

ESTUDO DOS NÍVEIS DE MAGNETIZAÇÃO DE SONDAS DE CORRENTES PARASITAS UTILIZÁVEIS NO ENSAIO DE TUBOS FERROMAGNÉTICOS¹

*Donizete Anderson de Alencar²
Silvério Ferreira da Silva Júnior²
Adolpho Soares³
Wellingtonia Domingos Dias⁴*

Resumo

A inspeção de tubos instalados em trocadores de calor por meio do ensaio de correntes parasitas tem se tornado cada vez mais freqüente. Para tubos constituídos de materiais não ferromagnéticos, diversas técnicas ensaio estão estabelecidas e bons resultados têm sido obtidos com o uso de sondas de teste convencionais. Quando os tubos a serem examinados são ferromagnéticos, a presença da permeabilidade magnética pode constituir forte dificuldade para a aplicação do método. Para tornar possível a inspeção de tais tubos por meio deste método de ensaio, uma técnica proposta é a utilização de dispositivos de magnetização. Nos materiais adequadamente magnetizados, o efeito da permeabilidade magnética é anulado e a aplicação do ensaio torna-se possível, com o uso de sondas convencionais. Neste trabalho, apresentam-se os resultados encontrados num estudo experimental, conduzido no laboratório de ensaios não destrutivos do CDTN, para avaliar os níveis de magnetização necessários para viabilizar a aplicação do método de correntes parasitas em tubos de aço carbono.

Palavras-chave: Correntes parasitas; END; Trocadores de calor.

STUDY OF THE MAGNETIZATION LEVELS OF EDDY CURRENT PROBES USED TO EXAMINE FERROMAGNETIC TUBES

Abstract

The inspection of tubes installed in heat exchangers by means of the eddy current method has become very common. For nonferromagnetic tubes many eddy current testing techniques are established and good results have been obtained, using conventional probes. By other hand, when the examined tubes are ferromagnetic, their intrinsic magnetic permeability may constitute strong impedance for the application of such inspection method. To allow their inspection, a proposed technique is the use of magnetization devices. If the inspected material be properly magnetized, the magnetic permeability effect is canceled and the application of eddy current method can be accomplished, using conventional probes and equipment. In this paper results found in an experimental study conducted at CDTN are presented.

Key words: Eddy current; Nondestructive testing; Heat exchangers.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Doutor. CDTN/CNEN.*

³ *Doutor. CDTN/CNEN.*

⁴ *Mestre. Technotest Ltda.*

⁵ *Bolsista de iniciação científica. CDTN/FAPEMIG.*

1 INTRODUÇÃO

Trocadores de calor constituem parcela importante de equipamentos instalados no parque industrial brasileiro e que estão sujeitos a desgastes que podem levá-los à condição de falha. Para avaliar seu estado de integridade realizam-se inspeções periódicas, nas quais um dos métodos de ensaios não destrutivos mais utilizados é o de correntes parasitas. Para trocadores que utilizam tubos confeccionados com materiais não ferromagnéticos existem equipamentos específicos, padrões de referência e sondas disponíveis no mercado, e a eficácia deste método na detecção e avaliação de discontinuidades é comprovada.⁽¹⁾ Contudo, quando os trocadores são construídos com tubos feitos de materiais ferromagnéticos, a aplicação do ensaio convencional de correntes parasitas mostra-se ineficaz.⁽²⁾

Neste caso, os sinais obtidos apresentam um ruído aleatório causado pela intensidade e, principalmente, pela não homogeneidade de distribuição da permeabilidade magnética do material sob teste, o que inviabiliza a detecção e a interpretação dos sinais registrados para as discontinuidades volumétricas existentes. Para reduzir ou anular estes efeitos uma técnica proposta é a utilização de dispositivos auxiliares de magnetização, que podem viabilizar a aplicação do ensaio, com o uso de sondas de teste convencionais.⁽³⁾

O objetivo deste trabalho é verificar experimentalmente, para diferentes níveis de magnetização, a amplitude dos sinais obtidos, assim como o nível de ruído associado a não homogeneidade de distribuição da permeabilidade magnética, no ensaio de tubos fabricados com materiais ferromagnéticos pelo método de correntes parasitas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Sonda de Teste

Na Figura 1 pode ser vista uma representação esquemática de uma sonda de testes interna, inserida num tubo. Observa-se que a sonda é composta por um sensor de correntes parasitas (geralmente diferencial), localizado no centro do arranjo ladeado por duas bobinas de magnetização. Estas bobinas são enroladas sobre núcleos fabricados com materiais com alta permeabilidade magnética, como o **Hyperco®** ou o **Permendur®**.⁽⁴⁾ Estas ligas contêm Ferro e Cobalto (teores de 48% a 49,9%) e Vanádio (até 2%) e incrementam a densidade do fluxo magnético **B** obtido. Os enrolamentos são conectados em série e alimentados por corrente contínua, fornecida por uma fonte de alimentação. Assim, a intensidade do campo magnético **H** pode ser ajustada, conforme a intensidade da corrente aplicada, até atingir-se a condição de saturação.

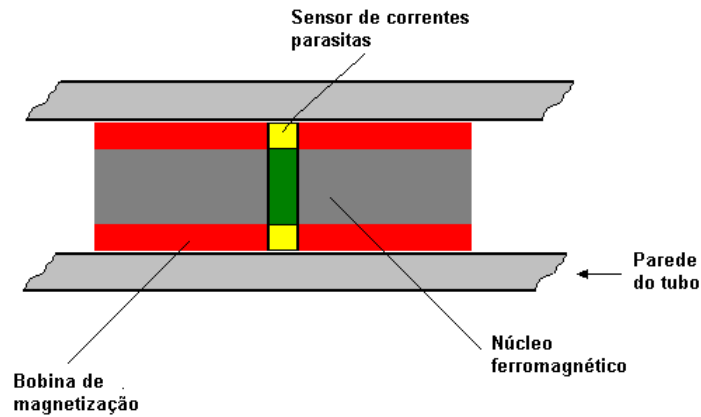


Figura 1. Representação esquemática de uma sonda inserida num tubo.

Para desenvolver os experimentos deste trabalho foi empregada uma sonda fabricada pela empresa Deltatest GmbH, cujo aspecto pode ser visto n Figura 2. Esta sonda tem um diâmetro nominal de mm. Possui indutâncias de $270 \mu\text{H}$ para o sensor de correntes parasitas e de $10,82 \text{ mH}$ para as bobinas de saturação.



Figura 2. Sonda de teste utilizada

2.2 Instrumentação

Para realizar os experimentos foi utilizado um equipamento de ensaios por correntes parasitas fabricado pela empresa Eddy Current Technology - ECT, modelo MAD8D.⁽⁵⁾. Este sistema possui um conjunto de *softwares* para aquisição, registro e análise de sinais obtidos. Para promover a magnetização empregou-se uma fonte de alimentação de precisão Hewlett-Packard, modelo 6227B. A corrente foi medida com um multímetro digital Agilent Technologies, modelo 34401A. Estes equipamentos podem ser vistos na Figura 3.

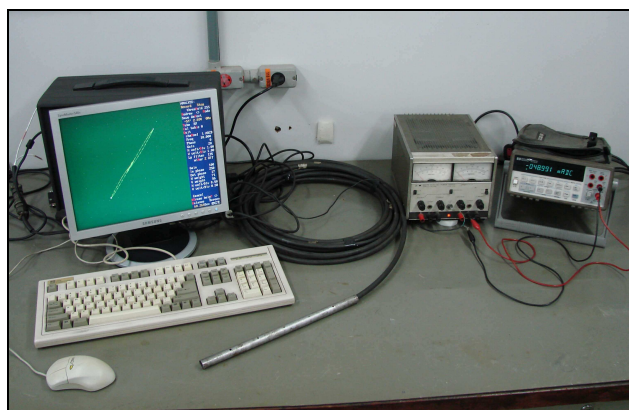


Figura 3. Instrumentação utilizada.

As medições de densidade do fluxo magnético foram realizadas utilizando-se o equipamento F.W. Bell, Gauss/TeslaMeter - Modelo 5080 e sensor Hall modelo SPB58-0402.

2.3 Corpo-de-Prova

Utilizou-se como corpo-de-prova um tubo de aço carbono AISE-1020 sem costura, com diâmetro externo nominal de 17,4 mm e espessura de parede nominal de 1,50 mm. Neste tubo foram usinadas, por meio de eletro-erosão, cinco descontinuidades volumétricas externas (orifícios de fundo plano) com diâmetro nominal de 4,12 mm, espaçadas entre si de aproximadamente 50 mm, cujas profundidades são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Profundidades das descontinuidades do corpo-de-prova

Descontinuidade	Profundidade (mm)
1	1,50
2	1,20
3	0,90
4	0,40
5	0,12

2.4 Procedimentos Experimentais

Inicialmente, executou-se um experimento de calibração das bobinas de magnetização, medindo-se a densidade do fluxo magnético obtido em função da corrente contínua aplicada, até atingir-se a condição de saturação, como representado no gráfico da Figura 4.

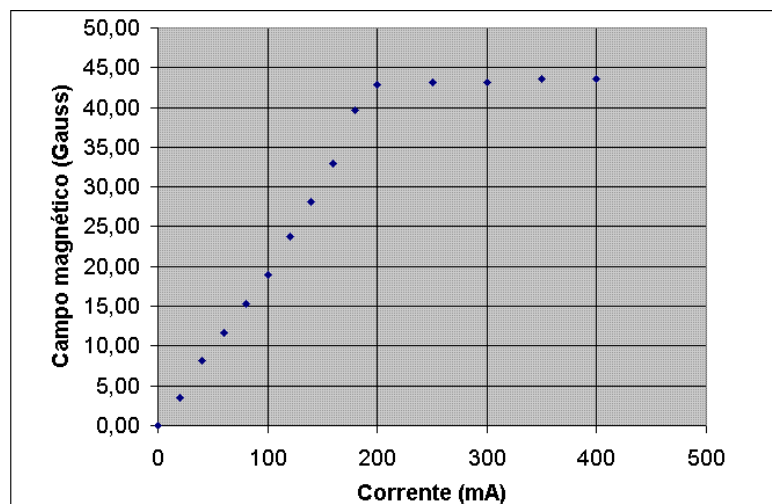


Figura 4. Intensidade de corrente versus intensidade de campo magnético.

Em seguida, a sonda de teste foi conectada ao sistema MAD8D (canal 1) operando na frequência de 10 kHz. A sonda foi introduzida no corpo-de-prova, a corrente aplicada nas bobinas de magnetização foi ajustada para 500 mA e o sistema foi balanceado. A sonda foi então deslocada, obtendo-se, após sucessivos ajustes, valores de referência para o ganho (20), fase (zero grau) e sensibilidade (1 volt/divisão). Nestas condições, quando não há descontinuidades volumétricas no corpo-de-prova, vê-se apenas um ponto centralizado na tela do sistema de ensaio. Ocorrerá a formação de uma figura de *Lissajous*, sempre que a

sonda passar por alguma descontinuidade ou falha volumétrica existente no corpo-de-prova. Uma figura de *Lissajous* típica está representada na Figura 5.



Figura 5. Figura de *Lissajous* típica.

Foram então estabelecidos diversos valores de intensidade de campo magnético para a sonda de teste. Os sinais correspondentes às descontinuidades existentes no corpo-de-prova foram registrados, medindo-se sua amplitude e inclinação. Na Figura 6 podem ser vistas três figuras de *Lissajous*, com diferentes amplitudes, obtidas para a mesma descontinuidade (# 2), sob diferentes densidades do fluxo magnético (sem atingir a saturação).

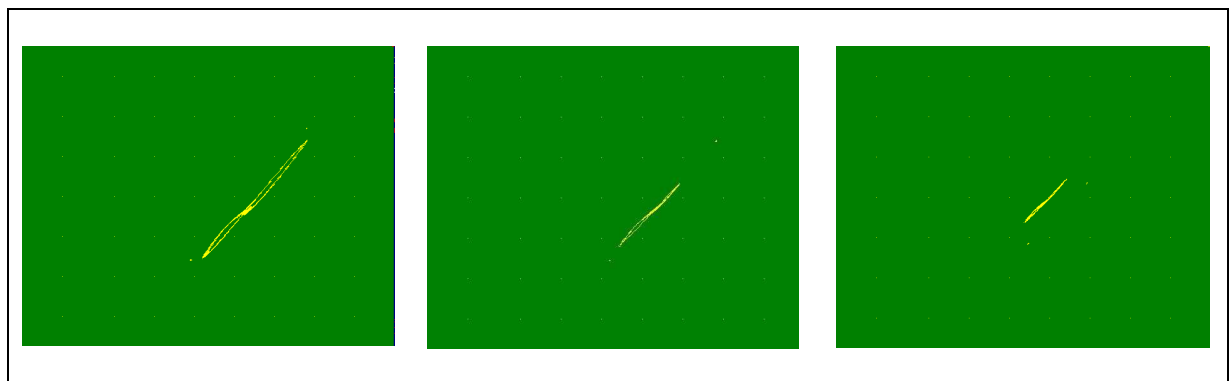


Figura 6. Figuras registradas com diferentes intensidades de campo magnético.

Mediu-se ainda a amplitude do ruído associado a não homogeneidade de distribuição da permeabilidade magnética pelo material.

3 RESULTADOS

O sinal correspondente ao ruído associado a não homogeneidade de distribuição da permeabilidade magnética pelo material apresentou amplitude máxima de 0,37 Volts para densidades de fluxo magnético inferiores a 6,8 Gauss. A amplitude mínima foi de 0,19 Volts, para densidades de fluxo magnético superiores a 42,8 Gauss.

No Quadro 2 apresentam-se os valores de amplitude e fase, medidos sob diversas densidades de fluxo magnético, tomados para a descontinuidade de 1,20 mm de profundidade, que corresponde a 80% de perda de parede do corpo-de-prova utilizado.

Quadro 2. Valores de amplitude e fase obtidos em função do campo de magnetização.

Corrente Nominal (mA)	Densidade de fluxo magnético (Gauss)	Fase (graus)	Amplitude (Volts)
0	0	-	-
50	6,8	44	0,37
75	14,4	46	0,78
100	19,0	46	1,07
125	24,8	49	2,00
150	30,5	49	2,21
200	42,8	51	2,69
250	43,1	51	3,08
300	43,2	52	3,10
350	43,6	52	3,12
400	43,6	52	3,00
500	43,6	52	2,98

4 DISCUSSÃO

Os experimentos apontam com clareza que as melhores condições de trabalho (relação sinal/ruído), para as condições de operação impostas, ficam na faixa de densidades de fluxo magnético compreendida entre 14,4 Gauss e 42,8 Gauss, aqui denominada como **faixa útil de operação**. Para densidades de fluxo menores que 6,8 Gauss a detectabilidade de descontinuidades volumétricas localizadas, mesmo grandes (1,20 mm ou 80% de perda de espessura) fica comprometida, pois a amplitude do ruído, associado a não homogeneidade de distribuição da permeabilidade magnética pelo material, alcança valores semelhantes àquelas correspondentes às descontinuidades, da ordem de 0,36 Volts. Por outro lado, observa-se que densidades de fluxo superiores a 43,2 Gauss não trazem nenhuma melhoria na detectabilidade ou na relação sinal/ruído.

Dentro da **faixa útil de operação**, verifica-se que quanto maior a intensidade do campo de magnetização maior é a amplitude dos sinais correspondentes às descontinuidades volumétricas, viabilizando a utilização de métodos de caracterização por amplitude. A região com melhor relação sinal/ruído, ou **ponto ideal de operação**, está logo abaixo do limite superior (42,8 Gauss). Por outro lado, a variação de fase ou inclinação das figuras de *Lissajous* obtidas foi pequena (inferior a oito graus), o que inviabiliza a utilização de métodos de caracterização e análise de descontinuidades por fase.⁽⁶⁾

Pode-se afirmar também que o excesso de magnetização colabora para incrementar perdas (na forma de calor), bem como aumentar a resistência ao deslocamento (agarramento magnético) e o atrito da sonda de teste contra a parede interna do corpo-de-prova. Estes efeitos podem comprometer a integridade e/ou funcionalidade da sonda.

5 CONCLUSÃO

A técnica de magnetização empregada nos experimentos mostrou-se tecnicamente viável para detectar e caracterizar, apenas por amplitude de sinais,

descontinuidades volumétricas presentes em tubos construídos com materiais ferromagnéticos.

É recomendável determinar experimentalmente a faixa útil de operação da sonda de teste utilizada e estabelecer o ponto ideal de operação para promover a magnetização.

Agradecimentos

Ao técnico José Marcos Messias, do Laboratório de Ensaios não Destrutivos do CDTN, pelo apoio dado nas medições dimensionais realizadas.

À FAPEMIG pelo financiamento parcial do projeto de pesquisa ao qual estão vinculados, dentre outros, os experimentos apresentados neste trabalho.

Ao CDTN pelo apoio institucional e cessão da infra-estrutura laboratorial.

REFERÊNCIAS

- 1 American Society for Nondestructive Testing - ASNT, NDT Handbook, Eletromagnetic Testing, Vol. 5, 3 ed. 2004
- 2 SILVA JUNIOR, S. F.; ALENCAR, D. A. Evaluation of Ferromagnetic Heat Exchanger Tubes by Eddy Current Testing Method. In: II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2002, João Pessoa - PB. Anais..., 2002.
- 3 D. STEGMAN, Curso de Correntes Parasitas, ABENDE, São Paulo, 1987.
- 4 MATWEB, Permendur Technical Data Sheets. Disponível em: <http://www.suppliersonline.com/propertypages/hiperco.asp> Acesso em 18 dez. 2008.
- 5 EDDY CURRENT TECHNOLOGY INC - ECT INC, MAD-8D operating manual. Virginia Beach: ECT, 2002.
- 6 American Society of Mechanical Engineers – ASME, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Eddy Current Examination of Tubular Products, Section V, Article 8, New York, 1999.