



Grupo de Estudo de Geração Hidráulica-GGH

Aplicação do Sistema de Monitoração de Descargas Parciais em Geradores Bulbo

**PAULO ROBERTO MOUTINHO DE VILHENA(1); FERNANDO DE SOUZA BRASIL(1); ERICK NOBILING(2);
ELETRONORTE(1); QUALITROL(2);**

RESUMO

Como exemplo de manutenção preditiva, o monitoramento de descargas parciais (DP) da UHE Pimental consiste em um sistema permanentemente instalado nas unidades e interconectado bidirecionalmente ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC), juntamente com o sistema de monitoração de vibrações mecânicas. Para cada gerador foram instalados seis acopladores, sendo dois por fase, em montagem direcional (BUS) para rejeição de ruídos advindos do sistema de potência em cada gerador, de acordo com as normas ASTM D1868 (1) e IEC 60034-27-2 (2). As unidades de aquisição de dados foram posicionadas dentro do “nariz” do bulbo, aquisitando em tempo real e disponibilizando os dados na sala de controle local, através de uma arquitetura de rede física ethernet e fibra ótica. No trabalho é apresentado o método de aquisição, tratamento e integração com os demais sistemas da planta, assim como foi possível melhorar o entendimento dos fenômenos ocorridos na PIUGH-02.

PALAVRAS-CHAVE

Descargas parciais, geradores bulbo, manutenção preditiva, PRPD

1.0 - INTRODUÇÃO

A UHE Pimental faz parte do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, cujo objetivo é a geração de energia elétrica, está sendo construído no rio Xingu, no Estado do Pará, abrangendo áreas dos municípios de Altamira e Vitória do Xingu. A operação comercial de sua primeira unidade geradora iniciou em abril de 2016 (3). A Usina Hidrelétrica Sítio Pimental possui seis unidades geradoras do tipo Bulbo com turbinas Kaplan de eixo horizontal e potência nominal igual a 38,85 MW, totalizando 233,1 MW de potência instalada, um vertedouro com 18 vãos e capacidade de 62.000 m³/s, duas barragens de terra e ainda um sistema de transposição de peixes com um canal de 1.200 metros de comprimento e um sistema de transposição de embarcações.

No modelo atual do setor elétrico a manutenção preditiva tornou-se grande ferramenta para as concessionárias de energia elétrica na gestão dos seus ativos de produção, pois está cada vez mais difícil desligar um equipamento para realizar manutenção. Neste modelo os desligamentos devem ser realizados de maneira programada de forma a eliminar ou minimizar as perdas, a realização de manutenção preditiva, minimizando as preventivas, busca migrar da condição de manutenção baseada no tempo para a manutenção baseada nas condições do equipamento (4). Dessa forma, a UHE Pimental é equipada com um robusto sistema de monitoramento (vibração, pressão, temperatura, etc...) e dentre eles será apresentado o sistema de monitoramento de descargas parciais.

(*) Rua Paraná, n° 1350 – Div. de Manutenção de Coaracy Nunes – OGGPC – CEP 68.901-260, Macapá, AP – Brasil Tel: (+55 96) 3198-4413 – Fax: (+55 96) 3198-443 – Email: paulo.vilhena@eln.gov.br

2.0 - SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DESCARGAS PARCIAIS

O Sistema PDA permite monitoração on-line das atividades de descargas parciais nos enrolamentos estatóricos para obter as condições atuais do isolamento do estator sem interromper a operação da máquina.

Para uma medição de descargas parciais, é exigido inicialmente a execução de duas funções básicas: A primeira é o acoplamento do equipamento de medição ao barramento da máquina, servindo como “sensor” dos pulsos originados pelas descargas. A segunda é a eliminação de ruídos externos de modo comum.

2.1 Acopladores Capacitivos

Para as máquinas tipo bulbo, por sua concepção, foi caracterizada, por projeto, para seis acopladores, em montagem direcional (BUS). Montado em forma de isolador, o acoplador capacitivo oferecido para o presente projeto é do tipo epóxi-mica 80 pF. Esses são muito compactos, e permitem instalação rápida e fácil (Figuras 1(a) e 1(b)). As especificações técnicas são dadas abaixo:



(a) acopladores capacitivos



(b) acopladores capacitivos



(c) BusTracII

Figura 1 – Sensores e equipamento de medição de DP

Os acopladores, quando conectados diretamente aos cabos de sinal, produzem um filtro passa-alta com frequência de corte inferior de 40 MHz (-3dB). Os acopladores também possuem extremamente baixa indutância de modo que um pulso simulado de descarga com um tempo de subida aproximadamente de 1 ns deve resultar em um pulso de saída de menos que 3 ns de tempo de subida.

2.2 Instrumento de Monitoramento Contínuo BusTrac II

O Sistema BusTracII (Figura 1(c)) instalado foi especificamente projetado e equipado para medição contínua das atividades de descargas parciais através de acopladores capacitivos permanentemente montados em instalação direcional nos enrolamentos do gerador. Na Figura 3, é possível observar o TracII instalado no “nariz” do bulbo.

O instrumento possui tecnologia de separação digital de ruídos por meio da comparação digital do tempo de chegada e forma do pulso. A mínima resolução do tempo de chegada é de $\pm 0,5$ ns.

O instrumento possui a habilidade de medir e exibir a taxa de repetição das descargas parciais (pulsos por segundo) versus a magnitude (mV) em um gráfico 2D denominado Análise de Altura do Pulso, bem como a taxa de repetição versus a magnitude e a posição da fase CA em um gráfico 3-D denominado Resolução em Fase de Descargas Parciais, do inglês “Phase Resolved Partial Discharge” (PRPD).

O instrumento BusTrac II separa e classifica todos os sinais detectados como DP ou ruídos. Especificamente, o instrumento determina se os pulsos detectados são originados nos enrolamentos estatóricos de cada circuito/fase ou no sistema de potência conectado à máquina. Isso é efetuado pela separação e categorização automática dos sinais DP, em uma base pulso por pulso, vindos dos enrolamentos estatóricos e sinais de ruídos vindos do sistema de potência através da comparação digital dos tempos de chegada dos pulsos em cada par de acopladores (técnica diferencial de separação de ruídos). O algoritmo de separação de ruídos opera mesmo que os pulsos chegando de dois acopladores tenham uma diferença de magnitude de até 50%.

O instrumento permanente possui as seguintes especificações técnicas:

- Largura de banda de 350 MHz com frequência de corte de 3dB;

- Impedância de entrada de 50 Ohms para possibilitar o casamento de impedâncias;
- Circuito digital de 850 MHz para separação dos pulsos de ruído (interferência) dos pulsos DP, registrando diretamente o número e magnitude dos pulsos;
- Faixa do sinal de entrada de 20 mV a 3400 mV;
- 16 janelas de magnitude para análise da altura dos pulsos, para exibir a magnitude DP versus a taxa de repetição;
- 100 janelas de análise da fase do pulso, de modo a definir onde as descargas parciais ocorrem com respeito ao ângulo de fase da frequência do sistema de potência em passos de 3,6°;
- Tempo de aquisição de dados selecionado pelo usuário entre 1 e 5 segundos para cada par de acopladores;
- Resolução mínima de tempo de ± 1 ns;
- Nível de alarme selecionável para cada par de acopladores;
- Auto diagnóstico para garantir operação adequada e medições confiáveis;
- Relé de contato seco programável para alarme de altos valores DP;
- Alimentação em 85-264, 50/60 Hz, ou 120-370 VCC, 110 W. A unidade de aquisição de dados é equipada com a proteção necessária contra surtos de tensão;

Como padrão, o instrumento obtém os dados DP através de um gatilho de medição baseado em intervalos regulares de tempo definidos durante o comissionamento.

2.3 Comunicação com o Sistema Supervisório

O Sistema de Monitoramento de Descargas Parciais inclui um Servidor compartilhado com o sistema de vibrações da planta, capaz de obter os dados DP dos seis geradores a ele associados, tanto em intervalos regulares na base de tempo, ou baseado nas condições operacionais do gerador, ou em ambas.

Através da comunicação via protocolo ModBus TCP, o sistema de descargas fornece dados sumarizados, que são lidos e implementados no sistema Bently Nevada.

A configuração é do tipo “cliente-servidor” com o Servidor operando como o servidor da rede para o Sistema PDA e cada instrumento BusTracII operando como cliente da rede.

O software de controle baseado em Windows™, denominado Iris Application Manager (IAM), é instalado no Servidor e efetua o controle dos múltiplos instrumentos BusTracII a eles associados. O software de visualização pode ser utilizado para visualização e manipulação dos dados DP coletados em qualquer computador da planta, ver Figura 2.

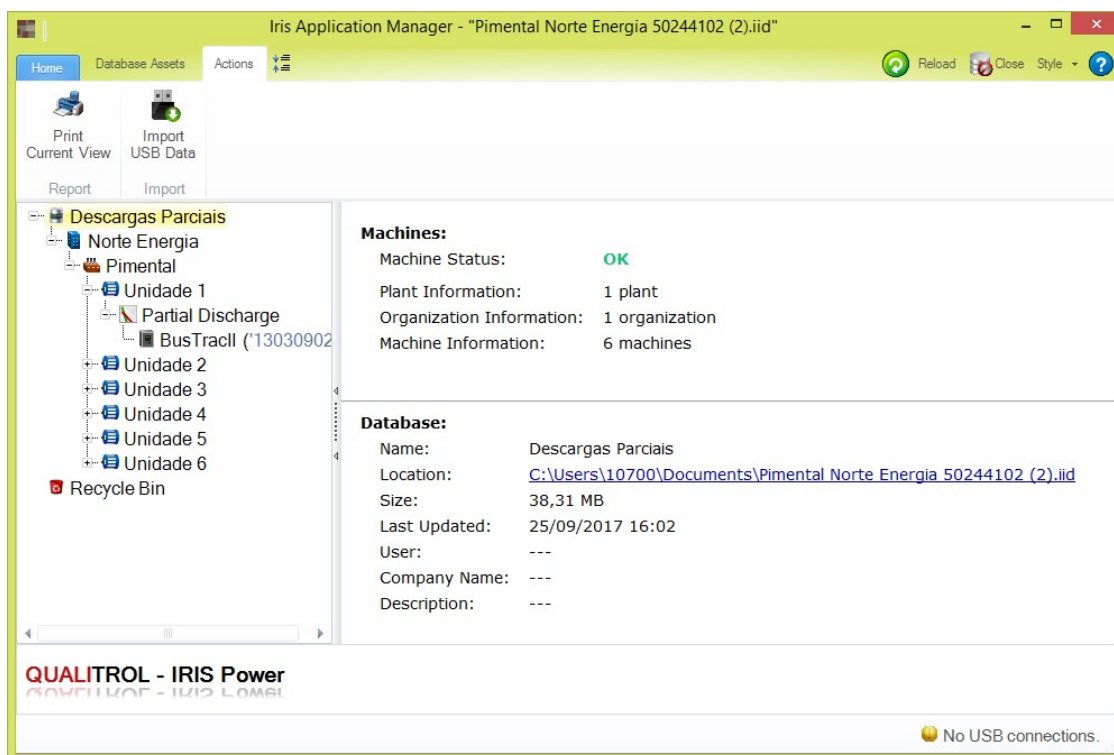


Figura 2 – Interface do software IAM.

O software de controle IAM permite:

- Alarme de software para níveis excedidos da atividade DP (Carga Média (Qm) e/ou Nível de Carga Normalizada (NQN));
- Computação dos números sumários (Qm e NQN) das atividades PD de modo adequado para análises de tendência e comparação com os níveis relativos de máquinas similares de um banco de dados;
- Indicadores para alarmes de atividades DP com magnitudes maiores que a atual escala de teste (over-range);
- Executar diagnósticos em qualquer instrumento BusTracII conectado ao Servidor;

O software de visualização PDVIEW permite a execução das seguintes funções:

- Exibir em formato de planilha os dados crus de todos os pulsos detectados e classificados como sendo pulsos DP do gerador (classificados por circuito paralelo), pulsos de ruído vindos do sistema de potência e outros pulsos;
- Graficamente representar e produzir gráficos da taxa de repetição das descargas parciais versus a magnitude (2-D), e posição da fase CA (3-D), bem como a tendência das atividades de descargas parciais (Qm/NQN) versus tempo;
- Habilidade de sobrepor dois Gráficos de análise de Altura do Pulso para comparação;
- Habilidade de visualizar polaridade e defasamento das DP para determinar atividades cruzadas ou entre fases.

3.0 - MEDIÇÕES DE DESCARGAS PARCIAIS NA UHE PIMENTAL

Ao analisar o histórico de medições de DPs foi possível identificar em um determinado desligamento, da unidade PIUGH-02, causado pela rachadura da tubulação (Figura 4), de entrada de água do sistema de resfriamento do gerador (radiador 03) que provocou a atuação dos sensores de inundação 01 e 02 do bulbo e bloqueio 86M, ver Figura 3. Esta tubulação de água fica próxima ao sistema de ventilação do gerador e enviou umidade para dentro do gerador. Através do histórico de medições de DPs, pode-se observar um aumento da amplitude das descargas positivas (Qm+), desde o dia 24/abril/2017 que culminou com o desligamento no dia 04/maio/2017 causado pela inundação do “nariz” do bulbo. O aumento de Qm+ (Figura 5 e 6) foi causado pelo aumento da umidade no interior do gerador e o sistema de monitoramento de DPs se mostrou assertivo para este defeito que poderia ter evoluído para uma falha da isolação. Após serviço para eliminar vazamento e verificar se houve comprometimento da

isolação do estator, a unidade foi disponibilizada e os níveis de DPs voltaram para os patamares anteriores.

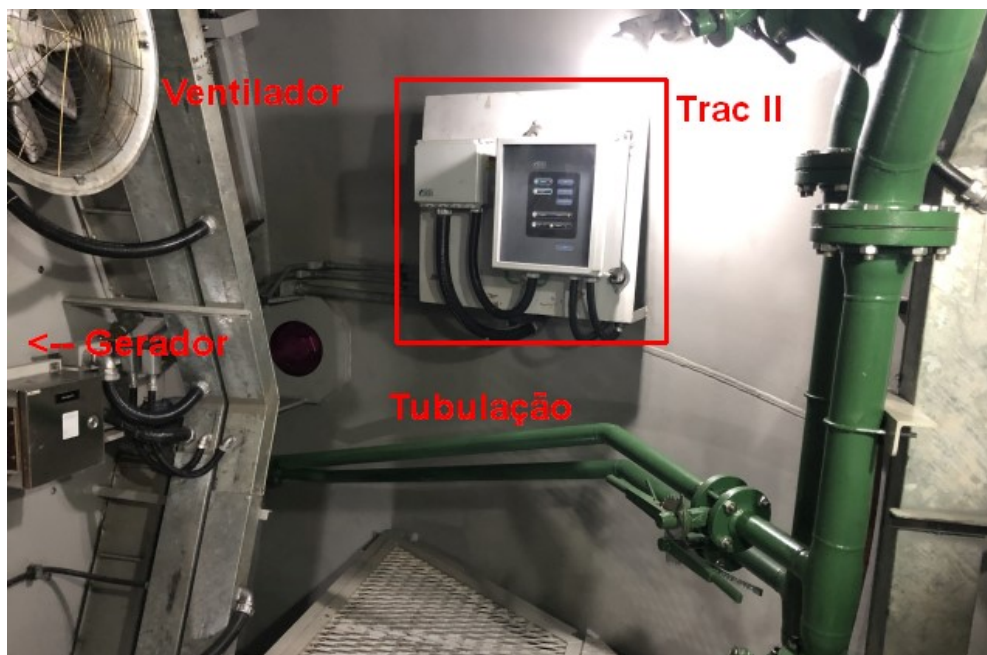


Figura 3 – Nose (nariz) do Gerador

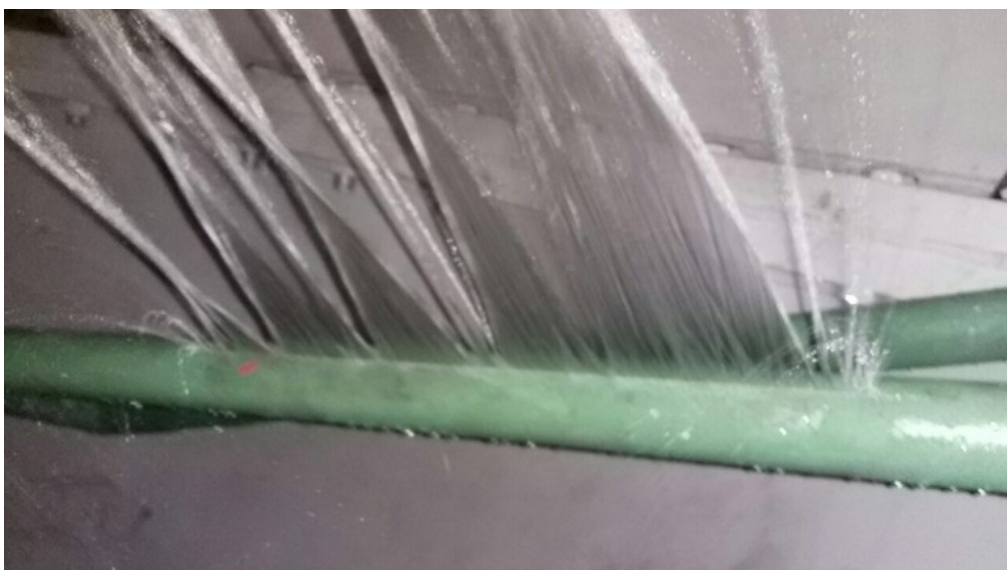


Figura 4 – Vazamento na tubulação do sistema de resfriamento do gerador



Figura 5 – Aumento dos valores de Qm+

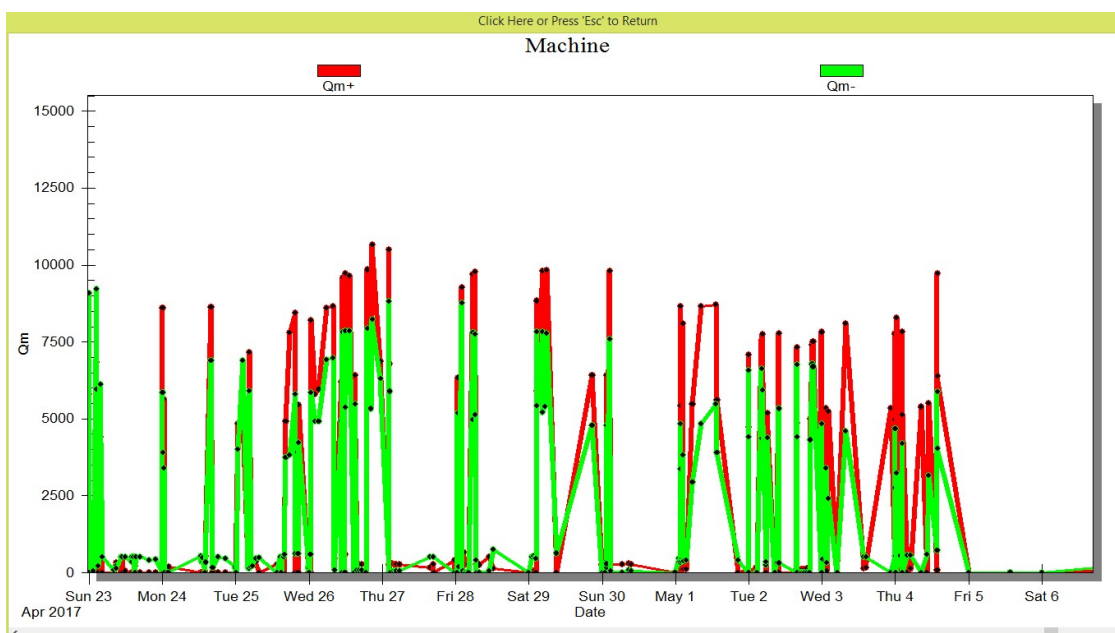


Figura 6 – Aumento dos valores de Qm+, no período de 23/04 a 06/05/2017

4.0 - CONCLUSÃO

Através do monitoramento de DP dos hidrogeradores Bulbo da UHE Pimental, desde a entrada em operação das unidades geradoras, foi possível registrar e analisar a evolução das DP ao longo do tempo. Em máquinas novas, as DP são bastante altas e decrescem nos primeiros meses de vida para um patamar padrão, possibilitando o acompanhamento da curva de tendência das descargas, a menos que ocorram pequenas flutuações em consequência de fatores ambientais ou condições operacionais. De posse do histórico de medições das unidades da UHEPI, é possível observar uma redução dos níveis de DP ao longo dos anos em consonância com o gráfico do ciclo de vida típico de DP (5) e também desvios da curva de tendência.

Ao analisar o histórico de medições de DPs foi possível identificar em um determinado desligamento da unidade PIUGH-02 causado pela rachadura da tubulação de entrada de água do sistema de resfriamento do gerador (radiador 03) que provocou a atuação dos sensores de inundação 01 e 02 do bulbo e bloqueio 86M. Esta tubulação de água fica próxima ao sistema de ventilação do gerador e enviou umidade para dentro do gerador.

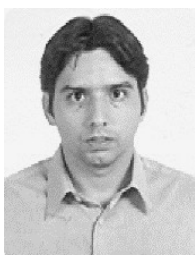
Através do histórico de medições de DPs, foi possível observar um aumento da amplitude das descargas positivas (Qm+). O aumento de Qm+ foi causado pelo aumento da umidade no interior do gerador e o sistema de medições se mostrou assertivo para este defeito que poderia ter evoluído para uma falha da isolamento. Após serviço para eliminar vazamento e verificar se houve comprometimento da isolamento do estator, a unidade foi disponibilizada e os níveis de DPs voltaram para os valores anteriores.

A umidade relativa pode ser considerada um dos impactos mais influentes, ainda que imprevisível, das condições favoráveis de variações de descargas parciais em máquinas refrigeradas a ar. Essa variação, pode causar um estresse de ruptura elétrica do ar para diminuir e, portanto, causar um aumento na DP de superfície. Mas também pode afetar o rastreamento elétrico da superfície da DP e, portanto, causar uma diminuição na DP (6). Assim, em algumas circunstâncias, a DP poderá incrementar (efeito direto), enquanto em outras irá diminuir com o aumento da umidade relativa (efeito inverso). Em algumas circunstâncias, sabe-se que o efeito de umidade faz com que as DPs flutuem em até 300%. Como cada cenário é diferente, é extremamente importante que a umidade do ambiente seja registrada durante os ensaios, para que as tendências possam ser avaliadas adequadamente e não sejam tomadas decisões sobre tendências ascendentes devido a efeitos de umidade, e não alterações na condição de enrolamento ou outros parâmetros. A experiência atual indica que a umidade afeta apenas a atividade de superfície.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASTM D-1868 "Detection and Measurement of Partial Discharge (corona) Pulses in Evaluation of Insulation Systems".
- (2) INTERNACIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION, "IEC 60034-27-2 Rotating Electrical Machines – Part 27-2: On-line Partial Discharges Measurements on the Stator Winding Insulation of Rotating Electrical Machines". Suíça, 2012.
- (3) Revista Brasileira de Engenharia de Barragens, Comitê Brasileiro de Barragens, Ed. Especial Belo Montem ano IV, nº 04, maio, 2017.
- (4) CUENCA, W.M.H., "Caracterização dos Sinais de Descargas Parciais em Equipamentos de Alta Tensão a Partir de Modelos Experimentais". Tese de Doutorado, Programa Pós-Graduação de Engenharias, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- (5) STONE, G. C., "A Perspective Online Partial Discharge Monitoring for Assessment of the Condition of Rotating Machine Stator Winding Insulation", IEEE Electrical Insulation Magazine, 2012.
- (6) FENGER, M. and STONE, G., "Investigations into the Effect of Humidity on Stator Winding Partial Discharges," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 12, No. 2; April 2005, pp. 341-365.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



(1) PAULO ROBERTO MOUTINHO DE VILHENA

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2005), graduação em Tecnologia em Informática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (2002), especialização em Engenharia de Sistemas pelo Centro Universitário do Estado do Pará (2005), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2008) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2015). Atualmente é Engenheiro de Manutenção Elétrica das Centrais Elétricas do Norte do Brasil – Eletrobras Eletronorte. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência.

(2) FERNANDO DE SOUZA BRASIL

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade federal do Pará – 2016

Atualmente é Engenheiro de Manutenção Elétrica das Centrais Elétricas do Norte do Brasil - Eletrobras Eletronorte e Professor do curso de Engenharia Elétrica na Faculdade FACI Wyden. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando nas áreas de manutenção preditiva de equipamentos de alta tensão de subestações e usinas hidrelétricas.

(3) ERICK NOBILING

Graduado em Engenharia Elétrica na UNIP/Santos com especialização mecânica na Universidade McGill/Montréal.

Presente no mercado de tecnologias preditivas desde 1997 em mais de 300 projetos distribuídos por mais de 60 países. Especialista em vibrações e ensaios elétricos (online e offline), atua como consultor de tecnologias CBM (Condition Based Maintenance).