

Sistema para Análise Automática de Oscilografia na Light

M. A. P. Rodrigues, Light, M. A. M. Rodrigues, CEPEL, M. V. F. Figueiredo, CEPEL, S. S. Diniz, PUR/Rio, A. L. L. Miranda, PUC/Rio

RESUMO

O artigo apresenta o Sistema de Análise Automática implementado na LIGHT para agilizar o processo de classificação e armazenamento de oscilogramas. O sistema permite uma rápida identificação do conteúdo do evento, permitindo que os engenheiros responsáveis pela análise possam se concentrar nos eventos mais relevantes. O artigo descreve as principais características do sistema e apresenta exemplos com resultados de análise.

PALAVRAS-CHAVE

Análise automática de oscilogramas, oscilografia, proteção.

I. INTRODUÇÃO

A quantidade de pontos de oscilografia monitorados no sistema de potência vem aumentando consideravelmente. Pode-se destacar, dentre as causas desse fato:

- O avanço da tecnologia;
- Questões regulatórias.

A tecnologia atual confere aos registradores digitais de perturbação maior robustez e confiabilidade, simplicidade de utilização e menor custo, viabilizando a formação de redes de oscilografia cobrindo uma grande extensão do sistema de cada empresa.

Por outro lado, com as mudanças estruturais pelas quais vem passando o setor de energia elétrica, torna-se cada vez mais importante a monitoração de qualquer perturbação que possa causar perda na qualidade da energia fornecida. Assim, além do interesse da empresa em possuir um registro que comprove sua isenção no caso desses eventos, existem também os Procedimentos de Rede do ONS [1], que exigem a monitoração de determinados pontos de conexão do sistema à rede básica.

Um dos principais problemas gerados por este fato é

o tratamento de uma enorme quantidade de registros, que não podem ser completamente analisados, em tempo hábil pela equipe responsável.

Outra questão importante é que a compra de equipamentos normalmente é feita em etapas, de forma que as empresas acabam ficando com um parque bastante variado. Essa situação cria vários problemas, como o da compatibilização dos arquivos oscilográficos (que devem ser colocados no mesmo formato), a identificação correta da origem e data do oscilograma, a utilização de parâmetros de amostragem distintos (taxa, janela, número de bits etc..).

Este artigo descreve o esforço da LIGHT, em conjunto com o CEPEL, no sentido de implantar um sistema para análise automática de oscilogramas, de forma a simplificar o trabalho de análise, buscando a solução dos problemas citados anteriormente. O trabalho, inicialmente planejado para apenas tratar da análise automática dos oscilogramas, se estendeu a outras necessidades para agilizar e automatizar o sistema. Em particular montou-se um banco de dados com características de cada registrador e de cada linha de transmissão da empresa.

Este sistema de análise automática faz parte do Sistema Integrado de Apoio à Análise de Perturbações - SINAPE - que é uma plataforma completa para análise de perturbações a partir de oscilografia [2]. O SINAPE, incluindo a parte de análise automática, é um projeto que foi desenvolvido pelo CEPEL, contando com o apoio das empresas do grupo Eletrobrás, especialmente de Furnas Centrais Elétricas [3].

II. ANÁLISE AUTOMÁTICA

Características de um sistema de análise automática

O objetivo final do processo de análise automática é a obtenção de uma descrição provável do evento registrado no oscilograma. Esta descrição será utilizada para preencher um banco de dados, aqui chamado de "Banco de Dados de Oscilografia".

No processo de análise automática, representado na Figura 1, estão presentes os seguintes elementos:

Oscilograma: arquivos de oscilografia gerados por um equipamento com função de oscilografia. Além do equipamento dedicado, o Registrador Digital de Perturbações (RDP), existem relés de proteção, medidores de qualidade de energia e remotas de supervisão e controle capazes de

M. A. P. Rodrigues trabalha na Light Serviços de Eletricidade S. A. (e-mail: maurelio@light.com.br).

M. A. M. Rodrigues trabalha no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL (e-mail: mamr@cepel.br).

M. V. F. Figueiredo trabalha no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL (e-mail: mvff@cepel.br).

S. S. Diniz trabalha na Fundação Pde. Leonel França - PUC/Rio (e-mail: suelaine@cepel.br).

A. L. L. Miranda trabalha na Fundação Pde. Leonel França - PUC/Rio (e-mail: miranda@cepel.br).

gerar tal informação. O arquivo de oscilografia registra a variação de grandezas analógicas e eventos lógicos ao longo do tempo com resolução de microsegundos.

Banco de Topologia: é um banco de dados onde são cadastradas informações estáticas sobre o sistema de oscilografia, como por exemplo, sua conexão ao sistema de potência. Também são armazenadas informações sobre os equipamentos ou componentes do próprio sistema, tais como parâmetros de linhas de transmissão, características do sistema de proteção etc.

Processamento de Sinais: é o conjunto de rotinas que operam sobre os sinais medidos e que utilizam os arquivos de oscilografia (com os valores medidos) e o Banco de Topologia para gerar informações sintéticas de cada oscilograma. O oscilograma é dividido em trechos e as características de cada trecho são expressas em índices (e.g., valor RMS, módulo, ângulo, DHT etc.).

Análise de Eventos: processamento computacional com objetivo de refinar as informações sintéticas obtidas com o Processamento de Sinais. Procura inferir o provável tipo de fenômeno registrado em cada oscilograma;

Banco de Dados de Oscilografia: este banco armazena os dados gerados pela Análise de Eventos. Esse banco de dados também serve como um repositório de informações para uso na obtenção de estatísticas de perturbações;

Relatório sinóptico: documento gerado pelo sistema de análise automática e que resume o resultado do processo de análise.

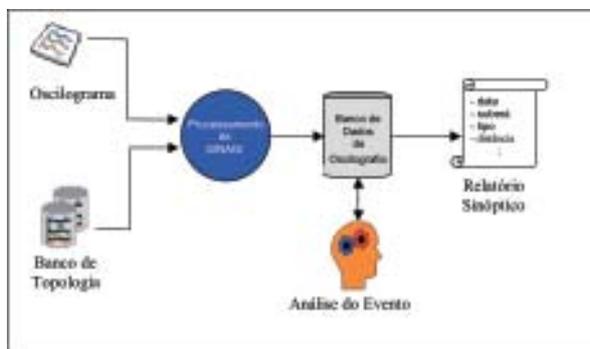


FIGURA 1: O processo de análise automática.

A. Banco de Topologia

O Banco de Topologia armazena informações sobre os oscilógrafos digitais, particularmente sua conexão ao sistema elétrico (que canal registra que fase de que circuito de que linha de transmissão). Estas informações permitem complementar aquelas que vem juntamente com o arquivo de oscilografia gerado para cada evento registrado.

O Banco de Topologia também guarda informações sobre o próprio sistema elétrico de potência. Por exemplo, quais as subestações assistidas por oscilografia, quais as linhas de transmissão que as interconectam, quais os parâmetros de impedância dessas linhas. Está em fase de desenvolvimento também a modelagem do próprio sistema de proteção. Isto permitirá que a configuração dos relés possa ser checado pelo sistema de análise, aumentando a

capacidade desse sistema de diagnosticar falhas em equipamentos ou erros de ajuste.

Na implantação do sistema, este banco precisa ser preenchido de forma bastante meticulosa, pois dele depende grande parte da eficiência da análise automática. Para isto e para manutenção do sistema existe uma interface com telas para edição de valores, como a que se observa na Figura 2, e expedição de relatórios da base de dados, que podem ser impressos.

Particularmente, na Figura 2, são apresentados os diálogos para edição de parâmetros de linhas de transmissão, tais como as impedâncias de mútua e de seqüência positiva e zero. O sistema aceita também a inserção de dados na forma de matriz de impedância, como produzido pela saída do programa "Line Constants" do EMTP.

B. Processamento de Sinais

As rotinas de processamento de sinais visam utilizar os canais do oscilograma para determinar os trechos que compõem o evento registrado e suas características.

O oscilograma típico possui as seguintes etapas: pré-falta, falta e pós-falta.



FIGURA 2: Interface para edição de parâmetros de linhas de transmissão.

A determinação da pré-falta é, a princípio, fácil, pois o registrador costuma indicar no oscilograma o momento em que foi disparado, momento que seria o da incidência da falta. Porém há dificuldades, a começar pelo fato de que essa indicação costuma ser imprecisa, pois depende da sensibilidade da lógica de disparo, ou mesmo de lógicas externas. Outros problemas surgem quando o oscilograma não se inicia por um período típico de pré-falta, como são, por exemplo, os casos de energização de linha de transmissão ou quando há o disparo do oscilógrafo no meio de uma falta evolutiva. Existem também as situações em que o oscilógrafo dispara por algum ruído de alta frequência, e o oscilograma não possui nada a não ser um registro do sistema em regime permanente.

A etapa de falta é caracterizada, em geral, por uma variação conjunta dos níveis de tensão (redução) e corrente (aumento). O problema é mais complexo que na pré-falta pois dependendo da configuração do sistema, várias

situações se estabelecem, como o aumento dos valores de corrente, sem a variação da tensão, ou a inversão da corrente, sem grandes variações de amplitude, devido à posição da falta se dar fora da linha monitorada.

A etapa de pós-falta é a mais difícil de se analisar, pois depende da progressão da falta e da extensão do registro. Muitas vezes o registro termina sem que a condição final do sistema se estabeleça. A falta pode ser eliminada ou a linha pode ser desligada. Pode haver uma tentativa automática de religamento feita pelo sistema de proteção, com ou sem sucesso. Como nestes casos não há qualquer indicação do registrador sobre a ocorrência de cada etapa, o sistema precisa localizá-la automaticamente.

Em futuros trabalhos, esta etapa de determinação de trechos poderá ser realizada em conjunto com a análise de eventos (que será baseada em sistemas especialistas), pois a quantidade de inferências necessárias para determinar os trechos é muito grande.

Uma vez ultrapassada a etapa de identificação dos trechos, é feita uma medição de valores para cada trecho, tais como valor RMS, DHT e cálculo do fasor da componente fundamental. Estes valores servirão de base para determinação do tipo de evento registrado.

C. Análise do evento

Baseado nos resultados encontrados na etapa de processamento de sinais pode-se inferir o tipo de evento registrado, inclusive diagnosticando uma enorme gama de problemas existentes tanto nos equipamentos de oscilografia, quando na proteção e nos equipamentos do sistema de potência. Esta inferência será tão mais completa quanto mais informação estiver disponível.

Nesta primeira fase do projeto utilizamos apenas a informação contida nos canais analógicos do oscilograma. Desta forma fica difícil diagnosticar muitos dos problemas que ocorrem no sistema de proteção ou nos disjuntores. A segunda etapa do projeto contemplará informação dos canais digitais, juntamente com a inclusão das características dos relés na base de dados.

Com o sistema desenvolvido é possível identificar o tipo de evento (falta, energização, falso disparo, linha aberta etc.) e, quando pertinente, a duração e o tipo da falta (fase-fase, fase-terra, bifásica à terra ou trifásica). Adicionalmente, fenômenos como inversão da polaridade da fase de um canal no transdutor, aumento da distorção harmônica, violação de níveis de harmônicos recomendados [4] e excesso de tensão residual também são indicados. Esta informação adicional pode fazer com que um oscilograma sem registro de falta possa contribuir para melhoria do sistema elétrico.

Com isto, os engenheiros responsáveis pela análise podem distinguir com mais facilidade os registros a serem analisados com maior cautela daqueles que não contém perturbações de relevância.

Na análise do evento algumas dificuldades surgiram, tais como:

- Aumento significativo nas correntes das fases não envolvidas na falta levaram o sistema a caracterizar a falta como trifásica. Este problema foi bem acentuado em certas ocorrências onde a corrente de falta aumentou à razão da ordem de centenas de vezes. O sistema precisou ser modificado para calcular corretamente o tipo de falta.
- A correta identificação de faltas progressivas é bastante complexa. O sistema foi melhorado para conseguir identificar alguns casos em que a falta evolui, ou em que o registro inicia-se durante a evolução da falta. Pretende-se, entretanto, estudar situações mais complexas no futuro.
- A atuação correta do sistema de proteção, ao eliminar rapidamente a falta, diminui o trecho de falta, dificultando a sua análise, em particular onde eventos com transitórios como a componente exponencial que se sobrepõe à corrente de falta (conhecida como "nível DC").
- A determinação do tipo de falta é interrompida quando o sistema percebe que a distorção harmônica é elevada. Isto é feito para evitar que ruídos ou oscilogramas gerados por disparos espúrios levem o sistema a uma conclusão errônea. Entretanto, tivemos que relaxar esta condição pois, como os níveis de corrente de pré-falta encontrados eram muito inferiores aos de falta, o ruído de medição/quantização torna-se proporcionalmente elevado.

Atualmente o sistema de análise automática está baseado em regras fixas de inferência. Na segunda etapa do projeto, estas regras serão trocadas por um sistema especialista. A utilização de sistemas especialistas visa facilitar a particularização de regras. Isto é útil para abranger características específicas de cada linha de transmissão.

D. Banco de Oscilografia

O Banco de Oscilografia tem como objetivo guardar o resultado da análise. Ele não guarda as informações da oscilografia em sua forma original (o arquivo de oscilografia), devido à sua enorme redundância. No banco são armazenadas as informações pertinentes, escolhidas pela LIGHT, para formarem uma base de dados para consulta futura, assim como para integrar o relatório sinóptico, gerado para cada registro oscilográfico.

E. Relatório Sinóptico

O relatório sinóptico descreve o evento ocorrido, realçando os pontos que merecem a atenção do responsável pela análise. O relatório desenvolvido para a LIGHT apresenta as seguintes informações:

- Dados da ocorrência: data/hora e local
- Descrição das linhas de transmissão envolvidas: nome, circuito, tensão e impedância de seqüência positiva e zero.
- Análise dos trechos da falta: cada trecho é identificado (pré-falta, falta, inválido etc.) e sua duração é fornecida.

Além disto, os fasores de cada grandeza e fase são informados para aquele trecho.

- Análise de distorção harmônica: indica os valores de DHT na pré-falta, indicando quando o nível ultrapassa um valor estabelecido.
- Análise de harmônicos: indica os valores harmônicos acima dos valores aceitáveis. Esses valores são programados individualmente para cada frequência harmônica.
- Dados complementares: valores máximos de tensão e corrente, duração do processo de análise, data da análise etc.

Dificuldades Adicionais Encontradas

Além das dificuldades listadas anteriormente, outras, cuja origem não se relaciona à técnica de análise automática, merecem ser citadas, pois sua superação foi vital para viabilizar o projeto. Cabe manter-se em mente que estamos tratando de um sistema que recepcionará os arquivos de oscilografia e automaticamente gerará relatórios de saída. Assim, não pode-se contar com o elemento humano para fazer "pequenos ajustes". Dentre as fontes dessas dificuldades se destacam:

- Falta de infra-estrutura nas empresas para automatizar o processo de análise;
- Dificuldade dos engenheiros responsáveis pela rede de oscilografia influenciarem na especificação técnica dos equipamentos comprados
- Limitações dos equipamentos de oscilografia, particularmente, a dificuldade de atender à norma COMTRADE [5].

A falta de infra-estrutura na empresa envolve muitos fatores. O primeiro é a existência de RDPs ou outros equipamentos de medição com função de oscilografia em quantidade suficiente. No caso da LIGHT este problema não foi muito sério, pois a empresa já vem ao longo dos anos instalando esses equipamentos em vários pontos do sistema. Entretanto, alguns desses equipamentos precisaram ser substituídos por não terem facilidade para comunicação remota. Esta facilidade é fundamental, pois o processo de análise, no caso da LIGHT, é centralizado no escritório central da empresa. Conseqüentemente, para permitir uma real automatização, a LIGHT está desenvolvendo sua própria rede de oscilografia que reúne os oscilogramas de diversos pontos do sistema e os transmite a um servidor de arquivos único.

A dificuldade dos engenheiros responsáveis pela rede de oscilografia influenciarem na especificação técnica dos equipamentos comprados pode levar a uma situação onde o registrador está disponível, mas pela ausência ou inadequação de alguma característica ou pelo fato de algum programa auxiliar não ter sido adquirido, ele representar mais um problema do que uma solução. Esta situação também não ocorreu na LIGHT. Porém, em função de equipamentos já existentes na empresa, comprados numa época em que a rede de oscilografia não havia sido pensada, ocorreram vários problemas, principalmente os referentes ao formato dos arquivos de oscilografia.

Quanto às limitações dos equipamentos de oscilografia, cabem várias observações, em particular a dificuldade de atender à norma COMTRADE [5]. Podemos citar alguns exemplos:

- Campos do arquivo de configuração que são preenchidos de forma inconsistente com a norma: por exemplo, encontramos um fabricante que não permitia a programação dos nomes para os campos de subestação e RDP - no lugar colocavam códigos internos de seu equipamento. Com isto a identificação precisaria ser feita pelo nome externo do arquivo ou pela associação desses códigos a um equipamento em particular. Felizmente, tem sido possível até o momento utilizar a última alternativa na implementação da LIGHT. Outro equipamento gerava códigos diferentes a cada oscilograma, o que nos forçou a estudar o padrão que ele utilizava para poder então realizar a correta identificação do arquivo.
- Informações importantes como data/hora, frequência da rede e número de amostras no oscilograma erradas ou em desacordo com a norma.
- Taxa de amostragem não múltipla de 60 Hz: dificultam os cálculos que envolvem grandezas fasoriais, como é o caso de distância de falta.

III. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados da análise de alguns oscilogramas. O Banco de Topologia foi preenchido com a maior parte do sistema de 138 kV da LIGHT.

A Figura 3 consiste de uma falta trifásica. Os três primeiros canais são tensões e os demais correntes. As unidades são kV e A respectivamente. O tempo é fornecido em milisegundos.

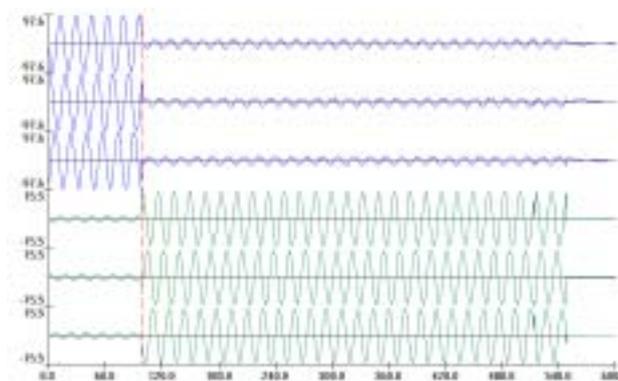


FIGURA 3: Oscilograma com registro de falta trifásica na LT Frei Caneca - Grajaú (138 kV) circ. 1.

O oscilograma foi originalmente gerado fora do padrão COMTRADE, pois não foi informado o momento do disparo do oscilógrafo. Por esse motivo, a referência do tempo zero aparece no início do mesmo, dando a falsa impressão de que não houve medição de pré-falta. Mesmo assim, o sistema identificou o instante da falta como sendo 99.74 ms, conforme mostra a barra tracejada na Figura 3.

FIGURA 4: Relatório sinóptico do oscilograma da Figura 3.

```

DADOS DA OCORRÊNCIA:
Data do evento:15/10/2002 - 16:13:51.420
Subestação:   Frei Caneca
RDP:         21P_LI-GR1

DESCRIÇÃO DAS LINHAS:
LTI: Frei Caneca - GRAJAÚ (138kV) circ.1
Parâmetros de linha:
Comprimento da LT: 9.0 km(s)
Z0: 1.91 + j. 6.43 %
Z1: 0.38 + j. 2.13 %

ANÁLISE DA FALTA:
LTI: Frei Caneca - GRAJAÚ (138kV) circ.1

Intervalo 1:
Trecho normal (pré-falta típica)
Duração: 99.74 ms (0.00ms à 99.74ms)

Fase  Tensões                Correntes
-----
A  66.82 V/ 123 Grs  1.01 A/ 123 Grs
B  67.13 V/  38 Grs  1.02 A/  38 Grs
C  67.00 V/ -47 Grs  1.01 A/ -47 Grs
N   0.21 V/ -17 Grs  0.01 A/  28 Grs

Intervalo 2:
Trecho de falta.
Duração: 449.22 ms (99.74ms à 548.96ms)

Tipo de curto: Trifásico
Falta ocorrida a 24.3 %

Fase  Tensões                Correntes
-----
A  10.07 V/ 127 Grs 10.09 A/  70 Grs
B  10.12 V/  42 Grs 10.11 A/ -14 Grs
C  10.12 V/ -43 Grs 10.10 A/ -99 Grs
N   0.04 V/  35 Grs  0.03 A/  -2 Grs

Intervalo 3:
Trecho com terminal de linha aberto ou
desligado.
Duração: 650.78ms (548.96ms à 1199.74ms)

ANÁLISE DE DISTORÇÃO HARMÔNICA:
LTI: Frei Caneca - GRAJAÚ (138kV) circ.1
PRÉ FALTA
DHT: Tensão (Nível de Alarme: 3.00%)
Fase: A - DHT: 0.38%
Fase: B - DHT: 0.18%
Fase: C - DHT: 0.08%

DHT: Corrente (Nível de Alarme: 3.00%)
Fase: A - DHT: 1.11%
Fase: B - DHT: 0.82%
Fase: C - DHT: 0.75%

Data da análise: Segunda-feira, 12 de março
de 2003 às 13:14:32
Tempo total de execução: 00:11 s

```

Na Figura 4 é mostrado o relatório sinóptico gerado pelo sistema. No relatório é apresentada inicialmente a identificação do registro, as linhas de transmissão envolvidas, e a descrição dos trechos identificados. No final os valores de distorção harmônica (DHT) são apresentados. Quando ocorre um valor acima do nível de alarme, a palavra VIOLAÇÃO é escrita à direita do valor. No final a data e duração da análise são apresentadas.

Na Figura 5 é apresentado um oscilograma de uma falta monofásica. Os três primeiros canais são tensões e, os demais, correntes. As unidades são kV e kA respectivamente. O tempo é fornecido em milisegundos. Observa-se que o quarto canal, correspondente à fase faltosa, apresenta uma corrente de falta muito elevada (quase 30 vezes maior do que na pré-falta), que ultrapassa os limites do gráfico. Isto ocorreu apenas na representação gráfica do evento, ou seja, não houve saturação no registro.

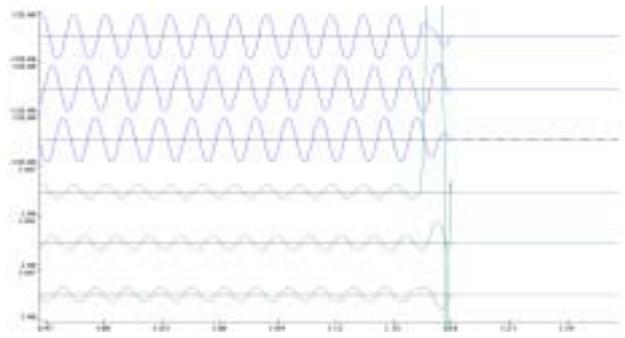


FIGURA 5: Oscilograma de uma falta AN na LT Nilo Peçanha - Vigário (138 kV) circ. 52.

Outra característica interessante é de que o relatório da Figura 6 indica uma componente harmônica nas fases A e B da tensão, da ordem de 2.4 %. Esta indicação somente ocorre quando o nível do harmônico ultrapassa o valor escolhido como limite. Na Figura 7 pode-se observar que realmente existe a componente de terceiro harmônico no sinal.

Na Figura 8 pode-se ver uma listagem de oscilogramas, com identificação de subestação, oscilógrafo e data/hora do evento e da análise. Na última coluna pode-se ver o diagnóstico apresentado pelo sistema.

O diagnóstico do tipo "Inválido" significa que um evento anormal ocorreu no registro e que o sistema não pode analisar. O tipo "s/Anormalidade" indica que trata-se de um oscilograma onde não houve falta. Seguindo de asterisco "*", indica que não houve falta mas que há algum tipo de alarme, por exemplo, valores de harmônicos elevados. O tipo "Falta Ext. Frente" significa que foi detectada uma falta, porém o algoritmo de localização concluiu que sua localização estava além da linha de transmissão monitorada. O termo "Sem. dat" ilustra um caso em que houve erro na transmissão dos arquivos de oscilografia e apenas o arquivo de configuração (que lista os canais do oscilograma) foi transmitido, faltando o arquivo de dados.

IV. CONCLUSÕES

O artigo apresentou o Sistema de Análise Automática de Oscilogramas desenvolvido para a LIGHT com o objetivo de classificar automaticamente os eventos gerados em sua rede de oscilografia.

O sistema é extremamente oportuno porque atende às necessidades da empresa, particularmente, diminui o tempo gasto pelos engenheiros de proteção na análise de eventos, assim como permite o tratamento da grande quantidade de informação gerada pela rede de oscilografia, informação que, de outra forma, seria perdida.

V. REFERÊNCIAS

- [1] ONS, Procedimentos de Rede, sub-módulo - 11.6 Oscilografia de Curta e Longa Duração, Revisão de 21/08/2000.
- [2] C. A. M. Aviz, e M. A. M. Rodrigues, "Sistema integrado de apoio à análise de perturbações," apresentado no XIV SNPTEE. Belém. 1997.
- [3] S. Mantuano, e M. A. Rodrigues, "Ferramentas computacionais tradicionais e inteligentes para análise de perturbações em sistemas elétricos de potência," apresentado no XIV SNPTEE. Belém. 1997.
- [4] NS, Procedimentos de Rede, sub-módulo - 3.8 Requisitos Mínimos ta e Longa Duração, Revisão de 21/08/2000.
- [5] IEEE, "Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems", IEEE c37.111-1991, com revisões em 1997 e 1999.