



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

GMI 10
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

**GRUPO XII
GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS – GMI**

**SISTEMA DE CONTROLE E DIAGNÓSTICO DA CONDIÇÃO OPERACIONAL DE HIDROGERADORES
INTEGRADO COM A GESTÃO DA MANUTENÇÃO**

Leonardo Marques C. de Almeida Renata Araripe de Macêdo*

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO – CHESF

Renato O. Rocha Luciano Costa Ricardo Rangel Miguel Michalski

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho a motivação e os resultados de um projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado entre a Chesf e o Cepel no âmbito do programa de P&D da ANEEL, relacionado ao desenvolvimento de um sistema de integração de bases de dados de supervisão e monitoramento de diferentes usinas da empresa. Esta iniciativa teve como objetivo a criação de uma base central consolidada e de um sistema de informação (Sistema SIGMA), cujos serviços possibilitassem a consulta e a análise integrada dos dados de forma a dar mais subsídios à Engenharia de Manutenção no que diz respeito à tomada de decisão.

O software desenvolvido foi denominado SIGMA e é responsável pela consolidação das diversas bases de dados das usinas da Chesf onde se destaca a aquisição dos dados instanciados em cada usina; transmissão dos dados via rede e integração o controle de fluxo de coleta de dados para armazenamento e análise. O sistema está atualmente implementado na Usina de Sobradinho, possibilitando a formação de uma base centralizada de dados com o objetivo de validar seu funcionamento e de identificar tendências de comportamento das unidades geradoras monitoradas.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoramento, Sistemas Elétricos de Potência, Sistemas de Informação, Banco de Dados.

1.0 - INTRODUÇÃO

O Setor Elétrico Brasileiro vem cada vez mais requerendo de seus agentes ações que resultem em nítidos ganhos de disponibilidade e confiabilidade no sentido de atender a demandas cada vez maiores, considerando que o incremento de carga está relacionado ao desenvolvimento econômico do país. Sendo assim, há um aumento de responsabilidade das usinas em operação para que a continuidade da oferta de energia seja mantida e desligamentos de emergência evitados.

A área de geração, com unidades geradoras e equipamentos auxiliares em operação contínua há décadas, tem exigido do setor constantes aprimoramentos das metodologias de manutenção com a adoção de técnicas preditivas, sendo a premissa básica das mesmas o monitoramento da condição operacional dos equipamentos.

Neste contexto, faz-se necessário, entre outros, o uso de técnicas preditivas que objetivem o aumento de

(*) Rua Delmiro Gouveia, 333 – Anexo III, Bloco D – CEP 50761-901 Recife, PE – Brasil
Tel: (+55 81) 3229-2186 – Fax: (+55 81) 3229-2016 – Email: renatam@chesf.gov.br

produtividade das unidades geradoras onde as paradas de máquinas seriam controladas. As ações de manutenção objetivariam otimizar o desempenho das máquinas e consequentemente, aumentaria a eficiência energética, a qualidade da energia, confiabilidade e custos operacionais, garantindo assim melhores índices de disponibilidade das instalações, considerando as premissas de projeto e as exigências funcionais.

Na Chesf, em particular, algumas iniciativas já foram tomadas no sentido de otimizar os custos operacionais e o desempenho das máquinas. Tais iniciativas compreendem a implantação de monitoramento contínuo da condição operacional das unidades geradoras, como é o caso das Usinas de Sobradinho, Apolônio Sales, Complexo de Paulo Afonso e Xingó, que possuem suas unidades geradoras monitoradas há alguns anos.

Entretanto, estas instalações foram realizadas para atender necessidades (medições) pontuais de cada usina, não apresentando, portanto, uma padronização dos dados coletados e armazenados.

Buscou-se portanto com este projeto, o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que desse visibilidade de forma integrada e global para a empresa a respeito da condição operacional das unidades de seu parque gerador, de forma a permitir um gerenciamento mais eficaz da manutenção desses ativos.

De forma a atender os requisitos mais atuais da tecnologia de informação, buscou-se desenvolver esta ferramenta utilizando-se os conceitos mais modernos de transmissão, armazenamento e apresentação da informação por via digital, destacando-se a interface final do usuário baseada em Web Services (Internet).

2.0 - INSTALAÇÕES CONTEMPLADAS NO PROJETO

O sistema SIGMA é um sistema de informação centralizado que incorpora um sistema de monitoramento, análise e diagnóstico das unidades geradoras das diversas usinas da Chesf, visando atender a empresa quanto ao aumento da disponibilidade e à redução dos custos de manutenção, sendo o público alvo desse sistema as equipes de manutenção e operação de usinas.

Este sistema proporciona ao usuário acompanhar o funcionamento das máquinas monitoradas, assim como as curvas de histórico, podendo inclusive realizar processamentos de sinal ou diagnósticos (uma vez que tenham sido fornecidas previamente regras ao sistema de conhecimento), disponibilizado na rede corporativa da empresa sem a necessidade de instalação de qualquer programa no computador do usuário final.

Para serem contempladas no projeto, foram selecionadas aquelas usinas que possuíssem sistemas de supervisão que fornecessem dados já digitalizados, além daquelas onde houvesse sistema de monitoração instalado. Dessa forma foram contempladas as seguintes instalações:

- Usina Hidrelétrica de Sobradinho: Sistema Supervisório Hytronic;
- Usina Hidrelétrica de Apolônio Sales: Sistema Supervisório ALTUS e Sistema de Monitoramento VibrosystM;
- Usina Hidrelétrica de Xingó: Sistema Supervisório Siemens e Sistema de Monitoramento VibrosystM;
- Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso: Sistema de Monitoramento VibrosystM.

Para cada uma das instalações, foi feito um levantamento prévio dos sinais medidos pelos respectivos sistemas de supervisão/monitoração, de forma a se fazer uma seleção daqueles sinais mais indicados para a futura análise da Engenharia de Manutenção através do sistema que seria desenvolvido.

Foram selecionados, portanto, as medições daquelas grandezas de supervisão que, em conjunto com as medições de monitoração existentes, fornecessem subsídios reais ao acompanhamento integrado das unidades geradoras.

3.0 - O SISTEMA SIGMA (SISTEMA DE INTEGRAÇÃO DE DADOS MONITORADOS PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO)

Após o levantamento inicial das grandezas monitoradas em cada usina, foi levantado o modelo da estrutura de dados de cada sistema isoladamente, de forma a permitir o acesso à leitura dos dados gravados.

Em seguida foi concebido o modelo de dados da base consolidada, que conteria os dados das diversas usinas, armazenados de forma padronizada para consulta dos usuários finais através da interface do sistema.

O sistema SIGMA é composto por três módulos básicos:

- O módulo integrador das bases de dados das diversas usinas
- A base de dados consolidada, residente na sede da empresa
- A interface do usuário final baseada em Web Services (Internet)

3.1 Módulo Integrador das Bases de Dados das Diversas Usinas

Para atender ao objetivo de se criar uma Base de Dados Consolidada contendo os dados coletados das Usinas monitoradas visando uma posterior consulta e análise unificada na sede da Chesf em Recife foi necessário criar um suporte computacional para a coleta e manipulação dos dados envolvidos. Esta centralização permitiu uma análise gerencial sobre o estado operativo das unidades geradoras monitoradas e posterior armazenamento na referida base unificada.

Contudo, os dados de supervisão e monitoração estão contidos nas Bases de Dados particulares às soluções encontradas para cada Usina envolvida, e esses não são inter-relacionados, o que dificulta uma eventual análise operacional unificada. Sendo assim, tornou-se necessária a criação de um mecanismo que evitasse tratar a coleta de dados de forma particular, criando aumento de esforço e custo de desenvolvimento. A solução adotada foi a de se criar uma camada de abstração onde o armazenamento na Base de Dados final fosse feito de forma normalizada e a coleta fosse especializada e depois tratada para uma forma padrão, conforme mostrado na Figura 1.

O Desenvolvimento da solução consistiu de quatro etapas distintas envolvendo a Aquisição dos Dados, Transmissão dos Dados, Integração dos Dados em um Fluxo de Coleta e posterior armazenamento em uma Base de Dados Consolidada:

- 1) Aquisição dos Dados: Adaptadores customizados para cada base de dados, instanciados em cada Usina. Cada adaptador estará definido para leitura dos dados nos formatos particulares das bases envolvidas;
- 2) Transmissão dos Dados: Camada de comunicação entre os adaptadores e o Sistema de Integração; Cada adaptador irá fornecer informações para a o Sistema de Integração em um formato normalizado para posterior armazenamento na base Consolidada;
- 3) Sistema de Integração: Sistema cujo processo consiste no controle de fluxo de coleta de dados das Bases de Dados das Usinas para futuro armazenamento na base Consolidada; Todo o fluxo de dados é feito de uma forma normalizada (os adaptadores fazem a conversão do modelo de dados particular da Usina para um modelo normal usado pela base Consolidada);
- 4) Armazenamento na Base de Dados Consolidada: Após o fluxo de coleta de dados na forma normal das Usinas envolvidas as informações são armazenadas na Base de Dados Consolidada, contendo todos os dados relacionados.

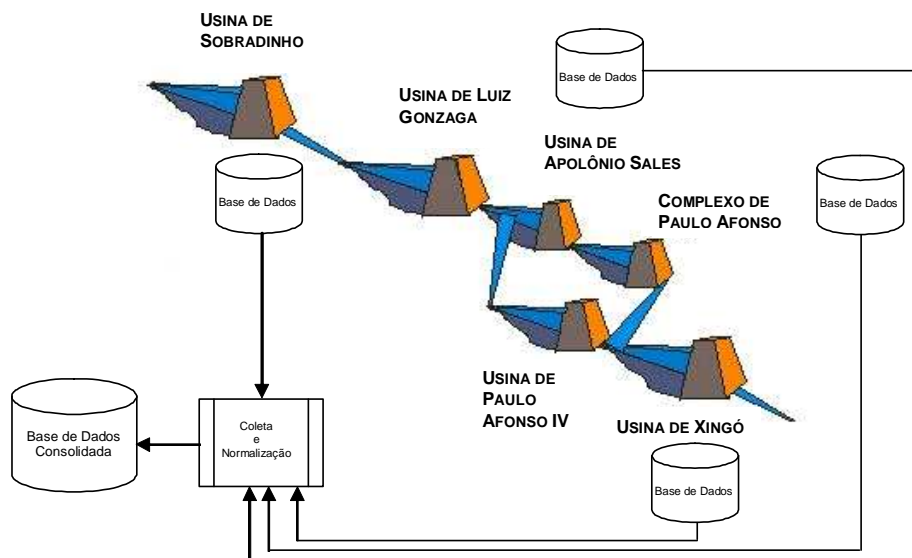


FIGURA 1 – Esquema de Coleta e Normalização dos Dados para Armazenamento na Base de Dados Consolidada.

3.2 Bases de Dados Consolidada

Foi desenvolvido o suporte ao processo de coleta dos dados nas Usinas, transmissão desta informação e posterior armazenamento nesta base. Todo o desenvolvimento computacional feito para a solução de Coleta e Consolidação tem como premissa a portabilidade de execução e foram desenvolvidos na linguagem C++ ANSI e já testados com sucesso nos ambientes HP-UX (Unix da HP e compilador aCC/gCC) e Microsoft Windows (32 bits: NT, 2000, XP e 2003 até esta data e compilador Visual C++ 6).

A solução tem como requisitos funcionais a seguinte configuração:

- Sistemas Operacionais Suportados: Microsoft Windows e Unix;
- Memória: mínimo de 128 Mbytes;
- Banco de Dados: ORACLE v7.x ou superior (testado até 9.2.1);
- Ambiente de rede com suporte TCP/IP com permissões de acesso aos CPDs (Banco de Dados e Filesystem) das Usinas.

Conforme mencionado anteriormente, foi feito primeiramente o mapeamento dos pontos de medição das diversas usinas, para a posterior modelagem da estrutura do banco consolidado. A Figura 2 apresenta, em linhas gerais, a concepção do sistema.

Para o armazenamento dos dados de forma padronizada, foi elaborada modelagem lógica e física de forma a atender os requisitos do sistema.

Esta base ficará residente em um servidor de banco de dados Oracle na sede da Chesf em Recife, e poderá ser acessada por qualquer cliente através da interface.

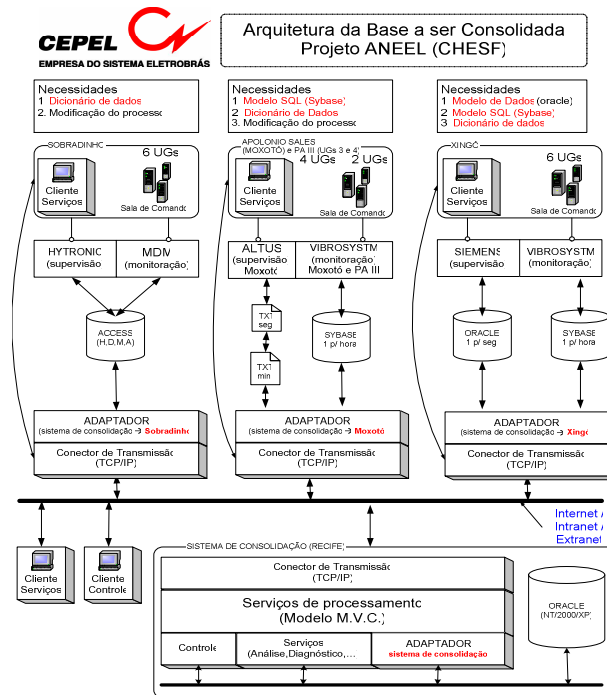


FIGURA 2 – A Arquitetura do Sistema de Coleta e Consolidação dos Dados.

3.3 Interface com o Usuário Final

De forma a atender à tendência atual de apresentação e tratamento da informação, decidiu-se por criar uma interface Web para a visualização e análise integrada dos dados das diversas usinas, que estarão armazenados na Base de Dados Consolidada, contendo as diversas funcionalidades necessárias a análise no âmbito da Engenharia de Manutenção.

Esta solução foi adotada por trata-se de tecnologia de rede TCP/IP, roteadores, provedores de acesso, criptografia assimétrica, engines de pesquisa full-text, protocolos e tecnologias de mensagens. Desta forma estas tecnologias já são consideradas maduras e estão se espalhando rapidamente pelas empresas. Este módulo foi desenvolvido utilizando linguagem de programação Java integrada com XML.

Tendo como cliente as equipes de manutenção das diversas usinas da Chesf, a interface, mostrada na Figura 3, será utilizada para análise de dados sobre grandezas medidas nas usinas. São informações técnicas que devem ser corretamente consolidadas para demonstrar o comportamento das unidades geradoras e, possivelmente, dos outros equipamentos implantados nas usinas.

Medições como temperatura, pressão, vibração, etc., colhidas de forma contínua no decorrer do tempo e apresentadas e tratadas eficientemente permitirão uma visibilidade maior sobre todo o processo operacional das unidades geradoras, o que permitirá uma tomada de decisão mais embasada por parte dos gestores, que serão os principais clientes do sistema.

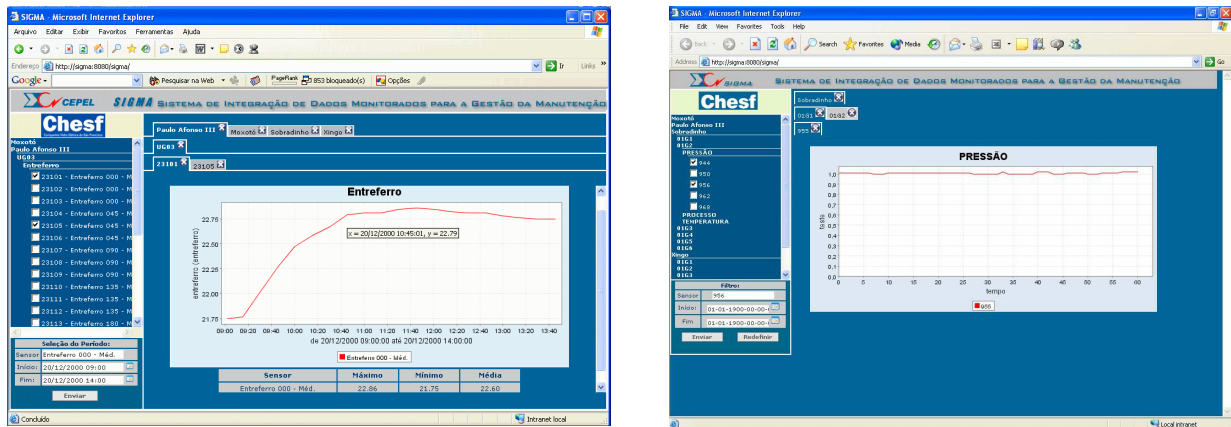


FIGURA 3 – Interface Gráfica para o Usuário Final.

4.0 - TESTE DE PERFORMANCE

O projeto SIGMA foi desenvolvido para normalização de dados das diversas usinas que possuem sistema de monitoração. O funcionamento básico do sistema consiste no recolhimento de dados pelos Adaptadores em cada usina, que depois são repassados ao Integrador (RECW2KCONVDOC), situado na sede da Chesf, em Recife.

O objetivo do teste de performance é analisar o desempenho do sistema desenvolvido e suas condições de operação. Estes testes são necessários para evitar a sobrecarregar dos links regionais da rede corporativa da Chesf. Para as análises, foi utilizado o software Application Vantage 9.5, que é a solução adotada na Chesf para gerenciamento de aplicações em produção. A conexão com o banco Oracle foi realizada através da rede corporativa representada na Figura 4.



FIGURA 4 – Arquitetura do Ambiente de Avaliação do Sistema.

4.1 Simulação de Operação nos Links da Chesf

Numa primeira análise foi observado, baseando-se nos nas informações coletadas com o software Application Vantage, que o sistema SIGMA não estava otimizado para utilização em nos links WAN da CHESF.

Para resolver os problemas de performance detectados, foram solucionados alguns problemas do sistema projetado:

- Aumento do tamanho médio dos pacotes que trafegam na rede WAN, a fim reduzir o tempo de tráfego, dos mesmos, nos links WAN;
- Criação de procedures que agruparam as várias queries realizadas, a fim de otimizar a utilização dos recursos do servidor RECIFE1 (Oracle).

As Figuras 5 e 6 demonstram as simulações realizadas como se o sistema SIGMA estivesse operando nas atuais condições dos links regionais da CHESF, onde é mostrado o tempo de execução da transação antes da otimização: 621,147 seg (~10,5min) e o tempo de execução da transação após a otimização do sistema: 182,940 seg (~3,0min), respectivamente, sendo seu desempenho considerado satisfatório e adequado a operar nos links WAN da CHESF.



Figura 5 – Simulação nos Links CHESF anterior as mudanças sugeridas.

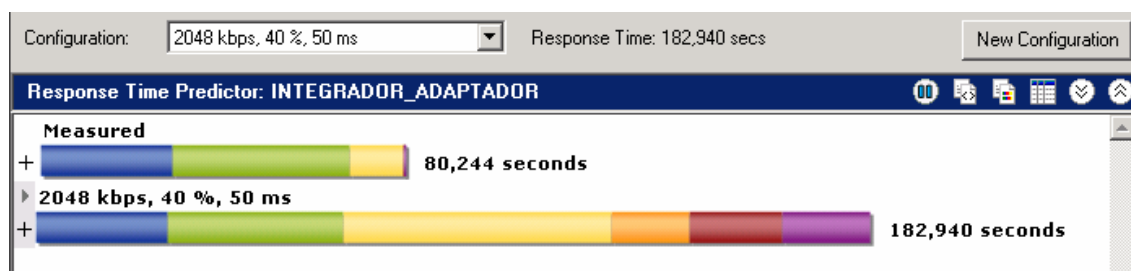


Figura 6 – Simulação nos Links CHESF posterior as mudanças.

Ambas as simulações foram realizadas pelo aplicativo Vantage e possuem a seguinte configuração:

- Bandwidth: 2.048 Mbps;
- Load: 40%;
- Round Trip Latency: 50 mseg;
- Link Type: Full Duplex

5.0 -- SERVIÇO DE DIAGNÓSTICO DA CONDIÇÃO OPERACIONAL

Além dos serviços básicos de consulta e apresentação dos dados históricos das diversas bases contempladas, deve-se destacar o serviço principal do sistema, cuja função é fornecer diariamente o diagnóstico da condição operacional das diferentes unidades geradoras tendo como base o histórico dos dados.

Este serviço é baseado no emprego de técnicas de inteligência computacional, como lógica nebulosa (Fuzzy Logic) e regras de conhecimento, regras estas elaboradas segundo a experiência da engenharia de manutenção da empresa.

A partir de uma interface própria, o sistema permite o cadastramento de todos os componentes envolvidos no processo, assim como a montagem de regras através da manipulação dos parâmetros específicos que melhor retratem as relações defeito X sintomas.

As Figuras de 7 a 11 apresentam algumas telas do módulo de diagnóstico.

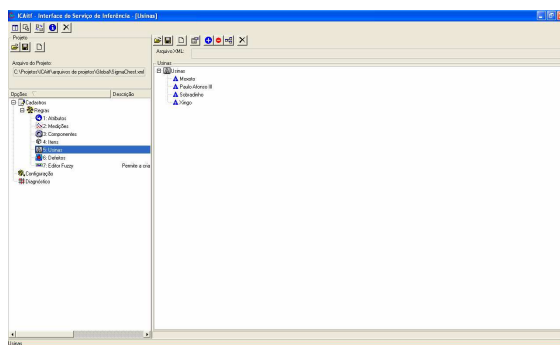


Figura 7 – Cadastro de Usinas

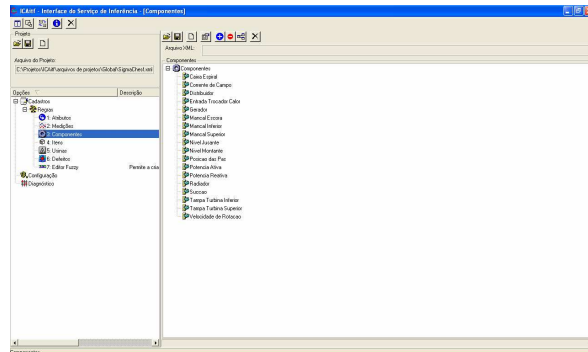


Figura 8 – Cadastro de Componentes

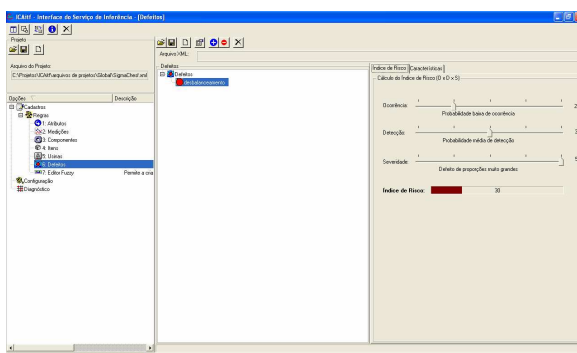


Figura 9 – Cadastro de Defeitos

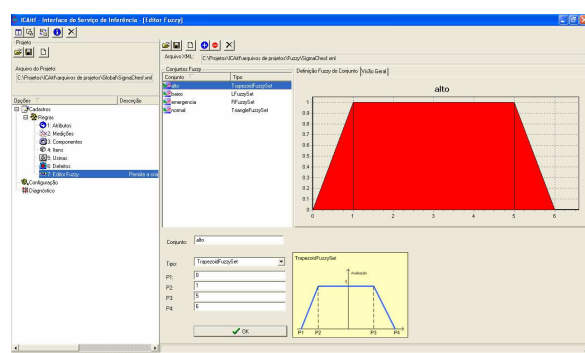


Figura 10 – Classificação de Medições

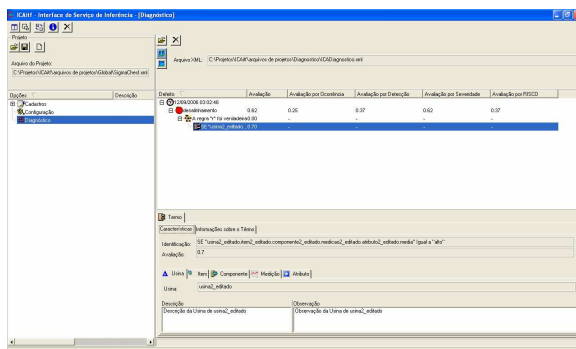


Figura 11 – Saída do Diagnóstico

6.0 - CONCLUSÃO

O monitoramento das grandezas físicas de uma unidade geradora é uma ferramenta muito importante para se antecipar a uma falha e, através da constante modernização das ferramentas existentes e adoção de novas técnicas, é possível aprimorar o diagnóstico de um defeito, programar a intervenção e evitar indisponibilidade das unidades.

Este trabalho mostrou a solução implementada pela Chesf para a integração de um sistema de monitoração com a gestão da manutenção, a partir da centralização de informações coletadas, sendo a abordagem mais atual no setor de manutenção industrial, visto fornecer subsídios confiáveis e rápidos para a tomada de decisão.

Inicialmente, o produto do projeto - Sistema SIGMA - foi implementado com sucesso na Usina Hidrelétrica de Sobradinho, localizada no estado da Bahia, no curso médio do Rio São Francisco.

A partir da experiência adquirida com a instalação piloto do sistema na usina de Sobradinho, estuda-se a viabilidade de estendê-lo para as usinas de Apolônio Sales, Complexo de Paulo Afonso (usinas I, II, III e IV) e Xingó. As demais usinas da Chesf (Funil, Pedra, Luiz Gonzaga e Boa Esperança) serão incorporadas a base de dados à medida que forem automatizadas de acordo com o cronograma de modernização da empresa.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Paterns in Java - A Catalog of Reusable Design Patterns Illustrated with UML - <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471227293.html>
- (2) Modelagem de Aplicações XML com UML - David Carlson - <http://www.xmlmodeling.com/>
- (3) Utilizando UML e Padrões - Craig Larman - 2a. Edição - <http://www.craigarman.com/index.html>
- (4) DHTML and CSS for the World Wide Web - <http://www.webbedenvironments.com/dhtml/>
- (5) Java Tools for Extreme Programing - <http://www.wiley.com/legacy/compbooks/hightower/javatools/index.html>
- (6) Aquitetura de Sistemas com XML - <http://www.xmlarchitecture.org/> J2EE Connector Architecture and Enterprise Application - <http://java.sun.com/developer/Books/j2ee/connector.html>
- (7) Core J2EE Patterns - <http://java.sun.com/blueprints/corej2eepatterns/>
- (8) COPPE/UFRJ – Apostilas do Curso de Pós-Graduação Lato-Sensu em Técnicas Modernas de Manutenção (2001)
- (9) Doyle, D.: "Monitoring Machines for Maintenance Performance", Hydro Review, June 1994
- (10) Griffith, G.L., Edmonds, J.S.: "The Economic Justification for Advance Hydrogenerator Monitoring and Diagnostics - A Generic Model", International Joint Power Generation Conference, 1999
- (11) Lloyd, B. "Advanced Condition Monitoring for Hydrogenerator Plants", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, February, 1995
- (12) Binder, E., Egger, Hummer, H.: "Experience with Supervision Measurements on Synchronous Machines", International Conference on the Evolution and Modern Aspects of Synchronous Machines, 1991.