pontos críticos da rede com respeito à ocorrência de perturbações de QEE.
 - Sensibilidade de consumidores: Existência de consumidores ou de processos industriais sensíveis a eventos de QEE.
 - Registro de Reclamações: Existência de reclamações de consumidores sobre problemas de QEE.
 - Prospecção de dados: Ponto de interesse para medição e obtenção de dados para fins de análises pelo projeto.
 - Pontos Estratégicos: Ponto importante do ponto de vista da configuração da rede e de relacionamento com clientes.

- Propagação de eventos: Ponto importante para a análise de propagação e correlação de eventos.
- Instalar RIQEEs em indústrias para comparar a QEE do ponto de vista da carga com os indicadores medidos nos alimentadores, transformadores e linhas;
- Inserção de novas funcionalidades na CIQ para englobar as análises de regime permanente de tensão (Resolução 505) e análises de impacto de VTCDs com a reconstrução do perfil da RMS, disponibilizados em tempo real.

8. CONCLUSÃO

Gradativamente a QEE esta se tornando mais uma variável no processo produtivo da CPFL, porém para garantir a internalização e o uso efetivo da Central Inteligente da QEE, as informações devem ter qualidade para subsidiar a tomada de decisão.

Os resultados mostrados neste artigo, nos quais os grupos de usuários são tratados de maneiras distintas e ferramentas inteligentes são utilizadas para dar seletividade as informações dão eficácia a CIQ, facilitando assim a incorporação da gestão da QEE no processo produtivo da concessionária.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ONS - Operador Nacional do Sistema. Módulo 2 - Padrões de Desempenho da Rede Básica e Requisitos Mínimos para suas Instalações
- [2] RAMOS, Álvaro. Análise da Norma NRS-048 (África do Sul) e sua aplicabilidade ao sistema Brasileiro quanto à Variação Momentânea de Tensão. Recife, Novembro de 1999
- [3] MARAFÃO, F. P.; DECKMANN, S. M; PAIVA, E.P. "Monitor Digital de Qualidade da Energia Elétrica: Obtenção *on line* de Indicadores de Qualidade". 3o SBQEE, Brasília, DF - Agosto 1999
- [4] CORREIA, Fidélis Botelho; BRONZEADO, Herivelto de Souza. Fator de Desequilíbrio em Sistemas Trifásicos. IV SBQEE - Agosto de 2001
- [5] ULIANA, Policarpo B.; BRONZEADO, Herivelto de Souza. Monitoração da Qualidade da Energia Elétrica em Sistema de Potência. Discussão de Filosofias. XVI SNPTEE, Campinas, Outubro 2001
- [6] ULIANA, Policarpo B.; OLIVEIRA, Jurandir P. Comparação funcional entre registradores de Parâmetros de Qualidade de Energia Elétrica (RQE) e Registradores Digitais de Perturbações (RDP). IV SBQEE - 2001
- [7] ALVES, Mario F.; RODRIGUES, Trícia Z. e outros. Um sistema de aquisição de dados para o gerenciamento da Qualidade da Energia Elétrica. IV SBQEE - 2001