

Qualidade de Energia - Estudo de Casos Reais - 3ª Parte Fornecimento a Indústria de Papel

Ricardo Penido Ross

Antonio G. Lima

Reynaldo S. da Costa

Luiz F. de Souza

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

C.P. 68.007 - 21944-970 - Rio de Janeiro - RJ

rpedr@fund.cepel.br

Moisés Nami Neto

COPEL

Carlos A. de Oliveira

PISA

Resumo - Este artigo apresenta os estudos realizados, até o momento, para investigação de problemas de Qualidade de Energia envolvendo a concessionária COPEL e o consumidor PISA.

Palavras-chave - fábrica de papel, qualidade de energia, oscilações transitórias de tensão

Abstract - This article presents the Power Quality studies conducted, so far, to investigate the supply problems involving the utility COPEL and customer PISA

Keywords - paper industry, power quality, voltage sags

1.- INTRODUÇÃO

O CODI, a ELETROBRÁS e o EPRI realizam um projeto de pesquisa com o CEPEL e a ELECTROTEK para o estudo de três casos reais de problemas de Qualidade de Energia Elétrica em grandes consumidores industriais do país. O presente artigo trata do caso COPEL / PISA. Os outros dois casos estão documentados na referência [1].

A COPEL é uma das maiores concessionárias de energia elétrica do país com quase 2,5 milhões de consumidores, possui geração própria com potência instalada de 3300 MW e 6150 km de linhas de transmissão (sem considerar as de distribuição). A rede na qual se inserem as subestações de Figueira e Jaguari é conhecida como sistema Norte. O nível de curto circuito trifásico em Jaguari é de aproximadamente 950 MVA.

A PISA é uma fábrica de papel jornal localizada no município de Jaguariáiva no Paraná. As principais matérias primas utilizadas na fabricação da folha de papel são as pastas produzidas pela PISA e a celulose que é produzida externamente.

A principal queixa do consumidor é referente às oscilações transitórias de tensão que afetam o processo automatizado da produção da folha de papel. No entanto, tanto a concessionária como o consumidor reconheceram, antes do início do projeto, que tais ocorrências não são frequentes.

A figura 1 mostra um diagrama unifilar da PISA onde podem ser vistas as principais cargas. São dois os processos automatizados:

- Pastas mecânica e termo-mecânica. São produzidas à partir de toras de madeira. No seu processo de fabricação são utilizados motores síncronos de grande potência nominal. Tais motores propiciam uma melhor compensação de energia reativa porém podem apresentar problemas de quedas de tensão durante a partida e perda de sincronismo durante oscilações do sistema. Os dois motores síncronos de 20 MW foram conectados a uma barra independente de 13,8 kV de forma a minimizar os problemas durante sua partida.
- Máquina de Papel. É uma linha de produção automatizada composta por 39 rolos. Muitos deles são acionados por motores de corrente contínua com excitação independente que por sua vez são alimentados por acionamentos eletrônicos de forma a variar a velocidade de rotação. A folha de papel jornal passa por todos os rolos cujo processo geral é controlado por um PLC.

As investigações de Qualidade de Energia, conduzidas pelo CEPEL, possuem três etapas: simulações iniciais, medição de campo e análise dos resultados. No momento estão sendo realizadas a última etapa de medições e a análise dos dados coletados. Por isso, neste artigo, são apresentados resultados e conclusões parciais obtidos com base nos dados processados até o momento.

2. - SIMULAÇÕES INICIAIS

O CEPEL realizou simulações preliminares, de oscilações de tensão, verificando as tensões internas dentro da indústria na ocorrência de curtos-circuitos e manobras no sistema supridor da COPEL.

Foram executadas simulações no programa ANAFAS que permite uma análise à partir de um ponto de monitoração, barra de 138 kV da PISA, possibilitando uma verificação da tensão, nesta barra, decorrente da aplicação de curtos circuitos em todas as barras e ao longo de todas as linhas de transmissão.

2.1 - Área de Vulnerabilidade - A área de vulnerabilidade de um consumidor, face a curtos-circuitos no sistema supridor, é definida como sendo a porção do sistema elétrico, linhas de transmissão e subestações, onde a ocorrência de curtos circuitos, na concessionária, faz com que os níveis de tensão, nas barras internas do consumidor, atinjam limites críticos que possam causar desligamentos totais ou parciais. A referência [2] mostra o conceito e a aplicação do mesmo.

No caso COPEL / PISA definiu-se duas áreas de vulnerabilidade para curtos- circuitos fase-terra:

- Área de Vulnerabilidade 1 - Curtos-circuitos fase-terra que causam subtensões abaixo de 50% na PISA. Acredita-se que todos os processos industriais automatizados sejam interrompidos caso a tensão de fornecimento atinja este valor.
- Área de Vulnerabilidade 2 - Curtos-circuitos fase-terra que causam subtensões abaixo de 70% na PISA. Subtensões compreendidas na faixa entre (50 e 70)% da tensão de fornecimento podem ou não causar a interrupção de processos automatizados dependendo da duração do fenômeno e da sensibilidade dos equipamentos. A curva da CBEMA contida na referência [2] mostra um exemplo deste fato.

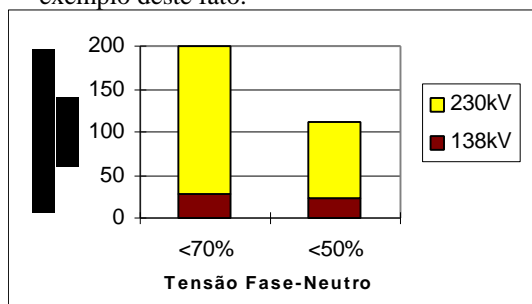


Fig 2 - Extensão da Área de Vulnerabilidade para Curtos Circuitos Monofásicos

A figura 2 mostra a extensão das duas áreas de vulnerabilidade para curtos circuitos monofásicos. Pode-se observar que para a área de vulnerabilidade 1 (50%) existem apenas 110 km de linhas de transmissão críticas enquanto que para a área de vulnerabilidade 2 (70%) são 200 km críticos.

2.2 - Número de Desligamentos por Ano - As linhas de transmissão da COPEL críticas, com relação a subtensões na PISA, são as de 138 kV partindo da SE Jaguari (PISA e INPACEL) e as de 230 kV e 138 kV partindo da SE Figueira (Jaguari, T.Borba, Apucarana, Ponta Grossa e Chavantes). Os transformadores críticos são os de (230/138) kV das subestações Jaguari e Figueira. A COPEL forneceu dados de desligamentos, provocados pela atuação de proteção, destas linhas e transformadores nos últimos anos. Tais dados em conjunto com a identificação das áreas de vulnerabilidade permitiram estimar o número de eventos por ano:

- 6,41 eventos em que as tensões na PISA se situem abaixo de 50% da tensão nominal.
- 8,98 eventos em que as tensões na PISA se situem abaixo de 70% da tensão nominal.

Este número de desligamentos não é elevado se comparado com levantamentos realizados no exterior e documentados em conferências internacionais.

3. - MEDIÇÕES REALIZADAS

Os equipamentos de medição utilizados funcionam como sistema de telemedição, isto é, são compostos por uma remota que aquisita dados de forma periódica sempre que condições limites, previamente estabelecidas, são excedidas, e um "software" implantado em um microcomputador no CEPEL. A comunicação é feita via "modem" e linha telefônica.

Têm-se dados aquisitados, de forma sistemática, de Janeiro a Julho de 1997. Durante estes 6 meses três remotas percorreram diversas áreas fabris executando medições. Houve, no entanto, um período de duas semanas no mes de Maio em que a indústria parou para troca dos acionamentos da máquina de papel.

Os locais escolhidos, para medição, foram os seguintes:

- PAC da PISA. Tensão 138 kV. A remota permaneceu neste local durante os 6 meses.
- Acionamento eletrônico do grupo secador 1 da máquina de papel. Tensão 460 V. A remota permaneceu neste local de Janeiro a Maio.
- Acionamento eletrônico da rebobinadeira da máquina de papel. Tensão 460 V. A remota permaneceu neste local de Janeiro a Maio.

- Acionamento eletrônico do grupo secador 4 da máquina de papel. Tensão 460 V. A remota permaneceu neste local de Maio a Agosto. Este acionamento é mais moderno do que os outros medidos.
- Barramento B. Tensão 13,8 kV. A remota permaneceu neste local de Maio a Julho.
- Barramento A. Tensão 13,8 kV. A remota permaneceu neste local de Julho a Agosto.

4. - RESULTADOS OBTIDOS

No presente artigo foram analisados dados correspondentes a 6 meses de medições na PISA.

4.1 - Regime Permanente - A figura 3 mostra um histograma da tensão fase-neutro medida de uma em uma hora no PAC. Observa-se nesta figura que a regulação na entrada da PISA é excelente pois a tensão ficou na faixa entre (0,98 e 1,03) pu com média de 1,00 pu e desvio padrão de 0,009 pu demonstrando que os níveis de tensão estão adequados e de acordo com a portaria do DNAEE [3].

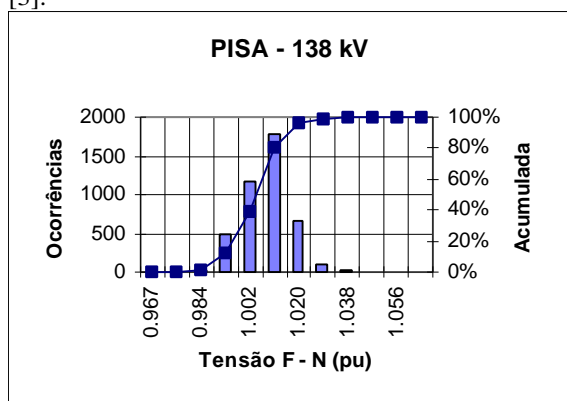


Fig 3 - Histograma da tensão fase-neutro medida no PAC

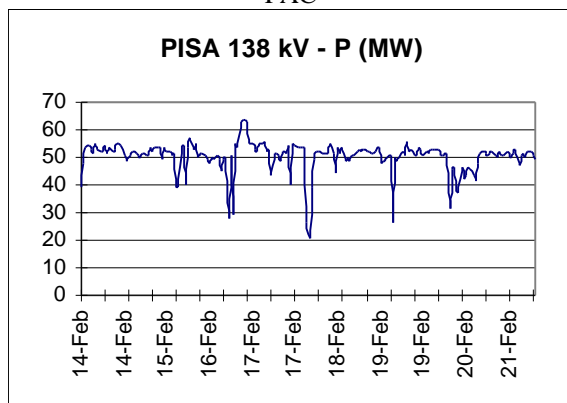


Fig 4 - Gráfico da Evolução da Potência Ativa no Período de uma Semana

A figura 4 mostra um gráfico da evolução horária da potência ativa, medida no ponto de

acoplamento comum, durante um intervalo de uma semana. Observa-se que o consumidor procura manter a demanda em torno de 50 MW, não havendo restrições quanto a demanda no horário de ponta e fora da ponta de carga do sistema. Em alguns casos verifica-se uma queda na potência consumida correspondendo a períodos em que o processo de produção das pastas foi diminuído.

A figura 5 mostra um histograma da distorção total de tensão (THDV) medida no PAC. Observa-se, nesta figura, que as ocorrências que excederam o nível de 2,5% correspondem a menos do que 4% do total e as que ultrapassaram 3,0% correspondem a 0,15% das ocorrências.

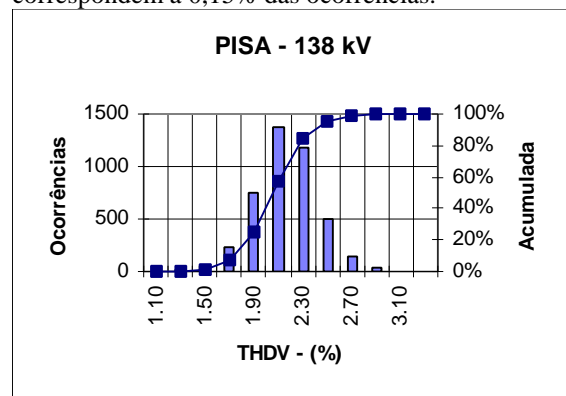


Fig 5 - Histograma da Distorção Harmônica Total de Tensão no PAC

O valor THD = 2,5% é o contido na recomendação IEEE-519[4] e com uma ressalva de que se a duração for inferior a uma hora o limite pode ser dobrado. A recomendação brasileira[5] define os limites de 1,5%, como máximo de um consumidor individual, e 3,0%, para limite global, sem referência à duração. Este resultado indica que o sistema elétrico no ponto de entrega não apresenta problemas de distorção harmônica de tensão.

4.2 - Regime Transitório - As subtensões transitórias são causadas por curtos-circuitos nos sistemas supridores e dentro do próprio consumidor industrial. A figura 6 mostra a curva de (amplitude x tempo) das subtensões transitórias medidas na barra de 138 kV da PISA no período de 6 meses. Nesta curva foi desenhada a envoltória da CBEMA[2].

Analisando-se a figura 6 observa-se que em 6 meses de medição foram detectadas:

- 16 subtensões inferiores a 85% da tensão nominal;
- 8 subtensões inferiores a 70%;
- Nenhuma subtensão inferior a 50%;
- Nenhuma sobretensão superior a 110%;

- Em apenas um caso a duração da subtensão foi de 20 ciclos. Nos demais variou entre 4 e 8 ciclos;
- Em 7 casos a envoltória inferior da curva da CBEMA foi ultrapassada indicando que estas subtensões devem ter causado a parada de equipamentos eletrônicos.

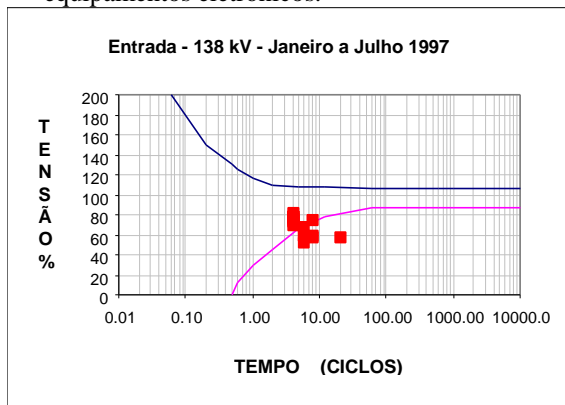


Fig 6 - Curva Amplitude x Tempo de Duração das Subtensões Transitórias

A figura 7 mostra a forma de onda da tensão e corrente na fase A durante uma subtensão transitória causada por curto circuito no sistema supridor. Observa-se que durante a subtensão a corrente drenada pelo consumidor aumenta e adianta-se com relação a tensão devido a presença dos motores síncronos de grande porte. A referência [6] mostra que estes motores auxiliam durante os transitórios mas dependendo da duração dos mesmos podem perder sincronismo com a rede obrigando uma interrupção do processo produtivo.

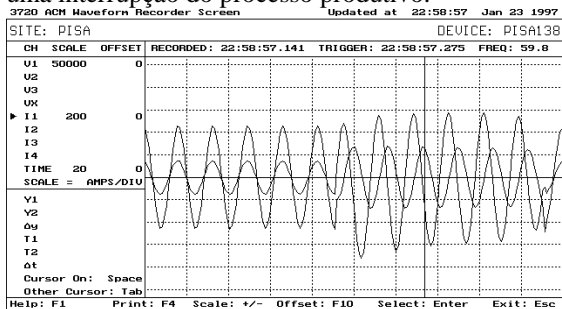


Fig 7 - Tensão e Corrente durante uma Subtensão Transitória Causada por Curto Circuito no Sistema

A figura 8 mostra a subtensão causada pela partida de um dos motores síncronos de 20 MW localizado na barra B de 13,8 kV. Observa-se, nesta figura, que a subtensão atinge níveis de 75% da tensão nominal. Durante aproximadamente 10 segundos a tensão na barra B permanece abaixo de 85%.

A remota localizada na barra A de 13,8 kV, que atende todas as outras cargas industriais, não detectou subtensão em nenhuma partida dos grandes motores síncronos pois a PISA e a COPEL

combinaram uma série de medidas operativas envolvendo mudança das tomadas dos transformadores reguladores de (138 / 13,8) kV da PISA e (230 / 138) da COPEL bem como reajustes nos “tapes” dos relés de subtensão das barras de 13,8 kV da PISA. As medições comprovaram o sucesso destas medidas.

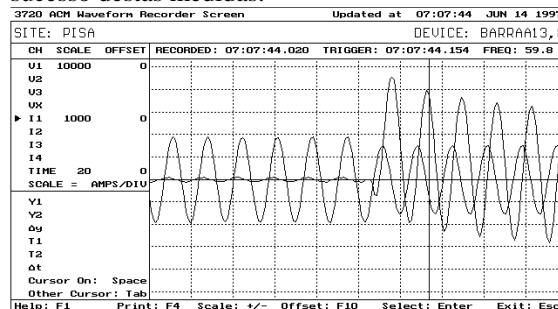


Fig 8 - Tensão e Corrente Durante Subtensão Transitória Causada por Partida de Motor Síncrono

Até a data em que este artigo foi escrito ainda não se conseguiu a informação de quais eventos, de subtensão transitória, causaram efetivamente o desligamento dos acionamentos eletrônicos dos motores da máquina de papel. Sabe-se, no entanto, que no período monitorado houve pelo menos 5 desligamentos.

A figura 9 mostra um gráfico que compara o número de subtensões, com amplitude inferior a 70% da nominal, detectadas na entrada da PISA com o número de subtensões, na mesma faixa, previstas pelo método da área de vulnerabilidade e os dados históricos da COPEL.

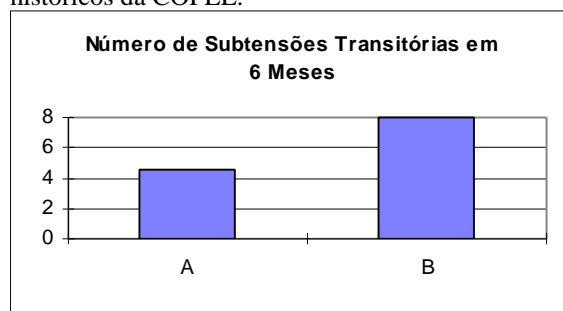


Fig 9 - Número de Subtensões Transitórias

O significado de cada coluna da figura é a seguinte:

A - Número de ocorrências estimadas devido a curtos circuitos nos sistemas supridores.

B - Número de ocorrências medidas pela remota.

A diferença entre estes números pode ser atribuída a subtensões causadas por problemas internos a PISA, não considerados nos cálculos e também devido ao fato da previsão ter sido feita considerando um ano típico e o atual pode não ser típico. Estes pontos ainda estão em análise e as ocorrências medidas pelas remotas serão

comparadas com os relatórios de ocorrências da COPEL e a PISA.

5. CONCLUSÕES

Os trabalhos realizados, até o momento, para investigação dos problemas de Qualidade de Energia envolvendo a COPEL e a PISA mostram que os mesmos não são relevantes. A análise em regime permanente concluiu que a regulação de tensão e níveis de distorção harmônica são satisfatórios. A análise transitória, ainda em andamento, detectou 8 subtensões transitórias inferiores a 70%, algumas delas causaram desligamentos, mas este número, para um período de 6 meses, também não é preocupante.

Uma das vantagens de uma investigação da Qualidade de Energia, como a que está sendo feita, é poder comparar os resultados obtidos atualmente com outros no futuro permitindo um acompanhamento da qualidade do fornecimento ao longo do tempo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] - Ricardo P. D. Ross, Antonio G. G. Lima, Antonio Guarini, Plutarcho Lourenço, Alex J. C. Melo - “Qualidade de Energia - Estudo de Casos Reais - 2ª Parte - Fornecimento a Indústria Siderúrgica que utiliza Fornos a Arco e Laminadores”, SBQEE’96, Uberlândia, Junho 1996.
- [2] - Mark McGranaghan - “An Overview of Power Quality” - Notas do 2o Workshop sobre Qualidade de Energia Elétrica - CEPEL, Agosto 1995
- [3] - “Legislação sobre Tensões de Fornecimento” - Portaria do DNAEE nº 04/89, 1989.
- [4]. “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. IEEE Std 519, 1992”
- [5] - GCOI / SCEL / CECE / GCPS / CTST / GTCP - “Critérios e Procedimentos para o Atendimento a Consumidores com Cargas Especiais”, Fevereiro 1993.
- [6] - J.C. Das - “Effects of Momentary Voltage Dips on the Operation of Induction and Synchronous Motors” - IEEE IAS, vol 26, number 4 , July/August 1990.

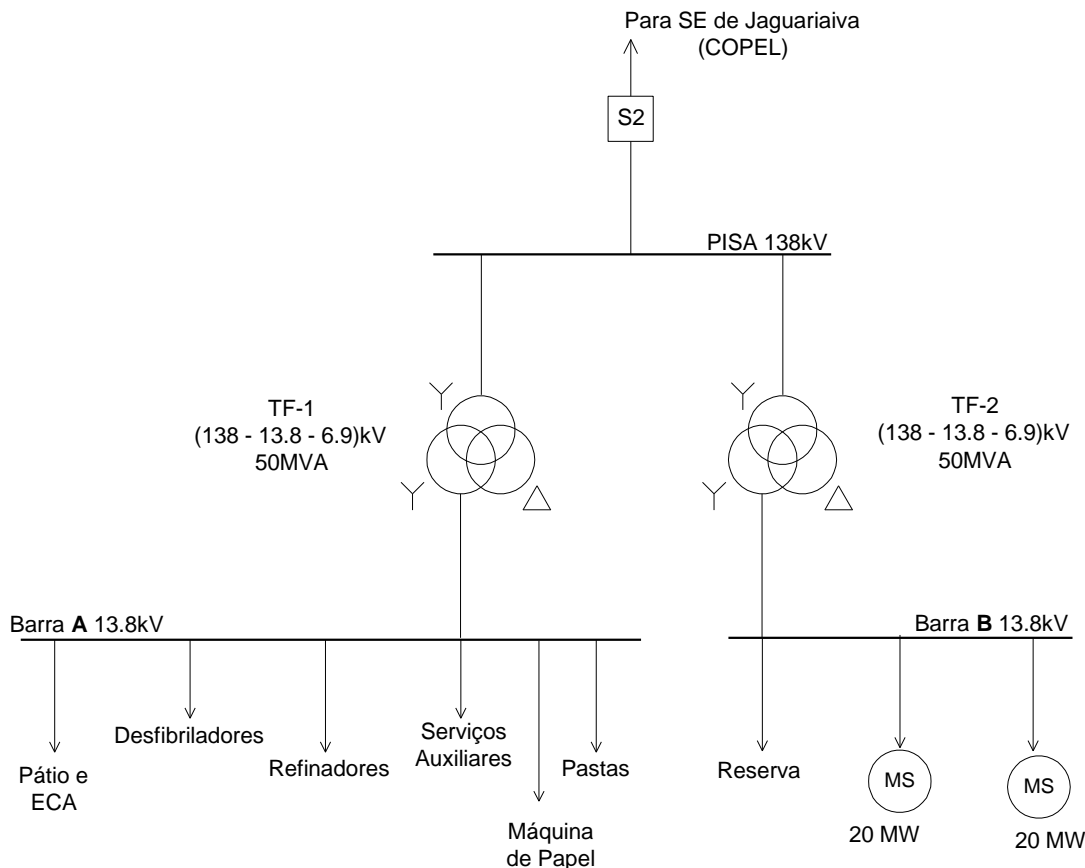


Fig 1 - Diagrama Unifilar da PISA