



### **Grupo de Estudo de Geração Hidráulica-GGH**

## **IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO INTELIGENTE DE ATIVOS NA UHE SANTO ANTÔNIO - DESAFIOS E OPORTUNIDADES**

**RÔMULO CÉSAR PEREIRA(1); ALEXANDRE DE OLIVEIRA(2); SANDERSON PEREIRA SIMÕES DE SOUZA(3);  
ALCIDES DONIZETE DE SOUZA(4); DUAN MARCEL GUIMARÃES PINTO(5);  
SAESA(1);SAESA(2);M&D(3);SAESA(4);SAESA(5);**

### RESUMO

O presente artigo tem como objetivo apresentar a solução de implantação e operacionalização, na Usina Hidrelétrica Santo Antônio, de um sistema computacional inteligente para monitoramento dos ativos críticos da Usina Hidrelétrica Santo Antônio, o qual é capaz de gerar diagnósticos e prognósticos de falhas nos equipamentos sob monitoramento, visando auxiliar as áreas de engenharia, operação e manutenção na tomada de decisão, de forma a reduzir o tempo de parada e a extensão das avarias nos equipamentos, consequentemente aumentando a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos da Usina.

### PALAVRAS-CHAVE

Monitoração, Manutenção preditiva, Diagnóstico, Sistema Inteligente, RCMII.

### 1.0 - INTRODUÇÃO

A monitoração da condição é a principal ferramenta da manutenção preditiva, sendo muito utilizada na indústria de geração de energia elétrica. Com o uso dessa ferramenta, através da otimização do planejamento de ações preventivas e corretivas, é possível identificar o início do desenvolvimento de modos de falha, evitando a ocorrência de eventos catastróficos, interrupções na geração de energia elétrica, reduzindo dessa forma o número de horas de indisponibilidade dos ativos (PINTO e XAVIER, 2007).

Atualmente encontra-se disponível uma grande quantidade de técnicas preditivas, as quais são utilizadas de forma frequente nas Usinas Hidrelétricas do Setor Elétrico Nacional e Internacional para realizar a monitoração da condição dos ativos.

A análise de óleo (isolante e lubrificante), termografia, ensaio de ultrassom, análise de vibração, são alguns exemplos de técnicas preditivas usadas nas Usinas Hidrelétricas. Antes de iniciar a monitoração da condição dos ativos é necessário selecionar as técnicas preditivas que serão utilizadas e determinar a sua frequência de utilização. A escolha da técnica preditiva está relacionada com os modos de falha que se deseja acompanhar o desenvolvimento, já a frequência de utilização depende principalmente da velocidade com que cada modo de falha se desenvolve.

Os modos de falha que se desenvolvem de forma lenta podem ser identificados através de inspeções periódicas, enquanto os modos de falha que se desenvolvem de forma rápida precisam ser continuamente monitorados para serem identificados da forma mais precoce possível.

Os benefícios que a utilização das técnicas preditivas pode gerar são amplamente conhecidos pela maioria dos profissionais do setor elétrico (redução de custo, redução da indisponibilidade, aumento da confiabilidade, entre

outros). Contudo, dois processos precisam ser executados com muita atenção para que os benefícios sejam efetivamente obtidos:

- Processo de Controle da Realização das coletas de dados;
- Processo de Análise dos Dados.

Na Usina de Santo Antônio o processo de análise de dados representa um grande desafio devido à grande quantidade de ativos que ela possui. São 50 unidades geradoras, 18 vão de vertedouro, 11 grupos geradores de emergência, 13 transformadores elevadores, 25 bays de subestações isoladas a gás SF<sub>6</sub> (GIS), além de uma grande quantidade de bombas, trocadores de calor e uma grande miscelânea de outros equipamentos auxiliares. Adicionalmente, devido a elevada quantidade de técnicas preditivas atualmente utilizadas para realização do monitoramento dos seus ativos, a quantidade de dados monitorados na Usina é extremamente elevada, o que corrobora com a necessidade de desenvolvimento e implantação de uma ferramenta de suporte às áreas de Engenharia, Manutenção e Operação, na análise dos dados provenientes do monitoramento dos ativos.

Para suporte ao processo de análise e tomada de decisão, os Sistemas Especialistas constituem-se como uma ferramenta estruturada para tal fim. Tais sistemas são uma classe de softwares baseados em inteligência artificial, desenvolvidos para servirem como consultores na tomada de decisões que envolvam áreas restritas da ciência, normalmente dominadas por especialistas humanos. São sistemas que utilizam o conhecimento de um ou mais especialistas codificado em um programa que o aplica na resolução de problemas (SIMEÓN, 1998). Em linhas gerais, os Sistemas Especialistas consistem em se representar o conhecimento em algoritmos estruturados, tendo como resultado a tomada de decisões de forma semelhante às que seriam tomadas por um especialista humano (SIMEÓN, 2008).

Face ao exposto acima, o presente trabalho técnico tem como objetivo detalhar os desafios e oportunidades relacionadas ao processo de implantação e operacionalização, na Usina Hidrelétrica Santo Antônio, de um sistema computacional inteligente para monitoramento de ativos, utilizando-se de técnicas de manutenção preditiva, o qual é capaz de gerar diagnósticos e prognósticos inteligentes de falhas, visando auxiliar as áreas de engenharia, operação e manutenção na tomada de decisão, reduzindo o tempo de parada e a extensão das avarias, bem como aumentando a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos críticos da Usina Hidrelétrica Santo Antônio.

## 2.0 - DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

O projeto do sistema de monitoramento e diagnóstico inteligente implantado na UHE Santo Antônio consistiu de uma solução abrangente, no que tange o monitoramento dos seus ativos. Para tanto, a solução proposta foi composta pelas seguintes etapas:

- Estudo de confiabilidade dos ativos – Análise de Criticidade;
- Estudo de confiabilidade dos ativos – Análise FMEA para definição das técnicas de monitoramento (preditivo, sensitivo, medição on-line de variáveis de processo);
- Estudos de engenharia para mapeamento dos diagnósticos automáticos;
- Desenvolvimento do projeto:
  - Aquisição dos dados provenientes do historiador de variáveis de processo;
  - Integração com o sistema ERP;
  - Aquisição dos dados gerados durante a realização de rotas de inspeção operacional sensitiva;
  - Aquisição dos dados provenientes do sistema de monitoramento de vibração e oscilação das turbinas;
  - Estudo, desenvolvimento e implantação de políticas e boas praticas para atendimento da segurança cibernética.

### 2.1 Estudo de Confiabilidade dos ativos

No que concerne os estudos de engenharia para definição dos ativos a serem monitorados e as técnicas preditivas a serem adotadas, a manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM – *Reliability Centered Maintenance*) se apresentou como o método mais viável para estabelecer a melhor estratégia de manutenção para um dado sistema ou equipamento.

O estudo de engenharia de confiabilidade foi dividido em duas etapas, onde na primeira foi realizado estudo da criticidade de cada equipamento, com base nos aspectos de segurança, meio ambiente, impacto no processo produtivo, custos, dentre outros, tendo como produto a definição dos ativos críticos, conforme exemplificado na Tabela 1.



diagnósticos inteligentes de falhas dos ativos. Para tanto, o desenvolvimento foi subdividido em duas etapas: definição dos diagnósticos baseados no monitoramento online das variáveis de processo e definição dos diagnósticos baseados no monitoramento off-line das variáveis de processo.

### 2.2.1 Diagnósticos das variáveis monitoradas em tempo real (online)

A definição dos diagnósticos inteligentes foi realizada com base no estudo aprofundado do comportamento dos processos diante de alterações ocorridas nas grandezas físicas monitoradas em tempo real, tais como temperatura, pressão, vazão, potência ativa e reativa, bem como demais variáveis disponíveis no sistema SCADA, utilizando-se como referência a base histórica de cinco anos de operação dos equipamentos, bem como a expertise acumulada pelas equipes ao longo dos seis anos de operação da Usina. Nessa etapa, foram mapeadas as correlações entre as diversas variáveis e as respectivas falhas associadas. Na Figura 1 é apresentado o exemplo de diagnóstico da eficiência dos trocadores de calor dos mancais da turbina.

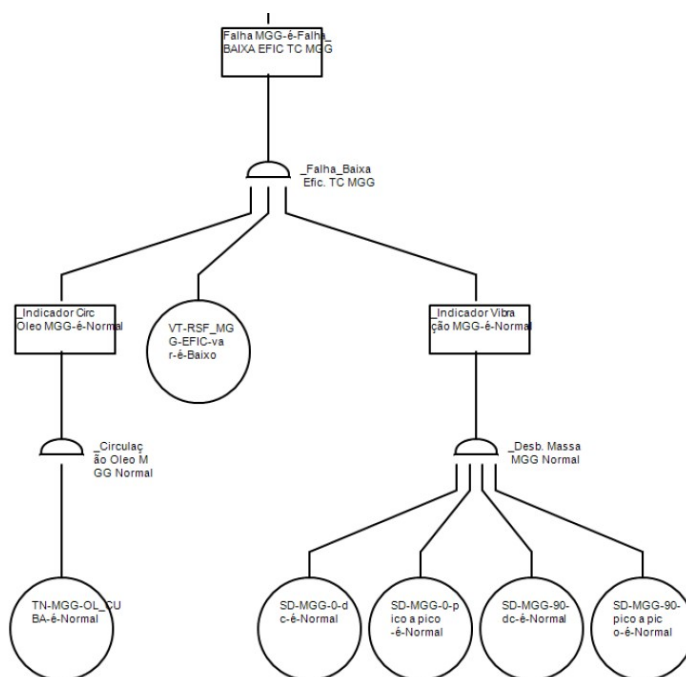


Figura 1 – Árvore de Falha Trocador de Calor do Mancal da Turbina

### 2.2.2 Diagnóstico das variáveis monitoradas periodicamente (off-line)

Nessa etapa do projeto, os parâmetros ótimos relacionados às variáveis monitoradas, tais como qualidade do óleo isolante e lubrificante, qualidade do gás SF6, limites de vibração de bombas, dentre outras, foram configurados no sistema utilizando-se como referência normas nacionais e internacionais. A Tabela 3 apresenta o modelo de configuração do sistema baseado com base nos dados de diagnóstico de falha mediante monitoramento das variáveis do óleo isolante dos transformadores elevadores.

Tabela 3 – Técnicas de Monitoramento Preditivo

Técnica Preditiva	Equipamento Monitorado	Método de Diagnóstico	Diagnóstico	Ação
Cromatografia gasosa	Transformador Elevador	Triângulo de Duval	D2 : descargas de alta energia	1 - Realizar imediatamente nova amostragem e análise do óleo. 2- Realizar análise mensal para acompanhar a evolução dos gases.
			D1 : descargas de baixa energia	1 - Realizar imediatamente nova amostragem e análise do óleo. 2- Realizar análise mensal para acompanhar a evolução dos

			gases.
		PD : descargas parciais	1 - Realizar imediatamente nova amostragem e análise do óleo. 2- Realizar análise mensal para acompanhar a evolução dos gases.

### 3.0 - ARQUITETURA

A definição da arquitetura básica do projeto foi estruturada considerando-se como principal premissa a integração entre os diversos sistemas de monitoramento atualmente existentes, minimizando a necessidade de implantação de novas ferramentas de monitoramento. A Figura 2 apresenta a arquitetura básica do projeto.

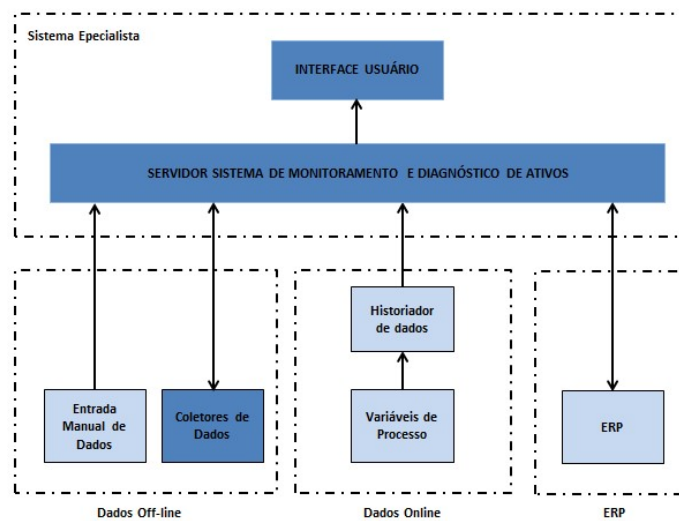


Figura 2 – Arquitetura básica do projeto

#### 3.1 Coleta de dados off-line

- Entrada manual de dados – os dados coletados periodicamente nas rotinas de monitoramento preditivo dos ativos (análise de óleo isolante e lubrificante, análise de gás SF6, medição de temperatura de equipamentos) são imputados diretamente na base do sistema através de uma interface acessada pelo técnico de manutenção após o término das inspeções;
- Tablet (rota sensível) – os dados coletados nas inspeções realizadas pelas equipes de operação são imputados no sistema através da comunicação com o tablet utilizado para registro dos dados verificados nas inspeções sensíveis;
- Tablet (vibração) – os dados coletados periodicamente nas rotinas de monitoramento dos equipamentos rotativos (exceto turbina e geradora) são imputados no sistema através do tablete robusto utilizado para registro das medições de vibração. O coletor possui a capacidade de ler dados advindos de sensores acelerômetros (vibração) através do acionamento de um módulo de aquisição acoplado ao tablete via comunicação USB, conforme Figura 3 abaixo.



Figura 3 – Aquisição de dados de vibração

### 3.2 Coleta de dados online

As variáveis aquisitadas através do historiador de dados da UHE são enviadas através de comunicação OPC para o sistema especialista, onde as lógicas de decisão foram configuradas para geração de diagnósticos em tempo real, baseado no comportamento das variáveis de processo monitoradas e suas inter-relações. Adicionalmente, conforme apresentado na Figura 03, o sistema especialista comunica diretamente com o servidor de dados do sistema de monitoramento do conjunto gerador e turbina, aquisitando dados em tempo real de monitoramento de vibração, oscilação e *airgap*. O comportamento dinâmico dessas variáveis é comparado internamente aos algoritmos de decisão, gerando dessa forma, similarmente ao comportamento citado acima, diagnósticos em tempo real, os quais serão analisados pelo engenheiro especialista.

### 3.3 Integração como sistema ERP (Enterprise Resource Planing)

A integração do sistema especialista com o sistema ERP atualmente utilizado na SAE permitiu uma maior rastreabilidade do processo de monitoramento e tomada de decisão. Para tal solução foi desenvolvida uma integração via Web Services. Ao identificar uma falha eminente, dentre as diversas ações relacionadas ao processo decisório do sistema especialista, pode ser gerado um registro de anomalia, o qual será validado pelo analista e posteriormente registrado no ERP para que as equipes de planejamento e manutenção realizarem o planejamento e a programação da atividade de manutenção para sanar o problema.

### 3.4 Arquitetura de Comunicação

A integração entre as redes de comunicação foi baseada no modelo de segurança *Zero Trust*, onde dois firewalls de terceira geração foram utilizados para configuração das regras de comunicação entre os sistemas integrados. A instalação física foi realizada entre os firewalls e o switch core, sendo que as funções de roteamentos de VLANs e gateway foram assumidos pelo firewall, sendo que as VLANs existentes foram organizadas em zonas de segurança estabelecidas neste equipamento.

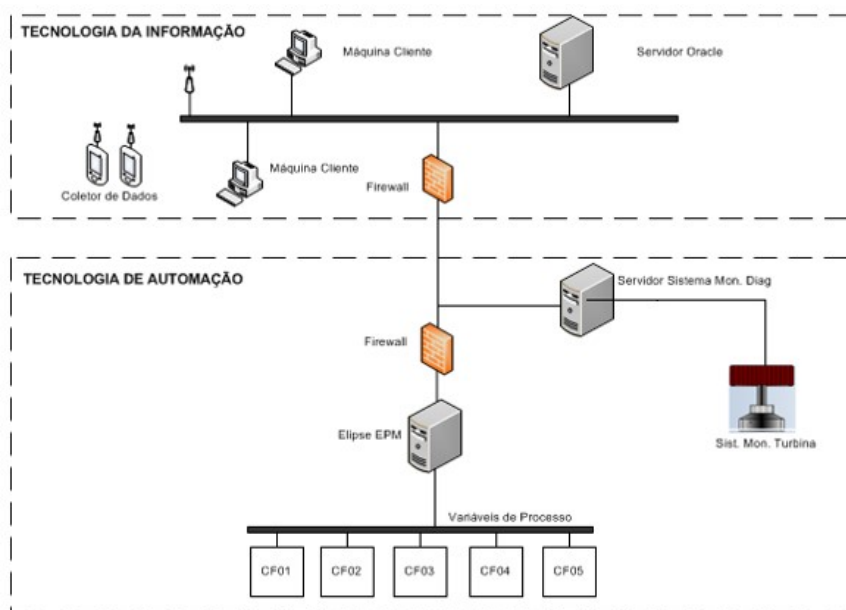


Figura 4 – Arquitetura de Comunicação

#### 4.0 - CONCLUSÃO

O estudo apresentado ao longo deste trabalho detalhou as principais etapas relacionadas à solução aplicada na Usina Hidrelétrica Santo Antônio de um sistema inteligente de monitoramento e diagnóstico de falhas em ativos na. O elevado grau de automação das instalações industriais modernas, onde a maioria dos ativos é monitorada continuamente por uma grande quantidade de sensores distribuídos ao longo da planta, corrobora com a necessidade da implantação de sistemas inteligentes para tratamento e geração de diagnósticos com base na massa de dados adquirida.

Os resultados alcançados até o momento corroboram com o elevado potencial do sistema para trazer ganhos substantivos no que tange a melhoria da confiabilidade dos ativos da Usina. As oportunidades futuras são grandes, quando se observa a evolução da análise de grandes massas de dados se expandirem cada vez mais no chão de fábrica.

Para o futuro, já estão sendo contemplados estudos de engenharia para evolução da ferramenta implantada, através da agregação de algoritmos de *Machine Learning*, reduzindo sobremaneira o trabalho dos engenheiros nas etapas de desenvolvimento das lógicas de decisão, bem como agregando uma poderosa ferramenta de análise e suporte na tomada de decisão.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. Manutenção - Função Estratégica. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.
- (2) LUECKE, Richard. Gerenciado Projetos Grandes e Pequenos. Tradução de Ryta Vinagre. Rio de Janeiro: Record, 2010.
- (3) LAFRAIA, João Ricardo Barusso. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.
- (4) FLEMING, P. V.; OLIVEIRA, L. F. S. de; FRANÇA, S. R. Aplicações de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em instalações da Petrobrás. In: V Encontro Técnico sobre Engenharia de Confiabilidade e Análise de Risco. Rio de Janeiro: Anais... Rio de Janeiro: Petrobrás, 1997.
- (5) SIMEÓN, Edgar Jhonny Amaya. Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial no Desenvolvimento de um Sistema de Manutenção Baseada em Condição. 2008. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos.

(6) SANTO ANTONIO ENERGIA. Relatório de Análise de Confiabilidade de Ativos. Porto Velho, 2018.

(7) SANTO ANTONIO ENERGIA. Relatório de Análise de Segurança de Borda. Porto Velho, 2018.

(8) SANTO ANTONIO ENERGIA. Especificação Técnica Projeto Sistema de Monitoramento e Diagnóstico de Ativos da UHE Santo Antônio. Porto Velho, 2018.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Rômulo César Pereira

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Uberaba (UNIUBE) em 2012, Pós Graduado em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC MINAS) em 2019. Possui mais de doze anos de experiência na área de planejamento, engenharia e manutenção de usinas hidrelétricas. Atualmente ocupa o cargo de Coordenador de Engenharia na Santo Antônio Energia e cursa Pós-graduação em Automação e Controle na Universidade Federal de Viçosa (UFV).



Alcides Donizeti de Souza



Graduado em Engenharia Mecânica na Universidade Brás Cubas em 2004, Especialista em análise de vibrações mecânicas, Técnico em Mecânica (1989), Atualmente ocupa o cargo de Engenheiro de planejamento e manutenção na Santo Antonio Energia.

Alexandre de Oliveira

Graduado em Tecnologia de Sistemas Elétricos pelo Instituto Luterano de Ensino Superior de Porto Velho (ULBRA) em 2016, Pós Graduado em Engenharia de Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Candido Mendes do Rio de Janeiro em 2018, MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas do Rio de Janeiro (Porto-FGV) em 2018. Possui mais de quinze anos de Experiência nas áreas de Projetos, Montagem, Comissionamento, Startup e Fiscalização de novos projetos, ampliação e modernização de plantas industriais e usinas hidrelétricas. Atualmente ocupa o cargo de Analista de Projetos no departamento de Engenharia, Planejamento e Controle Estático na Santo Antônio Energia e cursa a segunda Graduação em Engenharia Elétrica na Faculdade Metropolitana de Porto Velho.

Duan Marcel Guimarães Pinto

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 2012, Pós Graduação em Engenharia de Manutenção e Ativos pelo Instituto Prominas em 2019, Atualmente ocupa o cargo de Engenheiro de Planejamento na Santo Antonio Energia.

Sanderson Pereira Simões de Souza

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1995, Pós Graduado em Engenharia de Manutenção pela Abraman/UPADI/UFRJ em 1996, Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica pela COPPE/UFRJ em 2000. Possui mais de 20 anos de experiência em manutenção preditiva e análise de vibração em grandes máquinas rotativas. Já trabalhou no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL/Eletróbrás e atualmente ocupa o cargo de Gerente de Engenharia da M&D Monitoração e Diagnose.