



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

**GRUPO - V
GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA -
GPC**

OSCILO – SISTEMA DE GERENCIAMENTO AUTOMÁTICO DE REGISTROS OSCILOGRÁFICOS

**Cleber Pereira(*)
Ícaro V. Toledo
Ricardo Yuji
Marcelo Zucatto
Washington Rodrigues
UFMG**

**Eduardo G. Silveira

CEFET/MG**

**Weber Melo de Sousa
Heitor Martins Veloso
Carlos Alberto B. Costa
Marcos Baeta Miranda
Eduardo M. Gonçalves
CEMIG**

RESUMO

Este artigo descreve um sistema de gerenciamento e análise de oscilografias, denominado OSCILO, que tem como objetivo a caracterização automática dos arquivos gerados a partir de registradores digitais de perturbação. O desenvolvimento do programa em C++ foi feito em parceria com a CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais e torna possível realizar análises automáticas de eventos registrados, gerando facilidades para busca e armazenamento de informações relevantes. Os resultados alcançados em casos simulados e reais mostram a viabilidade do sistema desenvolvido para a aplicação prática em companhias concessionárias de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE

Oscilografia, Análise Automática, Registradores Digitais, Relés.

1.0 - INTRODUÇÃO

No monitoramento de redes de transmissão e distribuição de energia, a partir de uma rede de oscilografias, os registradores digitais de perturbação (RDPs) e os relés de proteção, através de suas funções acessórias de oscilografia, são os principais responsáveis pelo registro das informações contendo dados de eventos ocorridos no sistema elétrico. Estes equipamentos possuem ajustes específicos que determinam, a partir de alguns parâmetros, quando a função de oscilografia deve ser disparada. Na prática, observa-se que, devido à grande diversidade de fenômenos transitórios a que os sistemas de energia estão sujeitos, um elevado número de oscilografias são geradas durante a operação dos mesmos, sendo muitas de pouca importância e até mesmo desnecessárias.

As informações contidas nas oscilografias devem ser processadas e analisadas de forma que se possam obter subsídios que auxiliem na melhoria da operação e do gerenciamento do sistema elétrico. Em função da grande quantidade de arquivos, sem uma técnica adequada, corre-se o risco de se demandar um tempo excessivo na verificação destas informações (1). Com a aplicação de ferramentas automáticas é possível, de forma eficiente, identificar eventuais faltas no sistema ou outros eventos relacionados à qualidade de energia, tais como swells ou sags, reduzindo o tempo de processamento e disponibilizando para o analista os resultados dos eventos mais importantes.

Dentro deste contexto torna-se claro a necessidade de um programa que analise automaticamente as oscilografias recebidas, classifique-as, armazene os resultados obtidos em um relatório e organize todas as ocorrências em um banco de dados, permitindo um processamento rápido destas informações, de acordo com o interesse do usuário.

O OSCILO – Sistema Computacional para Gerenciamento e Análise de Oscilografias, foi desenvolvido no Laboratório de Proteção Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais (PROTLab), em parceria com a CEMIG,

(*) PROTLab/LRC – Depto. Eng. Elétrica/UFMG – Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
CEP 31270-901 – Belo Horizonte - MG - BRASIL
Tel.: (31) 3409-5473 - Fax: (31) 3409-4810 - e-mail: clever@ufmg.br

no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel, com o objetivo de agilizar e facilitar as tarefas de detecção, classificação, análise e armazenamento de oscilografias. O programa executa tarefas que podem ser assim divididas: leitura dos arquivos de entrada, que na sua versão atual devem estar de acordo com o formato COMTRADE (2), em ASCII ou em binário; detecção e classificação dos eventos contidos na oscilografia; geração e armazenamento em um banco de dados de relatórios contendo os resultados da análise automática. O sistema dispõe ainda de um sofisticado sistema de busca integrado, de forma a facilitar ao analista encontrar determinado evento de interesse. O relatório gerado contém as principais informações obtidas pela análise automática, sendo armazenado em um banco de dados que permite o acesso a qualquer caso já registrado, fornecendo os resultados e possibilitando a visualização de gráficos e formas de onda geradas pelo programa.

O fluxograma apresentado na figura 1 exemplifica a seqüência de operações realizadas e o funcionamento geral do programa.

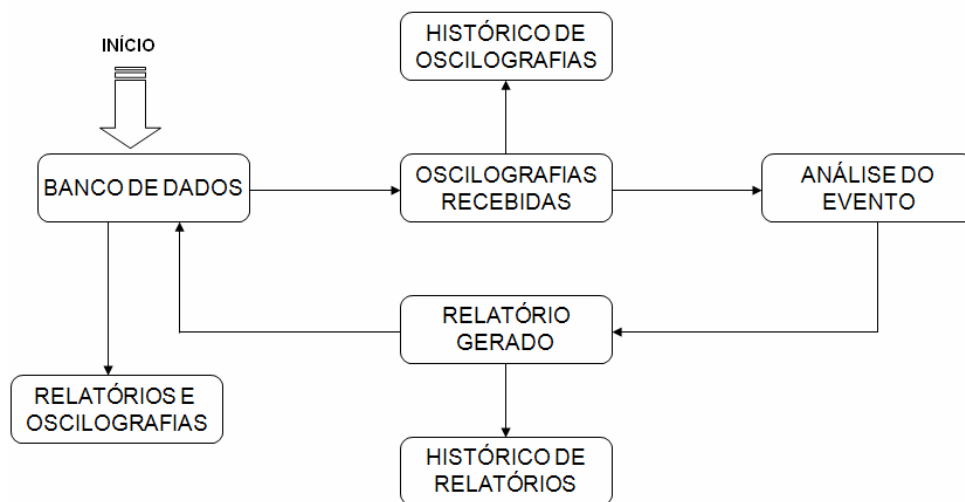


FIGURA 1 – Esquema de funcionamento do programa

2.0 – TRATAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA

Diversos motivos levam ao disparo de um registrador e várias são as características das ondas de tensão e corrente nos dados amostrados (3). Assim, é importante um processamento adequado dos arquivos de entrada, para que as análises feitas apresentem uma robustez adequada para uma determinada aplicação prática, frente à variabilidade dos dados de entrada, realizando interpretações que minimizem possíveis erros nas tarefas de detecção e classificação.

2.1 Leitura

A primeira etapa realizada pelo programa é a leitura do arquivo de configuração da norma COMTRADE (arquivos .cfg) do caso a ser analisado. Nestes arquivos são extraídas informações tais como número de canais analógicos e digitais do arquivo de dados, quantidade de amostras, relação de transformação de TPs e TCs, taxa de amostragem, data do evento, nome da subestação, nome do vão, identificação do relé e outros dados que complementem o relatório. Em seguida é feita a leitura do arquivo de dados (arquivo “dat”) que possuem os dados analógicos (normalmente amostras de corrente e tensão) e os dados referentes aos canais digitais.

2.2 Filtragem

Os valores registrados de correntes e tensões podem apresentar transitórios de altas frequências e provocar erros na etapa de estimação dos fasores de 60 Hz, utilizados na tarefa de detecção de início e fim de eventos (4). Desta forma, é feita inicialmente uma filtragem passa-baixa, sendo utilizado um filtro de Butterworth de 2ª ordem, em razão de sua simplicidade e efetividade, com frequência de corte da ordem de 100 Hz (4, 5). Atualmente estão sendo desenvolvidos novos algoritmos para se considerar filtros de ordem mais elevadas, com frequência de corte genérica e também filtros de Chebyshev com frequência de corte e ripple máximo definidos pelo usuário.

2.3 Interpolação e Dizimação

De acordo com o modelo e fabricante, os RDPs e relés amostram dados com diferentes taxas de amostragem. Para padronizar o processamento de dados pelo programa, os sinais obtidos nas oscilografias são convertidos para uma taxa de amostragem fixa de 960 Hz, através de processos de interpolação ou dizimação.

2.4 Estimador fasorial

Para extração dos fasores fundamentais das ondas de entrada foi escolhida uma variação (4,5) do método dos erros mínimos quadrados de Sachdev & Baribeau, onde os sinais de entrada são considerados formados por uma exponencial decrescente e uma onda senoidal de frequência fundamental. A determinação dos fasores auxilia na detecção e classificação de faltas, além de fornecer informações relevantes não disponibilizadas diretamente nas oscilografias.

3.0 - DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS

A tarefa de detecção, a partir da oscilografia, tem o objetivo de procurar na forma de onda alterações nas grandezas de tensão e corrente. Posteriormente, é feita uma análise nos trechos indicados pela detecção, de forma que se possam classificar os eventos, como uma falta, sobretensão, disjuntor aberto e outros. O sistema OSCILO foi planejado de forma que novas rotinas de detecção possam ser implementadas, assim como os diagnósticos que levam à classificação.

Devido à dinâmica do sistema elétrico, as tarefas de detecção e classificação podem ser aperfeiçoadas ou novas técnicas desenvolvidas. Para isto, além dos métodos implementados no programa, estão sendo testados outros, inclusive sistemas especialistas e técnicas de inteligência computacional, para aumentar o detalhamento das informações fornecidas pelo programa.

Além das funções propostas inicialmente, estão sendo desenvolvidos sob demanda da companhia, algoritmos que detectem erros ou condições anormais no sistema, que possam auxiliar o trabalho dos analistas, tais como: verificação de fases invertidas na entrada do registrador, análise direcional das correntes, deslocamento e abertura de neutro em circuitos secundários de transformadores de potencial. Estes novos algoritmos visam permitir o acionamento imediato das equipes de manutenção, com conseqüente redução de futuras atuações indevidas ou recusas de atuação nas proteções do sistema. Também pode ser analisada a consistência dos arquivos dos registradores com o que especifica a norma COMTRADE, como dados relativos à data/hora, frequência da rede, número de amostras, taxas de amostragem, campos com nomes de subestação e outros.

3.1 Detecção

É feita a partir dos fasores estimados pelo método dos erros mínimos quadrados. A partir destes fasores estimados para cada amostra de corrente e tensão registradas na oscilografia, é possível reconstituir os sinais no tempo. Em momentos onde ocorre a presença de transitórios (início ou fim de um curto-circuito, abertura de um disjuntor, etc), os sinais reconstituídos a partir dos fasores estimados diferem dos valores registrados. Nos períodos onde os sinais estão em regime permanente senoidal, esta diferença praticamente não existe. Este fato possibilita a detecção de alterações bruscas na tensão ou corrente, indicando início ou fim de um evento (curto-circuito, abertura de disjuntor, religamento ou outra perturbação nos sinais). Assim, ao se subtrair para cada instante os valores registrados (medidos) dos valores reconstituídos (estimados), obtêm-se os resíduos, sendo possível detectar a existência de transitórios e realizar a separação dos intervalos de análise.

Na Figura 2 são apresentados os resíduos para as ondas de corrente em uma falta real do tipo BCT, onde é possível identificar as fases participantes. Através de ajustes, detectam-se os instantes de início e fim do curto-circuito.

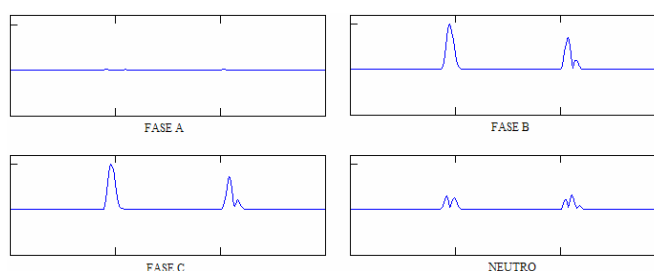


FIGURA 2 – Resíduos para uma falta BCT

3.2 Separação de intervalos

Um registro de oscilografia normalmente contém uma seqüência de eventos, que podem ser devidamente identificados, separados, com início e fim detectados, fornecendo o tempo de duração de cada um deles. Dessa forma, são definidos, por exemplo, os instantes do início de uma falta, da atuação da proteção (através dos canais digitais), da abertura do disjuntor, do religamento (com sucesso ou não) e demais ocorrências registradas nas oscilografias.

3.3 Análise dos trechos

Após a separação dos intervalos de tempo pela detecção dos transitórios, é iniciada a análise das correntes e tensões, de forma a se ter um diagnóstico para cada trecho, identificando eventuais faltas ou outras ocorrências no sistema elétrico, inclusive um falso disparo do registrador/função de oscilografia de relé. Para estudar o comportamento da tensão, é usado como referência o valor nominal informado no arquivo de configuração. Já para as corrente é necessário comparar os valores antes e após a detecção do transitório. Em caso de oscilografias relacionadas à religamento ou energização de linha, onde pode não haver informação das correntes em regime, é utilizado como referência o valor nominal de corrente no secundário do TC disponível no arquivo “cfg”.

3.4 Classificação final

Após a análise e classificação dos intervalos, é realizado um diagnóstico final para o evento, com base nos resultados obtidos para cada trecho. Esta classificação define a situação observada pelo programa na oscilografia em questão. Atualmente são reconhecidos pelo programa os seguintes eventos: tipo de falta, abertura de disjuntor, religamento, falta de fase, sobrecorrente, sub/sobretensão, falso disparo e falta externa à linha monitorada. Outros tipos de evento podem ser acrescentados à medida que se verifique pela companhia sua necessidade.

3.5 Relatório

Após as etapas de classificação, é gerado um relatório que caracteriza o evento analisado, contendo as informações obtidas no arquivo de configuração e os resultados obtidos na análise realizada pelo programa. O arquivo de texto é inserido no banco de dados, que permite a localização de um caso analisado, através de um sistema de busca por informações.

4.0 – A INTERFACE DO PROGRAMA

O programa foi desenvolvido com recursos que permitem facilitar o trabalho do usuário e pode ser dividido em dois módulos: o de tratamento dos dados, para detecção, classificação e geração do relatório e o de banco de dados, para busca e armazenamento dos relatórios relativos aos eventos analisados.

4.1 O módulo de tratamento de dados

A interface de dados disponibiliza ao usuário diversos gráficos e informações tais como: formas de onda de tensão e corrente amostradas pelos registradores; gráficos dos canais digitais; módulos e ângulos dos fasores estimados; componentes sequenciais das correntes e tensões; gráficos de média, mediana e desvio padrão dos dados amostrados; cursores separando os intervalos de análise; detalhamento individual dos dados amostrados (zoom); dados obtidos do arquivo de configuração. Além disto, oferece opções para manipulação dos arquivos COMTRADE, tais como seleção dos canais para análise, conversão de formato binário para ASCII, geração de arquivos a partir do arquivo original contendo somente os canais analógicos e digitais de interesse, normalização das escalas, representação das grandezas analógicas referidas ao primário ou secundário dos transformadores (TPs e TCs) e outras funções acessórias de menor importância.

A figura 3 apresenta telas com as etapas de seleção dos canais a serem plotados. A figura 4 mostra uma das telas da análise oscilográfica do programa OSCILO, com os cursores delimitando os períodos de cada evento. A figura 5 apresenta tela específica para visualização dos canais digitais, bem como do relatório exibido on-line pelo programa.

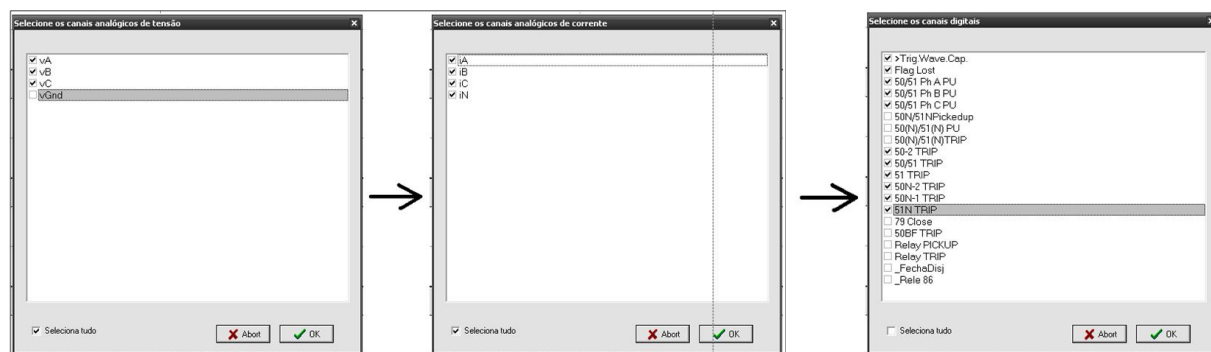


FIGURA 3 – Seleção dos canais

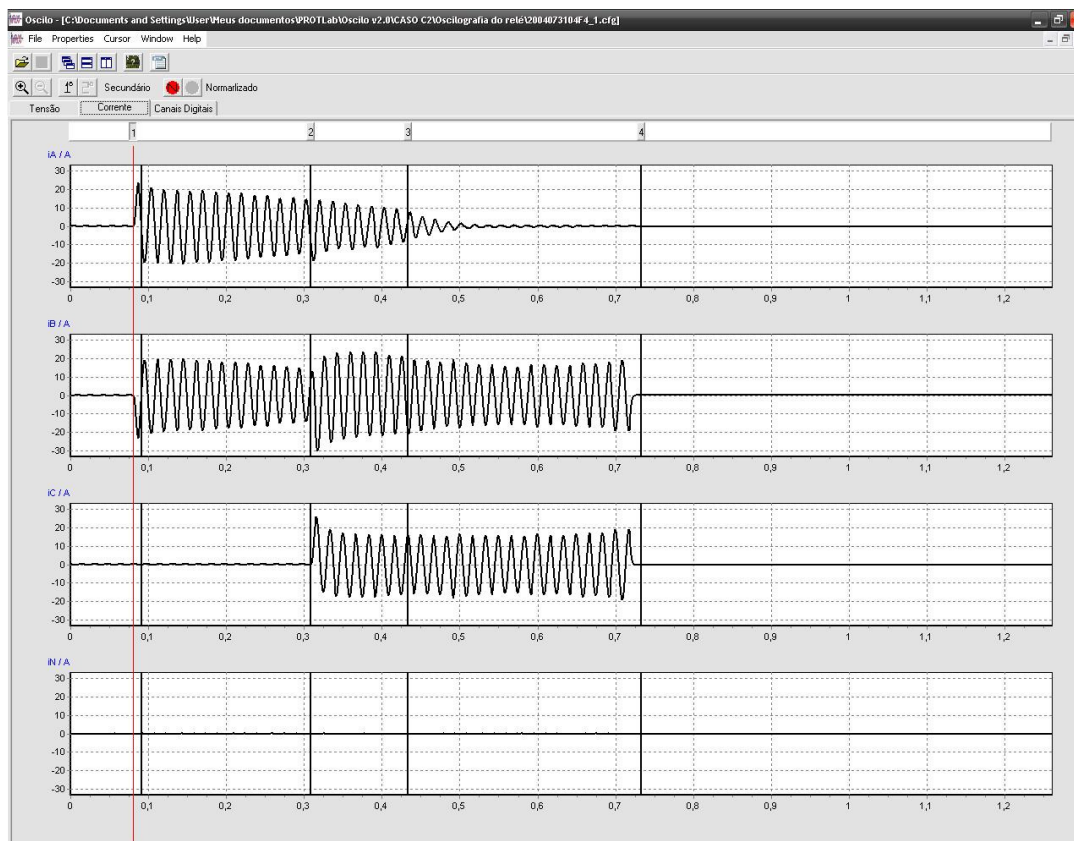


FIGURA 4 – Posicionamento dos cursores

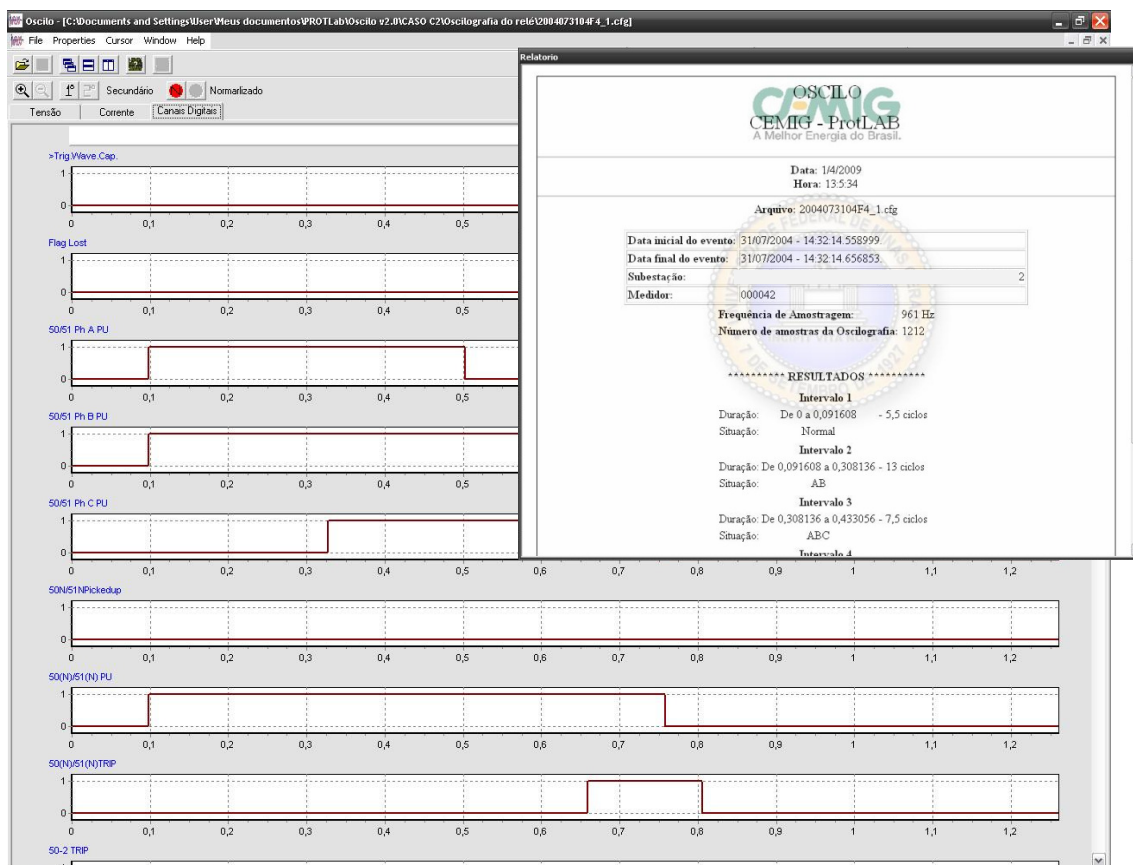


FIGURA 5 – Canais digitais e relatório

4.2 O módulo banco de dados

Por mais cuidado que se tome nos ajustes dos equipamentos registradores e por mais adequado que seja o planejamento, projeto, construção, operação e análise dos sistemas elétricos de potência de uma concessionária de energia elétrica, o número de oscilografias que pode chegar a um servidor de oscilografias é consideravelmente elevado. Assim sendo, faz-se necessário a utilização de um sistema para gerenciamento, análise automática e armazenamento tanto destas oscilografias quanto dos relatórios gerados, que na versão atual do OSCILO, são utilizados arquivos com extensão “txt”.

Foi feita opção pela criação de um banco de dados utilizando o MySQL como sistema gerenciador. As principais razões que nortearam a escolha deste tipo de banco de dados foram: ser gratuito, utilizado por diversas empresas de grande porte no Brasil e no exterior, possuir fonte aberta (*open source*), permitir a integração com programas desenvolvidos em C++ e finalmente, ter-se mostrado adequado no âmbito deste projeto, proporcionando rapidez na busca de casos específicos ajustados pelo operador. No sistema OSCILO, a utilização do banco de dados só é permitida após a inserção de nome e senha do usuário. Este passo visa conferir segurança contra utilização do sistema por pessoas não autorizadas. Na figura 6 tem-se a interface principal do banco de dados.

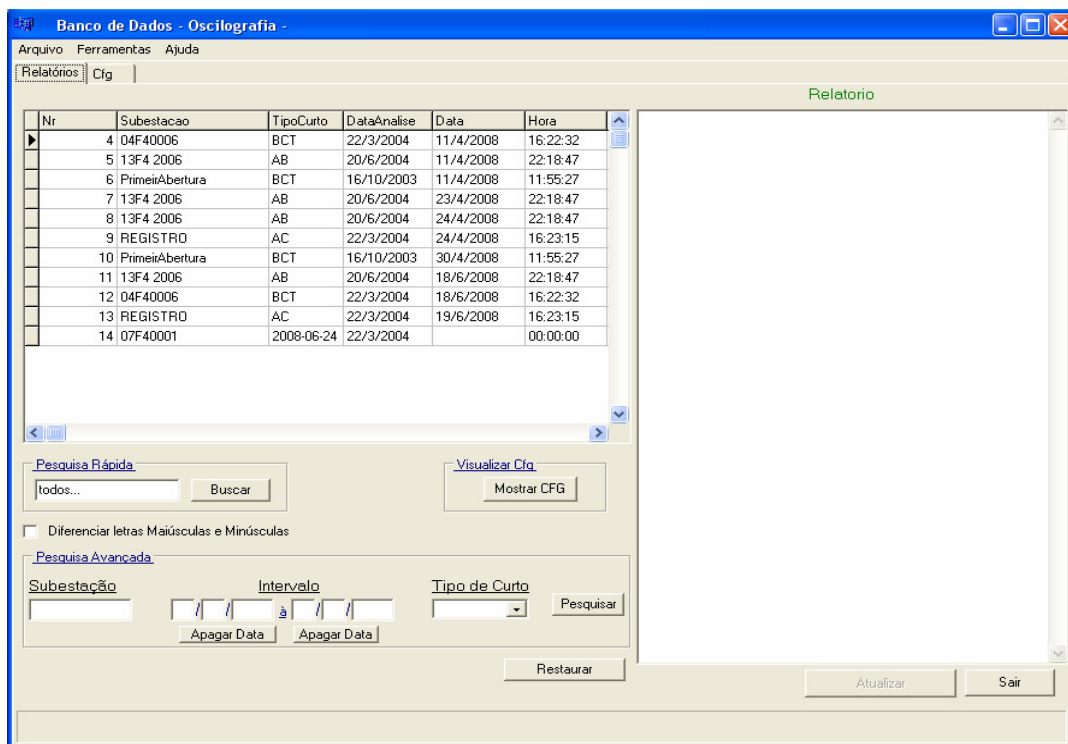


FIGURA 6 – Tela principal do banco de dados

4.2.1 Pesquisa no banco de dados

Na versão atual do OSCILO, o banco de dados possui dois tipos de pesquisa: rápida e avançada. A opção rápida foi criada para situações onde se tem poucas informações a respeito do evento procurado. Quando o critério para pesquisa é inserido, já é feito automaticamente a busca por alguma palavra coincidente no banco de dados. Na pesquisa avançada existem os campos para inserção dos critérios de pesquisa como nome da subestação onde foi gerado o COMTRADE, data/hora de gravação do arquivo e se for pertinente, o tipo de curto. Na figura 7 adiante é mostrada a tela com as opções para a pesquisa rápida no banco de dados.

5.0 - RESULTADOS

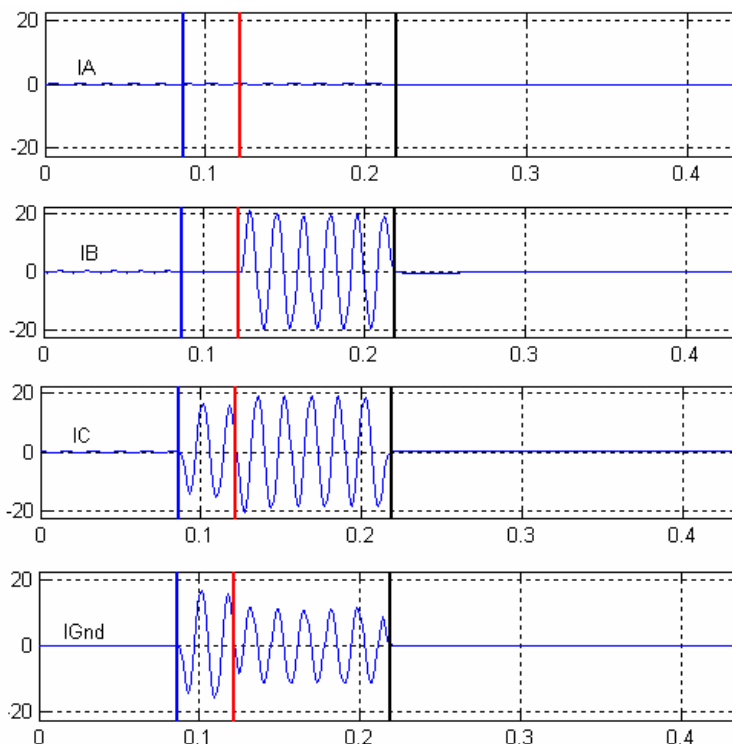
A figura 8 a seguir apresenta os oscilogramas das ondas de corrente e o relatório gerado pelo programa OSCILO, para um caso real de falta. A corrente está em ampères secundários e o tempo em segundos. Trata-se de uma falta fase C para terra, que evolui para uma falta BC para terra. Observa-se que o posicionamento automático dos cursores (linhas verticais azul, vermelha e preta) foi feito de forma precisa e no relatório foi feita a descrição correta associada à dinâmica dos eventos.

Nr	Subestacao	TipoCurto	DataAnálise	Data	Hora
4	04F40006	BCT	22/3/2004	11/4/2008	16:22:32
5	13F4 2006	AB	20/6/2004	11/4/2008	22:18:47
6	PrimeirAbertura	BCT	16/10/2003	11/4/2008	11:55:27
7	13F4 2006	AB	20/6/2004	23/4/2008	22:18:47
8	13F4 2006	AB	20/6/2004	24/4/2008	22:18:47
11	13F4 2006	AB	20/6/2004	18/6/2008	22:18:47
12	04F40006	BCT	22/3/2004	18/6/2008	16:22:32
13	REGISTRO	AC	22/3/2004	19/6/2008	16:23:15

[Pesquisa Rápida](#)

[Visualizar Cfg](#)

FIGURA 7 – Pesquisa no banco de dados



Arquivo: PrimeirAbertura.cfg

DADOS DA ANÁLISE OSCILOGRÁFICA
 Data do evento: 16/10/2003 - 11:55:27.684000.
 Subestação: SE
 Medidor: Reles 04F50 51N 7S.J632 V/4 2,000012,1997
 Data final do evento: 16/10/2003 - 11:55:27.782990.

Taxa de amostragem: 961 amostras/segundo
 Número de amostras da oscilografia: 727

***** RESULTADOS: *****

***** INTERVALO 1 *****
 Duração: de 0 a 0.086 segundos - 5.2 ciclos

Situação: normal
 FASE TENSÕES: CORRENTES:
 A 8.02 kV 0.05 kA
 B 8.02 kV 0.05 kA
 C 7.91 kV 0.05 kA
 N 0.05 kV 0.00 kA

***** INTERVALO 2 *****
 Duração: de 0.086 a 0.122 segundos - 2.1 ciclos

Situação: Falta (C-Terra)
 FASE TENSÕES: CORRENTES:
 A 8.09 kV 0.05 kA
 B 7.99 kV 0.04 kA
 C 5.36 kV 1.97 kA
 N 3.00 kV 1.96 kA

***** INTERVALO 3 *****
 Duração: de 0.122 a 0.219 segundos - 5.8 ciclos

Situação: Falta (B-C-Terra)
 FASE TENSÕES: CORRENTES:
 A 7.94 kV 0.06 kA
 B 4.36 kV 3.12 kA
 C 3.27 kV 3.18 kA
 N 3.05 kV 1.96 kA

***** INTERVALO 4 *****
 Duração: de 0.219 a 0.756 segundos - 32.3 ciclos

Situação: Disjuntor Aberto
 FASE TENSÕES: CORRENTES:
 A 8.01 kV 0.01 kA
 B 8.09 kV 0.03 kA
 C 8.04 kV 0.03 kA
 N 0.05 kV 0.01 kA

DIAGNÓSTICO FINAL: Falta evolutiva (C-Terra) -> (B-C-Terra)

FIGURA 8 – Oscilogramas e relatório de oscilografia com falta CT evoluindo para uma falta BCT.

A figura 9 adiante apresenta os oscilogramas das ondas de corrente e o relatório gerado pelo programa OSCILO, para outro caso real de falta. Novamente a corrente está em ampères secundários e o tempo em segundos. Este novo caso trata-se de uma falta bifásica AC (sem terra). Observa-se novamente o correto posicionamento automático dos cursores e a descrição dos eventos no relatório gerado também de forma automática.

Até o momento, já foram realizados diversos testes, utilizando diferentes tipos de registros, tanto em casos simulados quanto reais, de forma a validar os algoritmos implementados no programa. Os resultados tem sido satisfatórios, levando-se em conta as diferentes características dos transitórios presentes nas oscilografias analisadas.

Entretanto, no caso do analista não concordar com o posicionamento dos cursores ou com o relatório, gerados de forma automática, é possível alterar a posição de algum cursor ou de algum dado no relatório, através do uso de uma senha. Um novo relatório de oscilografia é gerado a partir das alterações feitas, com os dados do responsável pelas modificações.

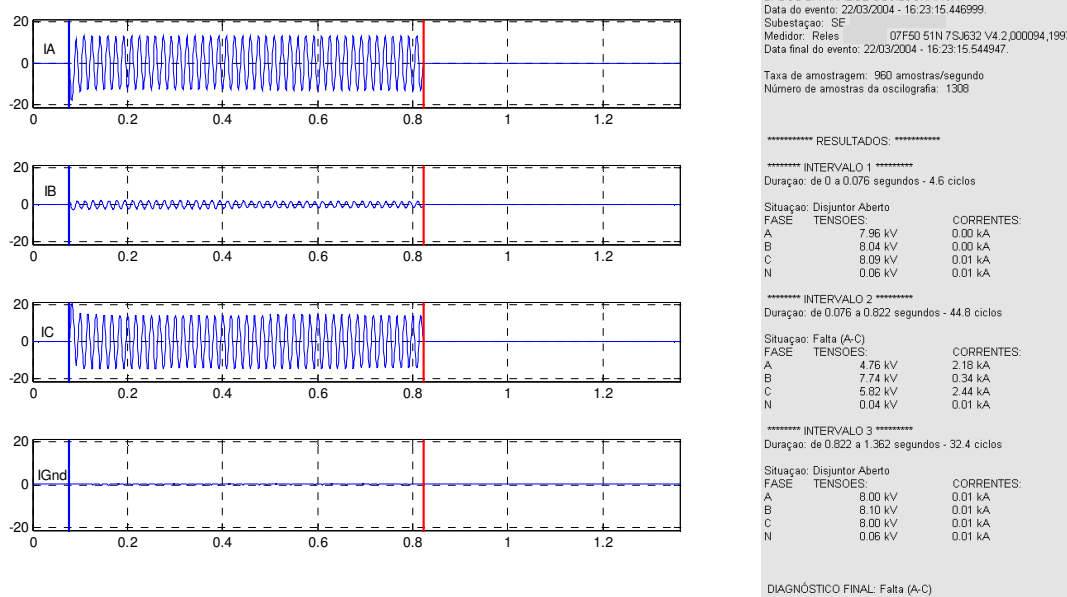


FIGURA 9 – Oscilogramas e relatório de oscilografia com falta AC

6.0 – CONCLUSÃO

Este artigo descreveu um sistema computacional de gerenciamento automático de eventos oscilográficos, denominado OSCILO. Foi mostrado que a execução de uma análise automática de oscilogramas provenientes de arquivos gerados por RDPs e relés de proteção pode ser executada adequadamente. Para tal, os dados devem inicialmente ser pré-processados de forma que os algoritmos de detecção e classificação possam ser aplicados com a efetividade necessária.

As tarefas de detecção e classificação das ondas no sistema desenvolvido têm apresentado até o momento bons resultados, com robustez adequada, frente às variadas situações encontradas nos casos testados (reais e simulados). Outras técnicas estão sendo desenvolvidas e testadas, para aplicação em casos onde os métodos implementados podem não apresentar resposta satisfatória, tais como em transitórios rápidos, com duração inferior a meio ciclo e com pequena alteração na amplitude das ondas.

Os algoritmos desenvolvidos foram implementados em um programa com interfaces amigáveis, que visam facilitar o trabalho do analista, adequado a aplicações em concessionárias de energia elétrica. Com o programa, é possível executar as rotinas envolvidas no processo desde a entrada de dados até a geração do relatório final, conduzindo a resultados rápidos, com esforço computacional compatível. O banco de dados desenvolvido demonstrou ser uma importante ferramenta no armazenamento de oscilografias e relatórios, assim como na busca de informações e arquivos, aumentando a velocidade na análise dos eventos, característica principal em razão ao elevado número de registros gravados a partir da rede de oscilografias da empresa concessionária.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Mantuano, S.; Rodrigues, M. A., Ferramentas Computacionais Tradicionais e Inteligentes para Análise de Perturbações em Sistemas Elétricos de Potência. XIV SNPTTE, Belém, 1997.
- (2) IEEE, Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems”, IEEE c37.111-1991, com revisões em 1997 e 1999.
- (3) Rodrigues, M. A. P., Diniz, S., Figueredo, M. V. F., Miranda, A. L., Rodrigues M. A. M., Sistema para Análise Automática de Oscilogramas na Light. VII STPC, 2003.
- (4) Pereira, C., Cruz, F. C., Análise do Comportamento Estático e Dinâmico dos Filtros Digitais de Mínimos Quadrados na Proteção de Linhas de Transmissão. XV SNPTTE, 1999.
- (5) Pereira, C., Cruz, F. C. & Visacro, S. Teaching Transmission Line Digital Protection using a Didactic PC Compatible Program In 37TH CIGRÉ BIENNIAL SESSION - I WORKSHOP LINKS UNIVERSITY CIGRÉ, 37, 09/1998, Paris, França. Anais...Paris: Vol. LUC, p. LUC 07/01 - LUC 07/06, 08/1998.

