



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO -GGH

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA- GGH

ANALISE DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL PARA TUBULACOES E ADUTORAS.

**Alexsander Preslhak
LACTEC**

RESUMO

Problemas de perda de espessura em tubulações de transporte de fluidos como em condutos adutores de usinas hidrelétricas que estão sujeitas a degradação, podem gerar custos de manutenção e interrupção de geração de energia elétrica. Utilizando técnicas usuais de medição de espessura por ultrassom e como base teórica a Norma API 579 – Fitness For Service, elaborou-se então um procedimento em linguagem de programação gráfica – LabVIEW - para realizar a avaliação de modo automatizado a estrutura que for inspecionada obtendo uma estimativa de vida útil da estrutura, obtendo assim uma ferramenta para monitorar componentes essenciais na produção de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE

PALAVRA CHAVE

Adutoras, Inspeção, Integridade estrutural, Medição de espessura, Ultrassom

1.0 - INTRODUÇÃO

O Estudo e desenvolvimento de metodologia de avaliação para a análise de integridade estrutural para tubulações e adutoras (de alta e baixa pressão) de usinas hidrelétricas, justifica-se pela necessidade de se implementar um sistema de medição, técnicas, instrumentação e monitoramento das medições, que permita às áreas de manutenção e operação avaliarem o estado da integridade estrutural dos condutos forçados em carga, sem a necessidade de paradas das unidades de geração, ou em locais impossíveis de serem inspecionadas, tanto pela inacessibilidade quanto pelo confinamento.

Um sistema como este possibilitará programar intervenções com planejamento, ao mesmo tempo em que se evitará situações de perigo às instalações, meio ambiente e população no entorno dos condutos. Isto permitirá estabelecer medidas corretivas e preventivas necessárias, após a análise dos dados coletados, orientando as equipes de manutenção mecânica e de segurança dos condutos através de manuais técnicos de referência do setor.

A avaliação de integridade e da segurança das estruturas formada pelos condutos utilizando a norma API RP 579, de 01/2000, permite realizar a análise de condutos com regiões corroídas e ataques localizados do tipo "pitting". Esta avaliação constituirá a base para realizar a formulação de um modelo de planejamento estratégico das manutenções, com critérios de confiabilidade, prevenção, correção e confirmação, incluindo a elaboração de um planejamento dos programas de manutenção normais e emergenciais.

2.0 - DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

2.1 Objetivo

O principal aspecto é atender às necessidades do setor elétrico nacional em termos de infraestrutura de confiabilidade, pois os modelos hoje utilizados são uma mistura de modelo multiuso adaptada a este tipo de ensaio, e outros em geral. A metodologia consistiu em pesquisar os diferentes sistemas disponíveis para desenvolver um sistema de medições, com o intuito de avaliar a integridade dos condutos de alta e baixa pressão e propor uma metodologia de medição por ultrassom manual. Sendo assim, visando atender a esta carência de tecnologia, então se desenvolveu através dos seguintes aspectos:

1. Avaliação das tecnologias e instrumentos disponíveis para desenvolver um sistema de medições confiável que permita fornecer o estado de preservação "in situ" e/ou remota;
2. Pesquisa sobre os materiais com os quais foram fabricados os componentes e com quais materiais e processos foram revestidos;
3. Efetuar medições com instrumentação manual (ultrassom) do estado do desgaste das superfícies (espessura e abrasão) dos componentes;
4. Avaliação dos resultados do sistema de medição manual.

2.2 Ensaio por ultrassom

Sons extremamente graves ou agudos, podem passar despercebidos pelo aparelho auditivo humano, não por deficiência deste, mas por caracterizarem vibrações com frequências muito baixas, até 20 Hz (infra-som) ou com frequências muito altas acima de 20 kHz (ultra-som), ambas inaudíveis.

Como sabemos, os sons produzidos em um ambiente qualquer, refletem-se ou reverberam nas paredes que consistem o mesmo, podendo ainda ser transmitidos a outros ambientes. Fenômenos como este apesar de simples e serem freqüentes em nossa vida cotidiana, constituem os fundamentos do ensaio ultrassônico de materiais. No passado, testes de eixos ferroviários, ou mesmos sinos, eram executados através de testes com martelo, em que o som produzido pela peça, denunciava a presença de rachaduras ou trincas grosseiras pelo som característico. Assim como uma onda sonora, reflete ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica ao percorrer um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica quando percorre um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna a este meio considerado, ver Figura 1. Através de aparelhos especiais, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades.

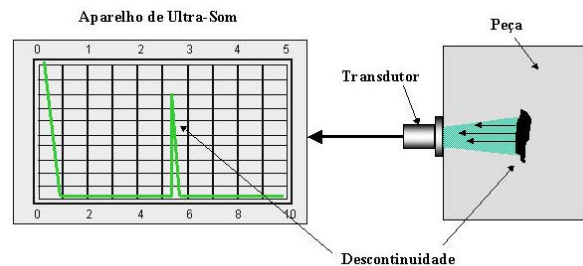


FIGURA 1: Princípio básico da inspeção

O ensaio por ultrassom caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas presentes nos mais variados tipos ou formas de materiais ferrosos ou não ferrosos.

Tais defeitos são caracterizados pelo próprio processo de fabricação da peça ou componentes a serem examinados como, por exemplo: bolhas de gás em fundidos, dupla laminação em laminados, micro-trincas em forjados, escórias em uniões soldadas e muitos outros. Portanto, o exame ultrassônico, assim como todo exame não destrutivo, visa diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças de responsabilidades.

Na maioria dos casos, os ensaios são aplicados em aços-carbonos, em menor porcentagem em aços inoxidáveis. Materiais não ferrosos são difíceis de serem examinados, e requerem procedimentos especiais.

Analisa-se então algumas vantagens do processo:

- Precisão da inspeção.
- Possibilidade de inspecionar sobre camadas de tintas
- Boa sensibilidade
- Possibilidade de automação do ensaio.

Como todo processo de medição, existe também limitações em relação ao ensaio.

- Necessita acoplamento acústico

Baixa produtividade

2.3. Desenvolvimento

Com o intuito de verificar perdas de espessura em uma estrutura metálica do tipo, vaso de pressão, tubulações de transporte de fluidos, submetido à pressão interna e que apresenta uma região de perda de espessura

generalizada ou local provocada por corrosão, os valores de espessura mínima requerida e de uma reduzida pressão de trabalho permitida deverão ser calculados para definir se o equipamento pode operar ou não. Como algumas das medições de espessuras podem ser realizadas de modo aleatório, definiu-se uma área para o caráter exploratório da região visando obter uma medição com uma área de pontos, ver Figura 2.



FIGURA 2: Área a ser medida.

2.4 Base teórica

Analizando a condição de avaliação da região onde foram feitas as medições, tomou-se por base teórica a Norma API 579 Aptidão-Para-Serviço (Fitness-for-Service - FFS) para o auxílio no processo de desenvolvimento e montagem da sequência dos passos a serem realizados para os resultados da avaliação.

Os códigos de projeto e padrões ASME e API para equipamentos pressurizados fornecem regras para o projeto, fabricação, inspeção e teste de vasos de pressão novos, sistemas de tubulações e tanques de armazenamento. Estes códigos não consideram o fato de que o equipamento degrada quando em serviço e que as deficiências devido à degradação ou à fabricação original podem ser encontradas durante inspeções subseqüentes. A norma API 579 (FFS) é composta de análises quantitativas de engenharia que são executados para avaliar a integridade estrutural de um componente em serviço que contém uma falha ou um dano. Com isso pode-se assegurar que equipamentos pressurizados que contenham falhas que foram identificadas pela inspeção, possam continuar a operar com segurança.

Recomendações:

- Especificações de materiais,
- Limites de temperatura superior e/ou inferior para materiais específicos,
- Propriedades da resistência do material e a tensão admissível de projeto,
- Exigências de materiais para tenacidade à fratura,
- Regras de projeto para seções de placas,
- Regras de projeto para descontinuidades de placa tais como bocais e transições cônicas,
- Exigências de projeto para cargas cíclicas,
- As exigências de projeto para a operação na região de fluência,
- Eficiência das junções de solda ou fatores de qualidade,
- Detalhes da fabricação e qualidade da execução,
- Exigências de inspeção, particularmente para junções soldadas.

Os critérios de avaliação são determinados e separados em níveis. As avaliações de nível 1 são limitadas aos componentes que têm uma equação de projeto que relacione especificamente a pressão e/ou os outros carregamentos, como aplicável, a uma espessura de parede requerida. As avaliações de nível 2 podem ser usadas para avaliar os componentes que não satisfazem critérios do nível 1, e podem igualmente ser usadas para avaliar componentes que não têm uma equação do projeto que relacione especificamente a pressão a uma espessura de parede requerida.

As avaliações do nível 3 podem ser usadas para avaliar os componentes que não são cobertos ou não passam no nível 1 ou no nível 2 de avaliação. As técnicas detalhadas de análise de esforço são utilizadas normalmente em uma avaliação do nível 3. O método de elementos finitos é usado tipicamente para computar os esforços em um componente; entretanto, outros métodos numéricos tais como o método de elementos de contornos ou de diferenças finitas pode igualmente ser utilizado. Soluções padronizadas podem igualmente ser usadas se a condição da geometria e de carregamento do componente combina com a solução. A avaliação pode ser baseada

em uma análise de tensão linear com aceitabilidade determinada usando uma categorização da tensão ou uma análise de esforço não-linear com aceitabilidade determinada usando uma carga plástica do colapso. As técnicas de análise de tensão não-linear são recomendadas para fornecer a melhor estimativa da capacidade de carga aceitável do componente.

Esses procedimentos de avaliação são baseados em uma aproximação média para a espessura que fornece um resultado apropriado quando aplicada à perda uniforme de metal. Se áreas de perda local de metal são encontradas no componente, a aproximação média para a espessura pode produzir resultados conservadores. A distinção exata entre a perda uniforme e local de metal não pode ser feita sem saber as características do perfil da perda de metal, então, duas opções para obter dados da espessura podem ser utilizadas: leituras individuais de espessura pontuais e perfis de espessura.

Para a determinação da espessura mínima requerida, são necessários alguns dados de projeto da estrutura como:

- Ano de projeto da estrutura
- Ano da realização da inspeção
- Diâmetro interno nominal
- Espessura nominal
- Tensão admissível do material.
- Fator de qualidade de solda

Para o processo manual um mínimo de 15 leituras de espessura é recomendado ao menos que outro método seja utilizado para confirmar que a perda de metal é geral. Supondo a necessidade de obter um número maior de pontos medidos, o trabalho poderá despendar muito tempo para a execução, porém pode se ter uma área de inspeção maior aumentando a confiabilidade de análise da região.

2.5 Procedimento

Para a realização das medições de espessura utiliza-se um aparelho de medição por ultrassom. Este equipamento estava equipado com um transdutor de duplo cristal com frequência de ressonância de 5 MHz. O modo de operação do equipamento fornecia a espessura média do material no local inspecionado. O equipamento é calibrado com um bloco padrão escalonado em aço. A calibração deve ser feita com a medida do bloco padrão que mais se aproxima da espessura do material, obtendo assim um menor desvio de medição. Marca-se um ponto, a geratriz superior da adutora, visando obter uma referência para que quando fosse necessário realizar novamente uma medição, essa fosse tomada a partir da mesma referência, já utilizada uma vez.

Utiliza-se um gabarito para garantir a uniformidade das distâncias de medições, ver Figura 3.

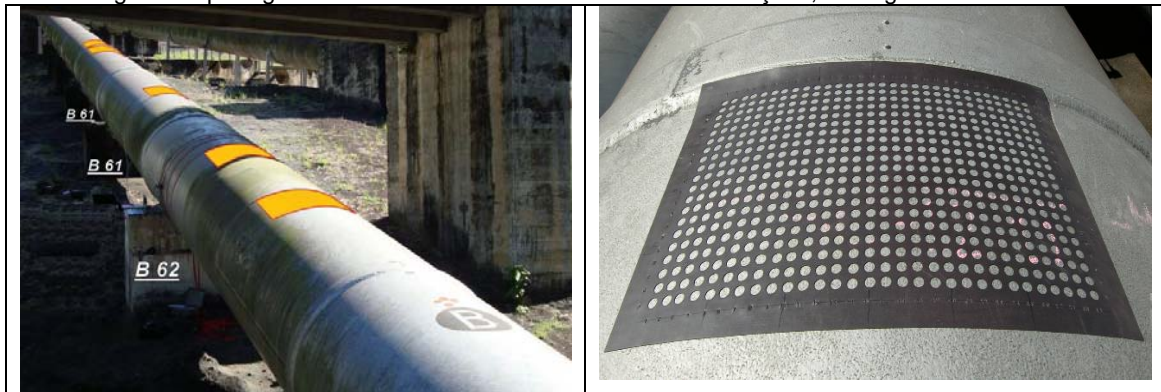


FIGURA 3: Regiões inspecionadas a esquerda e gabarito utilizado para a medição manual.

O processo de coleta manual de medição despendia muito tempo para a execução. A quantidade máxima de pontos a serem medidos fica por decisão do operador que pode chegar em até 600 pontos para o gabarito confeccionado.

Para ganhar agilidade nas medições, optou-se por um sistema automatizado, pode-se realizar uma medição com um número maior de pontos aumentando assim a área de medição e melhorando a resolução da malha de pontos. Na Figura 4, mostra-se o veículo utilizado acoplado na adutora.

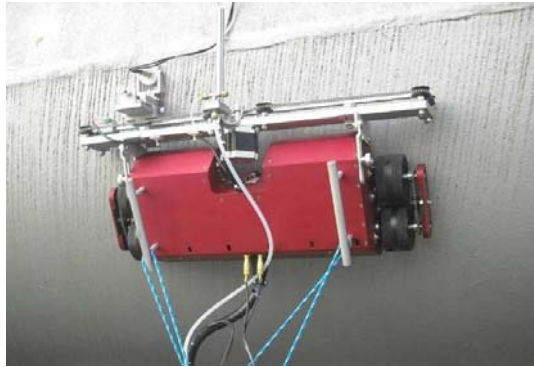


FIGURA 4: Veículo inspetor e Componentes do sistema de aquisição.

Tendo realizado a medição, o próximo passo foi definir a condição de como seria efetuado a análise desses dados obtidos.

Optou-se então na utilização de uma linguagem gráfica de programação, LabVIEW, Figura 5. No programa em LabVIEW, é possível o carregamento direto do arquivo contendo toda a matriz de dados. Além do carregamento direto do arquivo que contém a matriz de valores, o programa LabVIEW permite o carregamento manual ponto a ponto, caso haja a necessidade.

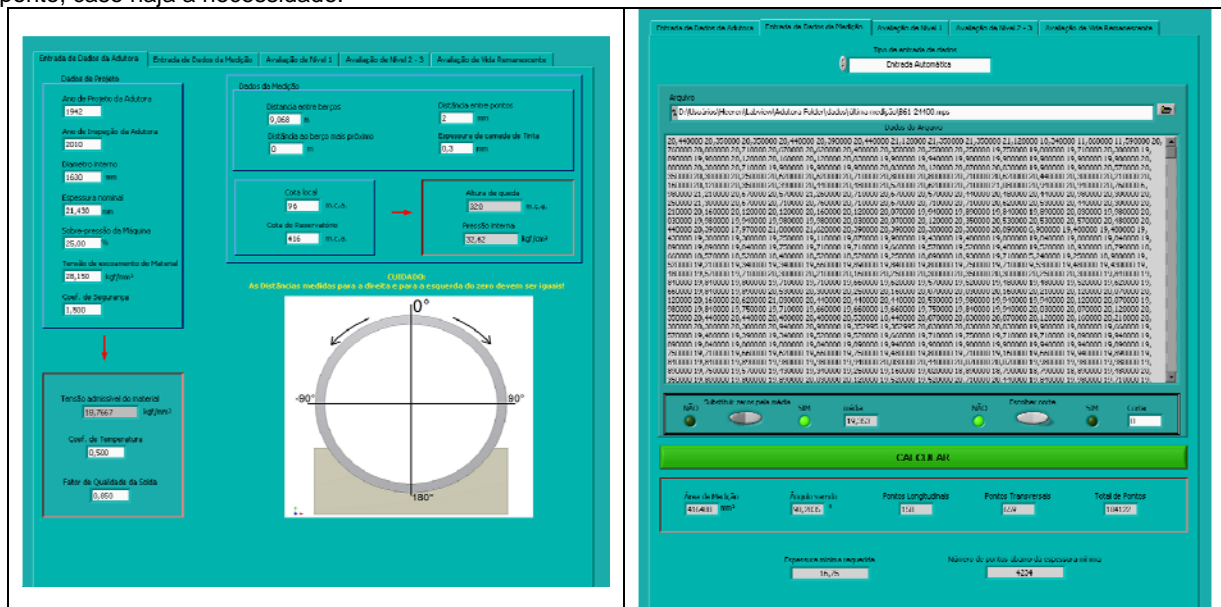


FIGURA 5: Página da entrada de dados de projeto da adutora e inserção dos arquivos.

Inicia-se a avaliação do perfil de espessuras medido. Faz-se a análise do nível 1 que se for aceito tem-se a estrutura apta a continuar operando. Se for reprovada no nível 1, analisa-se então o nível 2, que em caso de aceitação, observa-se a vida restante do componente, caso contrário, segue-se para o nível 3.

Para o nível 3, a premissa implantada segundo a norma API 579 seria a realização de simulação numérica. O método dos elementos finitos é tipicamente utilizado para calcular as tensões mecânicas em um componente, no entanto, outros métodos numéricos tais como elementos de contorno ou o método das diferenças finitas também podem ser utilizados.

Para obter os valores de tensões mecânicas que atuam na seção de uma tubulação, devem-se analisar quais são esses esforços e as direções que as forças presentes na estrutura irão indicar. Sabendo que a estrutura está submetida a um fluido que exerce uma pressão internamente, somando com o peso da estrutura, o peso em volume de água e o posicionamento da estrutura em relação à ancoragem da mesma, usando equações adequadas para os cálculos, pode-se obter o módulo dos valores de esforços. Para definir como esses valores serão plotados, optou-se em utilizar o critério da energia de distorção, ou de von Mises.

3.0 - RESULTADOS

Sendo realizada inicialmente uma medição manual, foram distribuídos os pontos conforme a medição, em um plano, como um mapa topográfico de espessuras. Com o auxílio de um programa de desenho CAD, pode-se gerar um perfil em 3 dimensões, conforme os dados do perfil plano. Com esse perfil, deu-se o processo de

complementação da geometria para conseguir obter um sólido definido, com o intuito de que se possa realizar uma simulação numérica, para atender a necessidade das etapas do procedimento elaborado, ver Figura 6.

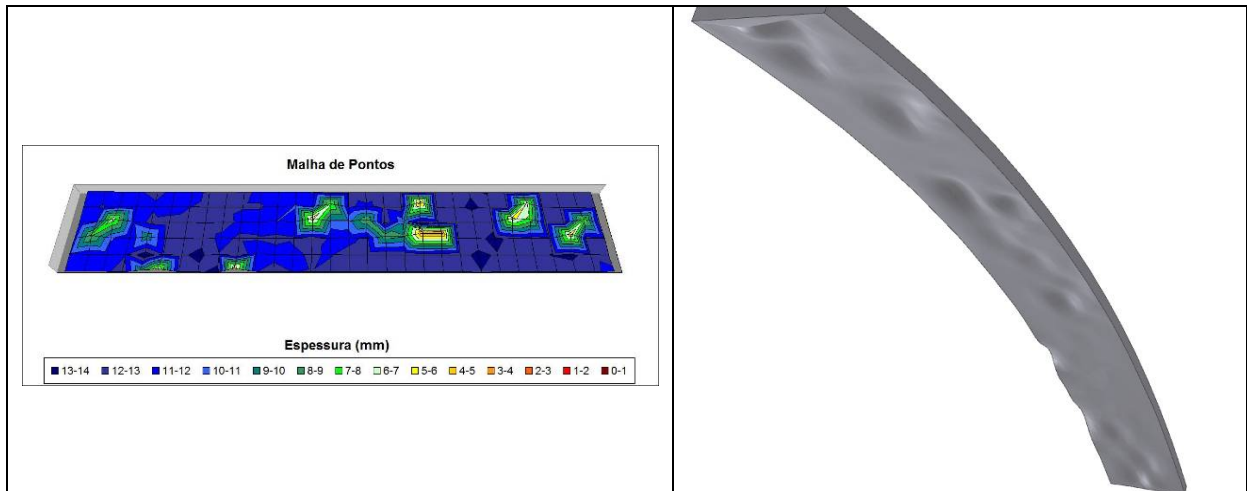


FIGURA 6: Perfil de pontos planificado

O Software utilizado para a simulação numérica de caráter experimental foi o Software de elementos finitos ANSYS. Tentou-se representar ao máximo as condições de contorno que a estrutura está submetida. Se comparada com as tensões admitidas para a simulação, (tensão admissível de escoamento em torno de 141 MPa) os resultados da simulação apresentam valores que estão abaixo da tensão admissível, tomando por observação alguns pontos que podem conter tensões elevadas, como mostradas na Figura 7.

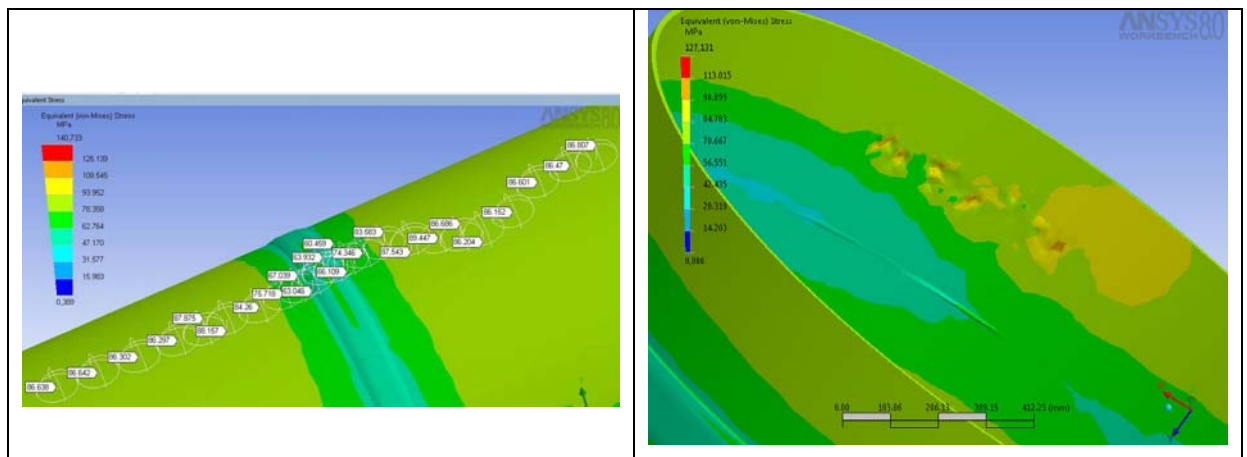


FIGURA 7: Tensões equivalentes de von Mises na superfície externa e na interna.

Como o acesso para softwares de simulação numérica muitas vezes não é possível para fim comercial, um inconveniente é a questão de custo do software, decidiu-se então elaborar uma rotina de realização dos cálculos de tensões observando cada ponto medido como um nó e seu conseqüente, criando assim uma espécie de elemento discreto de área. Cada elemento estará submetido a cargas de forças; forças radiais, devido à pressão interna; forças longitudinais, forças circunferenciais e forças de cisalhamento.

Definiu-se um sistema cartesiano para a orientação, tendo as forças em cada elemento e conhecendo a posição de cada nó nesse sistema de orientação, foi possível obter o cálculo que representa as tensões equivalentes utilizando o critério de von Mises. Os valores encontrados foram considerados plausíveis se comparados com outros tipos de análise. Alguns cuidados devem ser tomados, pois para todos os cálculos que são utilizados no procedimento, foi levada em questão sempre a condição que desfavoreça mais a estrutura mecanicamente. Segue a Figura 8 com a imagem do resultado da região avaliada pelo software desenvolvido.

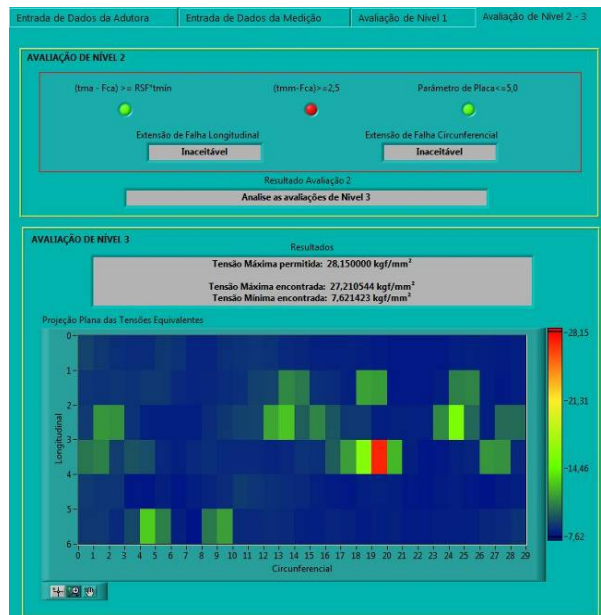


FIGURA 8: Nível 3 da avaliação.

Quanto maior o número de pontos de medição realizado, melhor a resolução da imagem e melhor tem-se o conhecimento da região inspecionada. Na Figura 9, estão, um medição que foi realizada em uma área aleatória e o quadro de avaliação de vida remanescente dessa área citada anteriormente. O calculo desse tempo de vida restante leva em consideração o tempo e que a estrutura está em operação, a média da espessura perdida ao longo dos anos a pressão interna em que se encontra operando e a máxima pressão admissível em que a estrutura poderá operar no momento da avaliação. Conforme a espessura vai diminuindo ao longo dos anos devido ao processo de corrosão, essa pressão admissível vai decaindo, quando as duas se cruzam no gráfico comparativo, pressão admissível e pressão de trabalho, determina-se ali o ponto de vida máxima admissível. Caso o valor admissível for inferior, há a necessidade então de reavaliar a estrutura e reenquadrá-la em uma nova faixa de operação, caso não for feita nenhuma intervenção de recuperação. Mesmo que não forem executados os procedimentos necessários, a estrutura possui uma folga de integridade pois, é trabalhado com a tensão admissível do material. Então trabalha-se com o Coeficiente de Segurança da estrutura ajustando-o até um valor que não comprometa a segurança de toda a infraestrutura.

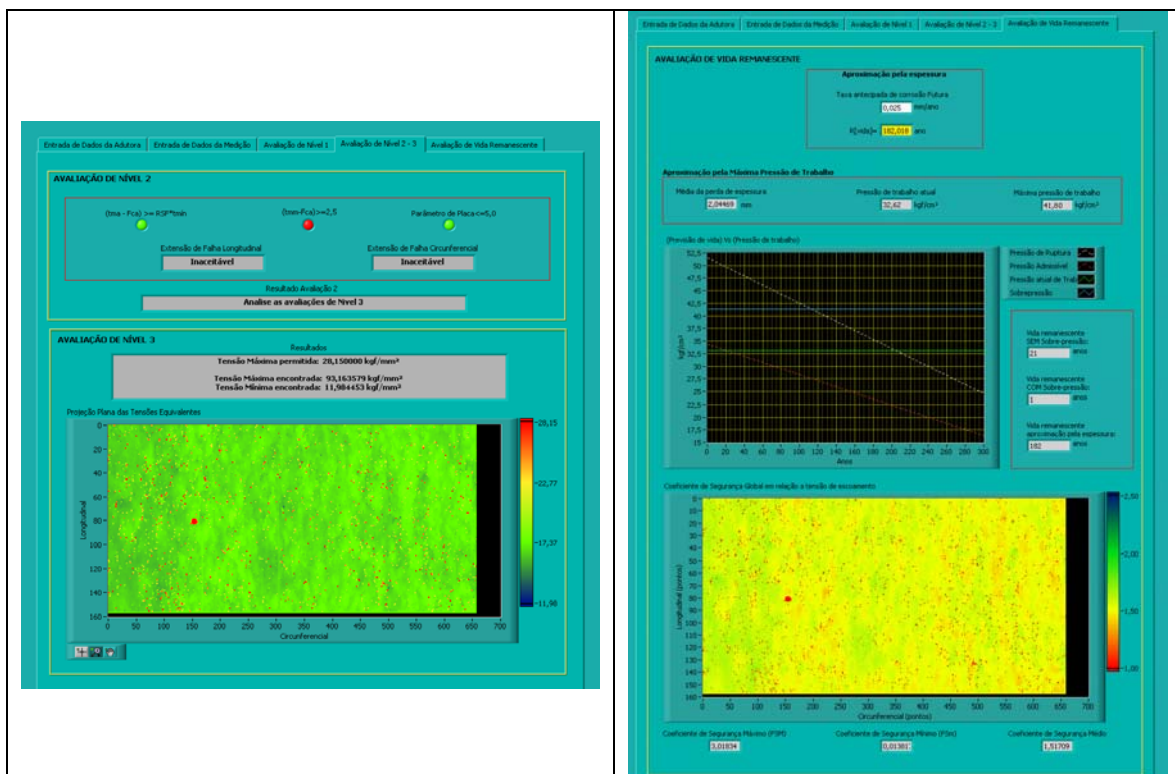


FIGURA 9: Área aleatória em avaliação no nível 3 e gráfico de vida remanescente de uma medição automatizada.

4.0 - CONCLUSÃO

Com essa ferramenta, pode-se analisar o estado de conservação de adutoras sem a necessidade de uma parada de máquina geradora, acarretando perda de arrecadação de ativos durante essas paradas. Tendo noção de como encontra-se internamente a superfície inspecionada, é possível tirar do orçamento previsto a recuperação ao acaso da região pois, muitas vezes quando inspecionada, a região apresentava uma condição satisfatória de integridade.

5.0 - NO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) API 579 – Fitness for Service, 2007.
- (2) Telles, S., Projeto de Tubulações Industriais, LTC, Rio de Janeiro.
- (3) Nayyar, P.E., Piping Handbook, McGraw Hill, EUA, 2000.
- (4) ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE AN INTERNATIONAL CODE, 2003.
- (5) Júdez, G.Z., Centrales Hidroeléctricas, Barcelona, 1974.
- (6) Schajer, G. S., "Application of Finite Element Calculations to Residual Stress Measurements," Journal of Engineering Materials and Technology, *Transactions*, ASME, Vol 103, April 1981, pp. 157–163.
- (7) Popov, E.P., "Introdução à Mecânica dos Sólidos", Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1978.
- (8) Niku-Lari, A., Lu, J. e Flavenot, J.F., "Measurement of Residual Stress Distribution by the Incremental Hole-Drilling Method", *Experimental Mechanics*, Junho/1985, pg. 175-185.
- (9) Brush, D.O., e Almroth, Bo O., "Buckling of Bars, Plates and Shells", McGrall-Hill, 1975, Tóquio.
- (10) Dove, R.C e Adams, P.H., "Experimental Stress Analysis and Motion Measurement", Prentice-Hall, 1965.
- (11) CARNEVAL, R. O.; MARQUES, F. C. R.; SMITH M. A. O., "Inspeção de Cascos de Navios do Tipo FPSO. (Alternativas Possíveis)". XIX CONAEND, São Paulo, agosto de 2000
- (12) <http://www.compoende.com.br/ultra.doc>
- (13) Steel pipe: a guide for design and insallation. 4th ed.(AWWA manual; M11). 2004 American Water Works Association.
- (14) http://www.pasa.com.br/pasa/vasos_cscan.asp
- (15) http://www.abende.org.br/biblioteca_apostila.php?w=1680&h=1050#ultra

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Alexsander Preslhak

Prudentópolis - PR , 30/12/1983

Cutitiba – PR, UFPR - 2009

Pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC; Funções desenvolvidas: Projetos de elementos de máquinas, desenho em CAD, simulações numéricas por softwares de elementos finitos.