IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA DE UM SISTEMA DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM UNIDADES GERADORAS DE UMA USINA HIDRÉLETRICA.

Autor: Ibraim Prugger Duque
Graduando em Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Luis Gustavo Schroder e Braga.

Resumo

O presente trabalho monográfico trata do estudo e implementação de um sistema de medição de vibração em unidades geradoras de uma usina hidrelétrica, localizada no estado de Minas Gerais. Medidores de vibração em geradores é fundamental para garantir a operação eficiente e segura desses equipamentos. A medição e análise de vibrações ajudam a identificar problemas como desalinhamento, desbalanceamento, desgaste de componentes e falhas estruturais antes que se tornem críticos. Os principais pontos de foco incluem: Minimizar a transmissão de vibrações para a estrutura do edifício; Utilização de sensores e softwares avançados para monitorar as vibrações em tempo real e realizar análises preditivas; Definição de limites de vibração aceitáveis para diagnosticar possíveis falhas e evitar danos maiores. Serão apresentados dados da usina, dos sistemas onde foram instaladas as medições, todo o processo de especificação dos materiais e equipamentos utilizados, fases de projeto, instalação, testes e comissionamento do sistema até a colocação em serviço e coleta dos dados de medição dos respectivos circuitos.

Palavras-chave: Usina hidrelétrica; medição de vibração; softwares; equipamentos.

Summary

The present monographic work deals with the study and implementation of a vibration measurement system in generating units of a hydroelectric power plant, located in the state of Minas Gerais. Vibration meters in generators is essential to ensure the efficient and safe operation of these equipment. Vibration measurement and analysis help identify problems such as misalignment, unbalance, component wear, and structural failures before they become critical. Key focus points include: Minimizing the transmission of vibrations to the building structure; Use of advanced sensors and software to monitor vibrations in real time and perform predictive analysis;

Definition of acceptable vibration limits to diagnose potential failures and prevent further damage. Data from the plant, the systems where the measurements were installed, the entire process of specification of the materials and equipment used, phases of design, installation, testing and commissioning of the system until the commissioning and collection of measurement data from the respective circuits will be presented.

Keywords: Hydroelectric power plant; vibration measurement; Software; equipment.

Introdução.

Em uma Usina Hidrelétrica (UHE), diversos sistemas e equipamentos auxiliares trabalham juntos e coordenados para gerar energia elétrica. Desde a concepção até a finalização do produto, ocorrem vários processos, tanto físicos quanto de gestão de recursos. O gerenciamento adequado dos insumos, maquinário e técnicas é crucial para otimizar o processo e reduzir custos, resultando em uma produção mais eficiente e com menos perdas.

A manutenção preditiva em uma usina hidrelétrica é essencial para garantir a eficiência, segurança e confiabilidade da operação. Ela permite identificar padrões e comportamentos anômalos que podem indicar possíveis falhas antes que se manifestem. Ao prever problemas, podemos intervir antes que causem falhas graves, evitando paradas não programadas e maximizando a disponibilidade operacional da usina.

Este relatório técnico detalha todas as etapas de implementação de um sistema de medição e análise de vibração de um conjunto turbina-gerador. Abrange os componentes e equipamentos utilizados, conceitos teóricos e a documentação de apoio para a execução prática, desde o projeto, levantamento de material, montagem e instalação de equipamentos eletroeletrônicos, parametrização, comissionamento, colocação em serviço e acompanhamento inicial pós-energização. A experiência prática demonstrou que o sistema funciona perfeitamente, reafirmando que aplicações técnicas podem melhorar os processos produtivos. Este estudo detalha os passos para implementação, materiais utilizados, projeto funcional, descritivo de montagem, comissionamento, parametrização e aplicação do sistema, contribuindo tanto para o

conhecimento científico acadêmico quanto para o conhecimento técnico aplicado no dia a dia das usinas.

Objetivo da pesquisa.

O objetivo desta pesquisa é verificar a efetividade do sistema implantado na usina em questão, mediante cálculo do retorno, levando em consideração que este serviço era realizado através da contratação de uma empresa terceira a cada dois anos.

Objetivos específicos.

Descrever o sistema implementado na usina;

Estabelecer base metodológica para sustentação dos passos de implementação;

Caracterizar os passos para implementação do sistema;

Apresentar dados do acompanhamento da implementação do sistema.

Usinas hidrelétricas e potencial hidráulico.

O funcionamento das Usinas Hidrelétricas (UHEs) ou de qualquer outra dessa tipologia segue o raciocínio do movimento hidráulico. Que nada mais é do que o uso do movimento das águas para obter energia hidráulica (QUEIROZ et al., 2013).

Tem-se, provavelmente, no movimento das águas a primeira fonte de energia utilizada para mitigar o esforço humano no trabalho. Não se tem datação exata sobre o uso da água como instrumento redutor de esforço de trabalho humano, mas aproxima-se de que a roda d'água (um dos instrumentos redutores de esforço do trabalho) tenha sido inventada há não menos do que 3 mil anos a.c., no processo irrigação agrícola (CASTRO et al, 2019)

Diversas ferramentas eram utilizadas na irrigação, entre elas o sistema denominado de "Roda Persa", que se apresentava como uma roda de madeira com conchas nas regiões periféricas, instalada nas beiras dos rios, que utilizava a movimentação das correntes das águas para impulsionar movimento sobre o seu eixo, o que elevava as águas dentro das conchas.

Com a evolução tecnológica, a humanidade passou a compreender que o movimento hidráulico poderia ser utilizado para diversas outras finalidades, uma das mais famosas foi o uso das rodas d'águas que eram utilizadas para a movimentação de moinhos. As rodas d'águas evoluíram e, em certo tempo, inspirou a criação das grandes máquinas hidráulicas que eram utilizadas para converter energia mecânica em outras formas de energia.

A determinação da energia advinda do aproveitamento hidráulico é promovida de modo geral a partir de duas variáveis: a vazão de aproveitamento e o desnível. Pode-se utilizar como exemplo o modelo da Figura 1, do qual se tem uma diferença na altura dos reservatórios. Aqui, considerando-se que o nível de cada reservatório permanece constante, pode-se ter o potencial hidráulico a partir da equação:

$$Ph = \gamma . Hb . Q$$

Do qual se tem Ph como a potência hidráulica (W); γ o peso específico da água (M/m³); Hb é a queda bruta (m); e Q considera-se a vazão (m³/s).

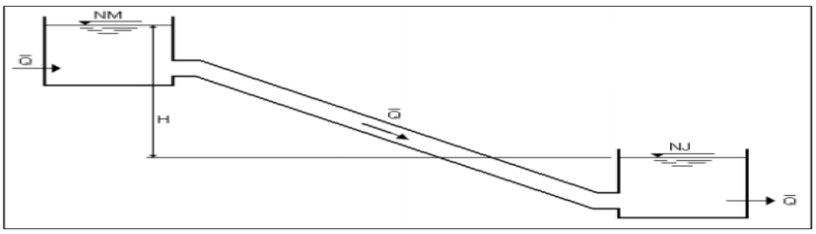


Figura 1: Modelo de Aproveitamento Hidráulico

Assim, o cálculo da energia hidráulica deve ser realizado para avaliar a capacidade do local de fornecer potencial energético suficiente para se instaurar usinas ou maquinário hidráulico. Neste ponto, já se entende a existência de várias formas de usinas hidrelétricas que podem ser construídas com base na capacidade de fornecimento energético do local.

Referencial teórico - Sistemas de Análise de Vibrações.

A análise de vibrações, é uma das técnicas utilizada quando se pretende realizar uma manutenção preventiva condicionada (controle de condição). Com a utilização dela podem-se detectar e identificar precocemente, no equipamento em análise, vários problemas: desalinhamentos, desequilíbrios, anomalias, folgas, entre outros. Para que a vibração possa ser analisada é necessário quantificar tais

parâmetros, que muitas vezes podem ser medidos por algum tipo de transdutor. Os principais sensores para medição de vibrações são:

- Sensores de deslocamento
- Sensores de velocidade
- Acelerômetros
- Sensores de fase e de frequência

A principal fonte de vibração em uma máquina rotativa é o próprio rotor. Logo, medindo a vibração do rotor, informações diretas são obtidas, e podem indicar a existência de desbalanceamento, desalinhamento e folgas mecânicas.

Neste projeto a medição do deslocamento relativo do rotor é feita de forma indireta, com sensores de proximidade sem contato.

Segundo a Norma ISO 7919 que trata da medição de vibração em eixos rotativos e critérios de avaliação, a grandeza preferida para medição da vibração do eixo é o deslocamento. E podem ser feitas medidas de deslocamento relativo e de deslocamento absoluto, sendo o primeiro o mais utilizado. A medição de deslocamento relativo é geralmente feita com transdutores sem contato, que medem o deslocamento entre o eixo e a estrutura da máquina. A medição de vibração absoluta pode ser feita de duas formas, com um transdutor sísmico (de velocidade ou aceleração) montado no eixo, ou com transdutores sem contato medindo a vibração relativa em combinação com transdutores sísmicos que medem a vibração do suporte. Os sensores são montados próximos uns aos outros e seus sinais são condicionados e somados vetorialmente para prover a medição do deslocamento absoluto.

A norma ISO 10816 que trata de medição de vibração das partes estacionárias, indica que podem ser utilizados sensores de deslocamento, velocidade de vibração ou aceleração, dependendo do critério de severidade adotado, do porte da máquina e da banda de frequência desejada. Existem sensores que incorporam um circuito que disponibiliza o valor RMS do sinal medido ou até mesmo o valor médio, ou pico-a-pico. A medição de vibração absoluta nos mancais é normalmente feita utilizando sensores sísmicos que medem a velocidade da vibração Vrms em milímetros por segundo, ou após integração eletrônica, o deslocamento pico-a-pico da vibração spp em micrômetros.

Os principais pontos de medição de vibração são nos mancais guia ou de escora, da unidade geradora. Além dos mancais, o núcleo do estator também é uma fonte de vibração na máquina, como resultado das forças de atração entre o rotor e o

estator do gerador, e em resposta às forças eletromagnéticas que agem sobre os enrolamentos dele. A vibração no gerador é medida radialmente e axialmente, geralmente através da vibração absoluta utilizando acelerômetros ou sensores de velocidade.

Além dos mancais, o núcleo do estator também é uma fonte de vibração na máquina, como resultado das forças de atração entre o rotor e o estator do gerador, e em resposta às forças eletromagnéticas que agem sobre os enrolamentos.

É importante destacar que neste projeto, a análise de vibrações será realizada com a utilização de sensores indutivos de proximidade.

Principais equipamentos utilizados neste projeto de um sistema de análise de vibrações.

Sensores de proximidade.

Entre os sensores de proximidade, que medem o deslocamento em relação a partes estacionárias, pode-se citar sensores capacitivos e indutivos. Consistem em uma sonda ou dispositivo físico que gera um campo eletromagnético e um circuito condicionador que gera uma tensão elétrica proporcional à distância entre a ponta da sonda e o elemento alvo.

Neste projeto os sensores de proximidade utilizados serão os do fabricante Baumer modelo IR12.D06L-Q60.IA1E.7BF.

Princípio de funcionamento de sensores de proximidade.

O sensor capacitivo mede a distância entre o objeto e o sensor através da variação da capacitância que existirá entre eles, com a criação de um campo elétrico alternado entre os dois. A sonda funciona como uma das placas do capacitor e o objeto funciona como a outra placa. A capacitância é afetada pela dimensão da sonda, pela superfície do objeto, pelo gap e pelo material que forma o gap. Devido às condições ambientais das Usinas Hidrelétricas, ao princípio de funcionamento do sensor e pelo material do eixo das unidades geradoras, o sensor de proximidade utilizado nos sistemas de monitoramento é o sensor indutivo. Seu princípio de funcionamento é baseado nas alterações do campo magnético entre o sensor e o objeto, que ocorrem devido o surgimento de correntes de Foucault induzidas. A Figura 2 ilustra um sensor de proximidade indutivo, com seu princípio de funcionamento e

sua constituição interna. Estes sensores necessitam de fonte de alimentação externa, usualmente entre 18 e 24Vcc. É considerado o melhor tipo de sensor para se medir a vibração lateral e axial do rotor em máquinas elétricas rotativas. Eles são montados diretamente na estrutura dos mancais dentro de furos rosqueados ou utilizando suportes rígidos adjacentes, fixados na carcaça do mancal. Tais sensores são utilizados também para medir a espessura da camada de óleo de lubrificação em mancais de escora.

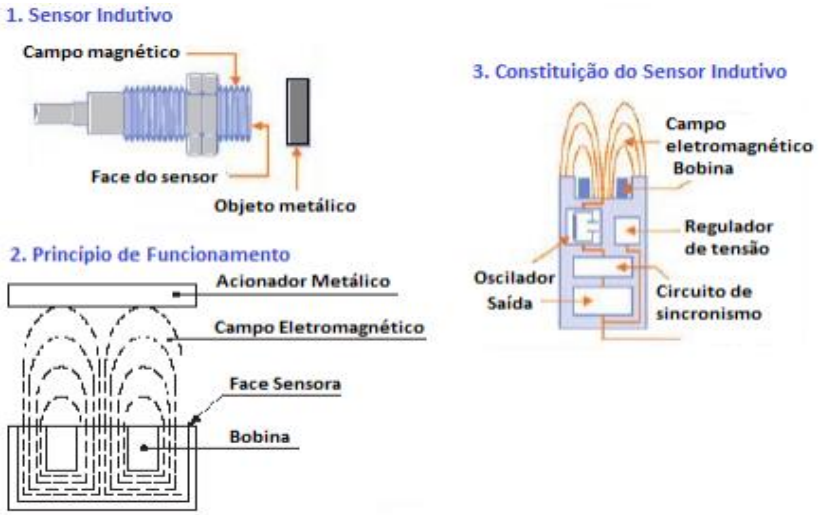


Figura 2: Ilustração de um sensor de proximidade indutivo, seu princípio de funcionamento.

Sensor de vibração absoluta

Este se trata de um transmissor de vibração é um dispositivo usado para medir e monitorar vibrações em máquinas e equipamentos. Converte sinais de vibração mecânica em sinais elétricos que podem ser analisados para detectar problemas como desalinhamento, desbalanceamento, desgaste de rolamentos, entre outros.

O seu princípio de funcionamento é parecido com o de um sensor de proximidade geralmente um acelerômetro ou velocímetro, que detecta as vibrações mecânicas da máquina ou estrutura.

Neste projeto os sensores de proximidade utilizados serão os do fabricante Vibrocontrol modelo TV 100.

Aquisitor de dados.

Um aquisitor de dados é um dispositivo ou sistema responsável por coletar, processar e armazenar informações de várias fontes, como sensores e instrumentos de medição. Esses dados podem ser sobre variáveis como temperatura, pressão, vibração, corrente elétrica e muito mais.

Neste projeto será utilizado o aquisitor da fabricante LYNX modelo ADS1800.

O módulo ADS1800 é um sistema de aquisição de dados de alta performance com entradas analógicas universais configuráveis individualmente por software.

Possibilita a montagem de um sistema distribuído de aquisição de dados, o que reduz drasticamente os gastos com cabeamento, uma vez que os módulos podem ficar próximos aos pontos de medição.

O gabinete compacto do ADS1800 possibilita sua utilização nas mais diversas aplicações, até mesmo naquelas onde o espaço é um fator limitante.

Estudo de caso.

O projeto, objeto de estudo da atual pesquisa, consiste no processo de instalação de um sistema de medição de vibração de uma usina hidrelétrica. Este foi implantado com o intuito de possibilitar a usina a realizar a análise de vibração das unidades geradoras com recursos próprios, sem a necessidade de estar contratando uma empresa terceira para execução dos serviços e elaboração de relatórios, visando reduzir gastos a longo prazo.

Contextualização

A UHE em questão conta com 55,00MW de potência instalada, é uma usina de fio d'água, possui um reservatório com 1,10 km² de área inundada e 7,09 hm³ de volume reservado no nível normal (El. 629,20 m).

A casa de máquinas possui duas turbinas com potência nominal de 25,51MW e vazão nominal de 22,20m³/s, operando com rotação nominal de 450 rpm.

O arranjo geral do aproveitamento abrange uma barragem, o circuito de adução composto pela Tomada d'água, túnel de adução de baixa pressão, chaminé

de equilíbrio e conduto forçado; e o circuito de geração composto pelo conjunto turbina/gerador e subestação.

A barragem, em concreto convencional, é constituída por um Vertedouro de crista livre, é controlado com uma comporta segmento de 7,40 x 10,80 m (L x A);

O sistema hidráulico de adução, localizado na margem direita do reservatório é composto por uma tomada d'água do tipo torre com dois vãos compostos por três grades cada (Figura 5), destinado a reter objetos sólidos que possam estar presentes no reservatório, evitando que eles desçam pelo canal de adução e colidam com as palhetas da turbina, o que poderia causar danos às mesmas.

Figura 3: Barragem e tomada d'água da UHE.

Serviço Auxiliar

O serviço auxiliar compreende as fontes em corrente alternada e corrente contínua da usina, responsáveis por alimentar cargas essenciais ao funcionamento da instalação.

O serviço auxiliar de CA é responsável por alimentar todos os equipamentos de corrente alternada da usina, tais como: circuitos de iluminação, motores e bombas, computadores, máquinas de solda, nobreaks, tomadas etc. As tomadas encontradas na casa de força e subestação apresentam os níveis de tensão de 220V monofásico e 380V trifásico.

O Serviço auxiliar de CC é responsável por alimentar os circuitos de comando, controle, sinalizações, alarmes, instrumentos, sistemas de proteção, iluminação de emergência, unidades de aquisição e controle de dados, PLC's e excitação inicial (field flash) dos geradores entre outros circuitos.

Serviço auxiliar CA

A UHE conta com quatro fontes de alimentação em corrente alternada. Duas dessas fontes partem diretamente dos terminais de cada gerador, com transformadores a seco, trifásicos de três enrolamentos, potência 300Kva, tensões 13.8/0.38/0.22kV. Uma fonte auxiliar em rede rural fornecida pela Cemig distribuição, com tensão de 23kV através de um Trafo refrigerado à óleo, potência 300kva e tensões 23/0.38kV. Além das fontes citadas anteriormente, tem um gerador a diesel de emergência, com potência de 180kVA.

As fontes são concentradas no painel QG-CA - quadro geral de corrente alternada. De lá partem todos os circuitos e alimentações auxiliares das três unidades geradoras e usina como um todo, compreendendo moto bombas, eletroválvulas, iluminação, sistema de ventilação forçada, retificadores, carregadores de bateria, entre outros.

O sistema de corrente alternada tem funcionamento automático ou manual. Em automático, a preferência de alimentação é de qualquer um dos geradores, considerando a sequência 1 e 2 de comutação. A quarta opção, na indisponibilidade dos geradores, tem-se a fonte externa Cemig e em caso de falha geral das fontes citadas anteriormente, o gerador de emergência é interligado no sistema manualmente a fim de restabelecer a usina.

Serviço auxiliar CC

O Serviço auxiliar de CC é responsável por alimentar os circuitos de comando, controle, sinalizações, alarmes, instrumentos, sistemas de proteção, iluminação de emergência, unidades de aquisição e controle de dados, PLC's dos geradores, inversor da sala de controle, válvula proporcional embarcada, proteções em geral,

reguladores de velocidade, circuito de comanto das bombas de injeção de óleo entre outros circuitos.

Os acionamentos de disjuntores e seccionadoras, instrumentação das turbinas e dos geradores também são alimentados em Vcc.

O sistema de 125 Vcc alimenta ainda de forma duplicada o controle do SPCI Sistema de Proteção Contra Incêndio.

Também chamados de carregadores de baterias, são os equipamentos responsáveis por fazer a retificação de corrente CA em corrente CC para alimentar os circuitos de CC e carregar e manter carregados os bancos de baterias, em regime de flutuação em condições normais.

São dois equipamentos idênticos, CB1 e CB2, instalados na sala dos retificadores, no lado montante da Casa de Força. Os retificadores são alimentados por 380V CA vindo dos disjuntores Q02 e Q31 do QD-A respectivamente e alimentam os circuitos de CC em 125Vcc.

O sistema de corrente contínua provém de fontes retificadoras tiristorizadas, microprocessadas operando com baterias ácidas que devem ser mantidas dentro dos limites de tensões para que foram construídas.

No painel sinóptico que existem nas portas dos retificadores pode-se fazer rápida monitoração dos equipamentos através de indicações com led's multicolores, em mostrador de cristal líquido (MCL), com 2x20 caracteres que possibilita ao operador visualizar modos de operação, medições e alarmes presentes.

Existem 2 bancos de baterias que são alimentados pelos retificadores, eles estão localizados na sala de baterias localizada no lado montante da Casa de Força e possui 60 elementos (baterias) cada.

Os bancos de baterias são identificados como:

Banco 1 – CB1

Banco 2 – CB2

Os conjuntos de baterias têm a função de manter as barras de corrente contínua 1 e 2 energizadas no caso de falhas nos carregadores ou falta de alimentação e corrente alternada das fontes de 380 Vca.

Ambos permanecem em flutuação com os retificadores e em caso de falta de CA suprem as cargas de CC no lugar dos retificadores.

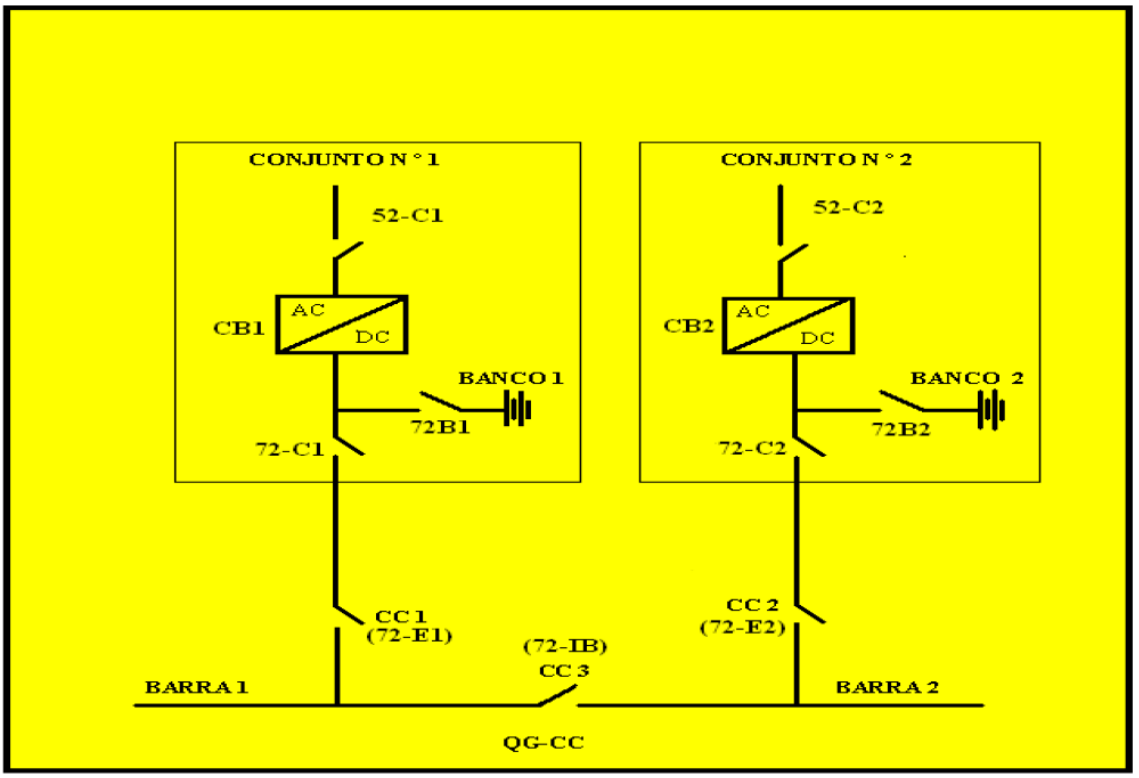


Figura 4: Diagrama unifilar serviço auxiliar cc.

Projeto específico do sistema de medições de vibração.

Descrição simplificada da instalação.

Serão instalados um total de 6 sensores indutivos de proximidade e 2 transmissores de vibração em cada unidade geradora, sendo dois proximetros no eixo no sentido radial do mancal combinado superior do gerador, dois no eixo no sentido radial do mancal guia inferior do gerador, e dois no eixo no sentido radial do mancal guia da turbina, 1 transmissor de vibração no mancal guia da turbina e 1 transmissor de vibração na sucção da unidade geradora.

Definição do escopo serviço da instalação dos sensores no mancal combinado das UG's.

No mancal combinado da UG01 e UG02 serão instalados 2 sensores de vibração relativa (proximetros) do eixo no sentido radial do mancal combinado superior do gerador. Conforme imagem abaixo.

Figura 5: Sensores no sentido radial MC.

Definição do escopo serviço da instalação dos sensores no mancal guia inferior das UG's.

No mancal guia inferior da UG01 serão instalados 2 sensores de vibração relativa (proximetros) do eixo no sentido radial do mancal combinado superior do gerador.

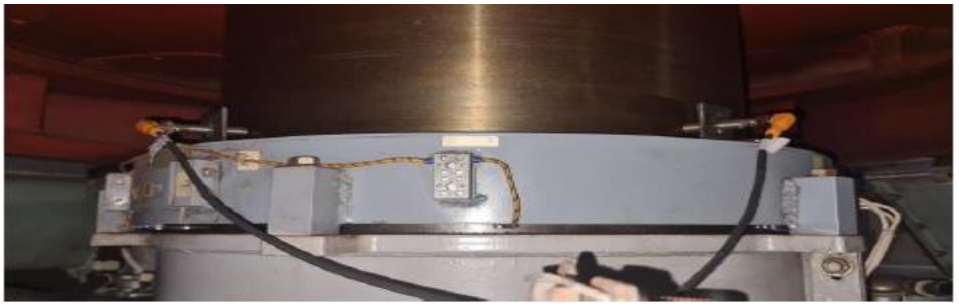


Figura 6: Sensores no sentido radial MGI UG01.

Definição do escopo serviço da instalação dos sensores no mancal guia da turbina das UG's.

No mancal guia da turbina da UG's serão instalados 2 sensores de vibração relativa (proximetros) do eixo no sentido radial do mancal guia da turbina, e 1 Sensor de Vibração Absoluta na Caixa no Sentido Radial do Mancal Guia da Turbina

Figura 7: Sensores no sentido radial MGT.

Figura 8: Sensor de Vibração Absoluta na Caixa no Sentido Radial

Definição do escopo serviço da instalação dos sensores na sucção das UG's.

Na sucção da UG01 será instalado 1 Sensor de Vibração Absoluta no Sentido Radial da Escotilha do Tubo de Sucção.

Figura 9: Sensor de Vibração Absoluta no Sentido Radial na sucção da UG01.

Definição do escopo serviço da instalação dos cabeamentos.

Cabeamento, equipamentos adjacentes e esquema de distribuição de cabos para instalação dos sensores do MC das UG's.

- Após a instalação dos dois sensores indutivos (próximetros), os respectivos cabos seguirão dentro de um Seal tubo (eletroduto flexível) de 1/2pol até a caixa de passagem CXLG-MVB-GER-U1 localizada no barril do gerador;
- Na caixa de passagem serão instalados 12 conectores borne SAK 2,50mm com duas conexões devidamente fixados através do trilho de montagem para conectores borne tipo SAK norma DIN;
- O cabo dos sensores será conectado ao borne juntamente com os cabos dos sensores que virão do MGI;
- Após a conexão pelos bornes SAK da CXLG-MVB-GER-U1, um único cabo de 10x0,5mm seguirá pelas canaletas e bandejas de distribuição de cabos até o painel principal PSV (Painel Sistema Vibração) que estará localizado na galeria elétrica.
- Após a instalação dos dois sensores indutivos (próximetros) na UG02, os respectivos cabos seguirão dentro de um sealtubo (eletroduto flexível) de 1/2pol até a caixa de passagem CXLG-MVB-GER-U2 localizada no barril do gerador;
- Na caixa de passagem CXLG-MVB-GER-U2 serão instalados 12 conectores borne SAK 2,50mm com duas conexões devidamente fixados através do trilho de montagem para conectores borne tipo SAK norma DIN;
- O cabo dos sensores será conectado ao borne juntamente com os cabos dos sensores que virão do MGI;
- Após a conexão pelos bornes SAK da CXLG-MVB-GER-U2, um único cabo de 12x0,5mm seguirá pelas canaletas e bandejas de distribuição de cabos até o painel principal QG-MVB-PIC (Painel Sistema Vibração) que estará localizado na galeria elétrica.

Cabeamento e equipamentos de necessários para instalação dos sensores do MGI das UG's.

- Após a instalação dos dois sensores indutivos (próximetros) na UG01, os respectivos cabos seguirão dentro de um sealtubo (eletroduto flexível) de 1/2pol até a caixa de passagem CXLG-MVB-GER-U1 localizada no barril do gerador;
- Após a conexão pelos bornes SAK da CXLG-MVB-GER-U1, um único cabo de 10x0,5mm seguirá pelas canaletas e bandejas de distribuição de cabos até o painel principal que estará localizado na galeria elétrica.
- Após a instalação dos dois sensores indutivos (próximetros) na UG02, os respectivos cabos seguirão dentro de um sealtubo (eletroduto flexível) de 1/2pol até a caixa de passagem CXLG-MVB-GER-U2 localizada no barril do gerador;
- Após a conexão pelos bornes SAK, um único cabo de 10x0,5mm seguirá pelas canaletas e bandejas de distribuição de cabos até o painel principal que estará localizado na galeria elétrica.

A figura abaixo é a caixa de ligação descritas acima.

Figura 10: Caixa de ligação MVB-GER-U1

Cabeamento e equipamentos de necessários para instalação dos sensores do MGT das UG's.

- Após as instalações dos dois sensores indutivos (próximetros) e do sensor de vibração absoluta no MGT da UG01, os cabos dos sensores irão seguir até o painel CBA GH001-U1 (painel de terminais da turbina);

- No painel GH001-U1 serão instalados 10 conectores borne de passagem SAK parafuso 2,50mm com duas conexões, 2 tampas para o borne SAK devidamente identificados;
- Após a conexão pelos bornes SAK, um único cabo de 10x0,5mm seguirá pelas canaletas e bandejas de distribuição de cabos até o painel principal que estará localizado na galeria elétrica.
- Após as instalações dos dois sensores indutivos (próximetros) e do sensor de vibração absoluta no MGT da UG02, os cabos dos sensores irão seguir até o painel CBA GH001-U2 (painel de terminais da turbina);
- No painel GH001-U2 serão instalados 10 conectores borne de passagem SAK parafuso 2,50mm com duas conexões, 2 tampas para o borne SAK devidamente identificados;
- Após a conexão pelos bornes SAK, um único cabo de 10x0,5mm seguirá pelas canaletas e bandejas de distribuição de cabos até o painel principal que estará localizado na galeria elétrica.

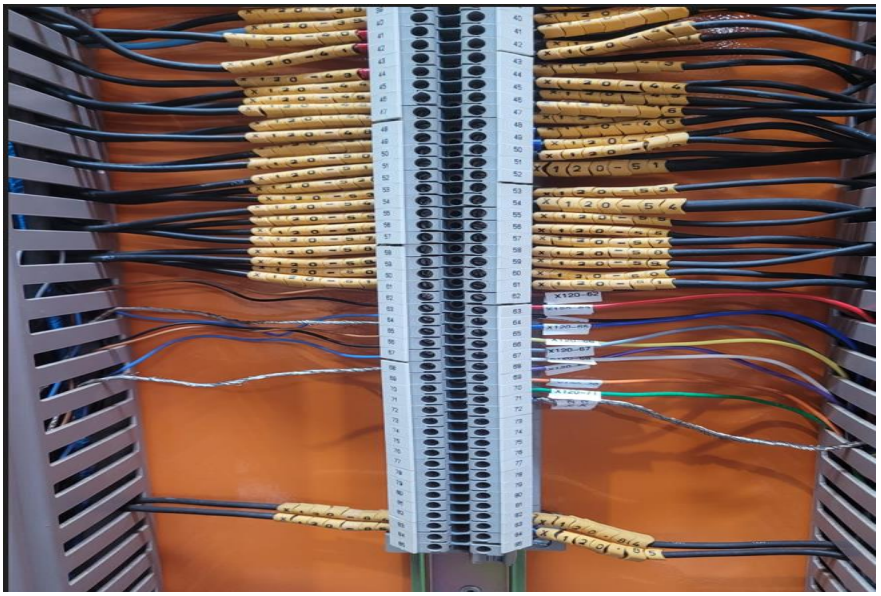


Figura 11: Cabos dos sensores chegando ao painel CBA GH001-U1 (painel de terminais da turbina);

Cabeamento e equipamentos de necessários para instalação dos sensores da Sucção das UG's.

- Após as instalações do transmissor de vibração (VTS) na saída da turbina de cada unidade geradora localizado no tubo de sucção, os respectivos cabos

de ambos os equipamentos seguirão até uma caixa de passagem CXLG-MVB-SUC-U1 e passagem CXLG-MVB-SUC-U2 que será instalada no corredor de acesso da sucção.

- Após a conexão pelos bornes SAK da CXLG-MVB-SUC-U1 e CXLG-MVB-SUC-U, um único cabo de 10x0,5mm seguirá por eletrodutos até o leito de cabos na galeria dos condutos, seguindo pelas bandejas aéreas de distribuição de cabos até o painel principal que estará localizado na galeria elétrica.

Figura 12: Caixa de ligação do sensor de medição de vibração absoluta da sucção.

Instalação do painel principal do sistema de análise de vibração.

Localização do painel sistema de vibração (PMVB)

O painel principal será instalado na coluna estrutural localizada região central da galeria elétrica, possibilitando assim um fácil acesso e montagem de um arranjo com computador, mesa e cadeira para que seja realizada a coleta e análise de dados de vibração.

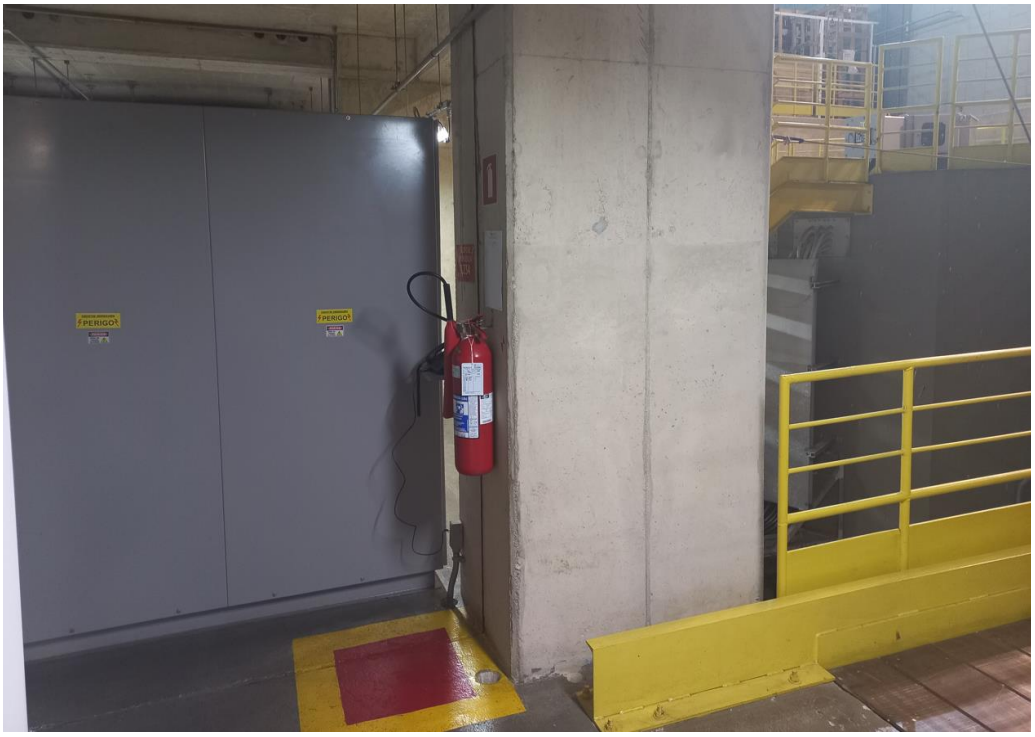


Figura 13: Local de instalação do painel dos equipamentos de medição de vibração.

Itens a serem instalados no Painel principal do medidor de vibração.

Internamente no painel serão instalados: 2 disjuntores 1 para cada circuito de determinada unidade geradora, 1 aquisitor de dados, réguas de borde SAK acopladas ao trilho norma DIN devidamente identificados, 2 pontos de aquisição de dados permitindo conexão física com computadores que serão realizados através de um conector DB25 Serial RS232.

Externamente no painel serão instalados um botão comutador KNOB 3 posições (UG01, UG02, desligado), 4 sinaleiros, sendo um verde com indicação de ligado, um vermelho com indicação de desligado, e dois azuis indicando em qual das unidades geradoras está sendo realizada a coleta de dados.

A fonte utilizada para alimentar o circuito é oriunda do painel QG-CC U# de cada unidade e possui tensão de 125Vcc, tal fonte é oriunda no sistema de serviço auxiliar CC da usina conforme citada no item 5.1.2 deste documento, elas vão do respectivo painel até o painel principal do sistema de medição de vibração MVB.

Segue desenho do painel principal.

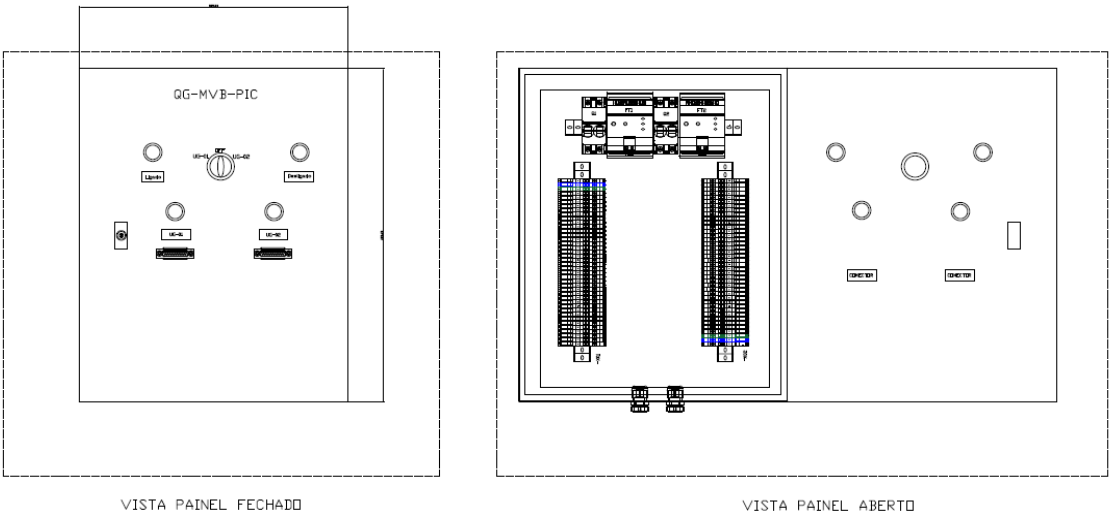


Figura 14: Painel principal sistema de análise de vibração (Fonte elaboração própria).

Modo Operante.

Com a intenção de realizar um menor gasto, apenas um aquisitor de dados com oito canais de entrada foi adquirido, então as leituras serão realizadas em uma unidade geradora por vez.

Para possibilitar esta operação com uma unidade geradora por vez de forma eficaz foi instalado um conector DB25 Serial RS232 fêmea no painel principal para cada unidade geradora, e um conector DB25 Serial RS232 macho no aquisitor de dados. Para entendimento seguem imagens com as conexões do circuito.

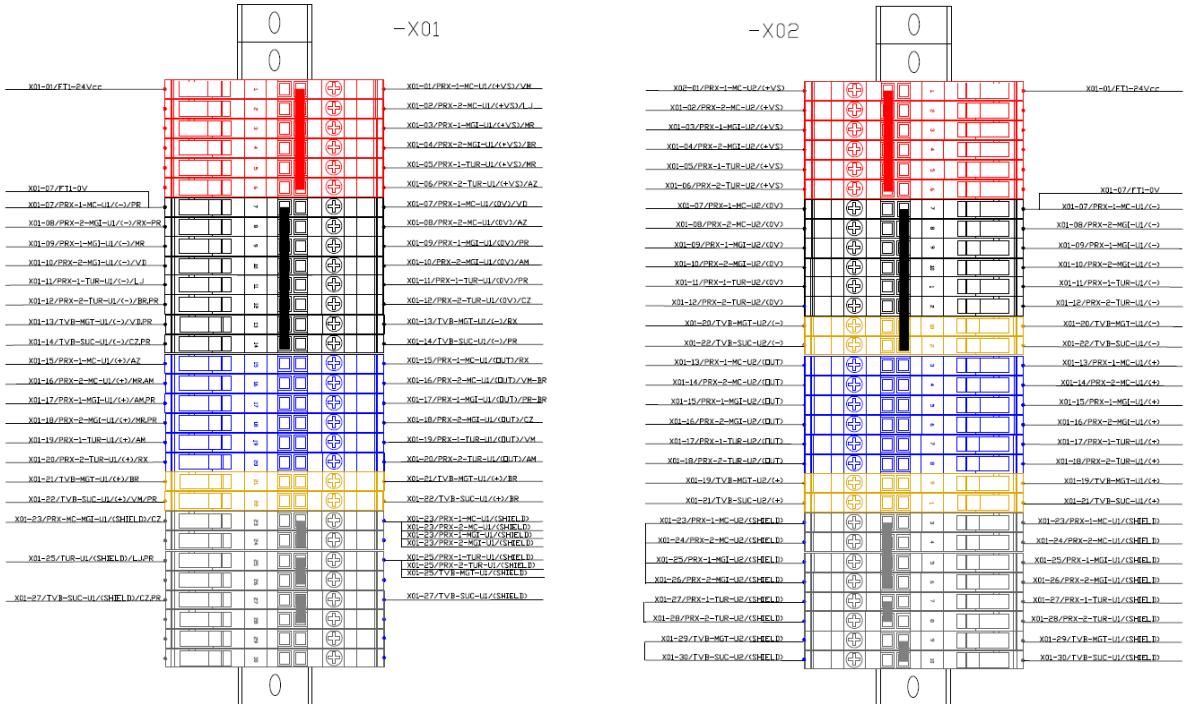
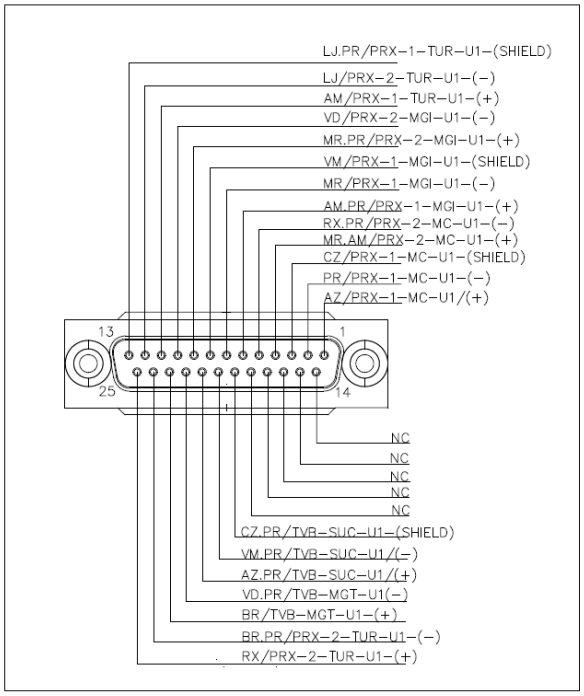
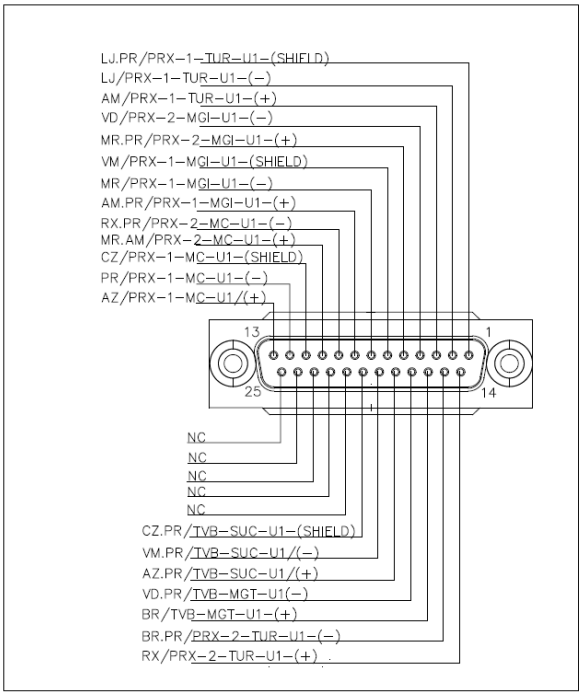


Figura15: Bornes de conexão do painel principal.

Nas entradas do aquisitor de dados foi inserido um conector DB25 Serial RS232 macho, que será plugado no conector fêmea da determinada unidade geradora que iremos realizar as medições. Segue imagem das conexões para contextualização.



CONECTOR DB25 FÊMEA – CONF1 E CONF2



CONECTOR DB25 MACHO – CONM1

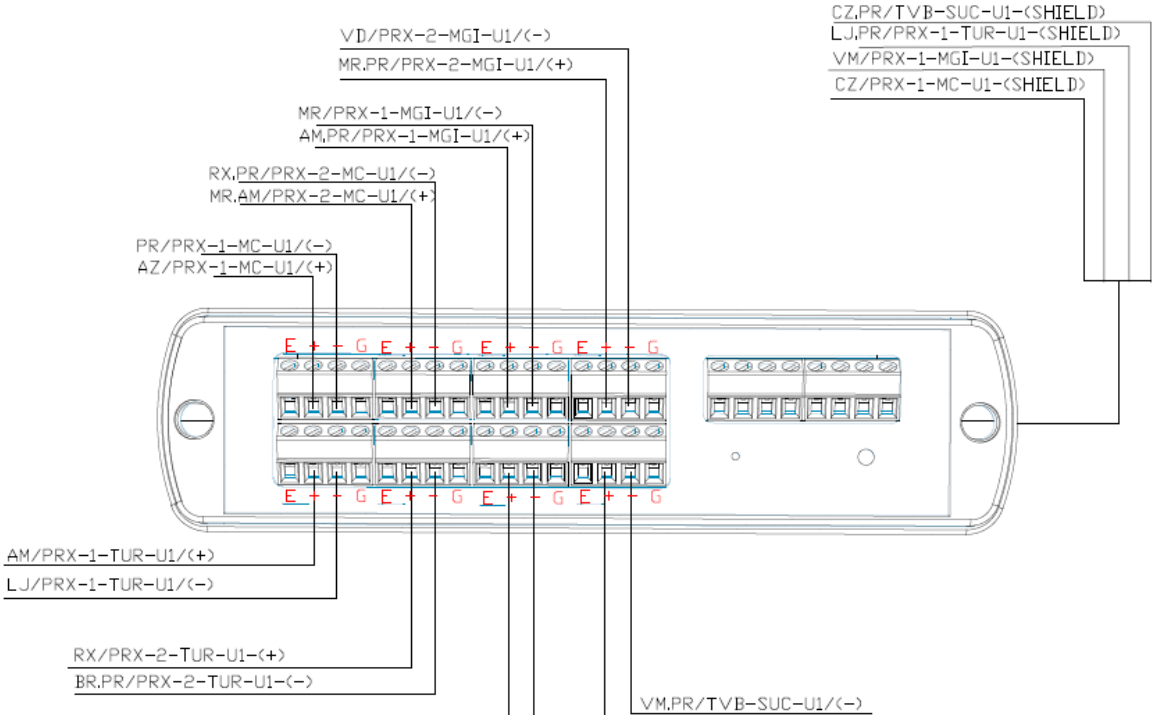


Figura 16: Esquema de ligação do aquisitor de dados.

Metodologia utilizada na coleta e análise de dados de medição de vibração.

Para todas as etapas do processo serão utilizados os softwares oferecidos pelo fabricante do aquisitor de dados a Lynx.

Configuração dos canais serão realizadas por meio do programa Lynx - ADS1800 Assistant.

Calibração por software e aquisição de dados serão realizadas por meio do programa Lynx – AqDados

Visualização, processamento e análise de dados usando o programa Lynx – AqDAnalysis.

Análise de vibrações relativas ao eixo.

A função principal dos pares de sensores de proximidade em quadratura é o registro da órbita do eixo da máquina, mas não apenas isso. No que diz respeito à

oscilação do eixo, monitora-se o valor pico-a-pico do sinal de cada sensor de proximidade.

Para as análises de vibração relativa do eixo (oscilações de eixo), será utilizada como referência a norma ISO 7919-5 (2005) – "*Mechanical Vibration – Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Rotating Shafts – Part 5*", que recomenda os valores limites de vibração relativa [deslocamento - µm] nos eixos de hidrogeradores, conforme o gráfico 1 abaixo:

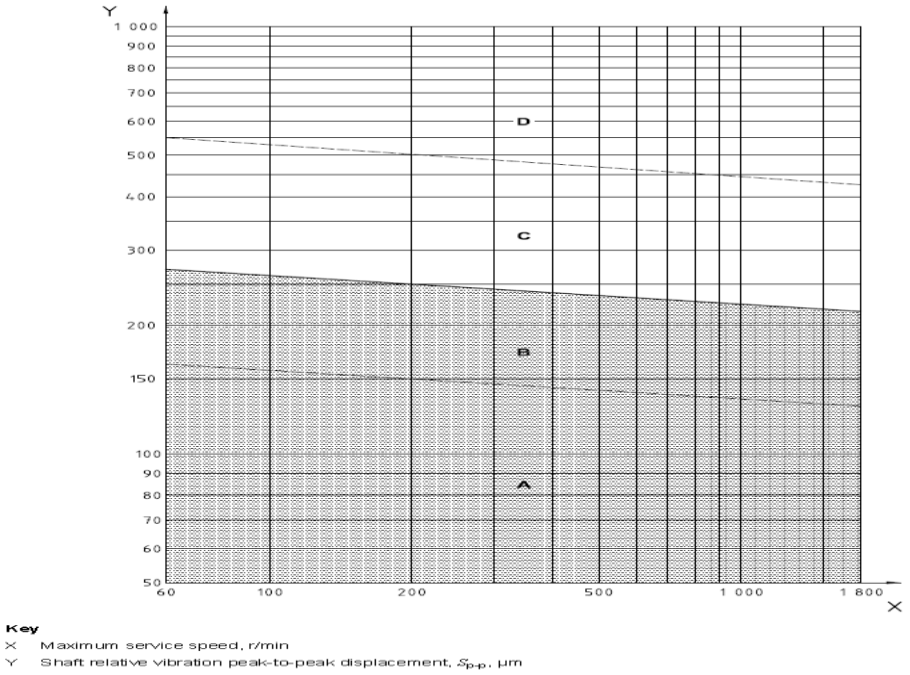


Figura 15: Gráfico 1.

De acordo com a norma citada anteriormente, as recomendações para as unidades geradoras da UHE em questão, cuja rotação é de 450 rpm, são as seguintes:

- Até 144 µm Classe A
- De 144 a 235 µm Classe B
- De 235 a 469 µm Classe C
- Acima 469 µm Classe D

Classe A-B: Máquinas com amplitudes de vibração dentro desta faixa são consideradas aceitáveis para operação contínua, sem restrições;

Classe C-D: Máquinas dentro desta faixa são consideradas com altas amplitudes de vibração. Neste caso é necessário verificar se os valores medidos permitem a operação contínua considerando o projeto específico e as condições operacionais. Máquinas com vibração dentro dessa faixa normalmente seriam desligadas para fins de análise e reparo, uma vez que suas magnitudes de vibração

são consideradas de severidade suficiente para causar danos à máquina. Em todo caso, deve-se avaliar comparando-se a vibração relativa do eixo em relação à folga diametral do mancal e a espessura do filme de óleo.

Análise vibração absoluta nos mancais

Para as análises de vibração absoluta em partes estáticas, usaremos a norma ISO 10816-5 "*Mechanical Vibration – Evaluation of Machine Vibration by Measurements on non-Rotating Parts - Part 5*", como referência, que define valores de velocidade de vibração [mm/s] para diferentes classes de máquinas rotativas. As unidades geradoras de UHE em questão estão classificadas no *Group 3*: "*Vertical machine sets with bearing housings which are all braced against the foundation, usually with operational speeds of between 60 r/min and 1.800 r/min*.", segundo esta norma que fornece os seguintes valores para avaliação:

- Até 1,6 mm/s Classe A
- De 1,6 a 2,5 mm/s Classe B
- De 2,5 a 4,0 mm/s Classe C
- Acima de 4,0 mm/s Classe D

Classe A: A vibração das máquinas recém-comissionadas normalmente encontra-se dentro desta faixa;

Classe B: Máquinas com vibração dentro desta faixa são normalmente considerados aceitáveis para a operação irrestrita em longo prazo;

Classe C: Máquinas com vibração dentro desta faixa são normalmente considerados insatisfatórios para operação contínua em longo prazo. Geralmente a máquina pode ser operada por um período limitado nesta condição até que surja uma oportunidade adequada para serem tomadas medidas corretivas;

Classe D: Valores de vibração dentro desta faixa são normalmente consideradas de gravidade suficiente para causar danos à máquina.

Segue abaixo uma imagem dos resultados esperados de um sistema de análise de vibrações semelhante ao deste projeto.

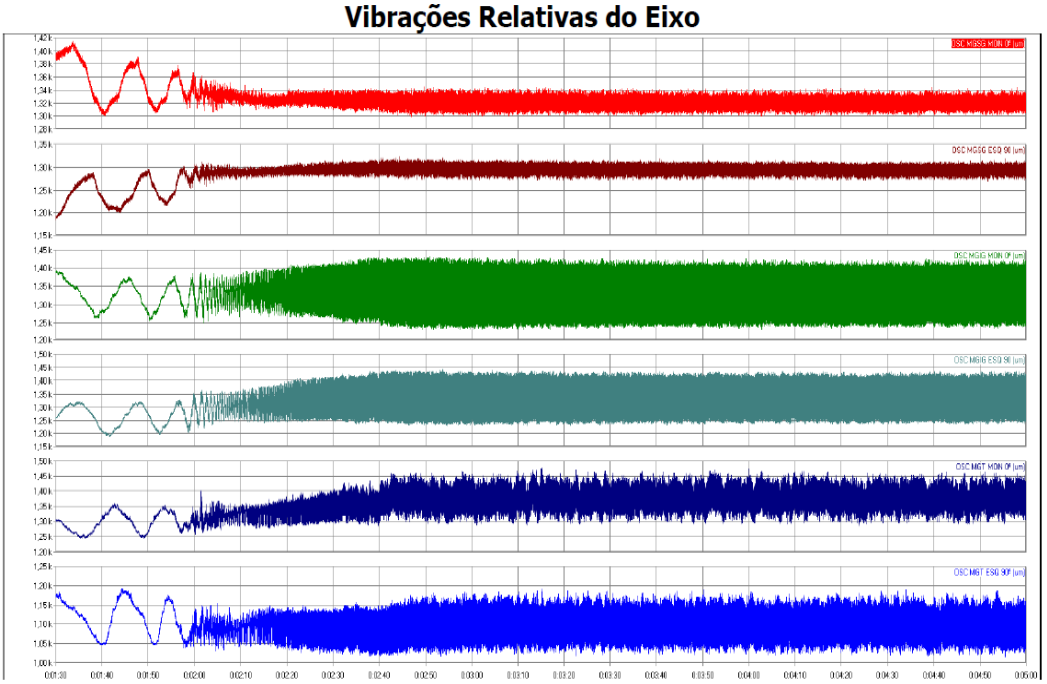


Figura 16: Resultados esperados.

Cálculos de abatimento da compensação financeira.

Devemos levar em consideração que no Brasil, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelecem diretrizes e requisitos para a manutenção das usinas.

Para análise de vibrações de um conjunto turbina gerador o tempo máximo entre verificações é de dois anos, o agente gerador em questão busca atender aos requisitos solicitados pelos órgãos fiscalizadores pontualmente.

Custos relacionados a contratação de terceiros.

A média das últimas duas contratações de empresas terceiras ficou em torno de R$77.520,00, em atendimento a normas estipuladas pelos órgãos fiscalizadores.

Ou seja, este serviço era contratado com periodicidade bianual.

Custo de equipamentos e materiais e mão de obra.

Para a análise de viabilidade econômica do projeto, devemos levar em consideração que não houve custos com mão de obra. Todo o serviço foi executado por colaboradores próprios durante seu expediente de serviço.

O custo total da aquisição dos equipamentos foi de R$103.084,78.

Análise de viabilidade econômica.

O estudo demonstra que a implementação deste sistema é economicamente viável, com um retorno significativo sobre o investimento.

O custo esperado a cada 4 anos caso não o sistema de análise de vibrações não tivesse disso implementado seria de aproximadamente R$155.040,00.

O custo total do investimento foi de R$103.084,78.

A energia que alimentara o circuito, manutenção e utilização serão realizadas por colaboradores próprios, então não foram somados gastos com estas questões.

O investimento irá se pagar em 2,657 anos, ou seja, em aproximadamente 2 anos e 8 meses após a implementação do circuito.

Conclusão.

A implementação de um circuito de análise de vibrações em uma usina hidrelétrica demonstrou ser uma solução eficaz para a manutenção preditiva e a otimização operacional dos equipamentos. Ao longo deste trabalho, foi possível verificar que a análise de vibrações permite a detecção precoce de falhas mecânicas, reduzindo significativamente o tempo de inatividade não programado e os custos de manutenção.

Os resultados obtidos com a instalação do circuito de análise de vibrações mostraram uma melhoria na confiabilidade e na eficiência dos equipamentos, contribuindo para a segurança operacional da usina. Além disso, a utilização de tecnologias avançadas de monitoramento e análise de dados nos proporciona uma visão detalhada do comportamento dos componentes críticos, permitindo intervenções mais precisas e assertivas.

Em suma, além de uma viabilidade econômica favorável a implementação do circuito de análise de vibrações representa um avanço significativo na gestão de manutenção da UHE em questão, promovendo a longevidade dos equipamentos, a redução de custos e a melhoria contínua dos processos operacionais.

É relevante a continuidade dos estudos e a expansão do uso dessa tecnologia para outras áreas da usina, visando a maximização dos benefícios observados.

Referências Bibliográficas.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 875, de 10 de março de 2020. Estabelece os requisitos e procedimentos necessários à aprovação dos Estudos de Inventário Hidrelétrico de bacias hidrográficas, à obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamentos hidrelétricos, à comunicação de implantação de Central Geradora Hidrelétrica com Capacidade Instalada Reduzida e à aprovação de Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica de Usina Hidrelétrica sujeita à concessão. Brasília, DF, 2020a. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-normativa-n-875-de-10-de-marco-de-2020-248070610. Acesso em: 5 dez. 2024.

Aherwar, A.; Khalid, S. Vibration analysis techniques for gearbox diagnostic: A review. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, v. 3, n. 2, p. 4–12, 2012.

Blaquez, R.; Barbosa, J. C. *Manutenção preditiva por análise de vibrações*. 2015. 190 p.

LANDIS+GYR. *Equipamentos de Medição Ltda*. Paraná, 2012.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Submódulo 16.1 Acompanhamento de manutenção. Disponível em: https://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FM%C3%B3dulo%2016%2FSubm%C3%B3dulo%2016.1%2FSubm%C3%B3dulo%2016.1_Rev_0.1.pdf. Acesso em: 5 dez. 2024.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Submódulo 17.6 Descrição das Informações Requeridas dos Agentes de Geração. Disponível em: https://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FM%C3%B3dulo%2017%

2FSubm%C3%B3dulo%2017.6%2FSubm%C3%B3dulo%2017.6_%20Rev_0.0.pdf. Acesso em: 5 dez. 2024.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Submódulo 6.9 Acompanhamento da manutenção de equipamentos e linhas de transmissão. Disponível em: https://ecmservice.ons.org.br/ecmprsite/ecmfragmentsdocuments/Subm%C3%B3dulo%206.9-PR_2020.12.pdf. Acesso em: 5 dez. 2024.

Randall, R. B. *Vibration-based Condition Monitoring*. J. W. & Sons Ltd, 2011.

Rao, S. S. *Mechanical Vibrations*. 5. ed. Pearson, 2010.

Roque, A. A. *Introdução à Manutenção Condicionada e Análise de Vibrações*.

Scheffer, C.; Girdhar, P. *Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance*. Newnes, 2004.

Sequeira, C. Sensores para medições de Vibrações Mecânicas – Acelerómetros. *Revista Manutenção*, n. 116, p. 4–6, 2013.

Sinha, J. K. *Vibration Analysis, Instruments, and Signal Processing*. T. & Francis Group, 2015.

Datasheet ADS1800 / ADS1800-SV (https://www.lynxtec.com.br/download/brochuras/ADS1800_Eng.pdf)

Datasheet transmissor de pressão VKP-011 (https://velki.com.br/pt/produto/medidores-de-pressao/transmissores-de-pressao/transmissor-de-pressao-mini-ip65---vkp-011)

Datasheet sensor indutivo Baumer IR12 (https://www.baumer.com/br/pt/resumo-dos-produtos/medicao-de-DISTÂNCIA/sensores-de-DISTÂNCIA-indutivos/curva-caracteristica-linearizada/ir12-d06l-q60-ia1e-7bf/p/24556)

Datasheet cabo conector Baumer CAM12.A5-11230353 (https://www.baumer.com/int/pt/resumo-dos-produtos/cabo-conectividade/cabo-conector/with-open-ended-wires/cam12-a5-11230353/p/43313)

Datasheet transmissor de vibração Vibrocontrol TV100 (https://vibrocontrol.com.br/produtos-e-aplicacoes/transmissor-de-vibracoes/)

Anexos.

TABELA 1: DETALHAMENTO DOS CUSTOS ASSOCIADOS AOS EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA A EXECUÇÃO DESTE PROJETO.

MANCAL COMBINADO UG01				
ITEM	QUANT.	UNID. MEDIDA	DESCRIÇÃO	VALOR
1	2	UN	SENSOR DE DISTÂNCIA INDUTIVO BAUMER IR12.D06L-Q60.IA1E.7BF	R$ 2.858,04
2	2X5M	UN	CABO CONECTOR TRANSMISSOR SINAL BAUMER CAM12.A5-11230353	R$ 2.700,00
3	2	UN	TERMINAIS TUBULAR ILHÓS DUPLO 0,50MM (20AWG) PRÉ-ISOLADO BC	R$ 2,00
4	2	UN	TERMINAL ILHOS PRÉ-ISOLADO 0,5MM2 BC	R$ 2,00
5	5	M	SEALTUBO ½POL ELETRODUTO FLEXIVEL FITA ACO ESPIRAL ZINCADO CAPA PVC PT	R$ 31,50
6	1	UN	CAIXA PASSAGEM ALTA 234X174X143MM S/EMBUTES OPACA	R$ 6,70
7	10	UN	CONECTOR BORNE PASSAGEM 2 CONEXOES 2,50MM 800V BG SAK 2,5MM	R$ 62,90
8	1	UN	TRILHO PARA BORNE COMPRIMENTO 15CM PARA BORNE SAK 2,5MM	R$ 20,00
9	2	UN	TAMPAS PARA BORNES NORMA DIN	R$ 2,00
			VALOR TOTAL:	R$ 5.685,14

MANCAL GUIA INFERIOR UG01				
ITEM	QUANTIDADE	UNID. MEDIDA	DESCRIÇÃO	VALOR
9	2	UN	SENSOR DE DISTÂNCIA INDUTIVO BAUMER IR12.D06L-Q60.IA1E.7BF	R$ 2.858,04
10	2X10M	UN	CABO CONECTOR TRANSMISSOR SINAL BAUMER CAM12.A5-11230353	R$ 5.400,00
11	2	UN	TERMINAIS TUBULAR ILHÓS DUPLO 0,50MM (20AWG) PRÉ-ISOLADO BC	R$ 2,00
12	2	UN	TERMINAL ILHOS PRÉ-ISOLADO 0,5MM2 BC	R$ 2,00
13	10	M	SEALTUBO ½POL ELETRODUTO FLEXIVEL FITA ACO ESPIRAL ZINCADO CAPA PVC PT	R$ 63,00
14	10	UN	CONECTOR BORNE PASSAGEM 2 CONEXOES 2,50MM 800V BG SAK 2,5MM	R$ 62,90
15	1	UN	TRILHO PARA BORNE COMPRIMENTO 15CM PARA BORNE SAK 2,5MM	R$ 20,00
16	2	UN	TAMPAS PARA BORNES NORMA DIN	R$ 2,00
			VALOR TOTAL:	R$ 8.409,94

MANCAL GUIA DA TURBINA UG01				
ITEM	QUANTIDADE	UNID. MEDIDA	DESCRIÇÃO	VALOR
17	2	UN	SENSOR DE DISTÂNCIA INDUTIVO BAUMER IR12.D06L-Q60.IA1E.7BF	R$ 2.858,04
18	2X5M	UN	CABO CONECTOR TRANSMISSOR SINAL BAUMER CAM12.A5-11230353	R$ 2.700,00
19	1	UN	TRANSMISSOR DE VIBRAÇÃO VIBROCONTROL TV100	R$ 1.895,00
20	100M	M	CABO TRANSMISSOR SINAL BLINDADO 4X0,34MM PHOENIX CONTACT 4X0,34 SAC-4P-1000,0-PUR/0,34	R$ 990,00
21	3	UN	TERMINAIS TUBULAR ILHÓS DUPLO 0,50MM (20AWG) PRÉ-ISOLADO BC	R$ 2,00
22	3	UN	TERMINAL ILHOS PRÉ-ISOLADO 0,5MM2 BC	R$ 2,00
23	10	M	SEALTUBO ½POL ELETRODUTO FLEXIVEL FITA ACO ESPIRAL ZINCADO CAPA PVC PT	R$ 63,00
24	15	UN	CONECTOR BORNE PASSAGEM 2 CONEXOES 2,50MM 800V BG SAK 2,5MM	R$ 94,35
25	1	UN	TRILHO PARA BORNE COMPRIMENTO 15CM PARA BORNE SAK 2,5MM	R$ 20,00
26	2	UN	TAMPAS PARA BORNES NORMA DIN	R$ 2,00
			VALOR TOTAL:	R$ 8.626,39

SUCÇÃO UG01				
ITEM	QUANTIDADE	UNID. MEDIDA	DESCRIÇÃO	VALOR
27	1	UN	TRANSMISSOR DE VIBRAÇÃO VIBROCONTROL TV100	R$ 2.858,04
28	10	M	CABO TRANSMISSOR SINAL BLINDADO 4X0,34MM PHOENIX CONTACT 4X0,34 SAC-4P-1000,0-PUR/0,34	R$ 1.648,00
29	100	M	CABO TRANSMISSOR SINAL BLINDADO 2 POLOS	R$ 550,00
30	1	UN	TERMINAIS TUBULAR ILHÓS DUPLO 0,50MM (20AWG) PRÉ-ISOLADO BC	R$ 2,00
31	3	UN	TERMINAL ILHOS PRÉ-ISOLADO 0,5MM2 BC	R$ 2,00
32	1	UN	CAIXA PASSAGEM ALTA 234X174X143MM S/EMBUTES OPACA	R$ 6,70
33	10	UN	CONECTOR BORNE PASSAGEM 2 CONEXOES 2,50MM 800V BG SAK 2,5MM	R$ 62,90
34	1	UN	TRILHO PARA BORNE COMPRIMENTO 15CM PARA BORNE SAK 2,5MM	R$ 20,00
35	2	UN	TAMPAS PARA BORNES NORMA DIN	R$ 2,00
			VALOR TOTAL:	R$ 5.151,64

MANCAL COMBINADO UG02				
ITEM	QUANTIDADE	UNID. MEDIDA	DESCRIÇÃO	VALOR
37	2	UN	SENSOR DE DISTÂNCIA INDUTIVO BAUMER IR12.D06L-Q60.IA1E.7BF	R$ 2.858,04
38	2X5M	UN	CABO CONECTOR TRANSMISSOR SINAL BAUMER CAM12.A5-11230353	R$ 2.700,00
39	2	UN	TERMINAIS TUBULAR ILHÓS DUPLO 0,50MM (20AWG) PRÉ-ISOLADO BC	R$ 2,00
40	2	UN	TERMINAL ILHOS PRÉ-ISOLADO 0,5MM2 BC	R$ 2,00
41	5	M	SEALTUBO ½POL ELETRODUTO FLEXIVEL FITA ACO ESPIRAL ZINCADO CAPA PVC PT	R$ 31,50
42	1	UN	CAIXA PASSAGEM ALTA 234X174X143MM S/EMBUTES OPACA	R$ 6,70
43	10	UN	CONECTOR BORNE PASSAGEM 2 CONEXOES 2,50MM 800V BG SAK 2,5MM	R$ 62,90
44	1	UN	TRILHO PARA BORNE COMPRIMENTO 15CM PARA BORNE SAK 2,5MM	R$ 20,00
45	2	UN	TAMPAS PARA BORNES NORMA DIN	R$ 2,00
			VALOR TOTAL:	R$ 5.685,14

MANCAL GUIA INFERIOR UG02				
ITEM	QUANTIDADE	UNID. MEDIDA	DESCRIÇÃO	VALOR
46	2	UN	SENSOR DE DISTÂNCIA INDUTIVO BAUMER IR12.D06L-Q60.IA1E.7BF	R$ 2.858,04
47	2X10M	UN	CABO CONECTOR TRANSMISSOR SINAL BAUMER CAM12.A5-11230353	R$ 5.400,00
48	2	UN	TERMINAIS TUBULAR ILHÓS DUPLO 0,50MM (20AWG) PRÉ-ISOLADO BC	R$ 2,00
49	2	UN	TERMINAL ILHOS PRÉ-ISOLADO 0,5MM2 BC	R$ 2,00
50	10	M	SEALTUBO ½POL ELETRODUTO FLEXIVEL FITA ACO ESPIRAL ZINCADO CAPA PVC PT	R$ 63,00
51	10	UN	CONECTOR BORNE PASSAGEM 2 CONEXOES 2,50MM 800V BG SAK 2,5MM	R$ 62,90
52	1	UN	TRILHO PARA BORNE COMPRIMENTO 15CM PARA BORNE SAK 2,5MM	R$ 20,00
53	2	UN	TAMPAS PARA BORNES NORMA DIN	R$ 2,00
			VALOR TOTAL:	R$ 8.409,94

MANCAL GUIA DA TURBINA UG02				
ITEM	QUANTIDADE	UNID. MEDIDA	DESCRIÇÃO	VALOR
54	2	UN	SENSOR DE DISTÂNCIA INDUTIVO BAUMER IR12.D06L-Q60.IA1E.7BF	R$ 2.858,04
55	2X5M	UN	CABO CONECTOR TRANSMISSOR SINAL BAUMER CAM12.A5-11230353	R$ 2.700,00
56	1	UN	TRANSMISSOR DE VIBRAÇÃO VIBROCONTROL TV100	R$ 1.895,00
57	100M	M	CABO TRANSMISSOR SINAL BLINDADO 4X0,34MM PHOENIX CONTACT 4X0,34 SAC-4P-1000,0-PUR/0,34	R$ 990,00
58	3	UN	TERMINAIS TUBULAR ILHÓS DUPLO 0,50MM (20AWG) PRÉ-ISOLADO BC	R$ 2,00
59	3	UN	TERMINAL ILHOS PRÉ-ISOLADO 0,5MM2 BC	R$ 2,00
60	10	M	SEALTUBO ½POL ELETRODUTO FLEXIVEL FITA ACO ESPIRAL ZINCADO CAPA PVC PT	R$ 63,00
61	15	UN	CONECTOR BORNE PASSAGEM 2 CONEXOES 2,50MM 800V BG SAK 2,5MM	R$ 94,35
62	1	UN	TRILHO PARA BORNE COMPRIMENTO 15CM PARA BORNE SAK 2,5MM	R$ 20,00
63	2	UN	TAMPAS PARA BORNES NORMA DIN	R$ 2,00
			VALOR TOTAL:	R$ 8.626,39

SUCÇÃO UG02				
ITEM	QUANTIDADE	UNID. MEDIDA	DESCRIÇÃO	VALOR
64	1	UN	TRANSMISSOR DE VIBRAÇÃO VIBROCONTROL TV100	R$ 2.858,04
65	10	M	CABO TRANSMISSOR SINAL BLINDADO 4X0,34MM PHOENIX CONTACT 4X0,34 SAC-4P-1000,0-PUR/0,34	R$ 1.648,00
66	100	UM	CABO TRANSMISSOR SINAL BLINDADO 2 POLOS	R$ 550,00
67	1	M	TERMINAIS TUBULAR ILHÓS DUPLO 0,50MM (20AWG) PRÉ-ISOLADO BC	R$ 2,00
68	3	UN	TERMINAL ILHOS PRÉ-ISOLADO 0,5MM2 BC	R$ 2,00
69	1	UN	CAIXA PASSAGEM ALTA 234X174X143MM S/EMBUTES OPACA	R$ 6,70
70	10	UN	CONECTOR BORNE PASSAGEM 2 CONEXOES 2,50MM 800V BG SAK 2,5MM	R$ 62,90

71	1	UN	TRILHO PARA BORNE COMPRIMENTO 15CM PARA BORNE SAK 2,5MM	R$ 20,00
72	2	UN	TAMPAS PARA BORNES NORMA DIN	R$ 2,00
			VALOR TOTAL:	R$ 5.151,64

PAINEL PRINCIPAL				
ITEM	QUANTIDADE	UNID. MEDIDA	DESCRIÇÃO	VALOR
74	1	UN	QUADRO COMANDO STANDARD 500X400X200MM S/FLANGE IP54	R$ 413,00
75	1	UN	AQUISITOR DE DADOS 01 LYNX ADS1800	R$ 24.000,00
76	1	UN	SOFTWARE SIGNALVISTA + AQDANALYSIS BASIC	R$ 9.500,00
77	1	UN	SOFTWARE SIGNALVISTA+ AQDANALYSIS PRO	R$ 12.500,00
78	2	UN	DISJUNTOR MINI DIN BIPOLAR 16A CURVA C 3KA 230/400V	R$ 133,80
80	1	UN	BOTAO COMUTADOR KNOB CURTO 3 POS FIX	R$ 25,00
81	3	UN	SINALEIRO MONOBLOCO ILUMINADO 22MM 220V PLÁSTICO LED'S VM/VD IP65	R$ 52,00
82	64	UN	CONECTOR BORNE PASSAGEM 2 CONEXOES 2,50MM 800V BG SAK 2,5MM	R$ 402,56
83	128	UN	TERMINAL TUBULAR (ILHOS) 0,50MM (20AWG) PRÉ-ISOLADO BRANCO	R$ 256,00
84	2	UN	TRILHO PARA BORNE COMPRIMENTO 15CM PARA BORNE SAK 2,5MM	R$ 40,00
85	2	UN	CONECTOR DB25 FÊMEA	R$ 5,00
86	2	UN	CONECTOR DB25 MACHO	R$ 5,00
87	6	UN	TAMPAS PARA BORNES NORMA DIN	R$ 6,00
			VALOR TOTAL:	R$ 47.338,36

Figura 16: Estação de trabalho para leitura das medições de vibrações.

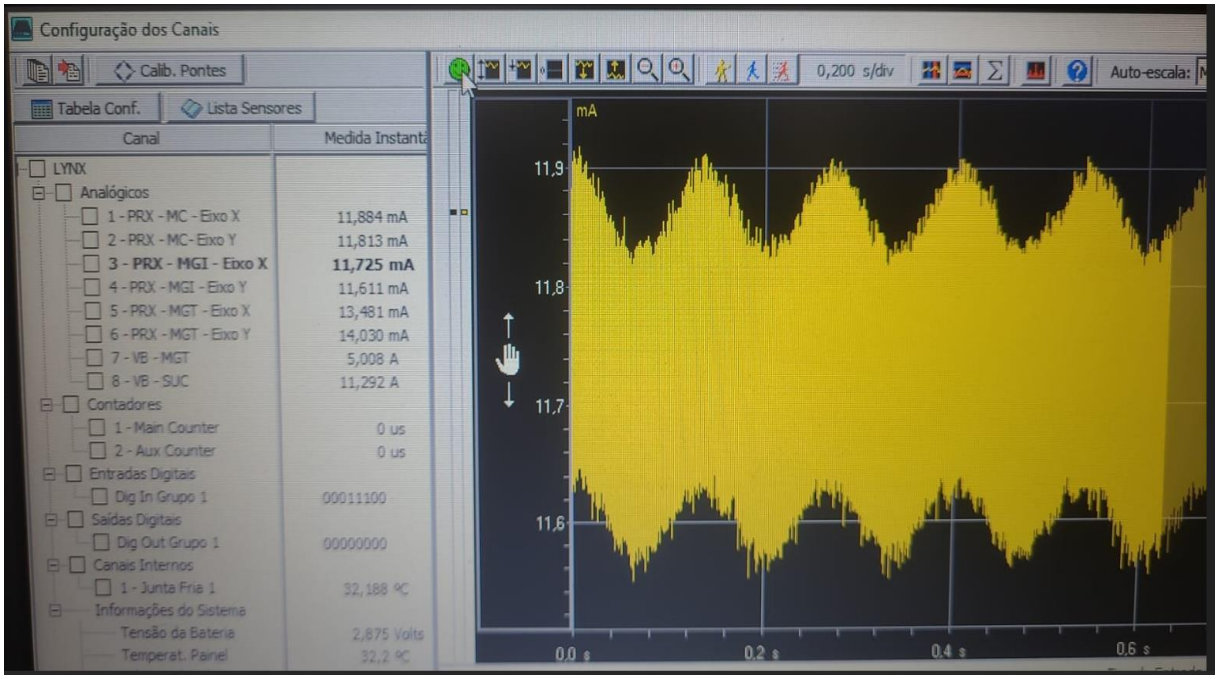


Figura 17: Comissionamento, Leitura do PRX MGI UG01 eixo X.

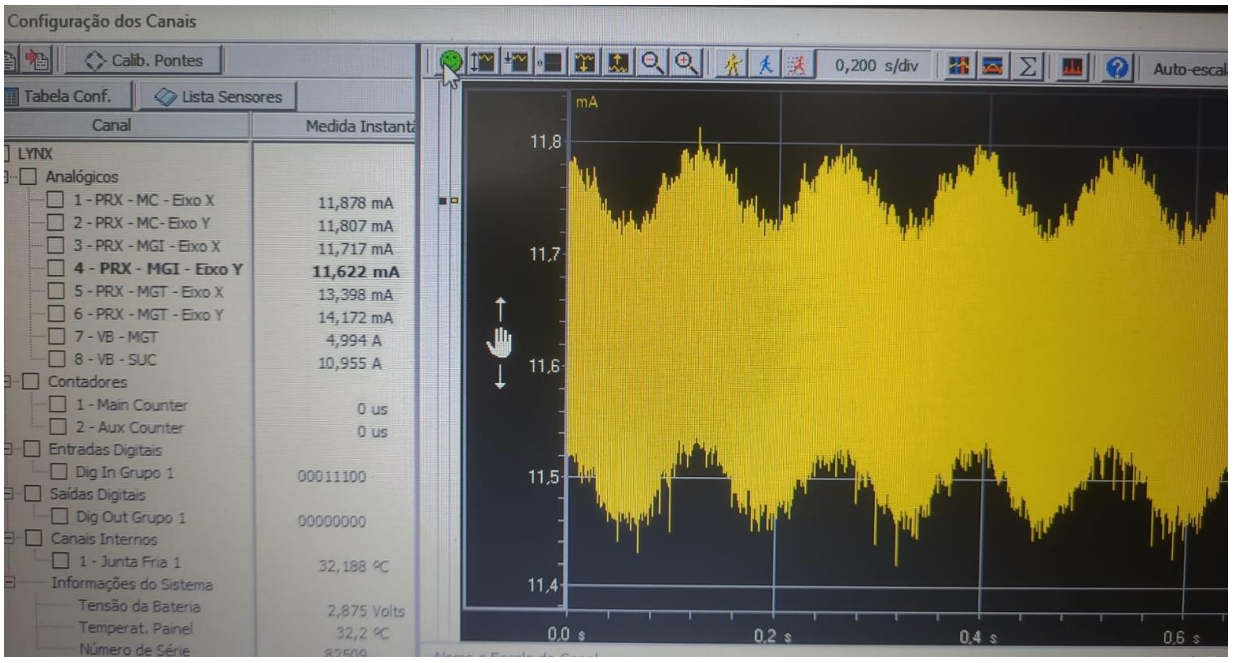


Figura 18: Comissionamento, Leitura do PRX MGI UG01 eixo Y.

Figura 18: Painel instalado na galeria elétrica.