

Sistema Inteligente de Pré-análise e Gestão de Perturbações e Oscilografias Voltado para Geração

Fernando S. Varela, Jacqueline G. Rolim, Miguel Moreto, Everton P. Lenz, Sergio L Zimath, Emilian Varg, Luiz Henrique Kato.

Resumo – O sistema descrito neste trabalho realiza uma análise preliminar das diversas oscilografias de unidades geradoras e transformadores, correlacionando essas informações com dados de sinais elétricos provenientes do Sistema de Supervisão da Geração - SSG. Esse processo é realizado de maneira automática por meio de algoritmos de processamento de sinais e técnicas de inteligência artificial, utilizando informações dos sistemas de oscilografia e supervisão para priorizar os registros a serem analisados, diminuindo o tempo de análise e melhorando a confiabilidade do sistema. O sistema pode ser utilizado como uma plataforma de análise pós falta e em operação normal por meio da adição de novos módulos. Como suporte a essa característica, foi necessário remodelar o sistema de coleta de oscilografias e criar uma interface amigável para o acesso aos dados pré-analisados, de maneira centralizada, porém, permitindo que as equipes da operação e manutenção possam ter um acesso por meio de uma interface web.

Palavras-chave – Diagnóstico de Geradores, Oscilografia, Registrador digital de perturbações, Sequência de Eventos.

I. INTRODUÇÃO

A ferramenta computacional intitulada “Sistema Inteligente de Pré-análise e Gestão de Perturbações e Oscilografias Voltado Para Geração - iOSC” é capaz de pré-analisar perturbações considerando as peculiaridades da área de geração e para isso, utiliza informações de dois sistemas distintos: o de oscilografias e o de supervisão das usinas, por meio das Sequências de eventos (SOE – *Sequence Of Events*).

Este sistema foi desenvolvido como parte do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Tractebel Energia S.A., código ANEEL 0403-012/2006, ciclos 2005/2006 e 2006/2007, registrados em VIII e executado pelo GSP/

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

F. S. Varela é engenheiro e gerente deste projeto na Tractebel Energia S.A. (e-mail: fernandosv@tractebelenergia.com.br)

J. G. Rolim, M. Moreto e E.P. Lenz são respectivamente professora, doutorando e mestrando do Grupo de Pesquisas em Sistemas de Potência da Universidade Federal de Santa Catarina (e-mails: jackie@labspot.ufsc.br, moreto@labspot.ufsc.br e everton_lenz@labspot.ufsc.br)

S. Zimath é engenheiro e coordenador deste projeto por parte da Reason Tecnologia e E. Varg e L. Kato são analistas de sistema e responsáveis pela implementação do sistema. (e-mails: sergio.zimath@reason.com.br, engenharia@reason.com.br e luiz.kato@reason.com.br)

LABSPOT (Grupo de Sistemas de Potência/ Laboratório de Sistemas de Potência) da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina e pela Reason Tecnologia S.A.

O desenvolvimento do iOSC teve como uma das motivações aproveitar as informações disponibilizadas pela evolução tecnológica das últimas décadas, que proporcionou uma monitoração mais ampla do sistema elétrico de potência, com novos equipamentos como, por exemplo, RDPs (Registradores Digitais de Perturbação), relés digitais, multimídias e UTRs (Unidades Terminais Remotas). Com isso, tornou-se possível ampliar o escopo das análises, tanto para verificações de pós-operação, quanto na operação *on-line*, permitindo, inclusive, a previsão e acompanhamento da evolução de falhas mais graves.

Consequentemente, ocorre também um aumento na demanda da equipe de análise, conforme descrito em VIII. Assim, de forma manter os custos, garantindo a qualidade dos serviços e a competitividade da empresa, optou-se por estudar formas de auxiliar na correlação e classificação automática das informações dos sistemas envolvidos, reduzindo a sobrecarga dos engenheiros especialistas.

Em âmbito nacional, trabalhos nesta mesma linha vêm sendo desenvolvidos. Pode-se verificar os esforços do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) no desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de oscilografias em VIII. Sistemas de análise automática de oscilografias também já foram desenvolvidos para uso na CHESF VIII e na LIGHT VIII. Entretanto, nota-se que o foco desses trabalhos era a área de transmissão.

Seguindo estas tendências na área, utilizaram-se técnicas de inteligência artificial, dentre as quais, os Sistemas Especialistas se apresentaram como a forma mais adequada para o desenvolvimento deste trabalho.

Além dessas atividades, verificou-se a importância de um sistema com interface amigável, capaz de disponibilizar todas as informações para as equipes de operação e manutenção da empresa, permitindo a colaboração nas análises entre equipes localizadas em pontos geograficamente distantes.

Para o desenvolvimento desse sistema foi necessário modelar as estruturas de dados de forma a refletir a estrutura do sistema de potência e assim, permitir com que durante a criação das regras o especialista concentre-se apenas no sistema de potência.

Com o uso do sistema, tornou-se possível gerar relatórios priorizando as análises e verificando os motivos mais fre-

quentes de atuação dos oscilógrafos, facilitando a localização da necessidade de melhoria nos ajustes e tornando o sistema de oscilografia mais robusto e confiável.

Os resultados obtidos com o uso dessa ferramenta foram muito proveitosos, atingindo as metas iniciais. Por meio da base de conhecimento desenvolvida, o sistema é capaz de classificar os eventos mais comuns registrados pelos oscilógrafos, permitindo que os esforços de análise da equipe especializada sejam concentrados em casos que fogem do padrão.

Com isso, torna-se possível verificar eventos que poderiam passar despercebidos diante do volume de dados gerados pelos equipamentos. Essa ferramenta também permite a verificação dos tipos de registros que estão sendo gerados com maior frequência de forma fácil, facilitando a alteração dos ajustes dos RDPs.

Após esta introdução o conteúdo do artigo será apresentado na seguinte estrutura: Na seção II serão descritos os dois sistemas de informação que foram integrados (sistema de oscilografia e de sequência de eventos) e a metodologia desenvolvida será exposta na seção III. Em seguida são apresentados alguns aspectos do desenvolvimento da mesma na seção IV. Os resultados de validação do sistema e um estudo de caso seguem na seção V. As conclusões do trabalho serão apresentadas na seção VI.

II. SISTEMAS INTEGRADOS DA OPERAÇÃO

O desenvolvimento do algoritmo básico de funcionamento do iOSC foi baseado no processo de análise de perturbações já utilizado internamente pela Tractebel Energia S.A.

Esse procedimento utiliza informações de duas fontes de dados: o sistema de oscilografia e o sistema de supervisão. Ambos os sistemas já existiam na Tractebel Energia S.A. por isso, um dos objetivos era integrar essas informações de maneira automática.

A seguir tem-se uma descrição de cada um deles.

A. Módulo de Coleta de Oscilografias

O sistema de coleta de oscilografias anterior à execução do projeto consistia de computadores exclusivos para a atividade de coleta de oscilografias dos registradores instalados nas usinas utilizando-se de uma rede privada TCP/IP da Tractebel Energia S.A. Optou-se então por fazer uso da tecnologia de virtualização de computadores, permitindo otimizar recursos computacionais, espaço físico, facilidade na manutenção, *backup* e expansibilidade, o que implica em uma redução direta de custos.

A virtualização é realizada por um programa capaz de simular um, ou mais computadores, permitindo a instalação de um sistema operacional e a execução de serviços de maneira isolada do computador hospedeiro.

Cada uma das máquinas virtuais é armazenada em um arquivo, assim em caso de falha da máquina hospedeira, para restabelecer o sistema basta instalar o software de virtualização em outro computador e carregar a máquina virtual, sem a necessidade de configurações adicionais, já que o computador virtual é independente do *hardware*.

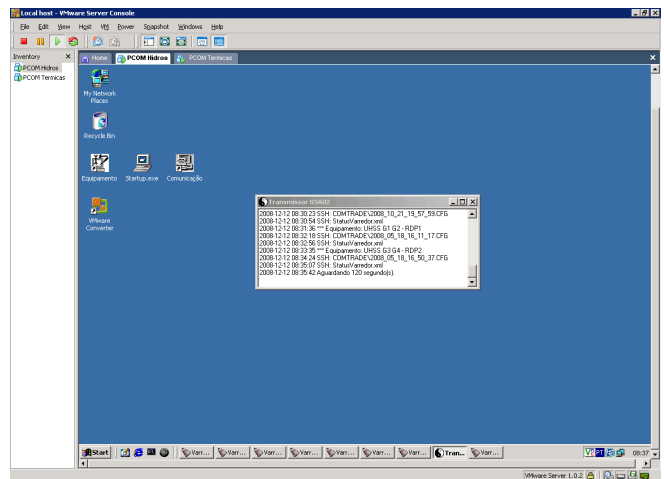


Figura 1. Máquinas virtuais responsáveis pela coleta de oscilografias.

De forma a manter uma maior flexibilidade, optou-se por criar duas máquinas virtuais: uma para coletar os dados dos RDPs das usinas térmicas e outra para as hidráulicas (ver figura 1).

Seguindo essa linha, o sistema será instalado em dois servidores utilizando a tecnologia de *cluster* nativa do *Windows 2003 Enterprise*, permitindo que uma máquina assuma as atividades da outra em caso de falha. Adicionalmente, é utilizado um outro servidor, chamado de máquina de pré-produção, onde as novas implementações e regras podem ser testadas antes de serem aplicadas aos servidores de produção.

Desta forma, todo o sistema de coleta de registros e processamento das informações passa a ter uma disponibilidade maior, pois a dependência de hardware é bastante diminuída.

B. Sistema de Supervisão da Geração - SSG

Em 2004, o Operador Nacional do Sistema (ONS) iniciou o desenvolvimento do projeto Sinocon (Sistema Nacional de Observabilidade e Controlabilidade), que consistia, basicamente, na instalação de UTRs nas usinas e subestações consideradas como emergenciais, de forma a atender aos procedimentos de rede. Com isso, uma série de novas informações se tornou disponível tanto para o ONS quanto para os agentes.

Dentre essas informações, os dados mais utilizados nas análises são as Sequências de Eventos (SOE). Essas listas são compostas por eventos registrados com precisão de 1ms, o que garante a fidelidade na sequência dos registros de atuações das proteções, aberturas e fechamentos de disjuntores, entre outros, facilitando a análise de falhas no sistema elétrico, pois todas as informações, mesmo de subestações e usinas distantes entre si ficam relacionadas a uma base de tempo comum, o sistema de Posicionamento Global via Satélite (GPS).

O Sistema de Supervisão da Tractebel Energia S.A. ao receber as informações das UTRs armazena os dados na Base de Dados da Operação, que é acessível a outros sistemas da operação e facilita a integração dos sistemas.

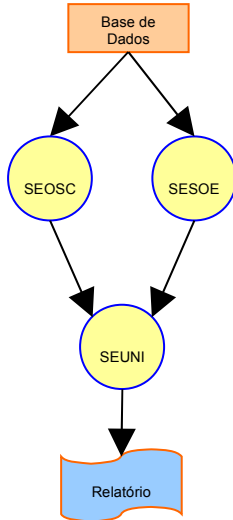


Figura 4. Fluxo de dados no iOSC.

B. Módulos de Pré-análise

O Módulo de Pré-Análise é o núcleo da automação do sistema e é constituído pela base de conhecimento e pelos módulos de pré-análise do registro fasorial e da sequência de eventos (SOE).

Os módulos de pré-análise utilizam uma técnica de IA chamada de Sistema Especialista (SE), surgida na década de 70 e que começou a ser utilizada comercialmente nos anos 80. De forma resumida, os SEs são programas compostos por uma Base de Conhecimento, e uma Máquina de Inferência, responsável por processar os dados de acordo com as regras estabelecidas.

Os SEs são aplicados a problemas nos quais seria necessário um especialista humano para analisar, porém limitando-se um domínio específico do conhecimento. De certa maneira, os SEs são muito semelhantes a programas tradicionais, diferindo basicamente pela separação do conhecimento - representado pelas regras de produção - da metodologia de solução - aplicada pelo mecanismo de inferência. Em programas tradicionais, tanto o conhecimento quanto a metodologia de aplicação deste conhecimento para solução do problema são armazenados por meio de instruções no corpo do programa.

Essa característica permite que a adição, alteração e exclusão de regras sem interferência no código do programa, garantindo uma maior segurança e ao mesmo tempo, flexibilidade ao sistema. Além disso, as respostas fornecidas são baseadas em conhecimento justificável, assim, sempre é possível justificar o porquê da resposta fornecida pelo sistema.

A seguir, será apresentado em mais detalhes o funcionamento destes sistemas especialistas que são a base dos módulos de pré-análise.

1) Módulo de pré-análise do registro fasorial

A estrutura utilizada neste módulo é apresentada na Figura 5. Nos parágrafos a seguir será apresentado o funcionamento deste módulo.

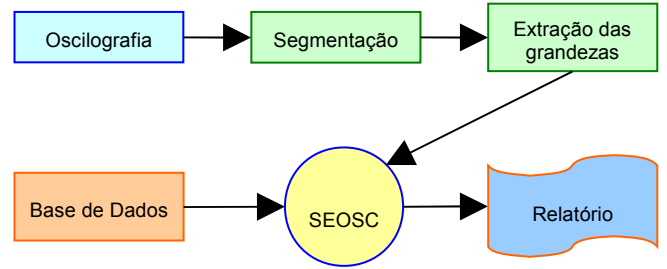


Figura 5. Diagrama de funcionamento do módulo de pré-análise do registro fasorial.

Os dados do registro fasorial da unidade de geração envolvida na ocorrência são segmentados através de uma rotina de detecção de eventos. Estes eventos podem ser transitórios rápidos ou mudanças significativas no estado das grandezas monitoradas pelo RDP. O registro fasorial é utilizado aqui devido ao seu maior tempo de registro (da ordem de minutos) possibilitando uma melhor representação das ocorrências, já que geradores de energia elétrica apresentam constantes de tempo de valor elevado. O registro de curta duração não é utilizado na metodologia, uma vez que a grande maioria dos casos pode ser classificada apenas pelo registro fasorial. O registro de curta duração é importante para análise de faltas, como a classificação do tipo e natureza da falta. Tal classificação detalhada não foi abordada neste projeto que visa neste estágio apenas separar casos que devem ser analisados por especialistas de casos normais da operação do sistema ou faltas externas.

A segmentação do registro fasorial é feita através da definição de um índice de detecção de eventos (ID) baseado em VIII, com algumas modificações VIII. O índice proposto é o seguinte:

$$id(n) = \sigma_{\Delta} = \frac{1}{\Delta - 1} \sum_{i=n}^{n+\Delta} (u_{rms}(i) - \mu)^2 \quad (1)$$

Onde n é o índice da amostra, u_{rms} é o módulo da amostra i do registro fasorial, Δ é o tamanho da janela de cálculo sobre a qual é calculado o desvio padrão σ_{Δ} e μ é a média das amostras na janela.

Quando o índice $id(n)$ excede um limiar ϵ previamente definido, é considerado que o ponto n pertence a um segmento de transitório. Assim, o primeiro ponto onde $id(n) > \epsilon$ indica o início do intervalo transitório o qual termina no último ponto quando $id(n) < \epsilon$. Um exemplo deste algoritmo de segmentação pode ser visto na Figura 6.

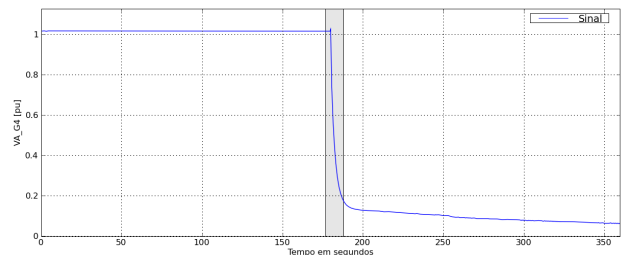


Figura 6. Exemplo de segmentação.

Assim, o índice de detecção é capaz de determinar o instante de tempo em que os eventos ocorreram, possibilitando a segmentação dos sinais em pré, durante e pós-evento.

Feita a segmentação do sinal, são calculadas grandezas de interesse em cada segmento. Estas grandezas de interesse são os valores médios das potências ativa e reativa bem como das tensões e correntes medidos no terminal do gerador.

Este processo de cálculo de grandezas constitui uma extração de características, que são armazenadas na base de fatos do Sistema Especialista de Análise da Oscilografia (SEOSC), apresentado na Figura 5.

Para definir a estrutura da base de fatos, foi estudada a filosofia de proteção e eventos que podem ser registrados na SOE da usina. Estes fatos estruturados farão parte das condições de disparo das regras da base de conhecimento.

Para classificar as ocorrências, foram estudados os procedimentos operacionais da usina e feitas entrevistas com os especialistas responsáveis pela análise das oscilografias e operadores da usina protótipo.

Em seguida, verificaram-se análises históricas de seqüências de eventos e oscilografias da Usina Termelétrica de Charqueadas (UTCH). Encerrada a etapa de aquisição do conhecimento, complementada pela literatura técnica, foram criadas diversas regras para alimentar a base de conhecimento do sistema, responsáveis pela análise das listas de SOE e registros de longa duração.

Com as informações da base de conhecimento, o SEOSC gera um relatório com uma conclusão preliminar a respeito da ocorrência, a qual será confrontada com a conclusão do módulo de análise da seqüência de eventos para então gerar a conclusão final da pré-análise.

2) Módulo de pré-análise da seqüência de eventos

Este módulo também é baseado em um sistema especialista, chamado de Sistema Especialista de Análise da Seqüência de Eventos (SESOE). O diagrama de funcionamento pode ser visto na Figura 7.

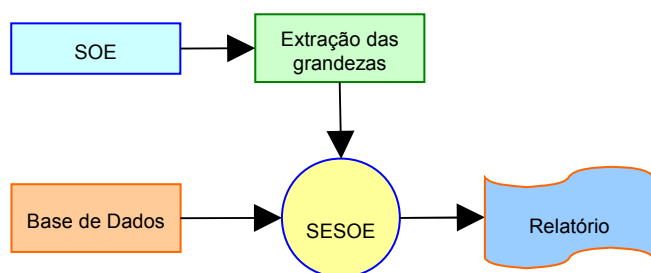


Figura 7. Diagrama de funcionamento do módulo de pré-análise da seqüência de eventos.

A partir da oscilografia que está sendo analisada pelo módulo de pré-análise, os dados da seqüência de eventos são selecionados na base de dados de tal forma que apenas os eventos relativos à unidade de geração sob análise e ocorridos no intervalo de tempo da oscilografia são analisados por este módulo.

Estes eventos são então classificados de acordo com seu tipo: eventos de atuações de funções de proteção, eventos de atuações de proteções auxiliares e eventos de mudança de estado de disjuntores. Dentro destas classes principais, os

eventos são classificados de acordo com sua função na unidade de geração, como por exemplo, função de proteção de sobrecorrente, relé auxiliar de bloqueio, disjuntor principal, comando manual de disjuntor, dentre outros.

A partir da classificação e do estado de cada evento, a base de fatos do sistema especialista pode ser criada. Um conjunto de regras definidos a partir de estudos do sistema de proteção verifica então qual a seqüência de eventos ocorrida gerando uma conclusão que é armazenada no relatório de saída. A seguir um exemplo seqüência de eventos é apresentado para esclarecer o funcionamento deste módulo.

Instante	Usina	Data	Circ.	Descrição
19:13:58.088	UTCH	Jun25	GT04	Relé de reversão de potência 32G atuou
19:13:58.104	UTCH	Jun25	GT04	Relé de bloqueio do gerador atuou
19:13:58.137	UTCH	Jun25	GT04	Disjuntor principal da unidade 4 abriu

Esta seqüência de eventos ilustra um procedimento de desligamento de uma unidade de geração térmica através da atuação do relé de reversão de potência. Assim, uma vez que a seqüência de eventos seja interpretada e armazenada na base de dados do SOE uma regra pode ser definida para identificar este caso. No caso aqui exemplificado esta regra poderia ser: “Se houve atuação do relé de reversão de potência e uma subsequente abertura do disjuntor, então provavelmente houve o desligamento proposital da unidade”. Para confirmar esta conclusão é necessário verificar o resultado da análise do registro fasorial, verificando se a potência inicial (pré-falta) do gerador estava próxima de zero, indicando a reversão de potência proposital e não uma atuação normal desta função de proteção.

Através deste exemplo, verifica-se que as análises da oscilografia e da seqüência de eventos são complementares. Desta forma, se faz necessário correlacionar os resultados de ambas para se obter uma conclusão definitiva a respeito da ocorrência. Em função disto, foi definido um terceiro módulo, também baseado em sistemas especialistas.

3) Módulo de análise da unidade

O módulo de análise da unidade correlaciona as conclusões da análise da oscilografia e da seqüência de eventos para gerar o resultado final do módulo de pré-análise.

No estado atual, o sistema é capaz de identificar os seguintes casos para o protótipo da UTCH:

1. Operação Normal: Quando o gerador em análise está operando normalmente, sem variações significativas nas tensões e correntes e sem seqüência de eventos. Uma oscilografia desse tipo pode ser gerada por um *inter-trigger* (disparo provocado por outro RDP na mesma usina), um ajuste muito sensível, ou um *trigger* provocado por outro gerador monitorado pelo mesmo oscilógrafo (uma oscilografia para este caso pode ser vista na Figura 8);

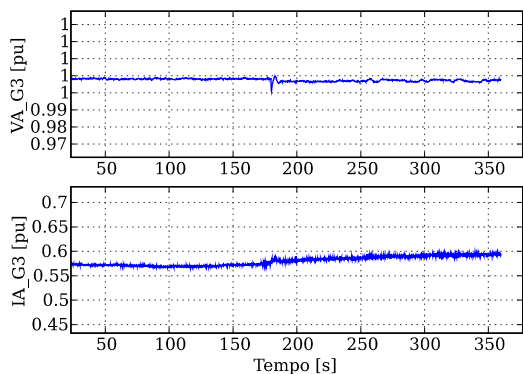


Figura 8. Operação normal da unidade.

2. Unidade Fora de Operação: Quando as correntes e tensões dos geradores são nulas e não há sequência de eventos. As oscilografias desse tipo têm a mesma causa das oscilografias classificadas como Operação Normal;
3. Desligamento de unidade com reversão de potência: Ocorre quando um gerador térmico está sendo desligado. Neste caso, provoca-se a atuação do relé de reversão de potência para evitar danos a turbina caso as válvulas de fechamento do vapor apresentem defeito VIII. Estes casos são identificados através do valor da potência ativa pré-falta e da presença da atuação do relé 32 na sequência de eventos. A oscilografia da potência é apresentada na Figura 9;

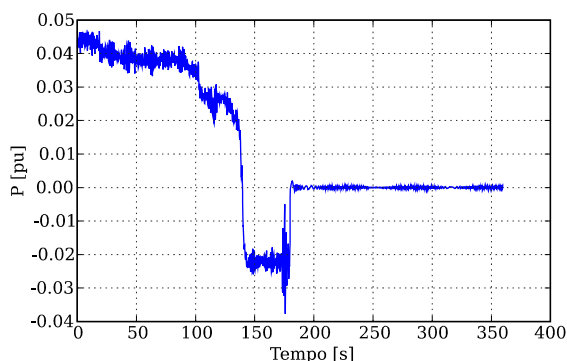


Figura 9. Desligamento da unidade por reversão de potência

4. Desligamento da unidade sem reversão de potência: Ocorre quando o gerador é desligado normalmente. Estes casos são identificados pelo perfil de tensão do gerador, passando de valores nominais para aproximadamente zero, com a presença do sinal de abertura do disjuntor na sequência de eventos;
5. Energização da Unidade: Ocorre quando um gerador é ligado (oscilografia na Figura 10). Na sequência de eventos é registrado o fechamento do disjuntor da unidade;

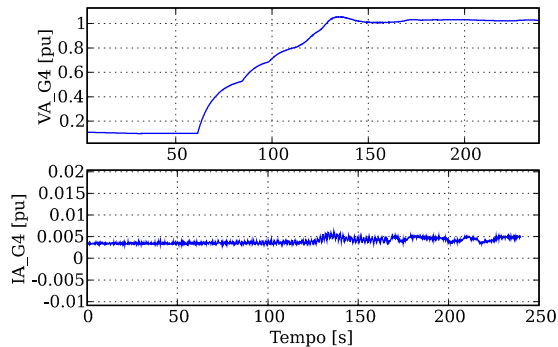


Figura 10. Energização da unidade.

6. Testes de proteção: Ocorrem com a máquina desligada (corrente e tensão nulas). É necessário analisar a sequência de eventos para confirmar este caso pois apenas através da oscilografia não é possível chegar a esta conclusão;
7. Redução ou aumentos de Carga: Ocorre uma diminuição da potência ativa fornecida pelo gerador, sem que ocorra o desligamento do mesmo. Estes casos são considerados operações normais dos geradores;
8. Falta Detectada: Quando ocorre um desligamento brusco da unidade geradora (oscilografia na Figura 11);

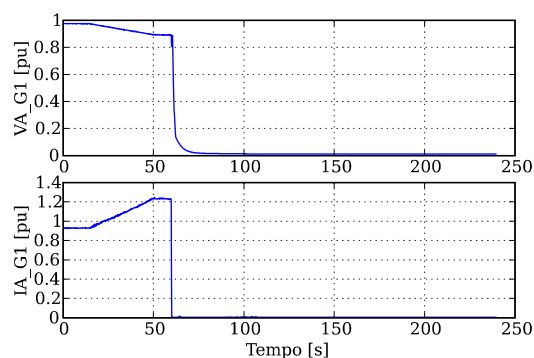


Figura 11. Falta detectada.

9. Unidade Isolada: A unidade é desconectada do sistema, porém permanece girando e energizada;
10. Sincronismo Detectado: Quando ocorre o fechamento do disjuntor principal da unidade e esta passa a fornecer energia ativa para o sistema (oscilografia na Figura 12);

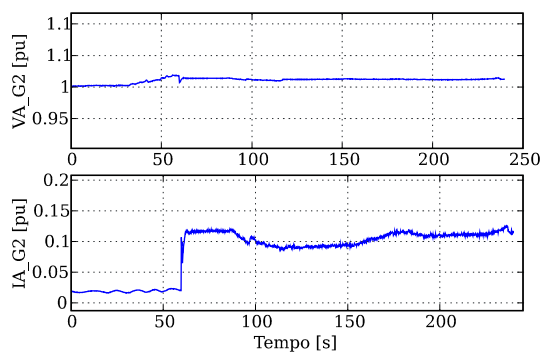


Figura 12. Sincronismo detectado.

Conforme a saída do módulo de pré-análise o engenheiro analista pode escolher qual a próxima oscilografia que será verificada em função do resultado da pré-análise. Casos como desligamento forçado de geradores ou não conclusivos podem ser analisados em primeira instância.

IV. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção serão apresentados alguns aspectos relativos ao desenvolvimento da metodologia proposta, como a forma de armazenamento dos dados, a interface com o usuário do sistema e a implementação computacional.

A. Estrutura de dados

Como todo em sistema de informação, uma grande quantidade de registros é capturada dos registradores de perturbações ou obtida do seqüencial de eventos das usinas. O registro de seqüencial de eventos é basicamente uma lista de todas as variações registradas de forma digital, ou seja, com variação de zero para um ou de um para zero. Já os Registros dos oscilógrafos são os valores de corrente e tensão registrados antes, durante e depois de uma violação de um *trigger*, que é um limite programado pelo cliente que, quando violado, indica uma situação de atenção para o gerador ou transformador.

Como estes registros são de uma seqüência de valores analógicos e estados digitais para cada evento, faz-se necessário uma forma definida de armazenamento destes dados para que possam ser facilmente encontrados. Atualmente existe uma norma da IEEE VIII, que define uma forma padronizada de arquivo para armazenamento destes registros.

A Tractebel utiliza um sistema de informações com uma plataforma baseada em Oracle e por norma interna todas as informações estratégicas devem estar neste banco de dados, e dados brutos são armazenados em um Servidor de Arquivos que atende os requisitos de redundância necessários para este tipo de sistema.

Assim, o sistema foi desenvolvido, com o apoio do pessoal de Tecnologia da Informação da Tractebel, com a seguinte arquitetura:

Arquivos de registro de perturbações são armazenados no servidor de arquivos em uma estrutura de diretório organizado por registrador de perturbações e data. Estes arquivos são armazenados com compactação do tipo “ZIP” visando reduzir a ocupação do servidor, dado que cada registro ocupa até alguns Mbytes e são gerados frequentemente. Os arquivos de registros fasoriais oriundos dos RP-IV são armazenados em um formato binário, cujo acesso é mais rápido do que quando se utiliza o formato Comtrade.

No servidor Oracle é armazenado o caminho para chegar num arquivo de registro assim como todas as informações obtidas a partir de um registro, como por exemplo, o tipo de falta registrada, o resultado da pré-análise, observações feitas pelo engenheiro que analisou o registro, etc.

O sistema também possui um sistema de gerenciamento para relacionar as informações vindas do SOE com os canais

digitais dos registros.

Para isto, o usuário cadastra cada um dos pontos digitais do SOE com o equivalente canal analógico de um dado registrador de perturbações, permitindo desta forma que se relacione o mesmo dado vindo de duas fontes diferentes.

Um ponto importante a ser destacado é que o sistema de coleta e armazenamento dos registros de perturbações chama um programa externo, escrito em Python. Desta forma existe uma interface bem definida de relacionamento entre dois sistemas, um responsável pela coleta, classificação e armazenagem dos registros e outro dedicado apenas a pré-análise dos registros. A comunicação entre os dois sistemas é feita através de XML, com o sistema de gerenciamento dos registros passando em XML uma série de parâmetros e o sistema de pré-análise retornando a pré-análise em XML para ser incorporada na base de dados Oracle.

B. Interface

A interface foi desenvolvida tendo em mente o uso diário da ferramenta pelo especialista, tentando manter ao máximo o foco do cliente do sistema.

Assim, ao entrar no sistema, é exibida uma tela com uma lista das usinas e uma barra gráfica indicando a situação da leitura dos RDPs (Figura 13), assim como as oscilografias que já foram lidas e qual a situação de análise de cada uma delas. Nessa interface, o cliente pode clicar em qualquer um dos eventos para abrir o relatório da pré-análise e ter acesso à oscilografia.

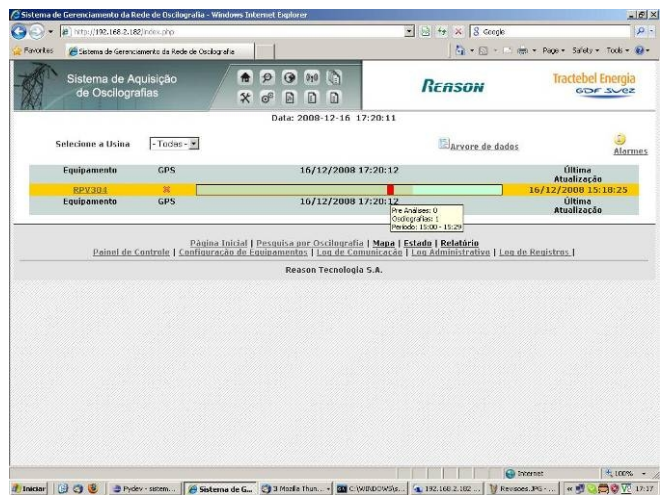


Figura 13. Tela principal do sistema.

Na tela do relatório de pré-análise, são exibidos os circuitos existentes na oscilografia pré-analisada e o resultado obtido por cada um dos sistemas especialistas. Além dos resultados definidos pelo sistema, uma coluna adicional, permite que o analista indique se o resultado final foi correto ou não (Figura 14). Complementando esse campo, sempre que for realizada alguma alteração nessas informações, deve-se gerar uma nova revisão e o sistema irá solicitar uma justificativa, registrando a mudança no sistema.

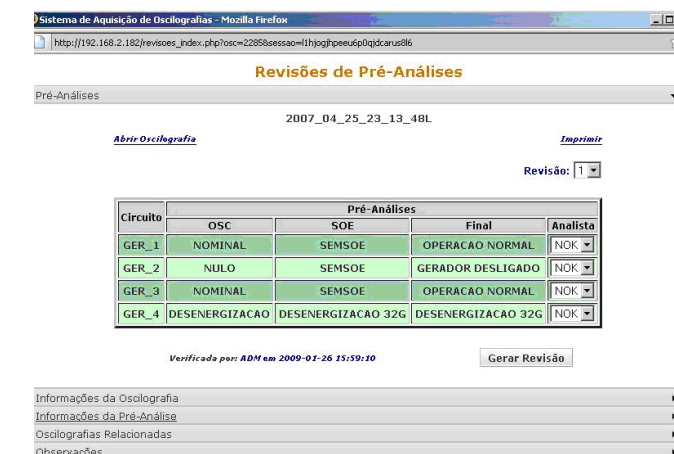


Figura 14. Tela principal do relatório de pré-análise.

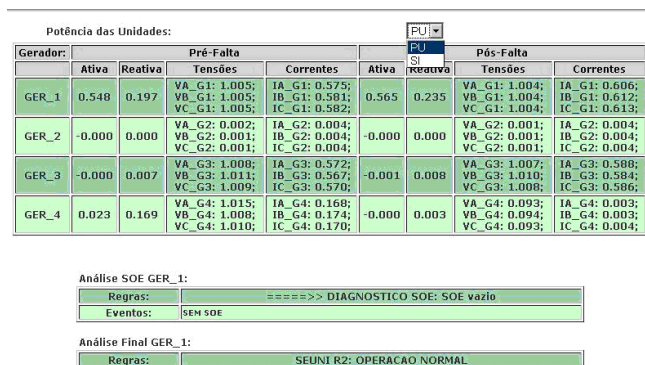


Figura 15. Detalhes do relatório de pré-análise.

Ainda nessa tela, é possível visualizar alguns valores utilizados nas regras do sistema, assim como as regras utilizadas para a determinação do diagnóstico (Figura 15).

Durante o desenvolvimento, buscou-se manter a simplicidade na interface, assim, grande parte das opções aparecem inicialmente ocultas, focando mais no resultado das análises. Entretanto, todas as opções podem ser rapidamente exibidas.

Além de exibir os resultados das pré-análises, são exibidos *links* diretos para todas as oscilografias relacionadas e informações como, por exemplo: potências pré-falta das unidades, potências pós-falta, proteções que atuaram, etc.

Foi desenvolvida uma outra interface, utilizando uma estrutura de árvore, que pode ser utilizada para localizar faltas relativas a um determinado equipamento. Na Figura 16, estão sendo exibidas as faltas que ocorreram no transformador 1 do gerador 1.

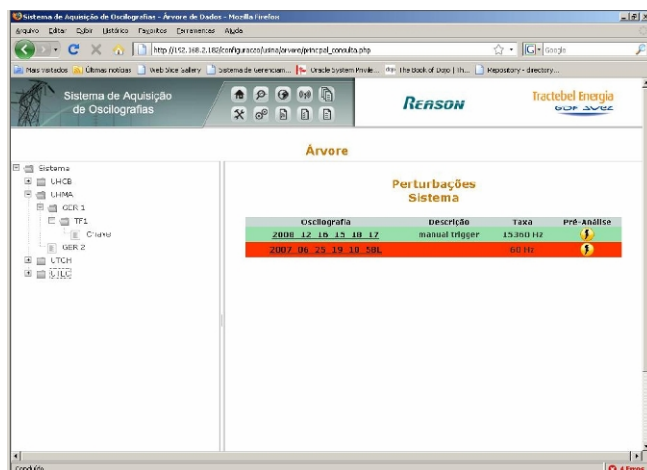


Figura 16. Estrutura de árvore.

Também foi desenvolvida uma interface que permite a criação da estrutura utilizada para relacionar os dados do sistema de oscilografia e supervisão, que pode ser visualizada na figura 16.

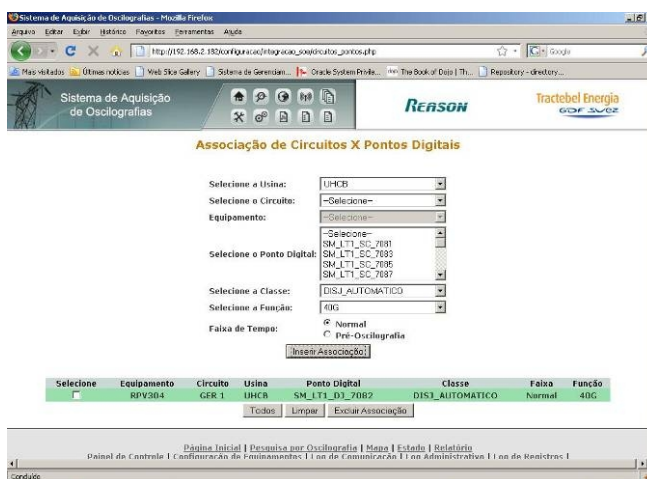


Figura 17. Interface de criação da estrutura de dados do sistema.

C. Implementação do Módulo de Pré-análise

O módulo de pré-análise assim como partes dos módulos de coleta e gerenciamento de oscilografias foi desenvolvido em linguagem de programação Python. As rotinas de processamento dos dados das oscilografias foram desenvolvidas como um módulo separado que pode ser atualizada se necessário.

Os sistemas especialistas que fazem parte do módulo de pré-análise foram implementados usando “CLIPS Expert System Shell”, uma ferramenta específica para sistemas especialistas e amplamente utilizada em todo o mundo. As definições das regras de cada sistema especialista foram definidas em arquivos individuais, desta forma facilitando a manutenção e o aprimoramento da base de conhecimento. Esta abordagem permite que o administrador do sistema crie ou modifique as regras, expandindo as capacidades do módulo de pré-análise.

V. VALIDAÇÃO DO SISTEMA

Nesta seção serão apresentados alguns resultados dos testes realizados com a metodologia proposta. Inicialmente apresenta-se um estudo de caso apresentando com mais detalhes o funcionamento da metodologia. Em seguida são apresentados resultados para um mês de oscilografias da usina termelétrica de Charqueadas (UTCH).

A. Estudo de Caso

O estudo de caso aqui apresentado constitui uma desenergização por reversão de potência de um gerador térmico da UTCH.

A Figura 18 apresenta o registro fasorial da tensão e corrente da fase A do gerador apenas, já que as três fases apresentam comportamento semelhante. As barras verticais indicam os instantes inicial e final do segmento de transitório detectado através do índice de detecção da equação (1) o qual também está presente nos gráficos em cor vermelha.

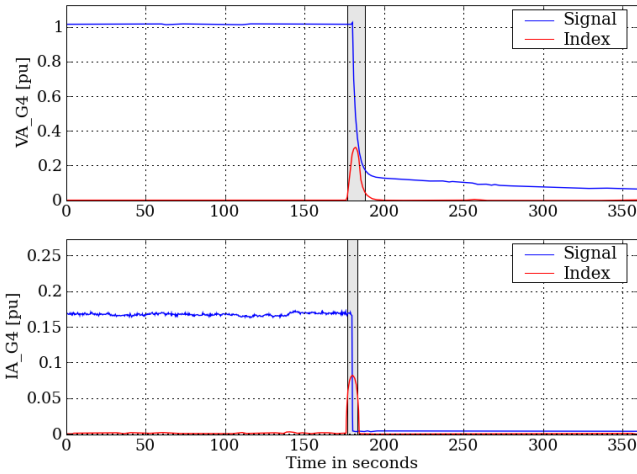


Figura 18. Estudo de caso: registro fasorial da tensão e corrente da fase A do gerador.

A potência ativa trifásica, calculada através dos dados do registro fasorial das tensões e correntes é apresentada na Figura 19.

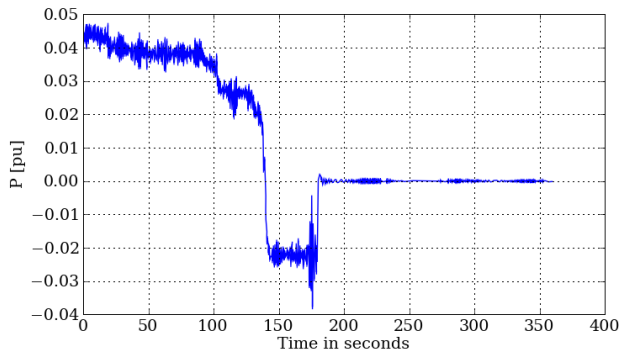


Figura 19. Estudo de caso: potência ativa calculada.

Durante a análise da oscilografia, após a segmentação dos sinais, o módulo de pré-análise calcula os valores médios das grandezas antes e depois do transitório. Estes valores, mostrados na Tabela 1 formarão a base de fatos para o módulo de análise da oscilografia.

Tabela 1. Resultado da extração de características.

Canal	Fase	Antes [pu]	Depois [pu]
{IA,IB,IC} G4	{A, B, C}	0,17	0,00
{VA,VB,VC} G4	{A, B, C}	1,01	0,09
P		0,06	0,00

Por meio destes dados, o módulo de análise da oscilografia, verifica que a tensão passou de um valor nominal (aproximadamente 1pu) para zero, enquanto que a corrente também foi reduzida à zero. O valor da potência ativa, aproximadamente, igual à zero em ambos os segmentos indica de o desligamento foi proposital. A conclusão do módulo de análise da oscilografia é então “desenergização”. Para uma melhor conclusão da ocorrência, é feita em seguida a análise da sequência de eventos.

A sequência de eventos registrada no período correspondente ao registro oscilográfico é apresentada abaixo.

Instante	Data	Circ.	Descrição
19:13:58.088	Jun25	GT04	Relé de reversão de potência 32G atuou
19:13:58.088	Jun25	GT04	Relé auxiliar 83G do gerador atuou
19:13:58.104	Jun25	GT04	Relé de bloqueio 86G do gerador atuou
19:13:58.137	Jun25	GT04	Disjuntor principal da unidade 4 abriu
19:13:58.424	Jun25	GT04	Relé auxiliar 83G do gerador normalizou
19:13:58.426	Jun25	GT04	Relé de bloqueio 86G do gerador normalizou

Pode ser observado na listagem acima que o relé de reversão de potência (32G) atuou, seguido da atuação do relé de bloqueio da unidade (86G), o qual envia um sinal de abertura para o disjuntor principal da unidade. Estes eventos são suficientes para disparar a regra de desenergização por reversão de potência do módulo de análise da sequência de eventos.

As conclusões obtidas pela análise da oscilografia e da sequência de eventos são avaliadas pelo módulo de análise da unidade que conclui corretamente que se trata de uma desenergização por reversão de potência.

Este estudo de caso representa uma situação real em que um registro de oscilografia é gerado, porém uma análise detalhada feita pelo analista não seria necessária.

B. Resultados para Validação

A seguir tem-se o resultado da pré-análise aplicado no de setembro de 2007 para os geradores da UTCH. Na Tabela 2, pode-se verificar que de 140 casos analisados, mais de 95% foram processados corretamente pelo iOSC. Este índice de acertos ainda pode ser melhorado pelo aprimoramento da base de conhecimento do sistema. Observa-se também que dos 140 casos, apenas três representam situações de falta, o que indica que o especialista humano apenas deveria utilizar seu tempo apenas para avaliar estes casos e casos que o iOSC não consiga classificar adequadamente.

Tabela 2. Resultados da pré-análise para setembro de 2007.

Classificação	Total	Acer- tos	Resultados inconclusivos
Operação normal	69	69	0
Gerador desligado	53	53	0
Desenergização 32G	5	3	2
Desenergização	1	1	0
Acréscimo de carga	2	2	0
Corte de carga	2	1	1
Energização	2	1	1
Sincronismo	3	3	0
Falta	3	1	2
Casos não previstos	6		

Nos casos registrados como erros na Tabela 2, o módulo de pré-análise apresentou um resultado inconclusivo, devido a um erro na classificação da oscilografia ou da sequência de eventos. Nestas ocasiões faz-se necessária a análise pelo especialista humano pois há a indicação da existência de algum problema com os dados ou então trata-se de algum caso não previsto na base de conhecimento. Para os casos classificados com “Falta”, estes devem sempre ser analisados em mais detalhes pelo especialista, já que são ocorrências importantes no sistema.

VI. CONCLUSÃO

O sistema descrito para pré-análise de oscilografias visa reduzir a carga de trabalho dos engenheiros responsáveis por esta atividade. Considerando que em torno de 95% das oscilografias analisadas se referem a situações normais da energização e desenergização de geradores ou ainda a eventos externos à usina que podem ser identificados pelo iOSC, o ganho obtido pelo sistema é muito significativo.

O novo sistema de gerenciamento das oscilografias também facilita o acesso do usuário às informações, concentrando todas as informações de SOE e oscilografias, por meio de um relatório simples e objetivo, através do qual é possível acessar os dados originais e o resultado da pré-análise. Ainda nessa interface, é possível deixar comentários assim como indicar se o resultado da pré-análise foi correto ou não. Dessa forma, o sistema cumpre a importante função de centralizar as informações para realizar uma divulgação democrática e colaborativa.

O trabalho de desenvolvimento foi facilitado por conta da Tractebel já dispor de toda a infra-estrutura de coleta de informações utilizando *links* de comunicação com equipamentos de campo previamente instalados. Por conta disso já existiam uma série de dados históricos.

Outro facilitador foi a existência da documentação dos procedimentos de operação da usina com a qual se trabalhou, que permitiu as análises dos eventos com mais segurança.

Sobre a estrutura modular adotada no desenvolvimento, pode-se afirmar que ela apresenta a grande vantagem de permitir expansões do sistema de uma forma simples, com um baixo risco de interferência nos módulos adjacentes. Outra característica importante do sistema é a possibilidade de utilizar o iOSC para acessar e correlacionar os dados de forma a realizar estudos com as informações da oscilografia e da supervisão.

A facilidade de expansão do sistema permite ainda que a inteligência do sistema seja aprimorada, contemplando os mais diversos tipos de perturbações sistêmicas, assim como detectando eventos como, por exemplo, a manutenção das proteções, gerando relatórios automaticamente. Para estes casos seria necessário aprofundar a análise nos casos de faltas, empregando para isto os registros de curta duração.

Cabe ressaltar que como cada usina possui particularidades em relação à sua filosofia de proteção e sequências de eventos, a ferramenta precisa incorporar estes aspectos antes de ser utilizada em outras usinas.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Tractebel Energia S.A. e também a todos que se envolveram de forma indireta no projeto dos quais se destacam: o Chefe de turno da Usina Termelétrica de Charqueadas, Cláudio Pereira Borba, pelo auxílio na interpretação dos dados da usina; o engenheiro Gabriel Aurélio de Oliveira do Departamento de Operação da Produção, pelo auxílio na integração com o sistema de supervisão e adequação às normas de segurança da empresa relativas à Tecnologia da Informação; e por fim, mas não menos importante, ao desenvolvedor Mario Gonsales Ishikawa, da empresa Vieira-Ishikawa Software, pelo auxílio na integração com a base de dados do sistema de supervisão.

Por fim, destaca-se que o protótipo desenvolvido ainda se encontra em fase de implantação na Tractebel Energia S.A., impossibilitando o cálculo de indicadores que permitam avaliar o retorno econômico do projeto. Para isso, será necessário um tempo de observação após a implantação, que permitirá avaliar os ganhos proporcionados pelo sistema.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Fault and disturbance data analysis including intelligent systems”, Final Report of CIGRE Study Committee B5 – Protection and Automation – WG B5.03, 2007.
- [2] E. Styvaktakis, M. H. J. Bollen, and I. Y. H. Gu. *Automatic classification of power system events using rms voltage measurements* in Proc. 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, volume 2, pp. 315-320.
- [3] R. Giovanini, R.M. D. Moraes, D. N. Gonçalves, et al. *SPERT - Sistema Integrado para Análise de Perturbações* in IX Seminário Técnico de Proteção e Controle – STP. Belo Horizonte, MG, Junho 2008.
- [4] *Sistema Inteligente de Pré-Análise e Gestão de Perturbações e Oscilografias Voltado para a Geração*, Relatórios mensais do projeto da Tractebel Energia S.A., código ANEEL 0403-012/2006.
- [5] E. Fennel et al. Sequential tripping of steam turbine generators: Working group report. *IEEE Transactions on Industry Applications*, No. 34, Vol. 6, pp. 1411–1418, Nov./Dec. 1998.
- [6] K. M. Silva, B. A. Souza e N. S. D. Brito. Fault Detection and Classification in Transmission Lines Based on Wavelet Transform and ANN. *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 21, No. 4; pp. 2058 – 2063, 2006.
- [7] M. A. P. Rodrigues, M. A. M. Rodrigues, S. S. Diniz, et al. “Sistema para Análise Automática de Oscilografias na Light”, in Anais do VII Seminário Técnico de Proteção e Controle – STPC. Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- [8] M. Moreto, J. G. Rolim. *Automated Analysis of Digital Fault Recorder Data in Power Generating Plants* in Proceedings of 16th Power System Computation Conference – PSCC. Glasgow, UK, 2008.

- [9] IEEE C37.111 IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange for Power Systems.