



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

22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA APOIO AO DIAGNÓSTICO DE ATUAÇÕES
DAS PROTEÇÕES EM USINAS HIDROELÉTRICAS**

Jorge Mitsuhiro Oura
CESP – Companhia Energética de São Paulo

Adriano Santos Mendes
CESP – Companhia Energética de São Paulo

Paulo Koiti Maezono Virtus Consultoria e Serv. Ltda.	Norbert Penner ECIL Informática Ltda.	Paulo Rodrigues Andreus ECIL Informática Ltda.
--	---	--

RESUMO

Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema especialista para interpretação de ocorrências de perturbações e falhas em usinas hidroelétricas, em tempo real, baseado nos dados e informações do sistema de supervisão e controle existentes. O resultado disponibilizado pelo sistema ao usuário é simples, seguro e objetivo, permitindo uma rápida tomada de decisão com um mínimo de alternativas a serem analisadas. O trabalho foi desenvolvido como parte do projeto de P&D, tendo sido instalado na UHE Paraibuna da CESP, onde pôde ser comprovada a eficiência e a praticidade do sistema pelos operadores.

PALAVRAS-CHAVE

Operação de Sistemas Elétricos, Proteção e Controle, Análise de Perturbações, Sistemas Especialistas.

1.0 INTRODUÇÃO

Os Sistemas Especialistas (SE) são softwares que modelam o conhecimento de especialistas humanos compondo bases de conhecimentos e são utilizados para o diagnóstico de problemas e indicação de possíveis soluções para os mesmos.

Apesar do sucesso de aplicação em outras áreas de conhecimento tais como prospecção de petróleo, sistemas médicos e sistemas de apoio à manutenção de máquinas e equipamentos, a aplicação prática de sistemas especialistas é ainda muito pequena nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Isto se deve ao fato de que a construção das bases de conhecimento demanda um esforço de implementação considerável, que só se justifica nos casos onde exista uma possibilidade de ampla aplicação.

No caso do setor elétrico, os problemas habituais necessitam de diagnósticos e soluções em tempo real. Tais problemas podem auferir significativos benefícios com o uso de sistemas especialistas e representam ainda um grande desafio tecnológico, pois cada instalação representa um problema específico e não se tem um único caso onde duas instalações tenham comportamentos idênticos.

A análise de perturbações em uma usina hidrelétrica é uma tarefa muito complexa, demandando a análise de inúmeras informações inter-relacionadas, que ocorrem em intervalos de tempo muito curtos. Para efetuar este tipo de tarefa, o analista deve ter um grande conhecimento das áreas de sistema elétrico de potência e sistemas de proteção e controle, além de conhecimentos específicos de todos os equipamentos utilizados em usinas e subestações, suas configurações, formas de operação e diagramas de interligação. Dependendo da complexidade do evento, a análise de uma única perturbação pode levar várias horas ou mesmo dias, sendo sempre uma atividade de pós-operação a ser realizada por técnicos e engenheiros de operação ou por uma equipe especializada de análise, a fim de determinar o que realmente aconteceu, detectando erros de operação e/ou falha na parametrização dos sistemas de proteção e controle.

Na operação em tempo real, o operador da usina ou o despachante do Centro de Operação do Sistema (COS) interpreta um grande conjunto de dados, realizando tomadas de decisão imediatas, visando normalizar a operação do sistema após uma contingência (análise post mortem). O desafio de se analisar um grande volume de informações disponíveis em poucos minutos é humanamente impossível. Desta forma, os operadores e despachantes tendem a tomar decisões "instintivas", pois terão uma visão incompleta do que está realmente acontecendo, devido ao excesso de informações disponíveis.

Visando propor uma solução adequada para o problema descrito acima, o objetivo principal do projeto de pesquisa "Sistema Especialista Multi-Nível para Apoio ao Diagnóstico de Atuações das Proteções em Usinas Hidroelétricas" foi o desenvolvimento de um sistema especialista para interpretação, em tempo real, de ocorrências de perturbações e falhas em usinas hidroelétricas, baseado nos dados e informações do sistema de supervisão e controle existentes. O produto final do projeto de pesquisa foi o desenvolvimento de um conjunto de softwares que compõem um sistema denominado SDAP (Sistema de Diagnóstico de Atuações das Proteções), o qual é aplicável à análise de sistemas de proteção em usinas e subestações.

Os softwares que compõem o SDAP foram desenvolvidos para sistema operacional Windows, utilizando-se as linguagens de programação Python, PHP e Javascript.

2.0 SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE ATUAÇÕES DAS PROTEÇÕES (SDAP)

2.1 Descrição do Sistema Supervisório da UHE Paraibuna

A usina de Paraibuna é controlada por um sistema supervisório chamado Indusoft.

Os relatórios de eventos, tanto das grandezas analógicas quanto das variáveis digitais, são registrados em arquivos tipo texto. Um arquivo é gerado por dia, onde o nome do arquivo é sempre no formato "aIAAMMDD.alh", onde "AA" é o ano, "MM" é o mês e "DD" é o dia do registro. Estes arquivos contêm os dados relativos aos alarmes da usina, os quais são necessários ao funcionamento do sistema especialista implementado.

A quantidade de tipos de alarmes gerados pelo sistema supervisório da UHE Paraibuna é muito grande, com mais de 2000 alarmes diferentes. Nos casos onde ocorrem atuações mais complexas do sistema de proteção, um evento pode ser uma composição de diversos alarmes (encadeamento), sendo difícil para o operador identificar o que realmente aconteceu na usina ou no sistema de transmissão somente baseado na leitura de uma grande lista de eventos que não apresentem níveis de prioridade.

2.2 Arquitetura do Sistema

O software supervisório da UHE Paraibuna é um aplicativo fechado que não permite modificações na sua programação. Desta forma, a única comunicação possível entre este sistema e outro aplicativo qualquer é através de interfaceamento nos arquivos diários de eventos.

Esta restrição operacional implicou na adoção de uma arquitetura computacional onde um computador executa os aplicativos do SDAP e um programa aplicativo pequeno (denominado daemonfile), que é executado no sistema supervisório, lê os arquivos diários de eventos e efetua a transferência dos dados para o sistema SDAP.

A Figura 1 abaixo ilustra a arquitetura o Sistema Especialista Multinível para Apoio ao Diagnóstico de Atuação das proteções .

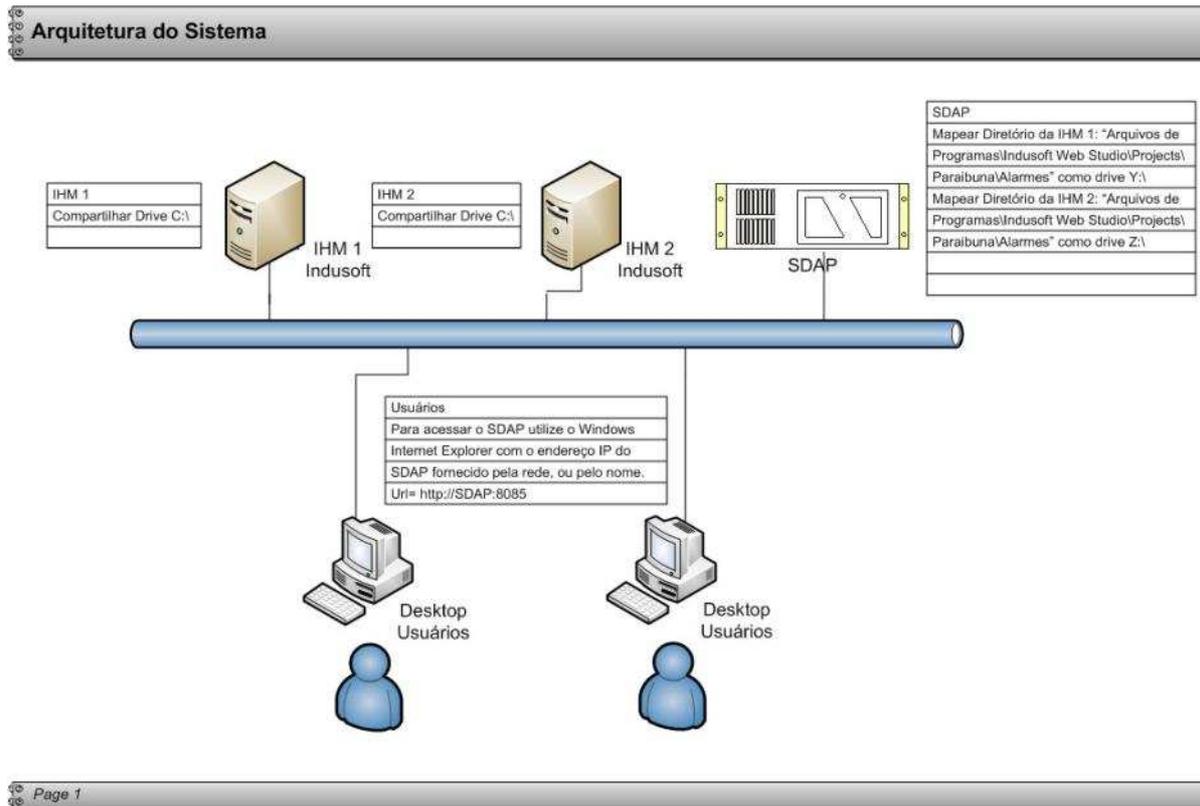


Figura 1 - Arquitetura

2.3 Descrição do Sistema SDAP

Daemonfile

Este aplicativo é responsável pela leitura dos arquivos diários de eventos e pela transferência dos dados para o SDAP. Trata-se de um programa que, em intervalos de 5 segundos, analisa o arquivo de eventos identificando a existência de novos eventos. Estes eventos são destacados pelo sistema e armazenados em uma base de dados que é executada no computador do SDAP. O gerenciador de base de dados utilizado é o MySQL. A base de dados tem o nome de *test*.

Daemon

A partir da disponibilização dos eventos disponíveis na tabela *alarmhistory*, o aplicativo *daemon*, que é executado no servidor do SDAP, lê os novos eventos desta tabela e atualiza os estados de todos os alarmes na tabela *vartag*, na base de dados *exceldb*.

O aplicativo *daemon* também executa o programa *ParserCesp* que é responsável pela execução de todas as equações programadas no sistema. As equações têm como operandos os alarmes do sistema supervisorio. O resultado das equações é armazenado na base de dados ou como um novo alarme (na tabela *varta*) ou como uma variável de diagnóstico (na tabela *vardiag*). Quanto ocorre a mudança de estado em qualquer um dos alarmes ou no resultado de alguma equação, esta mudança é também registrada na tabela de eventos *event*.

Listas de Alarmes

No sistema SDAP são estabelecidas três listas de alarmes. A primeira lista é a dos alarmes adquiridos pelo sistema (denominada "lista de alarmes"), sendo oriunda dos dados disponibilizados pelo sistema de supervisão e controle da usina. A segunda lista é definida pelo presente relatório (denominada "lista de diagnósticos"), sendo

oriunda dos manuais de operação dessa instalação. A terceira lista é a “lista de equações”, a qual é definida pelo usuário especialista e fornece como resultado o diagnóstico da ocorrência e a providência a ser tomada pelo operador. Para fins de estabelecimento de associações e funcionalidades, estas listas são detalhadas em arquivos tipo Microsoft Excel, adotando-se um arquivo para cada lista: lista de alarmes; lista de diagnósticos e lista de equações.

Listas de Diagnósticos

Com base nos manuais técnicos de operação vigentes para a UHE Paraibuna, foi elaborada uma lista de diagnósticos para os alarmes previstos. O sistema SDAP associa cada alarme ou conjunto de alarmes (“OR”) a um registro desta lista de diagnósticos.

Interpretação de Prioridades

As prioridades são classificadas segundo um número de 0 a 4. As interpretações a serem consideradas são mostradas na Tabela I.

TABELA I
INTERPRETAÇÃO DE PRIORIDADES DO SISTEMA SDAP (CONTINUAÇÃO)

Prio	Significado	O que deve ser feito pelo sistema?
0	Atuações primárias do tipo ED/SOE e que causam desligamento de UGs.	Antes de qualquer coisa, destacar para o operador: “DESLIGAMENTO”.
1	Atuações primárias tipo ED/comum que causam desligamento de UGs ou atuações secundárias que são acionadas por uma atuação primária.	Antes de qualquer coisa, destacar para o operador: “DESLIGAMENTO ou ASSOCIADO A DESLIGAMENTO”.
2	Atuações que não causam desligamento de UGs e alarmes importantes que podem evoluir e causar desligamento.	Antes de qualquer coisa, destacar para o operador: “ALARME – SEM DESLIGAMENTO – PODE EVOLUIR PARA DESLIGAMENTO”.
3	Alarmes de sistema e de serviços auxiliares que não causam desligamentos de UGs.	Antes de qualquer coisa, destacar para o operador: “ALARME – SEM DESLIGAMENTO”.
4	Alarmes de caráter informativo ou de conhecimento e que não causam desligamento de UGs.	Antes de qualquer coisa, destacar para o operador: “ALARME INFORMATIVO”.

Priorização

A etiqueta de tempo do sequenciamento de eventos deve identificar o primeiro evento de maior prioridade que desencadeou toda a ocorrência, de modo que este possa ser exibido com maior destaque que os demais eventos.

O grau de prioridade (de 0 a 4, sendo a maior prioridade a de menor número) deve ser usado quando há sobreposição de diagnósticos, quanto à ordem de exposição e destaque.

Na Figura 2 abaixo é mostrada a estrutura do SDAP.

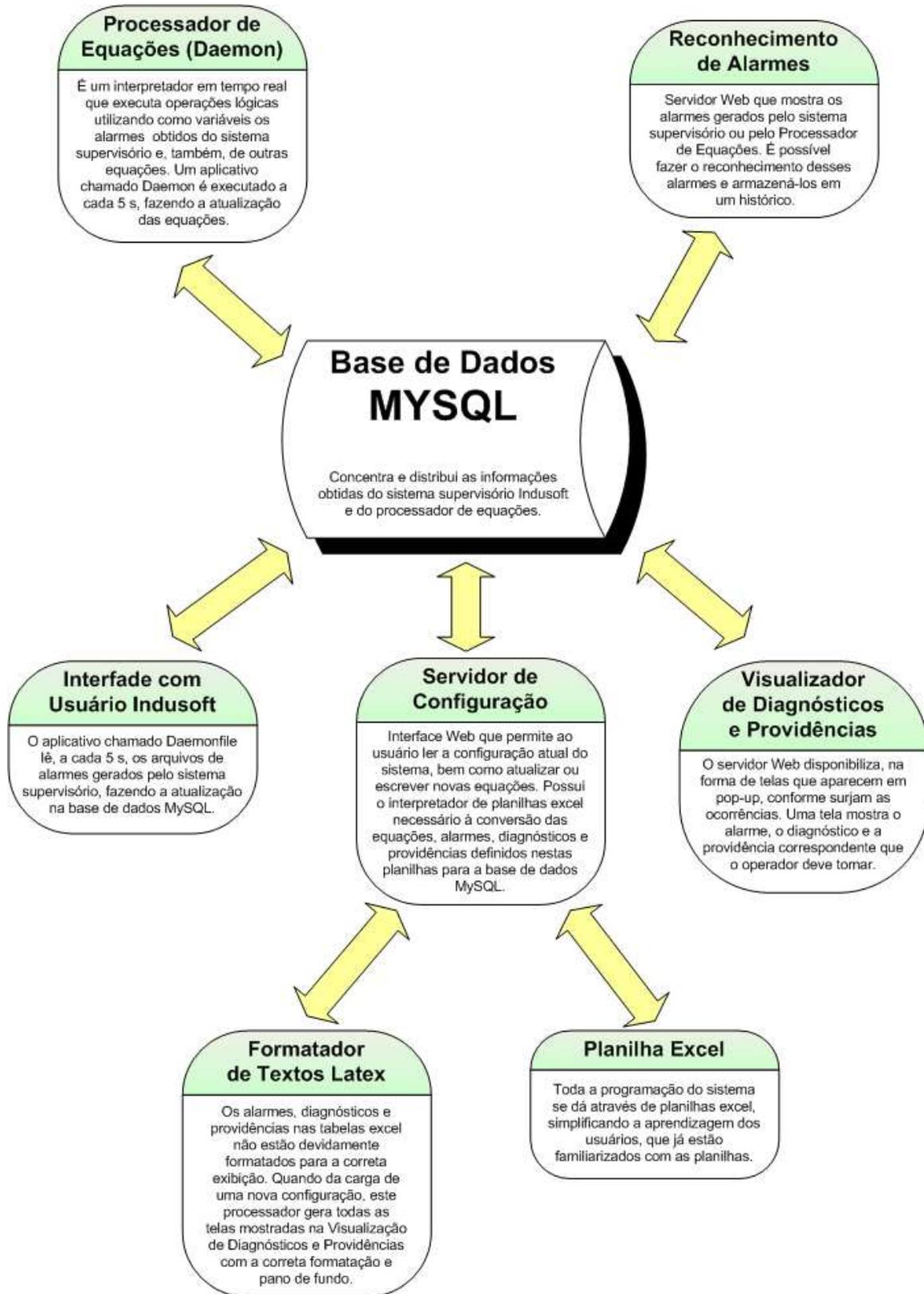


Figura 2 – Estrutura do SDAP

2.3 Equações Complexas do Sistema SDAP

As equações baseadas em funções booleanas do tipo “OR”, conforme descritas anteriormente, podem não ser suficientes para descrever todas as funções do sistema especialista do SDAP. Visando solucionar esta restrição, foi definida uma terceira lista (lista de equações) para complementar as listas de alarmes e de diagnósticos existentes.

A lista de equações possui apenas dois campos por equação: um campo de “Tag” e um campo de “Descrição”. No campo de “Tag” define-se um nome para a equação, utilizando-se a mesma sintaxe dos nomes dos alarmes na lista de alarmes, como por exemplo, o nome fictício “XX1_71MXXX”. No campo de descrição coloca-se a equação, por exemplo, da seguinte forma: “TU1_71MGTA AND TU2_71MGTA”. As variáveis utilizadas nas equações podem ser tanto os alarmes da lista de alarmes quanto o resultado de outras equações da lista de equações.

As equações admitem os operadores lógicos AND, OR, NOT e qualquer nível de parênteses “()”, com qualquer número de variáveis limitado a 500 caracteres. Este valor foi previamente definido na configuração da base de dados, mas pode ser alterado caso esta limitação se mostre insuficiente para as lógicas de atuação nas usinas da CESP.

As “Tags” da tabela de equações são vistas como alarmes pelo sistema SDAP, tais quais aqueles originados do sistema supervisorio. Isto significa que o resultado das equações pode também ser utilizado em funções do tipo “OR” nas listas de alarmes e diagnósticos.

2.4 Ferramenta de Configuração do Sistema SDAP

O sistema SDAP opera em ambiente Web, tanto no que se refere à configuração quanto à operação do sistema. No servidor que executa o sistema SDAP, opera um servidor Web baseado no framework Turbogears, o qual foi construído utilizando-se a linguagem de programação Python.

Como a configuração do sistema SDAP é um processo crítico, somente usuários autorizados podem efetuar a modificação da configuração. Após a autenticação (login e senha).

O formulário do configurador possui três campos para preenchimento: um para o arquivo que contém a lista de alarmes, outro que contém a lista de diagnósticos e o terceiro que contém a lista de equações. Quando se clica na tecla “Enviar”, o sistema passa a processar os três arquivos, preenchendo as tabelas na base de dados. Quando este processo é concluído, o sistema SDAP automaticamente passa a operar seguindo esta nova configuração.

A ferramenta de configuração é composta por dois aplicativos. O primeiro aplicativo é o *excelclass*, o qual é responsável pela leitura dos três arquivos Excel e o respectivo preenchimento da base de dados *excel/db* com os dados destas três listas. O segundo aplicativo é o *tex2*, o qual é responsável pela geração das telas que serão exibidas ao usuário.

2.5 Interfaces do Sistema SDAP com o Usuário

Foram definidas duas interfaces do sistema SDAP com o usuário. Uma interface detalhada, a qual mostra todos os alarmes classificados por prioridade e data, com ferramenta de reconhecimento de alarmes e a visualização dos diagnósticos e providências a serem tomadas pelo operador. Esta ferramenta também é somente acessível por senha. A tela mostrada na Figuras 3 ilustra o funcionamento desta interface detalhada.

A segunda interface possui uma visualização mais simples para o operador. Uma janela se abre somente quando há algum alarme, mostrando, por ordem de prioridade, os alarmes ocorridos com o respectivo diagnóstico e providência, de modo a fornecer uma rápida interpretação para o operador. Nesta ferramenta, não há necessidade de se efetuar o reconhecimento de alarmes, pois na medida em que as ocorrências forem sendo solucionados, os alarmes são automaticamente eliminados.

Esta janela possui indicadores de navegação entre os alarmes nos cantos superiores da direita e esquerda e na parte inferior existe um indicador para fechar a janela, juntamente com a indicação no número do alarme e da quantidade de alarmes. Estas janelas são criadas automaticamente no instante em que a configuração é carregada. A seguir, o sistema SDAP automaticamente formata os textos obtidos nos arquivos Excel e guarda estes arquivos nos formatos para apresentação, conforme o alarme ocorrido.

Esta interface utiliza alguns recursos de Javascript para a exibição dos alarmes. Isto significa que a navegação é feita no próprio browser, permitindo aliviar a carga de processamento do servidor e acelerar a navegação no sistema. A lista de alarmes é atualizada a cada cinco segundos. A tela desta interface simplificada é mostrada na Figura 4.

The screenshot shows a web browser window displaying the SDAP system interface. The page title is "Aplicações Restritas - Iceweasel". The URL is "http://100.101.50.190:82/espec/menu_restrito/menu_restrito.php". The interface includes a header with the CESP logo and the text "SDAP - Sistema Especialista Multifível para Apoio ao Diagnóstico de Ações de Proteções em Usinas Hidrelétricas". Below the header, there are navigation links for "Alarmes", "Histórico de Alarmes", "Usuários", and "Sair". The main content area is titled "Alarmes" and contains a search and filter section with options for "Prioridade" (Todas), "Estado" (Alarme, Normal), and "Data/Hora" (Exatamente igual). Below this is a table of active alarms with columns for "Data/Hora", "Descrição do Alarme", "Diagnóstico", "Providência", "Diagn./Provid.", "Retira Alarme", "Estado", and "Prioridade". The table lists 10 alarms, all with a priority of 3 and a state of "Alarme".

Data/Hora	Descrição do Alarme	Diagnóstico	Providência	Diagn./Provid.	Retira Alarme	Estado	Prioridade
1 14/12/2007 - 01:01:04.030	FREIO - ATUAÇÃO INDEVIDA	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	0
2 14/12/2007 - 01:01:04.030	CO ² - FALTA TENSÃO	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	0
3 14/12/2007 - 01:01:04.030	CO ² - DESCARGA	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	1
4 14/12/2007 - 01:01:04.030	CO ² - ALARME 1ºGRAU	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	1
5 14/12/2007 - 01:01:04.030	TURBINA - RELÉ CENTRÍFUGO ATUAÇÃO.	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	3
6 14/12/2007 - 01:01:04.030	TURBINA - REG. VELOCIDADE SOBREVELOCIDADE.	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	3
7 14/12/2007 - 01:01:04.030	TURBINA - ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO FALTA.	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	3
8 14/12/2007 - 01:01:04.030	TURBINA - ÁGUA VEDAÇÃO FALTA..	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	3
9 14/12/2007 - 01:01:04.030	TURBINA - REGULADOR DE VELOCIDADE TANQUE ÓLEO SOBRETEMPERATURA.	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	3
10 14/12/2007 - 01:01:04.030	WDT Watch Dog Timer	[R]	[R]	Visualizar	Retira Alarme	Alarme	3

Figura 3 - Tela da interface de usuário detalhada do sistema SDAP

The screenshot shows a simplified view of the SDAP system interface. The page title is "Sistema Especialista - Iceweasel". The URL is "http://100.101.50.190:8085/". The interface features a large blue background with the text "SDAP" in yellow. Below this, there are sections for "ALARME", "DIAGNÓSTICO", and "PROVIDÊNCIA".

ALARME

- GERADOR - SOBRECORRENTE - SOBRECARGA - DESEQUILIBRIO DE CARGA.

DIAGNÓSTICO

- Significa que a corrente do gerador está acima do limite permissível vindo a desligar o disjuntor principal e campo (quando sobrecorrente) ou uma das fases do gerador está com muita diferença de corrente das demais vindo a desligar o disjuntor principal (quando de sobrecarga ou desequilíbrio de carga) . Atuará na proteção digital o leds nº 2, 3, e 13 (Trip).

PROVIDÊNCIA

- Restabelecer o Serviço Auxiliar caso necessário, anotar as sinalizações e resetá-las, avisar o OPC, isolar a UG, acionar a manutenção de acordo com o DSQ.LLB.7.5.2.01, contatar OPC para emissão de AIO e registrar no RSQ.PAR.7.5.2.03 as sinalizações, proteções e todas as rotinas efetuadas .

Figura 4 - Tela da interface de usuário simplificada do sistema SDAP.

3.0 CONCLUSÕES

O objetivo do projeto de pesquisa “Sistema Especialista Multi-Nível para Apoio ao Diagnóstico de Atuações das Proteções em Usinas Hidroelétricas” de desenvolver um sistema responsável pela interpretação de ocorrências de perturbações e falhas nas usinas hidroelétricas da CESP em tempo real, baseado nos dados e informações do sistema de supervisão e controle existentes nas usinas, foi plenamente alcançado.

O resultado disponibilizado é simples, seguro e objetivo, permitindo uma rápida tomada de decisão, com um mínimo de alternativas a ser analisado, possibilitando assim, reduzir o tempo de recomposição do sistema, caso ocorrer um desligamento.

O sistema implantado permite aperfeiçoar continuamente o diagnóstico das atuações pelos usuários, através de lógicas booleanas OR, AND, NAND, etc., não necessitando de conhecimento específico de programação, bastando apenas saber utilizar a planilha Excel.

O SDAP foi implantado experimentalmente na Usina de Paraibuna devido à facilidade na implementação pelo seu pequeno porte (usina com apenas duas unidades geradoras). Os testes efetuados apresentaram bons resultados do ponto de vista de precisão na identificação do alarme e nas regras de decisão a serem efetuadas pelo operador, além de apresentarem telas amigáveis ao usuário. Futuramente, a implementação deste sistema será estendida a outras usinas da CESP com reaproveitamento parcial do trabalho já realizado para a UHE Paraibuna.

4.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Uliana, P. B. "Contribuições para a Área de Inteligência Artificial Baseadas em uma Abordagem Holística", Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Catarina – 2002.

[2] Uliana, P. B., Seara, R., Bermudez, J. C. M. "Treinamento Condicionado Através de Esquemas de Transição" IV Congresso Brasileiro de Redes Neurais, 1999, São José dos Campos, SP.

[3] Junior, G. C.; Rolim, J. G.; Zürn, H. H. "Diagnóstico de Faltas em Sistemas de Potência: Definição do Problema e Abordagens via Inteligência Artificial". Revista Controle e Automação, Vol. 15, nº2, Abril, Maio e Junho de 2004 .

[4] Yong, H.; Yi-Dan, B., Lei, F. "Engine Real-Time Fault Diagnosis Expert System Using Neural Networks". Zhejiang Province Science Technology Committee, China. www.paper.edu.cn.

[5] Rahman, S. "Artificial Intelligence in Electric Power Systems a Survey of the Japanese Industry". IEEE, Transactions on Power Systems, Vol. 8, Nº3, August 1993.

[6] Vaahead, E; Kundur, P.; Wang, L.; Pavella, M.; Scarpellini, P.; Cheung, K.; Taylor, C. W. "State-of-the-Art in Intelligent Controls". In: Advanced Angle Stability Controls (CIGRÉ Technical Brochure); December 1999; chapter 4, p. 2-25.