



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

CB/GGH/16

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO I  
GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA (GGH)**

**METODOLOGIA PARA O DIAGNÓSTICO DE DEFEITOS EM HIDROGERADORES ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO PERMANENTE UTILIZANDO TÉCNICAS NO DOMÍNIO DO TEMPO E FREQUÊNCIA**

**Tiago Kaoru Matsuo (\*)  
AQTech**

**Roberto Alexandre Dias  
IFSC**

**Sergio Luciano Avila  
IFSC**

**Cesar Alberto Penz  
IFSC**

**Marcos V. R. L. Granado  
IFSC**

**Gabriel Pacheco da Costa  
IFSC**

**RESUMO**

Este informe técnico apresenta uma metodologia para o diagnóstico de defeitos em hidrogeradores através da análise de vibrações em sistemas de monitoramento, utilizando técnicas no domínio do tempo e frequência. A base do monitoramento é composta por sensores de proximidade e acelerômetros, instalados nos mancais da unidade geradora, sensor de referência de fase (*keyphasor*) e hardware de digitalização. Os dados brutos coletados do sensoriamento são processados e organizados em forma de vetores de dados. Esses vetores são então analisados pelo algoritmo que realiza o diagnóstico da condição do hidrogerador e identifica as características dos defeitos da unidade geradora.

**PALAVRAS-CHAVE**

Monitoramento de Usinas, Análise de Vibrações, Diagnóstico de Defeitos, Hidrogeradores, Mancais.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Manter a ótima condição de máquinas e equipamentos das plantas geradoras e estender ao máximo sua vida útil é imprescindível para garantir o retorno de investimentos e lucratividade das empresas do setor elétrico brasileiro [1]. Técnicas que auxiliem a detecção de problemas, reduzindo horas de engenharia e minimizando o tempo de máquina parada, são fundamentais para as equipes de operação e manutenção dessas usinas. Uma das ferramentas mais utilizadas para esse fim é o monitoramento online de parâmetros, com destaque para o monitoramento de vibrações.

Sendo assim, este trabalho descreve o estudo e a aplicação de métodos de análise de vibrações em hidrogeradores, desde a aquisição dos dados, envolvendo sensoriamento e conversores analógico-digital, até a posterior aplicação de ferramentas computacionais para processamento dos sinais e análise dos dados, utilizando técnicas matemáticas no domínio do tempo e frequência, com o objetivo de realizar o diagnóstico de problemas em unidades geradoras. Está relacionado com o projeto de pesquisa do CNPq (Chamada CNPq-SETEC/MEC N<sup>o</sup> 17/2014) intitulado "Pesquisa aplicada em diagnóstico preditivo: Desenvolvimento e inovação para produtos de monitoramento e análise de vibrações em geradores de energia", executado pelo Grupo de Pesquisa em Computação Científica para Engenharia (PECCE), referência em análises numéricas e simulações computacionais no Instituto Federal de Santa Catarina, em parceria com a empresa AQTech.

Neste trabalho são apresentadas as características do método proposto e os resultados da aplicação em base de dados histórica e em ambiente simulado híbrido.

## 2.0 - METODOLOGIA DE ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

O método de análise de vibrações proposto neste trabalho serve como uma ferramenta de apoio ao especialista em análise de vibrações, e pode ser descrito de forma resumida nas seguintes etapas:

1. Caracterização da unidade geradora e cruzamento com as Normas ISO 7919-5 [2] e ISO 10816-5 [3];
2. Definição das características do sistema de monitoramento;
3. Cálculos dos vetores de dados;
4. Cálculo dos índices de vibração dos mancais e UG;
5. Testes para os defeitos abordados.

Os defeitos detectados pelo método são: Desbalanceamento (estático, acoplado ou dinâmico), Desalinhamento angular e paralelo, Folga excessiva, Defeito nas palhetas diretrizes, Defeito nas pás da turbina, Whirl Oil (rodopio de óleo) e Problemas de origem elétrica.

### 2.1 Caracterização da unidade geradora

Para geração de energia elétrica, existem máquinas hidráulicas de diversos tipos e características, e para o método de análise de vibrações proposto é necessária a identificação das seguintes informações:

- Grupo da unidade geradora (conforme ISO 10816-5);
- Número de mancais;
- Rotação nominal da unidade geradora (RN);
- Número de pás da turbina (NPT);
- Número de palhetas diretrizes (NPD);

Essa caracterização é fundamental para determinação das características do sistema de monitoramento (sensores, pontos monitorados, *hardware* de aquisição de dados, etc.). Também é fundamental para o cruzamento com as normas ISO 7915-5 e ISO 10816-5, que definem limites de vibração A/B/C/D que são utilizados pelo método.

#### 2.1.1 Pontos de monitoramento

As normas ISO sugerem pontos de monitoramento (acelerômetros e proximímetros), e o método proposto se baseia nessas referências. Na forma mais completa, a análise de vibrações contempla os seguintes pontos de monitoramento:

- 2 Proximímetros radiais por mancal;
- 1 Sensor de fase;
- 1 Sensor de proximidade axial para o sistema;
- 1 Acelerômetro radial por mancal.

A Figura 1 apresenta um exemplo de monitoramento de uma unidade geradora vertical, em seu modo mais completo, e a

Tabela 1 apresenta detalhes destes pontos.

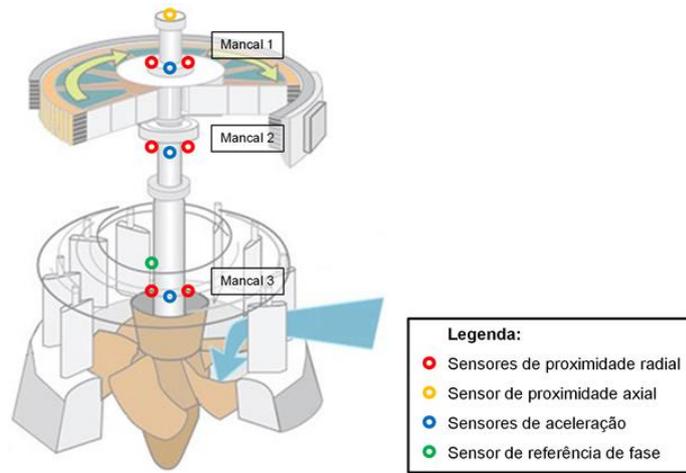


Figura 1 – Exemplo de monitoramento de uma unidade geradora vertical.

Tabela 1 – Grandezas monitoradas

Grandeza	Un.	Sensor	Descrição
M1d0	$\mu\text{m}$	Proxímetro	Deslocamento radial no mancal 1 na posição 0° graus
M1d90	$\mu\text{m}$	Proxímetro	Deslocamento radial no mancal 1 na posição 90° graus
M1d-axial	$\mu\text{m}$	Proxímetro	Deslocamento axial no mancal 1
M1a45	mm/s	Acelerômetro	Velocidade da vibração no mancal 1 na posição 45° graus
M2d0	$\mu\text{m}$	Proxímetro	Deslocamento radial no mancal 2 na posição 0° graus
M2d90	$\mu\text{m}$	Proxímetro	Deslocamento radial no mancal 2 na posição 90° graus
M2a45	mm/s	Acelerômetro	Velocidade da vibração no mancal 2 na posição 45° graus
M3d0	$\mu\text{m}$	Proxímetro	Deslocamento radial no mancal 3 na posição 0° graus
M3d90	$\mu\text{m}$	Proxímetro	Deslocamento radial no mancal 3 na posição 90° graus
M3a45	mm/s	Acelerômetro	Velocidade da vibração no mancal 3 na posição 45° graus
M3d-ref_fase	$\mu\text{m}$	Proxímetro	Deslocamento para medição da referência de fase.

De forma mais enxuta, o método proposto ainda pode ser aplicado com apenas os seguintes pontos de monitoramento:

- 2 Proxímetros radiais por mancal.

Por se tratarem de máquinas de baixa rotação, os proximetros se tornam sensores mais adequados para o monitoramento. Para o método proposto eles possuem inclusive um peso maior que os acelerômetros, que por sua vez podem ser suprimidos para reduzir custos de implantação de um sistema de monitoramento.

## 2.2 Características do sistema de monitoramento

O sistema de monitoramento envolve basicamente os seguintes componentes:

1. Sensoriamento;
2. Condicionamento e aquisição dos sinais;
3. Processamento de dados;
4. Análise das informações.

Unidades geradoras hidráulicas geralmente possuem características de baixa rotação (300rpm por exemplo), o que não exige altas taxas de frequência de amostragem. Em contrapartida, para uma boa análise do espectro de frequência são necessários tempos de registros maiores (na ordem de dezena de segundos, geralmente). Portanto a definição dos componentes do sistema de monitoramento deve levar isso em consideração.

As principais características do sensoriamento são a sensibilidade e a resposta em frequência. Assim, é conveniente seguir as seguintes recomendações:

- Acelerômetros com sensibilidade alta (100mV/g ou superior);
- Proxímetros com faixa de medição próximas às folgas dos mancais (ex: 0,5-2mm);
- Resposta em frequência variando de  $\frac{1}{4}$  da rotação nominal até 3 vezes a frequência de passagem de pás [3];

O hardware utilizado para a coleta de dados de monitoramento de vibrações deve possuir características que atendam:

- Número de canais para suportar os pontos de monitoramentos citados na seção 2.1.1. No caso de uma máquina com 2 mancais, 8 canais são suficientes para o monitoramento;
- Condicionamento de sinal para compatibilidade com sensores de oscilação de eixo, sensores de fase, e sensores de aceleração. Entradas em 4-20mA para proximetros e padrão IEPE/ICP para acelerômetros são os mais comuns;
- Frequência de amostragem ( $f_s$ ) superior a 2 vezes a frequência máxima de análise ( $NPT \times NPD \times RN$ );
- Tempo total de registro tal qual  $\Delta f < 0,2Hz$  (Para  $f_s = 1000Hz$ , 5 segundos são suficientes);
- Processamento suficiente para abordagem do método (para o protótipo, foi utilizado um PC Notebook).

$RN$  – Rotação nominal,  $NPD$ – Número de palhetas diretrizes,  $NPT$ – Número de pás da turbina

## 2.3 Cálculos dos vetores de dados

Os dados obtidos pelo sistema de monitoramento seguem para a etapa de processamento computacional, onde o algoritmo do método proposto foi prototipado em *Matlab*®.

### 2.3.1 Carregamento, ajustes e operações preliminares dos dados

Os dados são carregados para processamento no Matlab® em formato “.csv”, padrão de exportação de dados de software da empresa AQTech. Na Figura 2 - (a), a primeira coluna mostra o instante de tempo do registro, enquanto a segunda coluna apresenta a amplitude do sinal.

Os registros carregados necessitam ser previamente ajustados para os cálculos dos vetores que serão utilizados para o diagnóstico. Nesse processo, as seguintes etapas são realizadas:

- Ajuste do número de amostras para múltiplos de  $2^n$  para otimização de cálculos;
- Ajuste de offset dos sensores de proximidade;
- Identificação dos giros mecânicos do eixo;
- Filtragem dos sinais na frequência fundamental de giro.

A Figura 2 - (b) apresenta um exemplo de um sinal de deslocamento de eixo (azul), já centralizado em zero, o sinal de referência de fase (laranja), identificando o início de cada giro mecânico, e o sinal filtrado na frequência fundamental (vermelho).

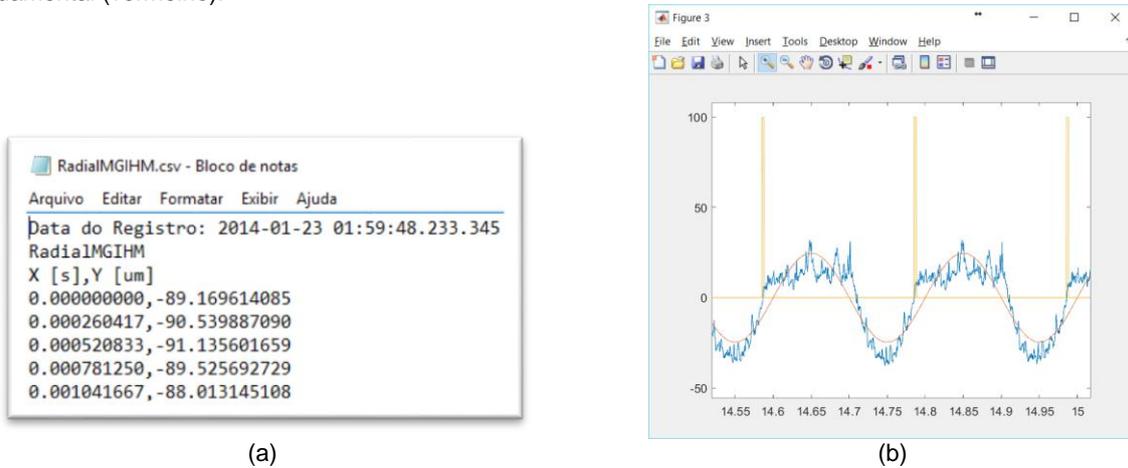


Figura 2 – (a) Exemplo de dados de sinal carregado para processamento. (b) Sinais de referência de fase (laranja), de deslocamento de eixo (azul), e deslocamento filtrado (vermelho).

### 2.3.2 Composição do vetor resumido de frequências e vetor de sinais no tempo

Cada sinal monitorado é constituído por um vetor de pontos, associado ao tempo de aquisição de dados e frequência de amostragem. Geralmente cada sinal possui cerca de milhares de pontos. Se aplicarmos técnicas de análise de frequências, como FFT, por exemplo, temos ainda mais pontos. Para uma análise automatizada se faz necessário a compilação desses números em dados consistentes e resumidos que representem a condição da unidade geradora. A metodologia proposta aqui utiliza análise dos sinais no tempo e na frequência para formar vetores com uma quantidade limitada e precisa de informações para o diagnóstico automático e auxílio ao engenheiro.

O Vetor Resumido de Frequências é composto por 16 posições que contem a amplitude do espectro em determinadas frequências definidas. Essa amplitude está relacionada com valor pico-a-pico no caso de sensores de proximidade ou valor RMS no caso de sensores de aceleração, para ser possível comparação direta com as normas ISO. A Tabela 2 apresenta as frequências relacionadas a cada posição deste vetor.

Tabela 2 – Composição do Vetor Resumido de Frequências.

Posição	Parâmetro	Descrição
1	$1/3xRN$	Subharmônica associada a folgas.
2	$1/2xRN$	Subharmônica associada a folgas.
3	$0,42xRN$ até $0,48xRN$	Subharmônica associada à defeito de <i>Whirl Oil</i> .
4	$RN$	Rotação nominal da máquina, associada à desbalanceamento.
5	$3/2xRN$	Interharmônica associada a folgas.
6	$2xRN$	Harmônica associada a desalinhamentos.
7	$5/2xRN$	Interharmônica associada a folgas.

8	$3xRN$	Harmônica associada a desalinhamentos.
9	$7/2xRN$	Interharmônica associada a folgas.
10	$4xRN$	Harmônica associada a desalinhamentos.
11	$9/2xRN$	Interharmônica associada a folgas.
12	$5xRN$	Harmônica associada a desalinhamentos.
13	$2xFrede$	Frequência associada a problemas elétricos
14	$NPTxRN$	Harmônica associada a problemas nas pás da turbina.
15	$NPDxRN$	Harmônica associada a problemas nas palhetas diretrizes.
16	$NPTxNPDxRN$	Harmônica associada a problemas nas pás da turbina e/ou nas palhetas diretrizes.

$RN$  – Rotação nominal,  $NPD$ – Número de palhetas diretrizes,  $NPT$ – Número de pás da turbina

Para o cálculo de cada variável deste vetor é utilizada ferramenta de periodograma e densidade espectral de potência (presentes no *software Matlab®* através da função *bandpower*). Essa técnica se difere de outras utilizadas em outros trabalhos, como filtragens utilizadas por Almeida [5].

Após calculado, a potência deste vetor é comparada com a potência total do sinal original. Caso a potência do vetor seja menor do que 80% do sinal original uma mensagem na tela é exibida, sugerindo a análise do espectro completo, que pode conter outras faixas de frequências relativas a problemas e não abordadas pelo algoritmo

O Vetor de Sinais no Tempo possui seus parâmetros calculados com técnicas no domínio do tempo. A Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam esses parâmetros para os sinais de deslocamento e aceleração, que são similares, mas requerem tratamentos distintos, dadas as características de aplicação, como por exemplo a instalação ortogonal do par de sensores de proximidade.

Tabela 3 – Parâmetros calculados com técnicas no domínio do tempo para os sinais de proximidade.

Posição	Parâmetro	Descrição
1	<i>Pico à pico</i>	Deslocamento máximo radial no eixo de medição.
2	<i>Valor médio</i>	Valor médio da posição do eixo.
3	<i>Smáx</i>	Deslocamento máximo no plano de medição. Calculado com base nos dois sinais de oscilação ortogonais. Só se aplica aos sensores de descolamento.
4	<i>Pico em RN</i>	Valor pico na frequência de rotação nominal, calculada pela média de todas as rotações mecânicas.
5	<i>Desvio padrão</i>	Desvio padrão da medida anterior.
6	<i>Fase em RN</i>	Fase (em relação ao sinal fasor) na frequência de rotação nominal, calculada pela média de todas as rotações mecânicas.
7	<i>Faixa de Confiança</i>	Intervalo onde 95% das medidas estão posicionadas.

Tabela 4 – Parâmetros calculados com técnicas no domínio do tempo para os sinais de aceleração.

Posição	Parâmetro	Descrição
1	<i>RMS</i>	Valor RMS do sinal de aceleração.
2	<i>pico em RN</i>	Valor pico na frequência de rotação nominal.
3	<i>Desvio padrão</i>	Desvio padrão da medida anterior.
4	<i>Fase em RN</i>	Fase (em relação ao sinal fasor) na frequência de rotação nominal.
5	<i>Faixa de Confiança</i>	Intervalo onde 95% das medidas estão posicionadas.

Com esses vetores de dados constituídos é possível avaliar o índice de vibração dos mancais e da unidade geradora.

#### 2.4 Cálculo dos índices de vibrações dos mancais e da unidade geradora

Os índices de vibração na metodologia proposta são utilizados para determinação dos níveis de defeitos no diagnóstico. O método aborda 4 classificações, relacionadas com as normas ISO:

- Sem problema detectado – Máquina pode operar sem restrições.
- Nível incipiente – Máquina pode operar sem restrições, porém já há indício de ocorrência de possíveis defeitos no futuro.

- Nível de problema – Detectado defeito na unidade geradora. Operação restrita.
- Nível elevado – Máquina não deve operar nesse nível.

Essa classificação é realizada para cada mancal, avaliando todos os sinais do registro. O valor global (pico-a-pico para proximetros, e RMS para acelerômetros) de cada sinal monitorado é comparado com as normas ISO 7919-5 e ISO 10816-5 e recebe uma classificação A/B/C/D, que é relacionada a um número inteiro, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Nível de vibração - índice para metodologia.

Nível de vibração conforme norma ISO	Índice da variável
A	0
B	1
C	2
D	3

Para chegar em um valor que represente a condição do mancal em termos de vibração, foi criada uma variável de Grau de Condição do Mancal, definida pela equação (1):

$$GCM = 2 \times \sum_{n=1}^M NSP_n + \sum_{m=1}^M NSA_m \quad (1)$$

Onde,

$NSP_n$  – Nível do sinal do proximetro  $n$ ;  $NSA_m$  – Nível do sinal do acelerômetro  $m$ ;  $N$  – Número de proximetros instalados no mancal;  $M$  – Número de acelerômetros instalados no mancal.

Pelo exposto na equação (1), é considerado peso 2 para os sensores de proximidade. Isso se deve ao fato de que para análise em baixas frequências (que é o caso da maioria das aplicações em hidrogeradores) os proximetros possuem uma resposta melhor. Além disso, em mancais de deslizamento (também maioria das aplicações) os proximetros se tornam importantes por apresentar a vibração relativa do eixo. Nesses casos, sensores de aceleração que medem a vibração absoluta da parte fixa dos mancais adquirem um sinal cuja força do defeito é amortecida/atenuada pelo filme de óleo. O valor do índice  $GCM$  define o nível de defeito do diagnóstico, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Nível de vibração no mancal.

GCM	Classificação
< 4	Sem problema detectado
$\geq 4$ & < 8	Nível incipiente
$\geq 8$ & < 12	Nível de problema
$\geq 12$	Nível elevado

O nível de defeito global da unidade geradora é obtido pelo maior índice encontrado dentre os dos mancais. Com todos os parâmetros calculados é possível realizar os testes quando aos defeitos.

### 2.5 Testes quanto aos defeitos analisados

Após executar os cálculos dos vetores de dados, é possível realizar o diagnóstico através das análises das componentes. O método proposto aborda os seguintes defeitos:

- Desbalanceamento (estático, acoplado ou dinâmico)
- Desalinhamento angular e paralelo
- Folga excessiva
- Defeito nas palhetas diretrizes
- Defeito nas pás da turbina
- Whirl Oil (rodopio de óleo)
- Problemas de origem elétrica

Os testes para esses defeitos só são realizados caso o nível de vibração da UG seja classificado como *Nível incipiente* ou superior.

### 3.0 - RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para a validação da metodologia proposta foram realizados testes na base de dados histórica da empresa AQTech. Além disso, foram realizados testes em ambiente simulado híbrido, adicionando aos registros históricos simulações de sinais de defeitos. Esta seção apresenta os resultados encontrados.

### 3.1 Aplicação da metodologia em dados históricos da empresa

Foram selecionados 55 registros de 17 unidades geradoras de 8 usinas diferentes, cujos escopos de monitoramento também variaram. Essa amostra possui as seguintes características:

- Potência da UG variando de 3,22MW até 154MW (de PCHs até grande UHE);
- Turbinas do tipo Kaplan e Francis foram analisadas;
- UGs verticais e horizontais;
- UGs dos grupos 1, 3 e 4 (referência da ISO 10816-5);
- Rotação variando de 85,7RPM até 327,27RPM;
- 302 sinais de proximímetros processados;
- 117 sinais de acelerômetros processados.

A aplicação da metodologia, através da prototipação em *Matlab®*, gerou saídas cuja amostras podem ser observadas na Figura 3.

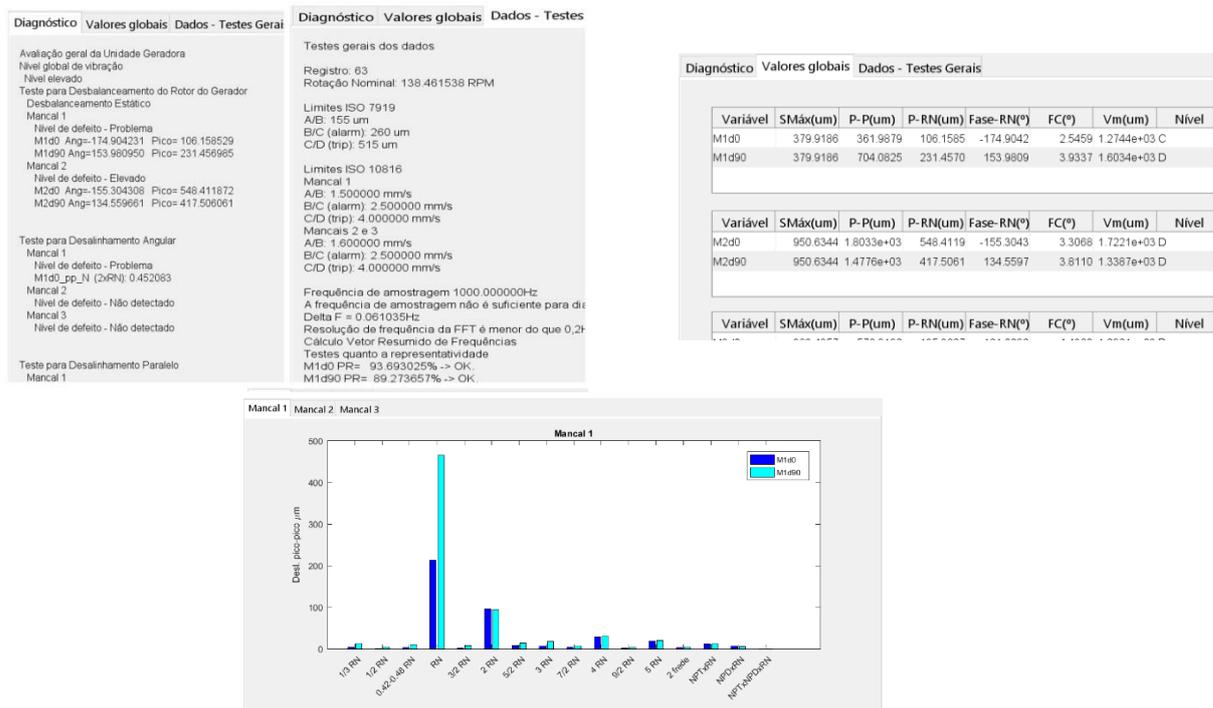


Figura 3 – Exemplo de saídas do protótipo.

Analisando os resultados dessa bateria de testes nos registros históricos foi possível avaliar a resposta da metodologia, e os resultados são mostrados a seguir:

- 13 registros não possuíram frequência de amostragem suficiente para diagnosticar as frequências mais elevadas (passagem de pás e palhetas diretrizes).
- Em todos os registros o período de amostragem foi suficiente para permitir um  $\Delta f < 0,2\text{Hz}$ .
- Em relação ao teste de representatividade do Vektor Resumido de Frequências (potência relativa entre vetor e o sinal original) verificou-se que:
  - Dos 302 sinais de proximímetros analisados, o vetor de frequências em 231 teve potência do sinal maior que 80%. Cerca de 76,5% de todos os sinais. Nos casos onde não se obteve a representatividade desejada, é possível que os sinais contenham outras frequências de análise relacionadas à defeitos/problemas não abordados pelo algoritmo.
  - De todos os acelerômetros utilizados (117 sinais registrados), o cálculo do vetor resumido de frequências de nenhum teve uma potência maior que 80% da potência total do sinal. Esses resultados podem ser atribuídos as seguintes questões:
    - Os sensores de aceleração possuem uma faixa de resposta ampla, variando de baixa frequência (1Hz) até altas frequências (20kHz), diferentes de proximímetros, que respondem geralmente até cerca de 1000Hz. O Vektor Resumido de Frequências é constituído, em sua maioria, de faixas de frequência baixas. Ou seja, é possível que o

sinal original do acelerômetro contenha uma potência muito maior do que a que as componentes do vetor representam.

- Os sinais adquiridos por acelerômetros possuem amplitude muito baixa (na ordem dos mV). Sendo assim, para níveis baixos de vibração mecânica (máquina sem defeitos, ou com defeitos em nível incipiente), os níveis de ruído são significativos (baixa relação sinal/ruído), e geralmente ocorrem em frequências altas, influenciando no resultado.

Sobre a detecção de defeitos, os seguintes resultados foram detectados nos registros analisados:

- Desbalanceamento estático: 11 em nível de problema.
- Desbalanceamento acoplado: Não identificado.
- Desbalanceamento dinâmico: 6 em nível incipiente, 6 em nível de problema.
- Desalinhamento angular: 9 em nível de problema, 4 em nível incipiente.
- Desalinhamento paralelo: Não identificado.
- Folga excessiva: 8 em nível de problema, 5 em nível incipiente.
- Probl. Palhetas diretrizes: 6 em nível de problema, 3 em nível incipiente.
- Probl. Pás do rotor: 6 em nível de problema, 3 em nível incipiente.
- *Whirl Oil*: Não identificado.
- Probl. Origem elétrica: Não identificado.

### 3.2 Aplicação da metodologia em simulação híbrida

No banco de dados histórico analisado nem todos os defeitos propostos no algoritmo de detecção foram detectados. Nesse caso, para validação do algoritmo foram utilizados registros históricos somados a sinais com características de desbalanceamento acoplado, desalinhamento paralelo, *whirl oil* e problemas de origem elétrica, de acordo com os seguintes procedimentos:

1. Seleção dos registros;
2. Análise do registro original, a fim de identificar: a Fase mecânica da componente fundamental das variáveis; e o Índice da amostra referência ao início da primeira volta;
3. Com base nos dados anteriores, criação de um vetor de dados contendo as componentes relacionadas ao defeito, com amplitude na faixa de detecção (nível incipiente ou superior) e fase de acordo com o sinal original (no caso do desbalanço, foi simulada uma fase diferente, pois o algoritmo deveria detectar justamente essa diferença);
4. O vetor com o sinal de ruído é então somado ao sinal original, criando um novo registro;
5. Esse registro então é submetido ao algoritmo para validação do método.

O algoritmo mostrou-se capaz de detectar e diagnosticar corretamente os defeitos inseridos por meio de simulação híbrida.

## 4.0 - CONCLUSÕES

A metodologia proposta detectou os defeitos conforme o planejado, tanto nos dados históricos, quanto na simulação dos defeitos. Com os resultados, foi possível também identificar uma melhor resposta de sensores de proximidade em relação à acelerômetros (em diversos casos o defeito foi detectado apenas pelos sinais de proximidade), o que também se esperava, devido, inclusive, à melhor resposta dos sensores de proximidade em baixas frequências.

Por fim, mesmo tendo alcançado os resultados desejados o presente estudo não esgotou o assunto, e é possível melhorar a aplicação da metodologia em trabalhos futuros. Os gatilhos de nível das harmônicas, utilizados para o diagnóstico de defeitos, foram definidos conforme outros trabalhos publicados. Para obtenção de resultados mais precisos, estamos agora iniciando o estudo dos níveis de forma empírica, através de bancada de simulação de defeitos instalada no laboratório PECCE do Instituto Federal de Santa Catarina (



Figura 4). Em ambiente controlado é possível obter melhores resultados para validação do método e ampliar as possibilidades de estudos relacionados também a outras técnicas de medição (tipos de sensoriamento e condicionamento) e outras técnicas de análise, como orbitais, dentre outros.

Os próximos passos também incluem a aplicação da metodologia em tempo real, nas usinas monitoradas pela empresa. Nesse contexto, é necessária a otimização e portabilidade do protótipo desenvolvido em Matlab® para a arquitetura de monitoramento da empresa. A fim de ampliar o escopo de diagnóstico também é sugerido o estudo de outros problemas das unidades geradoras, relacionados também à outras faixas do espectro. Como por exemplo problemas em patins dos mancais, trincas mecânicas, dentre outros.



Figura 4 – Bancada para análise de vibrações com simulação de defeitos PECCE – IFSC.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) FREITAS, F. L. et al. Estado-da-Arte de Monitoramento e Diagnóstico de Geradores de Energia. Encontro Nacional de Máquinas Rotativas, Rio de Janeiro, 23 Maio 2016
- (2) ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7919-1 Mechanical Vibration of non-reciprocating machines - Measurements on rotating shafts and evaluation criteria - Part 1: General guidelines. 2. ed. Genova: ISO copyright office, 1996.
- (3) ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10816-5 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants. 1. ed. Geneva: ISO copyright office, 2000.
- (4) IOTECH INC. Vibration Seminar. IOtech Inc. Melville, p. 74. 2008.
- (5) ALMEIDA, F. C. L. Diagnóstico automático de falhas em grupos geradores hidroelétricos. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, p. 277. 2008.
- (6) SILVA, D. H. D. J. Processamento de Sinais para Monitoramento de Vibrações em Unidades Geradoras Hidrelétricas. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 136. 2013.
- (7) FERRAZ, Ú. B. SIMULADOR DE FALHAS MECÂNICAS PARA BANCADA DE ANÁLISE DE VIBRAÇÕES. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 101. 2013.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Tiago Kaoru Matsuo** nasceu em Florianópolis/SC em 1986. Gradou-se em Engenharia Elétrica em 2010, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). É aluno do Curso de Mestrado Profissional em Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), cujo tema de pesquisa é a análise de vibrações mecânicas. Atualmente é diretor técnico da empresa AQTech Engenharia e Instrumentação S.A.. Possui publicações na área de monitoramento de geradores em eventos como ENAM, SIMPASE, CITENEL, dentre outros.