



## **1. OBJETIVO**

- 1.1 A utilização deste documento destina-se ao treinamento de candidatos à certificação no método de END e técnica descrita. A aplicação deste procedimento deve ser feita sob a supervisão do N3.
- 1.2 Este documento não deve ser considerado como referência para trabalho de inspeção em campo.
- 1.3 Este procedimento estabelece as condições necessárias para a execução do ensaio não destrutivo por meio correntes parasitas, de tubos instalados em trocadores de calor, utilizando sondas internas para detecção de descontinuidades.

## **2. NORMAS DE REFERÊNCIA E/OU OUTROS DOCUMENTOS APLICÁVEIS**

- Código ASME/2013, Seção V, Artigo 8 – “Eddy Current Examination”
- Código ASME/2013, Seção V, Artigo 8, Apêndice II – “Eddy Current Examination of Nonferromagnetic Heat Exchanger Tubing”
- ABNT NBR 15.193, Ensaio não destrutivo — Correntes Parasitas — Tubos não ferromagnéticos instalados em trocadores de calor

## **3. MATERIAIS A SEREM ENSAIADOS / CAMPO DE APLICAÇÃO**

Este procedimento se aplica ao ensaio de tubos fabricados em materiais condutores de eletricidade e não ferromagnéticos empregando-se técnicas de multifrequência. Os tubos a serem ensaiados tipicamente tem diâmetros de até 75 mm e espessura de até 3 mm.

## **4. SISTEMAS DE ENSAIOS POR CORRENTES PARASITAS**

### **4.1 REQUISITOS GERAIS**

- 4.1.1 Um aparelho de correntes parasitas, também denominado aparelho de ensaio, deve dispor do número necessário de canais de frequência em modos absolutos e diferenciais, e de canais misturados;
- 4.1.2 O aparelho deve ser capaz de gerar uma ampla faixa de frequência de forma a atender às exigências mencionadas no item 6. O aparelho de ensaio deve fornecer informações de amplitude e fase, e sua resposta de frequência tem que ser compatível com a velocidade do ensaio.
- 4.1.3 Sondagens internas que operem em arranjo diferencial e/ou absoluto, adequadas à frequência de ensaio utilizada e com um fator de enchimento não inferior a 80%. O sistema de correntes parasitas deve ser capaz de detectar todos os sinais gerados na medida em que a sonda passa por cada seção do tubo;
- 4.1.4 Nos aparelhos analógicos, a amplitude dos sinais diferenciais produzidos pelo furo passante deve ocupar, no mínimo, 50% da escala vertical dos gráficos;
- 4.1.5 Velocidade de Inspeção da sonda não deve exceder o limite de resposta de frequência e sensibilidade das descontinuidades de calibração aplicáveis. Nos sistemas digitais, a taxa de digitalização deve ser mantida todo o tempo;
- 4.1.6 Impulsionador (opcional)
  - a) Impulsionador (opcional) para a movimentação da sonda dentro dos tubos, de produzir movimento uniforme e com velocidade compatível com a resposta de frequência do sistema
  - b) Verificação do Posicionamento dos Dispositivos Elétricos de Posicionamento e Impulsão (Impulsionador)



- c) A habilidade de localização de um tubo específico, dos dispositivos de impulsão deve ser verificada e registrada na instalação, relocação ou remoção do dispositivo. Deve ser feita também uma verificação independentemente da posição, por exemplo, através da localização de marcações específicas, a qual deve ser registrada no início e no final de cada unidade de armazenamento de dados do meio de gravação utilizado;
- d) Quando for constatado um erro de localização do dispositivo, os tubos examinados desde a verificação anterior, devem ser reexaminados;

4.1.7 Quando forem utilizados sistemas automáticos de triagem de dados, cada sistema deve ser qualificado segundo procedimento escrito;

4.1.8 O aparelho deve possuir as seguintes características:

- a) ser capaz de mostrar os sinais de ensaio na tela do monitor de vídeo no plano X-Y e X(t) e Y(t);
- b) ser capaz de armazenar os resultados do ensaio para posterior reprodução e análise em todas as frequências e modos de operação utilizados;
- c) ser capaz de imprimir os resultados do ensaio, em pelo menos uma frequência, nos respectivos canais X-Y.

4.1.9 A resposta de frequência tem que ser compatível com a velocidade do ensaio

## **4.2 SISTEMAS DE EXAME POR CORRENTES PARASITAS**

Os aparelhos de correntes parasitas podem ser analógicos, digitais ou híbridos, e são compostos por:

SISTEMAS ANALÓGICOS	SISTEMAS DIGITAIS	SISTEMAS HÍBRIDOS
<p>Sistema de Aquisição de Dados</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparelho de Correntes Parasitas Analógico</li> <li>• Gravador de fitas magnético</li> <li>• Geradores de cartas gráficas</li> </ul>	<p>Sistema de Aquisição de Dados</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparelho de Correntes Parasitas Digital</li> <li>• Gravador digital de dados</li> </ul>	<p>Combinação de elementos utilizados em sistemas digitais e analógicos</p>
<p>Sistema de Análise de Dados</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• "Display"</li> <li>• Sistema Analógico de Gravação</li> </ul>	<p>Sistema de Análise de Dados</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• "Display"</li> <li>• Sistema Digital de Gravação</li> </ul>	

Os quais devem atender aos seguintes requisitos mínimos:

## **4.3 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

### **4.3.1 Sistemas Multifrequência e Multiparamétricos**

O sistema de correntes parasitas deve ser capaz de gerar frequências múltiplas simultaneamente o multiplexadas e ser capaz de combinar sinais multiparamétricos. A seleção das frequências deve considerar a otimização da detecção e caracterização das descontinuidades;

- a) Os sinais produzidos pelo sistema de correntes parasitas devem fornecer informações de fase e amplitude



- b) O sistema de correntes parasitas deve ser capaz de operar em modo absoluto, diferencial ou ambos;
- c) O sistema de correntes parasitas deve ser capaz de gravar e apresentar os dados da inspeção em tempo real;
- d) O sistema de correntes parasitas tem que ser capaz de detectar e registrar descontinuidades existentes nas superfícies internas e externas dos tubos inspecionados, inclusive sob chicanas e espelhos, e os demais sinais produzidos por fontes tais como, chicanas, espelhos, depósitos magnéticos e/ou condutores, variações dimensionais inclusive "amassamentos" e alterações metalúrgicas, ao longo de todo o comprimento de cada tubo inspecionado.  
Os sistemas de correntes parasitas são compostos pelo aparelho de correntes parasitas, também denominado aparelho de ensaio, e pelas sondas internas utilizadas na inspeção.

#### 4.3.2 SISTEMA ANALÓGICO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

##### 4.3.2.1 Aparelho de Correntes Parasitas Analógico

- a) A resposta de frequência na saída do aparelho deve ser constante com variação máxima de 2% da escala de fundo, desde DC até a  $F_{m\acute{a}x}$ , onde  $F_{m\acute{a}x}$  é igual a 10 Hz-s/in (0,4 Hz-s/mm), multiplicado pela velocidade máxima da sonda in/s (mm/s);
- b) Os sinais de correntes parasitas devem ser apresentados em padrões bidimensionais através da utilização de um osciloscópio de armazenamento X-Y ou equivalente;
- c) A resposta de frequência na saída do aparelho deve ser constante com variação máxima de 2% do valor de entrada, desde DC até a  $F_{m\acute{a}x}$ , onde  $F_{m\acute{a}x}$  é igual a 10 Hz-s/in (0,4 Hz-s/mm), multiplicado pela velocidade máxima da sonda in/s (mm/s).

##### 4.3.2.2 Gravador de Fitas Magnético

- a) O gravador de fitas magnético utilizado com o Instrumento de Correntes Parasitas analógico deve ser capaz de gravar e reproduzir os dados dos sinais de correntes parasitas de todas as frequências e devem possuir capacidade de registro de voz;
- b) A resposta de frequência do sinal de saída do gravador de fitas magnético deve ser constante com variação na faixa de 10% do sinal de entrada, desde DC até a  $F_{m\acute{a}x}$ , onde  $F_{m\acute{a}x}$  é igual a 10 Hz-s/in (0,4 Hz-s/mm), multiplicado pela velocidade máxima da sonda in/s (mm/s).
- c) A reprodutibilidade do sinal de entrada em relação ao sinal de saída deve apresentar variação máxima de 5%.

##### 4.3.2.3 Gerador de Cartas Gráficas

- a) O gerador de cartas gráficas utilizado em conjunto com o instrumento de correntes parasitas deve possuir dois canais no mínimo;
- b) A resposta de frequência do gerador de cartas gráficas deve ser constante com variação máxima de 2% do valor de entrada, desde DC até a  $F_{m\acute{a}x}$ , onde  $F_{m\acute{a}x}$  é igual a 10 Hz-s/in (0,4 Hz-s/mm), multiplicado pela velocidade máxima da sonda in/s (mm/s).



### 4.3.3 SISTEMA DIGITAL DE AQUISIÇÃO DE DADOS

#### 4.3.3.1 Aparelho de Correntes Parasitas Digital

- a) Na velocidade de inspeção utilizada ( $V_i$ ), a taxa de amostragem do aparelho ( $T_{XA}$ ) deve resultar em uma taxa de digitalização ( $T_{XD}$ ) mínima de 30 amostras por polegada (1in = 25 mm), do tubo examinado, onde:

$$T_{XD} = T_{XA} / V_i$$

- $V_i$  - - Velocidade de inspeção, in/s  
 $T_{XD}$  - Taxa de digitalização, em amostras/s ou Hertz (Hz)  
 $T_{XA}$  - Taxa de amostragem, em amostras/s ou Hertz (Hz)

- b) O instrumento de correntes parasitas deve possuir uma resolução mínima de 12 bits por sinal;
- c) A resposta de frequência da parte analógica do instrumento digital, deve ser constante na saída do aparelho com variação máxima de 2% da escala de fundo, desde DC até a  $F_{m\acute{a}x}$ , onde  $F_{m\acute{a}x}$  é igual a 10 Hz-s/in (0,4 Hz-s/mm), multiplicado pela velocidade máxima da sonda in/s (mm/s);
- d) O "display" deve permitir a apresentação dos sinais em planos X-Y, representativos de planos de impedância dos sinais produzidos por todas as frequências de ensaio, e também dos sinais "mesclados";
- e) Os "gráficos de Lissajous" devem possuir resolução mínima de 7 bits;
- f) O aparelho deve possuir capacidade de apresentação mínima de 2 gráficos, X(t) e Y(t);
- g) Os gráficos devem permitir a seleção, de forma que seja apresentada a variável selecionada em função do tempo, X ou Y(t);
- h) Os gráficos X(t) ou Y(t) devem possuir resolução mínima de 6 bits.

#### 4.3.3.2 Sistema Digital de Gravação

- a) O sistema de gravação deve ser capaz de gravar e reproduzir todos os sinais de correntes parasitas adquiridos em todas as frequências de teste;
- b) O sistema de gravação deve ser capaz de gravar e reproduzir todas as informações de texto;
- c) O sistema de gravação deve possuir resolução mínima de 12 bits por sinal gravado.

## 4.4 SISTEMA DE ANÁLISE DE DADOS

### 4.4.1 Requisitos Básicos do Sistema

- a) O sistema de análise de dados deve ser capaz de apresentar os sinais de correntes parasitas produzidos por todas as frequências de ensaio;
- b) O sistema deve possuir capacidade de mixagem multiparamétrica;
- c) O sistema deve ser capaz de manter a identificação de cada tubo gravado;
- d) O sistema deve ser capaz de medir ângulos de fase em incrementos de um grau ou menos;
- e) O sistema deve ser capaz de medir amplitudes de aproximadamente 0,1V.



#### 4.4.2 Sistema de Análise de Dados - "Display" Analógico

##### 4.4.2.1 Display

- a) Os sinais de correntes parasitas referentes à inspeção devem ser apresentados como grandezas vetoriais em "figuras de lissajous", através da utilização de osciloscópios de armazenamento X-Y ou equivalente;
- b) A resposta de frequência do "display" deve ser constante com variação máxima de 2% do valor de entrada, desde DC até a  $F_{máx}$ , onde  $F_{máx}$  é igual a 10 Hz-s/in (0,4 Hz-s/mm), multiplicado pela velocidade máxima da sonda in/s (mm/s).

##### 4.4.2.2 Sistema Analógico de Gravação

- a) O gravador de fitas magnético utilizado com o Instrumento de Correntes Parasitas analógico deve ser capaz de reproduzir os dados dos sinais de correntes parasitas gravados;
- b) A resposta de frequência do sinal de saída do gravador de fitas magnético deve ser constante com variação na faixa de 10% do sinal de entrada, desde DC até a  $F_{máx}$ , onde  $F_{máx}$  é igual a 10 Hz-s/in (0,4 Hz-s/mm), multiplicado pela velocidade máxima da sonda in/s (mm/s).
- c) A reprodutibilidade do sinal de entrada em relação ao sinal de saída deve apresentar variação máxima de 5%.

#### 4.4.3 Sistema Digital de Análise de Dados

##### 4.4.3.1 "Display"

- a) O "display" do sistema de análise deve ser capaz de apresentar os sinais de correntes parasitas e as informações de texto gravadas;
- b) O sistema de análise deve possuir resolução mínima de 12 bits por sinal gravado;
- c) Os "gráficos de Lissajous" devem possuir resolução mínima de 7 bits;
- d) Os gráficos variável x tempo devem permitir a seleção, de forma que seja apresentada a variável selecionada em função do tempo, X ou Y(t), para todas as frequências e frequências misturadas;
- e) Os gráficos X(t) ou Y(t) devem possuir resolução mínima de 6 bits.

##### 4.4.3.2 Sistema Digital de Gravação

- a) O sistema de gravação deve ser capaz de reproduzir todos os sinais de correntes parasitas e informações de texto;
- b) O sistema de gravação deve possuir resolução mínima de 12 bits por ponto de dados.

#### 4.5 Aparelhos Híbridos

- a) Os componentes individuais dos sistemas híbridos, que utilizem alguns componentes digitais e outros analógicos, devem atender aos requisitos aplicáveis do item 4;
- b) A resposta de frequência dos componentes analógicos e conversores analógicos digitais, devem ser constantes com variação máxima de 5% do valor de entrada, desde DC até a  $F_{máx}$ , onde  $F_{máx}$  é igual a 10 Hz-s/in (0,4 Hz-s/mm), multiplicado pela velocidade máxima da sonda in/s (mm/s).



## **5. CALIBRAÇÃO**

### **5.1 Calibração dos Sistemas**

**5.1.1 Calibração dos Sistemas Analógicos** - A calibração deve seguir um plano de calibração e prever a devida periodicidade de verificação:

- a) A frequência de saída do oscilador deve possuir precisão de 5% da frequência indicada;
- b) A linearidade horizontal e vertical do "display" do tubo de raios catódicos (CRT) deve possuir deflexão máxima de 10% da voltagem de entrada;
- c) O alinhamento dos traços horizontal e vertical devem possuir desvio máximo de 2° das linhas das graticulas;
- d) A relação entre a voltagem de saída e a voltagem registrada pelo gravador devem variar no máximo em 5% do valor de entrada de cada canal do gravador;
- e) A velocidade do gerador de cartas gráficas deve possuir precisão de 5% do valor indicado;
- f) A amplificação para todos os canais do aparelho de correntes parasitas deve possuir variação máxima de 5% do valor médio em todas as configurações de sensibilidade em todas as frequências;
- g) Os dois canais de saída do aparelho de correntes parasitas devem ser ortogonais com variação máxima de 3 graus na frequência de exame.

**5.2 Calibração dos Sistemas Digitais** - Os elementos analógicos dos sistemas digitais sevem ser calibrados de acordo com o item 5.1. Os elementos digitais não precisam ser calibrados.

### **5.3 Padrões de Calibração**

As calibrações para ensaio são executadas utilizando-se como referências, um tubo padrão contendo descontinuidades artificiais e um anel que simula o efeito das placas suportes ou chicanas.

#### **5.3.1 Padrões de Calibração - Requisitos Gerais**

- a) O tubo padrão de calibração é fabricado a partir de tubos do mesmo material e dimensões (diâmetro e espessura) daqueles a serem ensaiados. Não podem apresentar amassamentos, abrasões ou outras distorções que originem sinais de indicações indesejáveis;
- b) Quando o material de fabricação do padrão possuir tratamento térmico diferente do material dos tubos que serão examinados, este padrão poderá ser utilizado desde que os sinais produzidos pelas descontinuidades descritas abaixo sejam equivalentes aos sinais produzidos pelas descontinuidades no material dos tubos a serem examinados;
- c) Poderão ser utilizados como alternativa aos padrões descritos nos itens 5.1 e 5.2, padrões de referência fabricados a partir de tubos de mesmo diâmetro e espessura e especificação UNS Alloy N06600
- d) As descontinuidades artificiais do padrão de referência, devem ser espaçadas entre si e das extremidades do tubo de forma que possam ser diferenciadas e os sinais de cada uma não interfira com as demais. As dimensões reais de cada descontinuidade e a resposta dos sinais de correntes parasitas do equipamento aplicável devem ser registradas e se tornarem parte permanente do padrão de referência;
- e) Cada padrão de referência deve ser identificado permanentemente com um código alfanumérico individual.

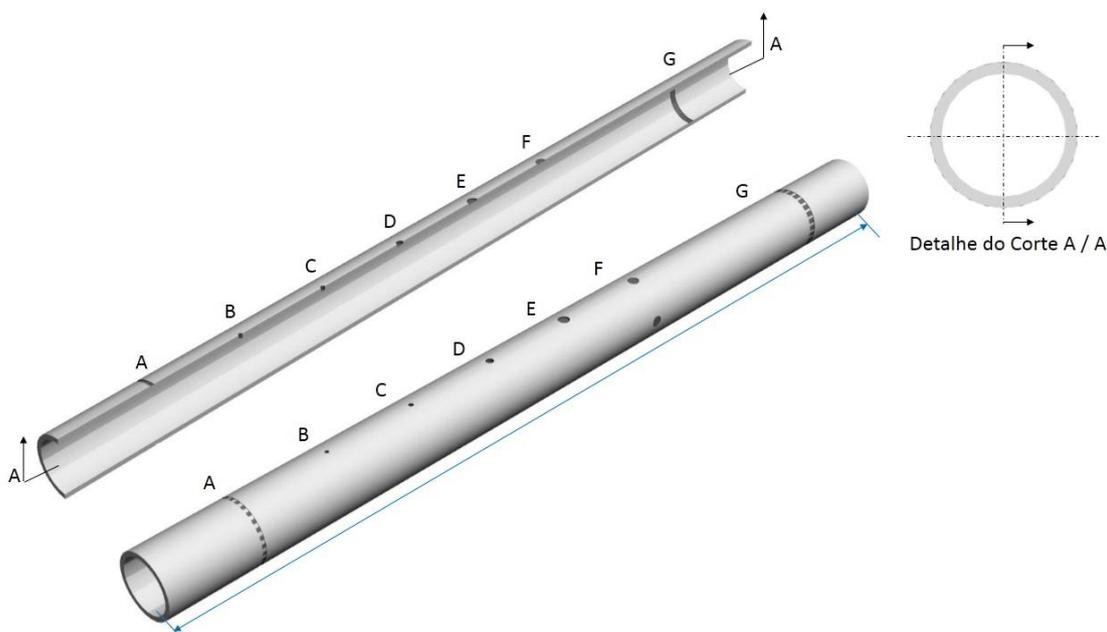
### 5.3.2 Padrões para Calibração dos Canais Absolutos e Diferenciais

O tubo padrão (Figura 1) pode ser confeccionado segundo os modelos 1 ou 2 abaixo, e deve conter pelo menos, as seguintes descontinuidades artificiais, descritas abaixo e na tabela 1:

- uma ranhura circunferencial de 360°, usinada na superfície interna do tubo, com largura de 1,6mm e profundidade equivalente a 10% da espessura do tubo;
- Um furo passante, com diâmetro de 1,3 mm para tubos com diâmetro externo nominal igual ou menor do que 19 mm e com diâmetro de 1,7 mm para tubos com diâmetro externo nominal maior que 19 mm.
- Um furo de fundo plano, externo, com diâmetro de 2,00mm e profundidade igual a 80% da espessura nominal do tubo;
- Um furo de fundo plano, externo, com diâmetro de 2,80mm e profundidade igual a 60% da espessura nominal do tubo;
- Um furo de fundo plano, externo, com diâmetro de 4,80mm e profundidade igual a 40% da espessura nominal do tubo;
- Quatro furos de fundo plano externos, com diâmetro de 4,80mm e profundidade igual a 20% da espessura nominal do tubo
- Uma ranhura circunferencial de 360°, usinada na superfície externa do tubo, com largura de 3,2mm e profundidade equivalente a 10% da espessura do tubo.

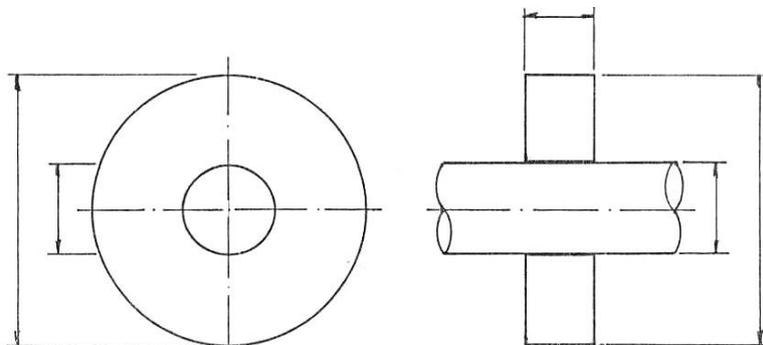
5.3.3 O tubo padrão identificado por código alfanumérico individual, marcado de maneira indelével e que o torne rastreável. As descontinuidades nele usinadas, por eletroerosão, tem suas dimensões medidas com instrumentos com precisão de 0,01mm.

A profundidade das descontinuidades usinadas tem, em seus centros, uma precisão de  $\pm 20\%$  da profundidade especificadas ou  $\pm 0,08\text{mm}$ , o que for menor. Todas as outras dimensões podem ter uma precisão de até  $\pm 0,25\text{mm}$ .



**Figura 1 – Tubo Padrão de Calibração**

O anel é feito do mesmo material das placas suportes ou chicanas, encontrados nos trocadores de calor ensaiados, de acordo com a Figura 2.



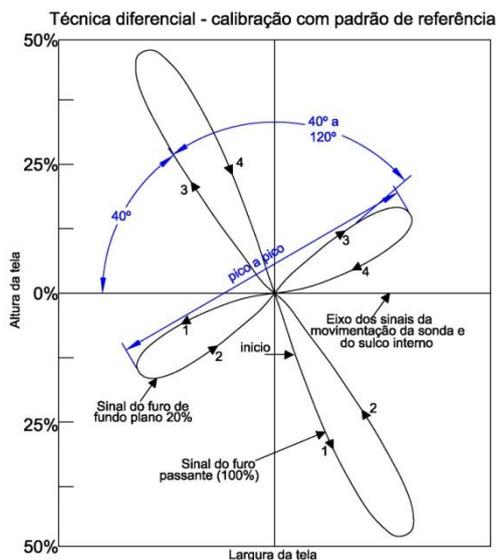
**Figura 2 – Anel para simulação de placas suportes ou chicanas**

## **5.4 CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE ENSAIO**

### **5.4.1 Configuração e ajuste do sistema com a sonda em Arranjo Diferencial**

#### **5.4.1.1 Calibração do Canal 1 (frequência principal – F1)**

- a) Conectar ao aparelho de correntes parasitas a sonda em arranjo diferencial e habilitar a função diferencial. *Os canais diferenciais devem estar habilitados.*
- b) Coletar os sinais das descontinuidades do padrão em modo diferencial.
- c) Ajustar o controle de frequência do canal 1 (F1) do aparelho para um valor que permita obter uma diferença nos ângulos de fase de  $50^\circ$  a  $120^\circ$  entre o sinal dos quatro furos externos de 20% e o sinal do furo passante (100%), contada no sentido horário a partir deste último. Ver Figura 3.
- d) Ajustar o controle de ganho (sensibilidade) do aparelho de ensaio, de modo que o sinal dos quatro furos externos de 20% tenha uma amplitude pico a pico equivalente a, no mínimo, a 30% da tela.
- e) Ajustar o controle de rotação de fase do aparelho de ensaio de modo que o sinal devido ao movimento da sonda no interior do tubo ou o sinal do rasgo circunferencial interno de 10% de profundidade ou ambos, sejam formados ao longo do eixo horizontal da tela, com uma tolerância de  $\pm 5^\circ$ . Neste caso, os sinais correspondentes aos furos de calibração devem permanecer como obtidos nos itens (c), (d) e (f);
- f) Observar que o sinal correspondente ao furo passante deve estar a  $40^\circ \pm 5^\circ$  do semi-eixo horizontal negativo, contado no sentido horário, formando-se inicialmente para baixo e para a direita e, em seguida, para cima e para a esquerda. Ver Figura 3.



**Figura 3 – Sinais indicativos de um sistema de ensaio com sonda interna em arranjo diferencial, devidamente calibrados**

g) Caso não seja possível atender ao item (f), retornar ao item (c), tentando uma nova frequência.

h) Posicionar novamente a sonda no interior do tubo padrão, numa de suas extremidades e puxá-la ao longo deste, com uma velocidade semelhante à velocidade de ensaio. Registrar os sinais de todas as descontinuidades do tubo padrão, assegurando-se de que eles se apresentem claros e distinguíveis uns dos outros.

i) Colocar o anel que simula as placas suportes ou chicanas no tubo padrão e fixá-lo numa região isenta de descontinuidades. Puxar a sonda de ensaio no interior do tubo, de modo a passá-la pelo anel fixado no padrão. Observar o sinal devido ao anel, anotando sua amplitude, a direção e o sentido em que se forma. Registrar o sinal correspondente ao anel.

#### 5.4.1.2 Calibração do Canal 2

a) Promover o acesso dos sinais gerados pelo módulo de frequência 2 ou canal 2 à tela do osciloscópio de memória ou do monitor de vídeo.

b) Ajustar o controle de frequência do canal 2 no aparelho de ensaio para um valor  $F_2$ , compreendido entre  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{1}{2}$  do valor de  $F_1$ , conforme descrito em 5.3.1.1.

c) Ajustar o controle de ganho (sensibilidade) do canal 2 preliminarmente para um valor médio de sua escala de amplificação.

d) Posicionar o anel no tubo padrão, numa região isenta de descontinuidades. Puxar a sonda de ensaio no interior do tubo, de modo a passá-la pelo anel fixado no padrão. Observar o sinal devido ao anel, anotando sua amplitude, a direção e o sentido em que se forma. Registrar o sinal correspondente ao anel.

e) Comparar os sinais do anel nas frequências  $F_1$  e  $F_2$ , verificando as diferenças existentes entre eles, na amplitude e na fase.

f) Atuar no controle de ganho (sensibilidade) do canal 2 de modo que o sinal do anel na frequência  $F_2$  tenha a mesma amplitude do sinal do anel na frequência  $F_1$ .

g) Atuar no controle de rotação de fase do canal 2, de modo que o sinal do anel na frequência  $F_2$  esteja defasado em mais que  $140^\circ$  em relação ao do sinal do anel, na frequência  $F_1$ .



#### 5.4.1.3 Calibração do Canal Misturador para eliminação do sinal das chicanas

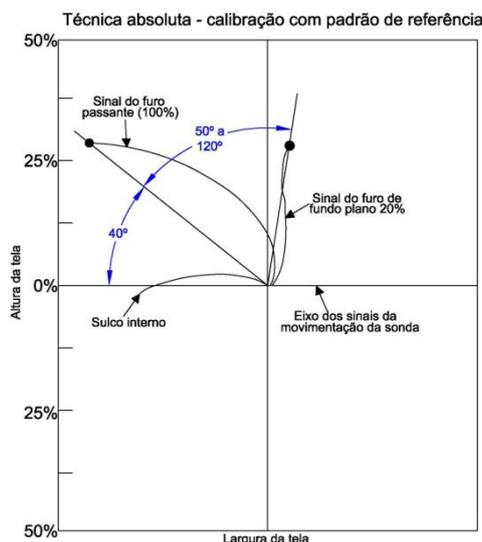
- a) Promover a mistura das frequências até que o sinal do anel se reduza a menos da metade da menor divisão da tela.
- b) Colocar sonda no interior do padrão e puxá-la de uma extremidade a outra, observando se os sinais de todas as extremidades são projetados na tela, de modo claro e distinguíveis uns dos outros.
- c) Verificar se a amplitude pico a pico do sinal dos furos externos de 20% é igual ou maior do que 30% da escala horizontal. Se isto não acontecer, atuar nos controles do aparelho de modo a atender tal requisito.
- d) Ajustar o controle de rotação de fase de modo a atender para o canal misturador ao especificado no item 5.3.1.1.
- e) Posicionar a sonda de ensaio no interior do tubo padrão numa de suas extremidades e puxá-la ao longo deste, com uma velocidade semelhante à velocidade de ensaio, de modo a passar por todas as descontinuidades nela usinadas.  
Registrar cada um desses sinais e assegurar-se de que a presença do anel no tubo padrão, posicionado sobre cada descontinuidade ali existente, não altera os sinais dessas descontinuidades, em suas formas e amplitudes.

#### 5.4.2 Configuração e ajuste do sistema analógico com a sonda em Arranjo Absoluto

##### 5.4.2.1 Calibração do Canal 1 (frequência principal – F1)

- a) Conectar ao aparelho de correntes parasitas a sonda em arranjo absoluto. *Os canais absolutos devem estar habilitados.*
- b) Coletar os sinais das descontinuidades do padrão em modo absoluto.
- c) Ajustar a frequência no canal correspondente a frequência principal para um valor que permita obter uma diferença nos ângulos de fase de  $50^\circ$  a  $120^\circ$  entre a linha que une o ponto de origem do sinal do furo passante ao seu topo e a linha que une o ponto de origem do sinal dos quatro furos externos de 20% ao seu topo, conforme Figura 5.
- d) Ajustar o controle de ganho (sensibilidade) do aparelho de ensaio de modo que o sinal dos quatro furos externos de 20% tenha uma amplitude pico a pico equivalente a, no mínimo, a 30% da tela.
- e) Ajustar o controle de rotação de fase do aparelho de ensaio, de modo que o sinal devido ao movimento da sonda no interior do tubo ou o sinal do rasgo circunferencial interno de 10% de profundidade ou ambos, estejam posicionados ao longo do eixo horizontal da tela com uma tolerância de  $\pm 5^\circ$ . Neste caso, os sinais correspondentes aos furos de calibração, devem permanecer como obtidos nos itens (c), (d) e (f). Ver Figura 4.
- f) Observar que a linha que une a origem do sinal correspondente ao furo passante ao seu topo deve estar a  $40^\circ \pm 5^\circ$  do semieixo horizontal negativo.
- g) Caso não seja possível atender ao item (f), retornar ao item (b), tentando uma nova frequência.
- h) Posicionar novamente a sonda no interior do tubo padrão, numa de suas extremidades, e puxá-la ao longo deste, com uma velocidade semelhante à velocidade de ensaio. Registrar os sinais de todas as descontinuidades do tubo padrão, assegurando-se de que eles se apresentem claros e distinguíveis uns dos outros.

- i) Colocar o anel que simula as placas suportes ou chicanas no tubo padrão e fixá-lo numa região isenta de descontinuidades. Puxar a sonda de ensaio no interior do tubo, de modo a passá-la pelo anel fixado no padrão. Observar o sinal devido ao anel, anotando sua amplitude, a direção e o sentido em que se forma. Registrar o sinal correspondente ao anel.



**Figura 4 – Sinais indicativos de um sistema de ensaio com sonda interna em arranjo absoluto, devidamente calibrados**

#### 5.4.3 Calibração do Canal 2

- Promover o acesso dos sinais gerados pelo módulo de frequência 2 ou canal 2 à tela do osciloscópio de memória ou do monitor de vídeo.
- Ajustar o controle de frequência do canal 2 no aparelho de ensaio para um valor  $F_2$ , compreendido entre  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{1}{2}$  do valor de  $F_1$ , conforme descrito em 5.3.2.1.
- Ajustar o controle de ganho (sensibilidade) do canal 2 preliminarmente para um valor médio de sua escala de amplificação.
- Posicionar o anel no tubo padrão, numa região isenta de descontinuidades. Puxar a sonda de ensaio no interior do tubo, de modo a passá-la pelo anel fixado no padrão. Observar o sinal devido ao anel, anotando sua amplitude, a direção e o sentido em que se forma. Registrar o sinal correspondente ao anel.
- Comparar os sinais do anel nas frequências  $F_1$  e  $F_2$ , verificando as diferenças existentes entre eles, na amplitude e na fase.
- Atuar no controle de ganho (sensibilidade) do canal 2 de modo que o sinal do anel na frequência  $F_2$  tenha a mesma amplitude do sinal do anel na frequência  $F_1$ .
- Atuar no controle de rotação de fase do canal 2, de modo que o sinal do anel na frequência  $F_2$  esteja defasado em mais que  $140^\circ$  em relação ao do sinal do anel, na frequência  $F_1$ ;
- Promover a mistura das frequências até que o sinal do anel se reduza a menos da metade da menor divisão da tela.
- Colocar sonda no interior do padrão e puxá-la de uma extremidade a outra, observando se os sinais de todas as extremidades são projetados na tela, de modo claro e distinguível uns dos outros.



j) Verificar se a amplitude pico a pico do sinal dos furos externos de 20% é igual ou maior do que 30% da escala. Se isto não acontecer, atuar nos controles do aparelho de modo a atender tal requisito.

k) Ajustar o controle de rotação de fase de modo a atender para o canal misturador ao especificado no item h.

l) Posicionar a sonda de ensaio no interior do tubo padrão numa de suas extremidades e puxá-la ao longo deste, com uma velocidade semelhante à velocidade de ensaio, de modo a passar por todas as descontinuidades nela usinadas.

Registrar cada um desses sinais e assegurar-se de que a presença do anel no tubo padrão, posicionado sobre cada descontinuidade ali existente, não altera os sinais dessas descontinuidades, em suas formas e amplitudes;

## **6. FREQUÊNCIA DAS VERIFICAÇÕES DE CALIBRAÇÃO E RECALIBRAÇÃO**

**6.1** A calibração do sistema de ensaio é verificada quando alterados os parâmetros de calibração do aparelho ou dentro de intervalos que não excedam a quatro horas, para todos os canais utilizados no exame. A cada verificação da calibração, se ela permanece inalterada, gravam-se os sinais de todas as descontinuidades contidas no tubo padrão. Esses sinais são gravados no início e no fim do sistema de registro empregado.

**6.2** Uma nova calibração é feita sempre que:

- a) ficar constatado, nas verificações da calibração, que a calibração primeira foi alterada;
- b) qualquer um dos aparelhos que integre o sistema de ensaio for desligado;
- c) houver troca de sonda.

**6.3** Durante a inspeção, se constatar que o sistema de ensaio está descalibrado, todos os resultados colhidos anteriormente, até a última verificação da calibração ou recalibração, serão desprezados, providenciando-se nova coleta de resultados após uma nova calibração.

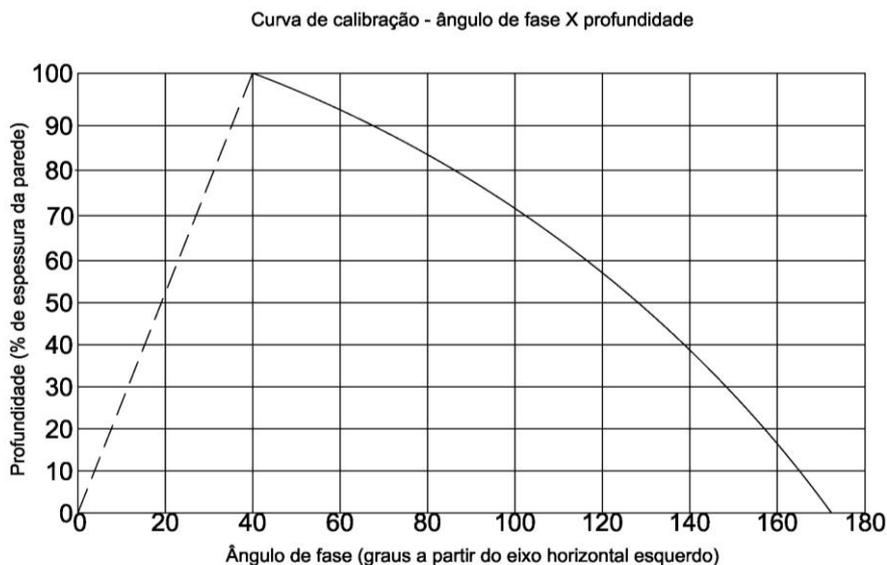
**6.4** Tanto na calibração inicial, quanto nas calibrações subsequentes, informações mínimas como as que se seguem são registradas em folhas de calibração (Anexo I).

- a) número da calibração ou recalibração;
- b) nome do cliente;
- c) identificação do componente ensaiado;
- d) identificação do sistema de registro;
- e) frequência do ensaio: do canal 1 e do canal 2;
- f) ganhos utilizados: do canal 1, do canal 2 e do canal misturador;
- g) ângulos de fase: do canal 1, do canal 2 e do canal misturador;
- h) identificação da sonda e do tipo de arranjo utilizado;
- i) identificação do padrão utilizado;
- j) local do ensaio, data e horário da calibração;
- k) nome e nível do operador/inspetor.

- 6.5 São registrados no início de cada inspeção todos os parâmetros da calibração/recalibração correspondente.

## 7. PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO

- 7.1 Na inspeção de tubos instalados deve ser verificada a limpeza interna destes, de modo a checar a remoção de quaisquer detritos que possam obstruir a livre passagem da sonda ou interferir nos resultados do ensaio.
- 7.2 Cada tubo é identificado por números que o localiza no equipamento, normalmente em termos de linha e coluna.
- 7.3 Depois da calibração, são preparados o gráfico de profundidade da descontinuidade X ângulo de fase para as sondas em arranjos diferencial ou absoluto, um para o canal 1, outro para o canal misturado, e as outras curvas pertinentes para as demais frequências, modos de operação e canais misturados utilizados. Os dados para as curvas são obtidos através dos sinais correspondentes às descontinuidades existentes no padrão, para os canais e misturadores. Ver Figura 5.



**Figura 5 – Curva para o canal 1 para sonda em arranjo diferencial ou absoluto**

## 8. EXECUÇÃO DO ENSAIO

- 8.1 Inserir a sonda no tubo a ser inspecionado e empurrá-la até a extremidade oposta, posicionando-a fora do tubo. Observar e relatar os casos de tubos obstruídos, permitindo apenas a inspeção parcial.
- 8.2 Registrar a identificação do tubo a ser ensaiado.
- 8.3 Movimentar a sonda no interior dos tubos, manualmente ou através de impulsadores. Observar, em qualquer dos casos que seja mantida uma velocidade constante e de valor compatível com a resposta de frequência dos equipamentos de *ensaio na inspeção em execução*.
- 8.4 Acompanhar pela tela toda a movimentação da sonda, até sua retirada do tubo, no sentido de se certificar que os equipamentos estão operando adequadamente e existe alguma indicação de descontinuidade para uma análise cuidadosa posteriormente.
- 8.5 Desacionar todo o sistema de ensaio.



- 8.6** Registrar os tubos ensaiados em folha própria, identificando-os por linhas, colunas e pelos equipamentos ensaiados. Ver Anexo II a ser preenchido somente pelos candidatos a Nível 1.
- 8.7** Registrar os tubos ensaiados em folha própria, identificando-os por linhas, colunas e pelos equipamentos ensaiados. Ver Anexo III a ser preenchido somente pelos candidatos a Nível 2.

## **9. INTERPRETAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS**

Este item aplica-se somente para a qualificação nível 2.

- 9.1** A análise das indicações detectadas é feita através dos sinais na forma X-Y projetados na tela, durante a aquisição de dados ou posteriormente, reproduzindo os sinais gravados em fita magnética ou em unidades de armazenamento.
- 9.2** Toda e qualquer indicação detectada é analisada no sentido de se determinar se ela corresponde a uma indicação de descontinuidade ou a uma indicação falsa, tais como , presença de depósitos magnéticos e/ou condutores nas superfícies internas e externas dos tubos, variações dimensionais tais como amassamentos ou alterações de diâmetro, e variações de propriedades (condutividade e permeabilidade);
- 9.3** A profundidade das descontinuidades detectadas deverá ser registrada em termos do percentual da espessura do tubo. Descontinuidades com profundidade inferior a 20% da espessura deverão ser registradas como <20% no Relatório de Ensaio por Correntes Parasitas". Ver Anexo III
- 9.4** Indicações "falsas" tais como aquelas produzidas por amassamentos (dentes) devem ser também registradas no "Relatório de Ensaio por Correntes Parasitas". Ver Anexo III.
- 9.5** Toda e qualquer indicação de descontinuidade detectada e considerada relevante, é analisada quanto à:
- a) sua localização em relação à parede do tubo (indicação interna ou externa);
  - b) sua profundidade ou percentual de perda de espessura;
  - c) sua localização ao longo do comprimento do tubo, tomando-se como referência o espelho do componente ensaiado de onde a sonda é arrastada, ou chicanas;
  - d) sua amplitude pico a pico, em Vpp (volts pico a pico);
  - e) O(s) canal (ais) que indicaram e foram utilizados para dimensionamento da indicação.

**9.6** As informações descritas anteriormente estão baseadas em normas, utilizadas no método de END. A finalidade destes critérios é treinar o candidato sob a supervisão do N3.

## **10. RELATÓRIO**

- 10.1** Terminadas as etapas de coleta de dados e análise é preparado um relatório detalhado, utilizando formulários indicados nos Anexos II ou III e IV
- 10.2** Cada registro gráfico é devidamente identificado e acompanhado de informações que identifiquem em que condições os registradores foram utilizados (escalas utilizadas, velocidade, etc.).
- 10.3** Todos os tubos ensaiados são registrados no relatório constante do Anexo II, para candidatos à qualificação Nível 1 ou no relatório constante do Anexo III, para candidatos à qualificação Nível 2, identificando-os segundo os registros gráficos.



- 10.4** Aqueles tubos que apresentarem indicações reportáveis terão essas indicações também registradas no relatório do Anexo III, com o registro de suas profundidades, amplitudes ( $V_{pp}$  – volts pico a pico) e localizações ao longo do comprimento do tubo. Este item vale somente para candidatos à qualificação Nível 2.
- 10.5** Aqueles tubos que apresentarem indicações reportáveis terão essas indicações também registradas no Croqui de Localização de Indicações do Anexo IV, onde as posições dessas indicações ao longo do comprimento dos tubos serão marcadas, com uma tolerância de 20 mm.

## **11. ANEXOS**

- 11.1** Anexo I: Folha de Calibração
- 11.2** Anexo II: Relatório de Ensaio por Correntes Parasitas
- 11.3** Anexo III: Relatório de Ensaio por Correntes Parasitas
- 11.4** Anexo IV: Croqui de Localização de Indicações



ANEXO I

ENSAIO POR CORRENTES PARASITAS DE TUBOS INSTALADOS EM COMPONENTES DE TROCA TÉRMICA		
FOLHA DE CALIBRAÇÃO Nº _____		
Fita magnética ou disquete: nº _____		Registro Gráfico (rolo): nº _____
1. Cliente: _____		
2. Componente ensaiado: _____		
Tubo (material): _____		Diâmetro: _____ mm
Espessura: _____ mm		Padrão Utilizado (nº): _____
3. Sistema de Ensaio/Dados de Calibração:		
3.1 Aparelho de Ensaio (marca/modelo): _____		
Canal 1: Freqüência: _____ kHz		Ganho: _____ Fase: _____
Canal 2: Freqüência: _____ kHz		Ganho: _____ Fase: _____
Canal Misturador: _____		
3.2 Sondas de ensaio (marca/modelo): _____		
Sonda de ensaio: _____		Diâmetro: _____ mm Arranjo: _____
Sonda referência: _____		Diâmetro: _____ mm Arranjo: _____
4. Movimentação da sonda de ensaio: _____		
_____		
_____		
5. Local do Ensaio/Data/Hora: _____		
6. Operador/Inspetor: _____		Nível: _____







**CORRENTES PARASITAS  
PROCEDIMENTO DE END**

**PR-012**

Manual: **S-CP**  
 Página: **19 de 18**  
 Revisão: **4 (Mar/2024)**

**ANEXO IV – Deve ser preenchido somente por candidatos a Nível 2**

**CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DE INDICAÇÕES-RELATORIO DE CORRENTES PARASITAS**

**CANDIDATO (NOME):** \_\_\_\_\_

**TUBO (CP) N<sup>o</sup>:** \_\_\_\_\_ **DATA:** \_\_\_\_\_

	-0		-400		-800		-1200		-1600
	-		-		-		-		-
	-		-		-		-		-
	-50		-450		-850		-1250		-1650
	-		-		-		-		-
	-		-		-		-		-
	-100		-500		-900		-1300		-1700
	-		-		-		-		-
	-		-		-		-		-
	-150		-550		-950		-1350		-1750
	-		-		-		-		-
	-		-		-		-		-
	-200		-600		-1000		-1400		-1800
	-		-		-		-		-
	-		-		-		-		-
	-250		-650		-1050		-1450		-1850
	-		-		-		-		-
	-		-		-		-		-
	-300		-700		-1100		-1500		-1900
	-		-		-		-		-
	-		-		-		-		-
	-350		-750		-1150		-1550		-1950
	-		-		-		-		-
	-		-		-		-		-
	-400		-800		-1200		-1600		-2000