

## TTEM 014/14

### ANÁLISE DE VIBRAÇÕES ONLINE: VISÃO GERAL

### ANALYSIS VIBRATIONS ONLINE: OVERVIEW

Signatários:

- **Alex Leandro da Costa<sup>1</sup>**
- Prof. Dr. José Rubens de Camargo – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Francisco José Grandinetti – Universidade de Taubaté/FEG-UNESP
- Prof. Dr. José Rui de Camargo – Universidade de Taubaté

Finalidade: Apresentar uma visão geral da utilização da análise de vibrações como ferramenta de ensaios não destrutivos (END).

Duração: 3 meses

1 – Aluno do curso de Especialização em Engenharia Aeronáutica da Universidade de Taubaté (UNITAU/SP) - [alexleandro21@yahoo.com.br](mailto:alexleandro21@yahoo.com.br)

Palavras chave: Vibração; Ensaio não destrutivo.

**Resumo.** Este trabalho técnico apresenta uma visão geral da utilização do ensaio não destrutivo (END) na análise de vibrações. Este tipo de inspeção apresenta-se como uma técnica muito utilizada nas indústrias em máquinas industriais e situações do cotidiano, os problemas de redução da vibração e isolamento das máquinas têm preocupado os engenheiros e técnicos de toda parte. À medida que as técnicas de isolamento e redução da vibração foram se tornando parte integrante do próprio projeto das máquinas, a necessidade de se proceder a uma medição e análise exata da vibração mecânica foi se tornando cada vez maior.

## 1. INTRODUÇÃO

Em muitas atividades humanas envolve alguma forma de vibração. Nós ouvimos porque o tímpano vibra, nós vemos porque ondas luminosas se propagam. A respiração está associada à vibração dos pulmões, os batimentos cardíacos são movimentos vibratórios do coração, a fala se fundamenta na vibração das cordas vocais e os movimentos humanos envolvem oscilações de braços e pernas. Em muitos outros campos da atividade humana, fenômenos apresentam variáveis cujo comportamento é oscilatório, economia, biologia, química, física, etc. No campo tecnológico, as aplicações de vibrações na engenharia são de grande importância nos tempos atuais.

Assim com a necessidade de se proceder a uma medição e análise exata da vibração mecânica foi se tornando cada vez maior e com essa necessidade parte foi atendida para máquinas lentas e robustas de antigamente, graças ao ouvido experiente e à sensibilidade dos engenheiros de produção ou, então, mediante a utilização de simples instrumentos óticos que revelam o deslocamento vibratório.

Nos últimos 15 ou 20 anos, uma nova tecnologia de medição de vibração foi sendo criada permitindo pesquisar máquinas modernas que funcionam em alta velocidade e num ritmo elevado de solicitação. Utilizando acelerômetros piezoelétricos, a fim de converter o movimento vibratório em sinais elétricos, o processo de medição e análise é habilmente realizado graças a versatilidade e funcionalidade de aparelhos eletrônicos. Essa funcionalidade foi muito acentuada com o desenvolvimento de microprocessadores, que ensejou a introdução de técnicas digitais de registro e análise e a automatização dos processos de coleta de dados.

A evolução dos equipamentos de medição cada vez mais leve e ainda com mais recursos de análise possibilitando assim avaliações de máquinas com maior rapidez e precisão, ampliou o campo de aplicação da análise de vibrações para a área de manutenção, visando não só a correção de problemas de projeto e instalação, mas também a detecção antecipada de defeitos nos componentes das máquinas, dando origem a filosofia de manutenção preditiva, conforme mostrado na figura 1.



Figura 1 – Situações do cotidiano que se encontra vibrações

## 2. Análise por vibração: conceitos e definições

### 2.1 DE ONDE VEM A VIBRAÇÃO

Na prática, é muito difícil evitar a vibração. Geralmente ela ocorre por causa dos efeitos dinâmicos de tolerância de fabricação, folgas, contatos, atrito entre peças de uma máquina e ainda, devido a força desequilibrada de componentes rotativos e de movimento alternado. É comum acontecer que vibrações insignificantes excitem as frequências naturais de outras peças estruturais, fazendo com que sejam ampliadas, transformando-se em vibrações e ruídos de monta.

Entretanto às vezes, a vibração mecânica realiza um trabalho útil. Por exemplo, podemos provocar a vibração intencionalmente em dispositivos alimentadores de componentes ou peças numa linha de produção, em compactadores de concreto, em banhos de limpeza ultrassônicos e em britadores

Máquinas vibratórias de ensaio são bastante usadas para transmitir certo nível controlado de vibração aos conjuntos e subconjuntos e examinar suas respostas físicas e funcionais, de modo a assegurar sua resistência à vibração ambiental.

Uma exigência básica de todo trabalho vibratório, seja no projeto das máquinas que usam energia vibratória seja obtendo e mantendo o bom funcionamento de equipamentos industriais, está na capacidade de se conseguir uma avaliação por meio da medição e análise.

### 2.2 O QUE É VIBRAÇÃO

Diz-se que um corpo vibra quando descreve um movimento oscilatório em relação a um corpo de referência. O número de vezes que um ciclo do movimento se completa no período de 1 segundo é chamado de Frequência, sendo medido em hertz (Hz).

O movimento pode consistir num único componente ocorrendo numa única frequência, como acontece com um desbalanceamento puro, ou em vários componentes que ocorrem em frequências diferentes, simultaneamente, como, por exemplo, no caso de folgas ou máquinas alternativas.

Na prática, os sinais de vibração consistem geralmente de inúmeros componentes com frequências distintas, que ocorrem simultaneamente, de modo que, de imediato, não é possível identifica-las e quantifica-las simplesmente examinando os registros de vibração em função do tempo.

Os diversos componentes podem ser revelados e quantificados registrando-se a amplitude da vibração em função da sua frequência. O gráfico que mostra o nível de vibração em função da frequência é chamado de Espectro. A subdivisão de sinais de vibração em elementos individuais de frequência, chamada de Análise de Frequência, é uma técnica fundamental para o diagnóstico de vibrações.

Quando analisamos as vibrações de uma máquina, normalmente encontramos um número importante de componentes em diferentes frequências, que estão diretamente relacionadas aos movimentos fundamentais de diversas peças da máquina. Portanto, através da análise de frequência, podemos descobrir as causas das vibrações e, através do acompanhamento da evolução dos diversos componentes das vibrações, detectar defeitos e prever falhas nos componentes das máquinas.

## 2.3 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

**Energia:** Capacidade de um sistema realizar trabalho, isto é, movimentar ou deformar objetos. A energia pode ser armazenada na forma de movimento (energia cinética) ou de deformação (energia potencial).

**Inércia:** Tendência de um sistema mecânico em manter o seu estado de movimento. Quanto maior é a massa do sistema, maior é sua inércia, assim como sua capacidade de armazenar energia cinética.

**Rigidez:** Propriedade de um sistema gerar forças que se opõem a deformação ou deslocamento de suas partes. Quanto maior é a rigidez do sistema, maior é a sua capacidade de armazenar energia potencial.

**Amortecimento:** Propriedade de um sistema gerar forças que se opõem ao movimento relativo de suas partes. Quanto maior é o amortecimento do sistema, maior é sua capacidade de dissipar energia.

**Sistema linear:** As forças de reações geradas em um sistema linear são diretamente proporcionais ao deslocamento (rigidez) e à velocidade (amortecimento).

**Grau de Liberdade de um Sistema:** Mínimo número de coordenadas necessárias para definir os movimentos do sistema.

**Vibração:** É um movimento de um corpo ao redor de uma posição de equilíbrio, em resposta a uma perturbação.

### 2.3.1 VIBRAÇÕES DE MÁQUINAS

Todos os sistemas mecânicos possuem massa, rigidez e amortecimento e se comportam de forma semelhante a um sistema massa-mola.

Quando uma máquina está vibrando você pode sentir isto. Sente como se a superfície estivesse pulando de um lado para outro.

“Vibrar”, de acordo com o dicionário “Webster”, é como “balançar ou mover para lá e para cá ou de lado a lado”. É um movimento oscilatório. Isto significa que se move de um lado para outro com o passar do tempo.

Para associar isto com a indústria de vibração, vibração é o movimento pulsante de uma máquina ou uma parte de máquina de seu lugar original em relação ao resto. Vibração é uma resposta mensurável às forças que agem sobre a máquina e pode ser representada por esta equação:

$$\text{Resposta (Amplitude de Vibração)} = \text{Força Dinâmica} / \text{Resistência Dinâmica}$$

Em máquinas rotativas, as forças aplicadas ao eixo se transmitem através dos mancais. Quando o eixo gira, ele é empurrado contra o mancal. O mancal tenta forçar o eixo a voltar a sua posição neutra. Quanto maior o desvio ou defeito, como desbalanceamento, maior é a força aplicada e mais alta será o nível de vibração.

Isto ilustra como vibrações são respostas às forças. É um processo de causa e efeito. Medindo as vibrações, poderemos avaliar indiretamente a intensidade das forças e a severidade dos defeitos.

É normal máquinas vibrarem, e como uma regra, um baixo nível de vibração indica que o equipamento está funcionando corretamente. Quando a vibração começa a aumentar, a máquina provavelmente está caminhando para uma possível falha.

Note que a existência de um nível mais alto de vibração nem sempre indica que há um problema na máquina. Por exemplo, um pistão em um compressor alternativo não pode ser perfeitamente equilibrado, assim algum nível de vibração é esperado.

A partir do ponto que nem toda vibração é destrutiva, você deverá estar apto a identificar e corrigir aquelas vibrações que resultarão eventualmente em falhas na máquina. Estas vibrações são os sintomas de forças que podem causar desgastes em mancais, problemas estruturais ou ruídos.

Quando um transdutor de vibração está montado no mais próximo possível do mancal, ele captará a vibração no ponto em que as forças são transmitidas do rotor para a carcaça, isto é, ponto onde as influências da distribuição de massa e rigidez da carcaça são menores e as vibrações melhor representam a intensidade das forças geradas no interior da máquina.

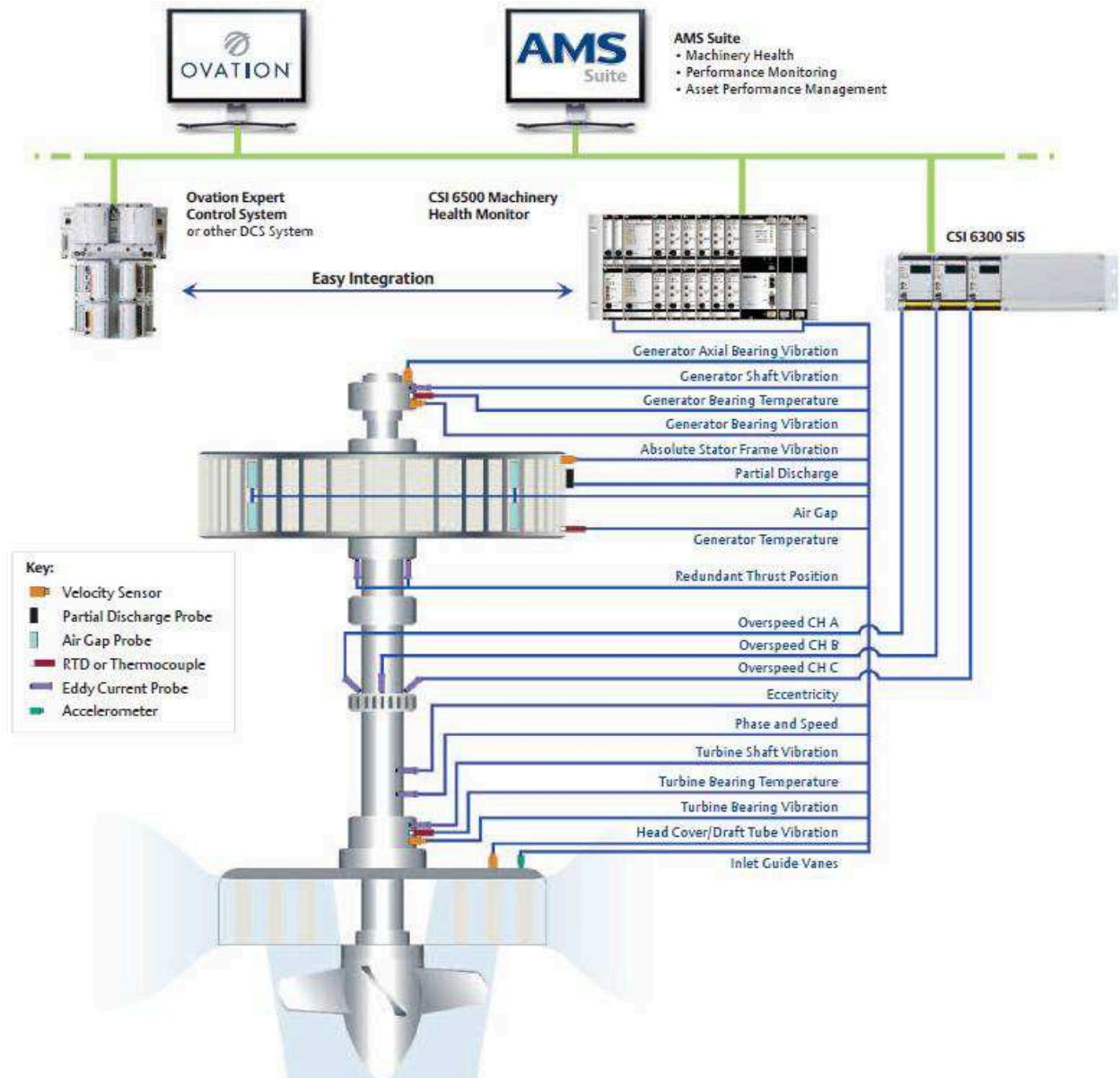


Figura 2 – Aplicação do sistema de monitoração de vibração.

### 3. APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA

Pode notar que cada vez mais a indústria está investindo em manutenção preventiva e preditiva, isto é, estão instalando equipamentos para monitoração online de suas grandes máquinas, esse investimento é justificado, pois quando tem uma manutenção em grandes máquinas por quebra os custos são enormes e também tem o tempo de uma fábrica parada sem produzir, assim nota-se que o investimento feito para monitoração e verificação de possível falha é justificado.

Assim, existem algumas aplicações integradas com diversos sistemas hoje para realizar essa monitoração, porém existem alguns exemplos que são mais aplicados na indústria petroquímica e mineradora onde tem hoje muitas aplicações de sistema de monitoração online de vibração. Nas figuras 3 e 4 tem um exemplo de um compressor e turbina que tem sistema de monitoração online.



Figura 3 – Compressor

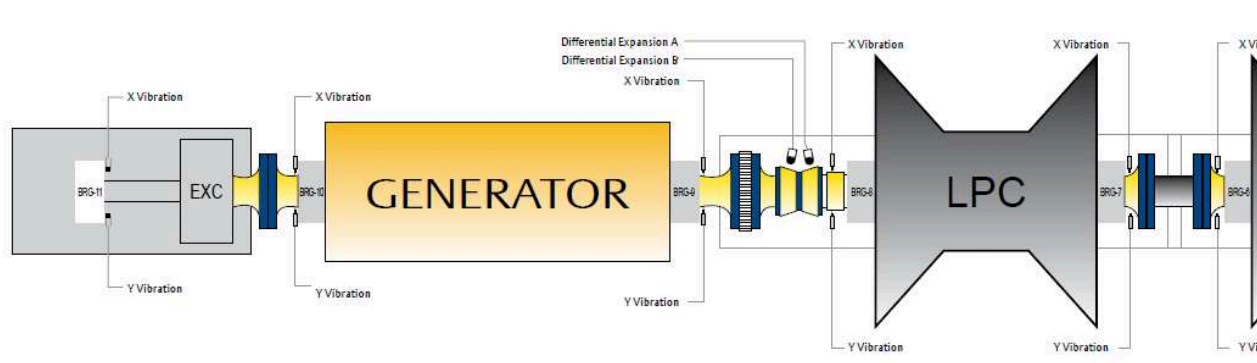


Figura 4 – Turbina

### 3.1 SISTEMA CSI 6500

CSI 6500 Machinery Health Monitor da empresa Emerson é um monitor de máquinas on-line e é um drop-in substituto para o seu sistema de proteção desatualizado. Além disso, ele pode ser atualizado para a integração com o CSI 2130 analisador baseado em rota, AMS Machinery Manager software, ou um processo de automação Ovation® ou DeltaV™ System esse processo pode ser instalado mesmo quando as máquinas estão funcionando.

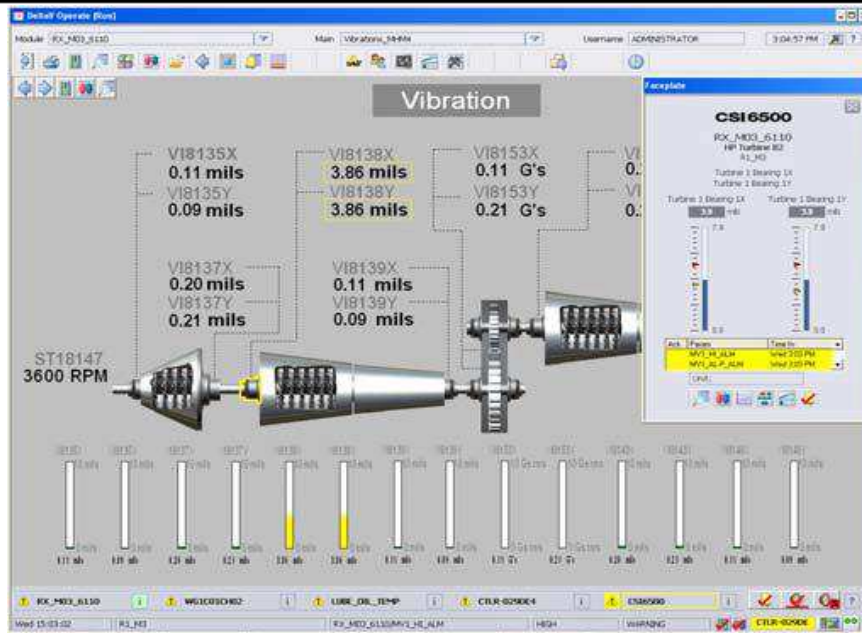


Figura 5 – Tela do sistema de controle do DeltaV.

Na figura 5 tem uma tela de monitoração do sistema de controle DeltaV, nota-se que tem várias variáveis sendo analisada na máquina em tempo real, essas variáveis tem alarmes para caso uma delas se afaste do valor mínimo previsto para segurança do equipamento, e se for preciso gera um alarme alertando o operador que tem algo errado com esse equipamento.

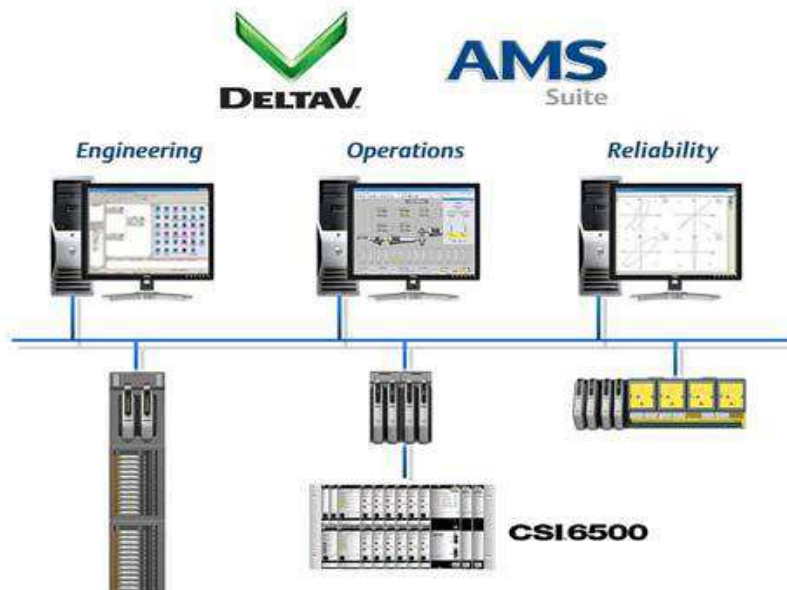


Figura 6 – Arquitetura do sistema CSI6500.

Na figura 6 tem uma das possíveis arquiteturas do sistema CSI6500 para monitoração da máquina que desejar, nota-se que no mesmo sistema esta integrada o sistema de controle de processo, também tem o sistema SIS de segurança, onde podem ter até o nível SIL3 e também na mesma rede temos o CSI6500.



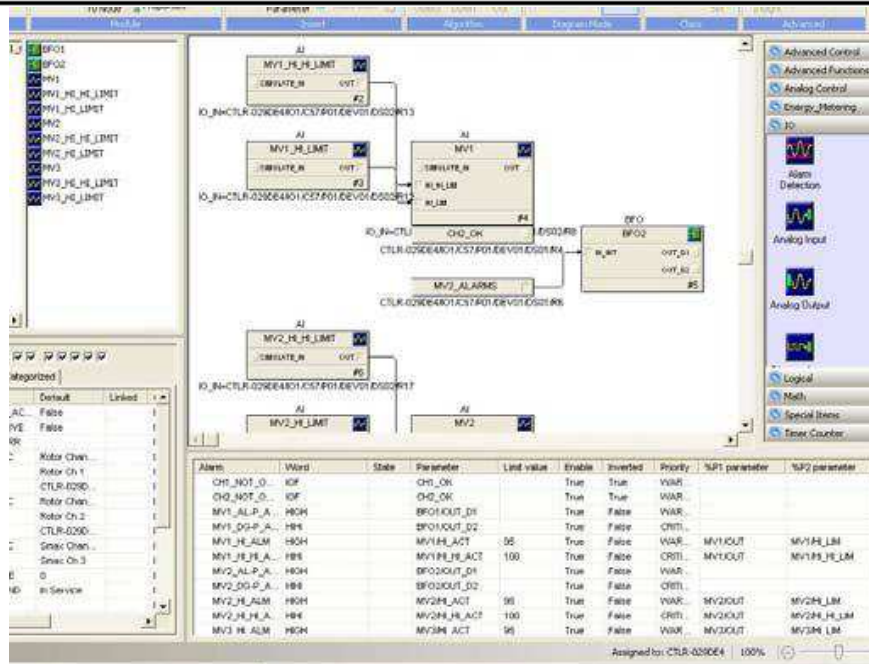


Figura 7 – Configuração de blocos para monitoração

Na figura 7 tem exemplo de uma configuração em blocos de função, o status do sensor, status do relé, parâmetros de vibração, limites de alarmes, unidades de engenharia, ponto descrições faixa de escala de todos configurados automaticamente na ferramenta de configuração do sistema DeltaV que está integrado com o CSI6500.

### 3.2 SISTEMA BENTLY NEVADA

Bently Nevada da empresa GE Measurement & Control tem sido sinônimo de proteção e monitoramento da situação de máquinas por mais de 50 anos. Empresa líder em soluções avançadas e de alta qualidade em monitoramento de máquinas para otimização de segurança de planta, tempo em operação e eficiência.

Os sistemas de proteção e monitoramento de máquinas Bently Nevada da GE Energy abrangem mais de uma dúzia de modelos diferentes. Combinados, eles formam a maior base instalada de transdutores permanentemente instalados e canais de monitoramento no mundo. É uma posição de confiança, que foi conquistada ao longo de mais de quatro décadas de aprendizagem, refinando as melhorias para atender às mais exigentes aplicações da indústria. Aplicações que requerem a maior integridade. Aplicações onde falsos disparos ou disparos perdidos não podem ser tolerados.

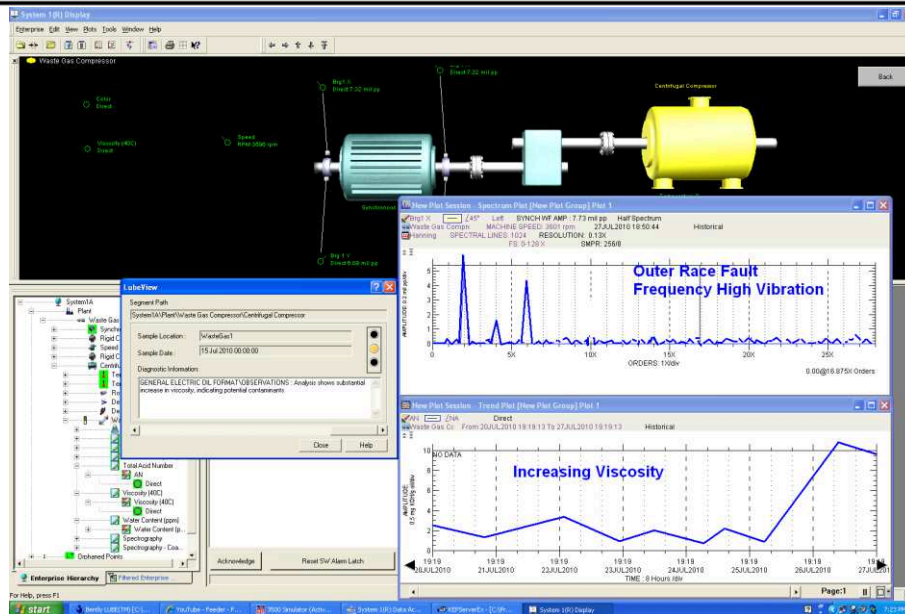


Figura 8 – Tela de monitoração

Na figura 8 tem uma tela de monitoração do sistema de controle Bently Nevada, nota-se que tem várias variáveis sendo analisada na máquina em tempo real, também pode-se analisar em gráficos as variáveis.

### 3.3 SISTEMA TRICONEX

Invensys é a única empresa de automação com a experiência e histórico de segurança e controle crítico como demonstrado por seus 30 anos de experiência em sistemas de segurança, mais de 13.000 sistemas instalados usados hoje em aplicativos de controle críticos e de segurança em todo o mundo. Eles acumularam coletivamente mais de 600 milhões de horas de operação segura. Além disso, os controladores Triconex são os únicos controladores padronizados comerciais da comissão de regulamentação nuclear aprovada para aplicativos 1E Nuclear com um número significativo de engenheiros de segurança funcional certificados TÜV implantados em todo o mundo e patenteados com tecnologia TMR (Redundância Modular Tripla). Esse sistema está na categoria de PLC de segurança.

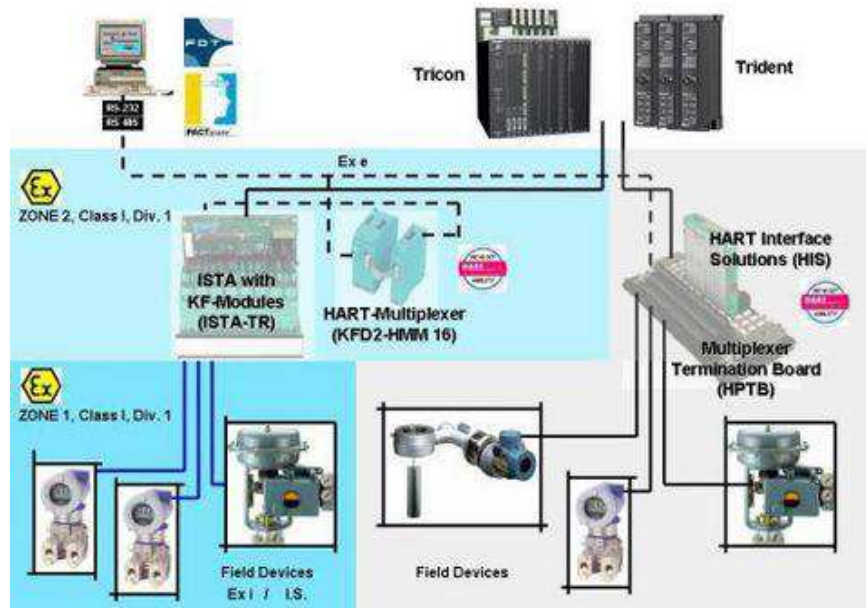


Figura 9 – Arquitetura do sistema Triconex.

Na figura 9 tem uma das possíveis arquiteturas do sistema Triconex integrado com o sistema IA para monitoração.

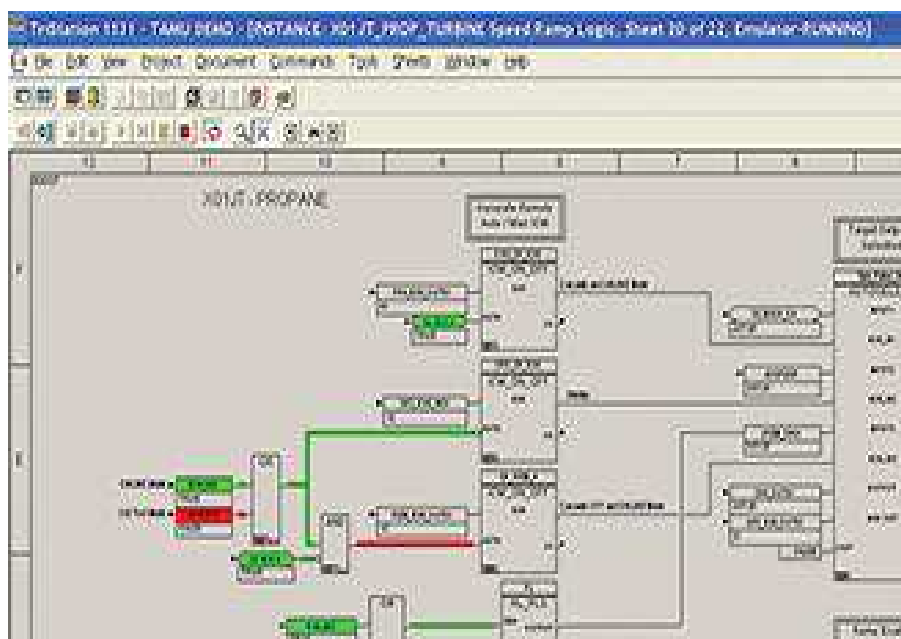


Figura 10 – Configuração sistema Triconex

Na figura 10 tem exemplo de uma configuração em blocos de função, o status do sensor, status do relé, parâmetros de vibração, limites de alarmes, unidades de engenharia, ponto descrições faixa de escala de todos configurados automaticamente na ferramenta de configuração do sistema Tricon que está integrado com o IA.

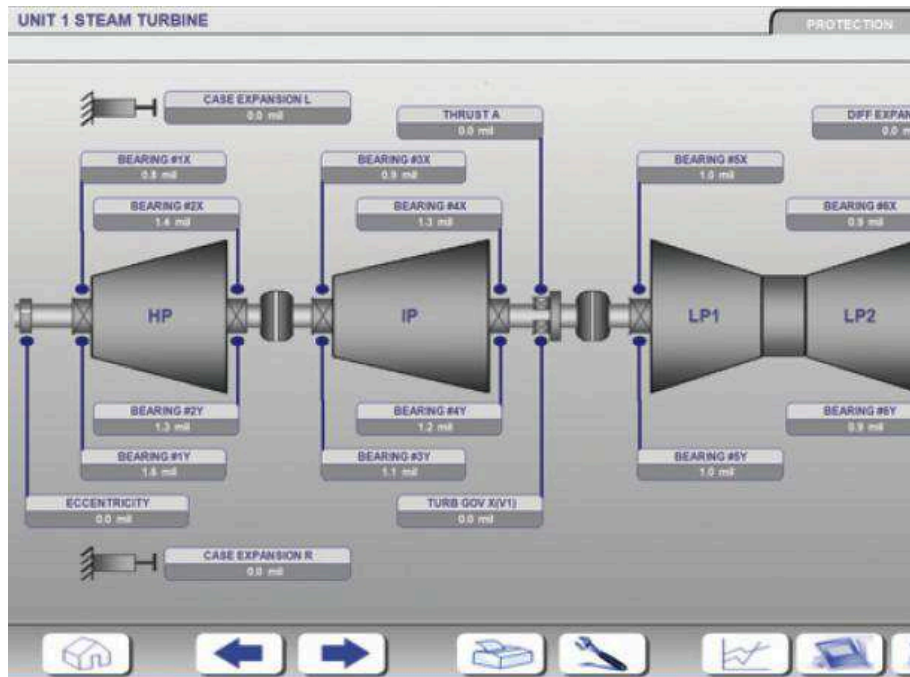


Figura 11 – Tela para monitoração

Na figura 11 tem uma tela de monitoração do sistema de controle Triconex, nota-se que tem várias variáveis sendo analisada na máquina em tempo real.

#### 4. CONCLUSÃO

A vibração é um importante, eficiente, preciso e seguro método de avaliação de problema em grandes máquinas, pois além de se tratar de um ensaio não destrutivo, destacam-se benefícios chave como a minimização dos riscos, redução de custos, maior segurança, e melhoria e otimização do desempenho.

Essa técnica é uma excelente ferramenta de monitoramento de condição que pode contribuir muito para a redução dos custos de manutenção na indústria.

Por fim é uma técnica que não demanda muitos equipamentos, principalmente os de dimensões exageradas, baixo investimento levando-se em consideração os prejuízos causados quando da ocorrência de problemas que causem a interrupção do retorno ao serviço do equipamento.

#### 5. Referências

- Apostila Análise de Vibrações Níveis I- CSI means Reliability  
Análise de Vibrações II – Fupai 2000.  
<http://www.ge-mcs.com/pt/bently-nevada.html>.  
<http://software.invensys.com/>  
<http://www2.emersonprocess.com/pt-BR>

## 6. Comunicado de responsabilidade

O autor é o único responsável pelo material impresso incluído neste trabalho.

**Abstract.** This white paper presents an overview of the use of non-destructive testing (NDT) in vibration analysis. This type of inspection is presented as a technique much used in the industries in industrial machinery and everyday situations, the vibration reduction and isolation problems of the machines have worried the engineers and technicians from all over. As the techniques of isolation and vibration reduction are becoming an integral part of the own design of the machines, the need to carry out an accurate measurement and analysis of mechanical vibration was becoming bigger.