

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DO REVESTIMENTO DE AÇO AISI 304 DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DO REATOR TRIGA IPR-R1 DO CDTN PELO MÉTODO DE CORRENTES PARASITAS – SONDAS SUPERFICIAIS

Roger Ferreira da Silva, rfs@cdtn.br¹

Silvério Ferreira da Silva Junior, silvasf@cdtn.br¹

¹Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Av. Pres. Antônio Carlos, 6.627 - Campus da UFMG, Pampulha - CEP 31270-901 - Belo Horizonte, MG

Resumo: Em todo o mundo, há 264 reatores nucleares de pesquisa em operação ou temporariamente desligados, dos quais 37 são do tipo TRIGA, como o reator IPR-R1 do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). Durante o tempo de vida de um reator nuclear, suas estruturas estão sujeitas a condições de serviço que podem levar a mudanças nas propriedades dos seus materiais, afetando suas funções de segurança. A avaliação do reator é importante para a tomada de decisão quanto à extensão de sua vida operacional ou seu descomissionamento. Um item de segurança crítico é o revestimento do combustível nuclear, pois é a barreira contra a liberação de materiais radioativos ao ambiente. O método de ensaio não destrutivo por correntes parasitas é um excelente instrumento para acompanhar a degradação do revestimento, pois possibilita a determinação de perdas de espessura graduais, perdas de espessura localizadas, presença de pites de corrosão, amassamentos e inclusões. Neste contexto, a proposta deste trabalho consiste na aplicação da tecnologia de correntes parasitas em uma metodologia para a avaliação do revestimento cilíndrico de aço AISI 304 do combustível do reator TRIGA IPR-R1 do CDTN, incluindo o desenvolvimento de sondas superficiais, padrões de calibração e corpos de prova. Os resultados obtidos indicam a aplicabilidade deste ensaio para este tipo de avaliação.

Palavras-chave: reator nuclear de pesquisa, integridade estrutural, ensaios não destrutivos, correntes parasitas, AISI 304

1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, há 264 reatores nucleares de pesquisa em operação ou temporariamente desligados, dos quais 37 são do tipo TRIGA (*Training, Research, Isotopes, General Atomics*), como o reator IPR-R1 do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) (IAEA, 2015). Os reatores TRIGA utilizam elementos combustíveis cilíndricos com revestimento de alumínio ou aço inoxidável (IAEA, 2005).

Durante o tempo de vida de um reator nuclear, suas estruturas, sistemas e componentes estão sujeitos a condições específicas de serviço que podem levar a mudanças nas suas propriedades (efeitos de envelhecimento) e afetar suas funções de segurança (IAEA, 2010). A corrosão e a consequente redução na espessura de parede do revestimento do combustível é um exemplo de degradação por envelhecimento de um importante componente de segurança de um reator nuclear. Trabalhos anteriores avaliaram a corrosão em componentes no ambiente do reator TRIGA IPR-R1, sendo detectada corrosão por pites em vários elementos combustíveis (Perrota, Silva, 2000; Alencar et al, 2006 e Neves et al., 2006).

A avaliação do revestimento de combustíveis nucleares é realizada utilizando-se métodos de ensaios não destrutivos como inspeção visual remota, teste de sipping, ultrassom e correntes parasitas. Com o uso do ensaio por correntes parasitas, é possível acompanhar a degradação do revestimento do combustível (Cosarinsky et al, 2011), quantificando-se a perda de material ocorrida e possibilitando a retirada do elemento combustível do reator antes que a falha do mesmo ocorra, assegurando uma operação segura.

O ensaio não destrutivo por correntes parasitas é um método eletromagnético usado em inspeções superficiais e subsuperficiais de materiais condutores elétricos. É um excelente instrumento para acompanhar a degradação do revestimento do combustível nuclear, pois possibilita a determinação de perdas de espessura graduais, perdas de

espessura localizadas, presença de pites de corrosão, amassamentos e inclusões. Com o método, é possível detectar as discontinuidades existentes, sua posição ao longo do revestimento e a perda de espessura correspondente. (ASNT, 2004).

Alencar (2004) desenvolveu um estudo exploratório para a inspeção do revestimento dos elementos combustíveis do tipo TRIGA e MTR pelo método de correntes parasitas com sondas superficiais. Em buscas por trabalhos que utilizassem o método de correntes parasitas para inspeção de revestimento de combustível de reatores nucleares de pesquisa, não foram encontrados outros.

A proposta do presente trabalho é desenvolver uma metodologia que possibilite a avaliação dos elementos combustíveis de revestimento de aço AISI 304 do reator TRIGA IPR-R1 do CDTN utilizando-se sondas superficiais de correntes parasitas. Compreende também o desenvolvimento de sondas, padrões de calibração e corpos de prova.

2. O ELEMENTO COMBUSTÍVEL

O conjunto do combustível nuclear físsil e seus materiais de revestimento não físeis é chamado elemento combustível. O núcleo do reator do CDTN possui elementos combustíveis cilíndricos de U-ZrH (urânio-hidreto de zircônio) com revestimento de alumínio 1100-F ou aço inoxidável AISI 304. A espessura do revestimento de AISI 304 é 0,51mm. Na Fig. 1, são apresentadas as dimensões do elemento combustível foco deste trabalho. (CDTN, 2001).

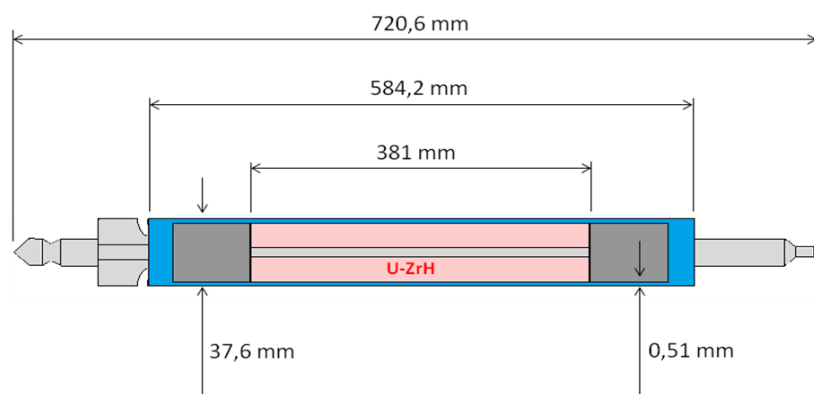


Figura 1. Elemento combustível com revestimento de aço AISI 304. Veloso (2005) adaptado.

A principal função do revestimento do combustível é impedir o contato direto entre o combustível e os seus produtos de fissão, e o ambiente vizinho, evitando a contaminação deste.

3. METODOLOGIA

Foi desenvolvida uma metodologia de ensaio para a detecção de discontinuidades superficiais e subsuperficiais e de perda de espessura no revestimento dos elementos combustíveis de aço inoxidável AISI 304 do reator TRIGA IPR-R1, por meio de sondas superficiais de correntes parasitas. Foi realizado nas seguintes etapas:

- projeto e construção de padrões de calibração tubulares com as dimensões específicas do revestimento dos elementos combustíveis de aço AISI 304 do reator TRIGA IPR-R1, contendo discontinuidades artificiais do tipo furo e perdas de espessura de parede, representativas de discontinuidades possíveis de serem encontradas no revestimento real;
- projeto, construção e qualificação de sondas superficiais adequadas para a inspeção do revestimento;
- desenvolvimento de metodologia de calibração e ensaio, por meio de testes do sistema de ensaio (MAD 8D e sondas) e análise dos sinais obtidos pelas sondas na avaliação dos padrões de calibração;
- projeto e construção de corpos de prova para a validação da metodologia de ensaio desenvolvida;
- validação da metodologia de ensaio.

As atividades foram desenvolvidas principalmente no Laboratório de Ensaios Não Destrutivos do CDTN.

3.1. Padrões de calibração e corpos de prova

Para a fabricação dos padrões de correntes parasitas e dos corpos de prova, foram adquiridos tubos de aço AISI 304, com mesmo diâmetro e mesma espessura que o revestimento do elemento combustível. Nos padrões e corpos de prova de discontinuidade pontual, foram feitos furos redondos de fundo plano por eletroerosão. Os padrões de perda de espessura foram fabricados usinando-se em uma fresa CNC a parede interna dos tubos adquiridos.

Na Tab. 1 e Tab. 2, são listadas as discontinuidades artificiais de cada padrão e corpo de prova de discontinuidade pontual, respectivamente. A classificação do furo como interno ou externo foi feita utilizando-se como referência a

sonda. Dessa forma, um furo posicionado na parede externa de um tubo, é considerado como sendo um furo interno para a sonda, pois está próximo às bobinas sensoras da mesma. Já um furo posicionado na parede interna de um tubo, é considerado como sendo um furo externo para a sonda.

Tabela 1. Descontinuidades (furos) dos padrões de descontinuidade pontual

Padrão de calibração	Diâmetro do furo (mm)	Furo interno ou externo ou passante	Profundidade (mm)	Perda relativa de espessura (%)
PF1	1,0	Interno	0,255	50%
	1,0	Interno	0,382	75%
	1,0	Passante	-	100%
PF2	0,5	Interno	0,255	50%
	0,5	Interno	0,382	75%
	0,5	Passante	-	100%
PF3	1,0	Externo	0,255	50%
	1,0	Externo	0,382	75%
	1,0	Passante	-	100%
PF4	0,5	Externo	0,255	50%
	0,5	Externo	0,382	75%
	0,5	Passante	-	100%

Tabela 2. Descontinuidades (furos) dos corpos de prova de descontinuidade pontual

Corpo de prova	Diâmetro do furo (mm)	Furo interno ou externo ou passante	Profundidade (mm)	Perda relativa de espessura (%)
CF1	1,0	Interno	0,300	59%
	1,0	Interno	0,440	86%
CF2	0,5	Interno	0,290	57%
	0,5	Interno	0,440	86%
CF3	1,0	Externo	0,280	55%
	1,0	Externo	0,430	84%
CF4	0,5	Externo	0,290	57%
	0,5	Externo	0,440	86%

Na Fig. 2, é apresentada a foto dos padrões e dos corpos de prova de descontinuidade pontual fabricados.



Figura 2. Foto dos padrões e corpos de prova de descontinuidade pontual

Na Tab. 3 e na Fig. 3 são apresentados, respectivamente, as espessuras e a foto dos padrões de perda de espessura.

Tabela 3. Espessuras dos padrões de perda de espessura

Padrão de calibração	Espessura (mm)	Perda de espessura em relação à espessura de balanço (%)
PE1 (usado para o balanço)	0,510	0%
PE2	0,445	12,7%
PE3	0,415	18,6%
PE4	0,323	36,7%



Figura 3. Foto dos padrões de perda de espessura

3.2. Sondas de inspeção

Foram projetadas (analiticamente, com o auxílio do *software* CalCOILS) e construídas duas sondas superficiais de modo pseudoabsoluto, usadas em diferentes frequências (que correspondem a diferentes profundidades de penetração de correntes parasitas). São duas as configurações das sondas construídas: sem invólucro (tradicional) e com invólucro, que, diferentemente da sonda superficial tradicional, possui uma proteção externa que envolve o objeto cilíndrico inspecionado. Essa proteção confere maior estabilidade mecânica à sonda.

Para os enrolamentos das sondas, foram usados fios de cobre esmaltados de vários diâmetros que, após enrolados adequadamente na carcaça de polímero, foram ligados aos cabos de conexão das sondas ao MAD 8D, equipamento de medição de correntes parasitas.

Suas características estão no Quad. 1 e na Tab. 4. As frequências das sondas foram escolhidas de forma que correspondessem às densidades de correntes parasitas desejadas na parede interna do padrão.

Quadro 1. Características gerais das sondas superficiais

Diâmetro interno das bobinas	2,0 mm
Distância da bobina à extremidade do elemento sensor	0,5 mm
Fator de enchimento (sonda com invólucro)	97%

Tabela 4. Características específicas das sondas superficiais

ID da sonda	CP na parede oposta (%)	Frequência de projeto (kHz)	Impedância no ar (Ω)
SS2	50	320	47,27
SS4	36,8	670	48,89
SS4-970	30	970	70,75

A sonda SS4 foi usada em duas frequências diferentes, como pode ser visto na Tab. 4. Na Fig. 4, são apresentadas as sondas envoltivas depois de montadas.

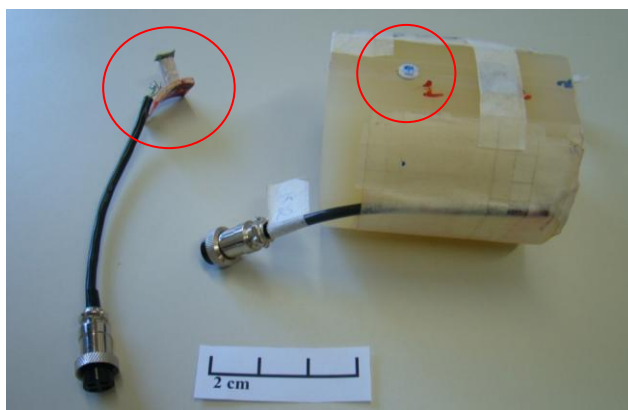


Figura 4. Foto das sondas superficiais. Sonda SS2 à direita

3.3. Calibração e validação

Primeiramente, foram feitos vários testes, por meio dos quais foi possível determinar os melhores valores de parâmetros do MAD 8D (ganho, ângulo de fase e escala de exibição) para o uso de cada uma das sondas.

Na detecção de descontinuidade pontual, foram utilizadas três configurações: SS2 (sonda com invólucro) com frequência de 320kHz, SS4 (sonda sem invólucro) com frequência 670kHz e SS4 com frequência 970kHz. Os quatro padrões de descontinuidade pontual foram analisados, passando-se estes no interior da sonda SS2 (Fig. 5), ou passando-se a sonda SS4 sobre o padrão. O sinal de correntes parasitas correspondente a cada descontinuidade artificial (furos externos, internos ou passantes) foi obtido e salvo e seu ângulo medido. Então, foram traçadas as curvas de referência. Por fim, os corpos de prova também foram inspecionados e o sinal de correntes parasitas correspondente a cada descontinuidade artificial salvo, medido e comparado às curvas de referência de calibração.

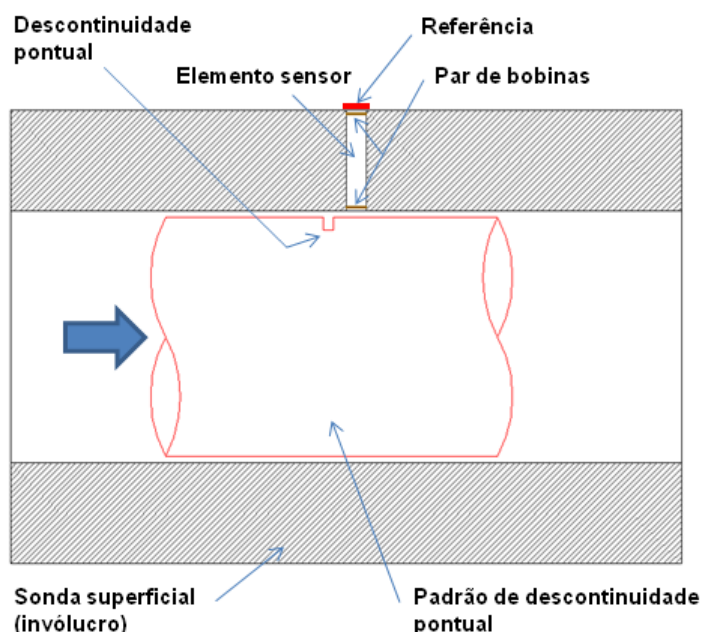


Figura 5. Esquema do posicionamento sonda/padrão para detecção de descontinuidade pontual pela sonda SS2

Na detecção de perda de espessura, foi usada a sonda SS4 com frequência de 970kHz. Estabelecidos os parâmetros de ensaio, as sondas foram balanceadas (processo no qual o equipamento de correntes parasitas estabelece um valor “0” de medição) no padrão PE1 e usadas para se obter os sinais de correntes parasitas dos quatro padrões de perda de espessura, aproximando-se a sonda ao padrão de calibração (Fig. 6). Cada sonda teve os quatro sinais obtidos em uma só tela para que fosse possível a medição da amplitude entre o patamar correspondente a cada espessura e o patamar da espessura de balanço (PE1). Por fim, foram traçadas as curvas de referência.

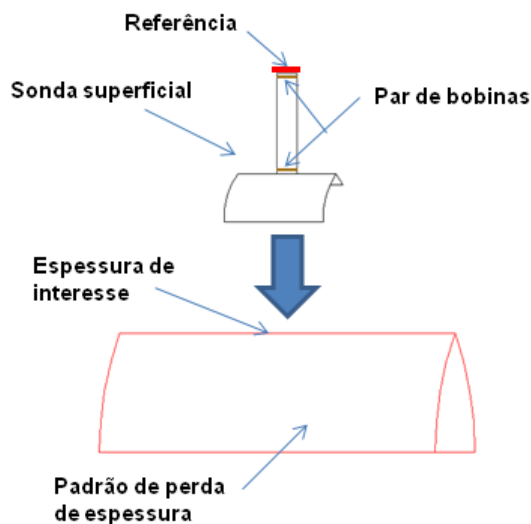
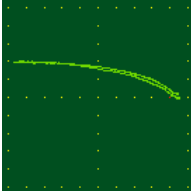
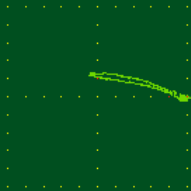
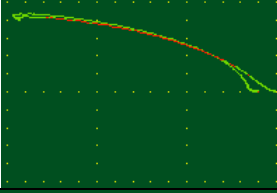
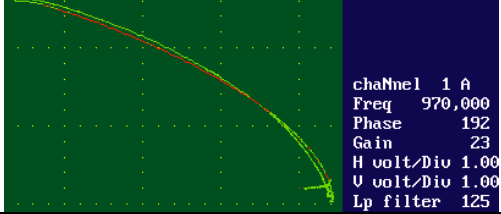
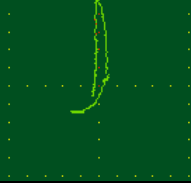
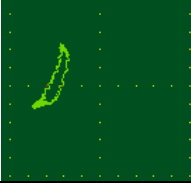


Figura 6. Esquema do posicionamento sonda/padrão para detecção de perda de espessura

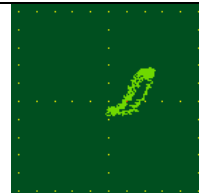
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados aqui os resultados referentes à calibração do sistema e à validação desta. No Quad. 2, são apresentados os sinais de correntes parasitas de calibração (padrões PF1, PF2, PF3 e PF4) da sonda SS4-970kHz, juntamente com seus parâmetros de ensaio. Já no Quad. 3, são apresentados os sinais de correntes parasitas de validação (corpos de prova CF1, CF2, CF3 e CF4) da mesma sonda.

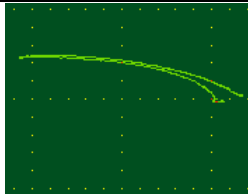
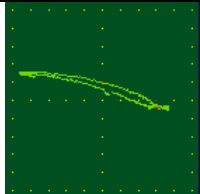
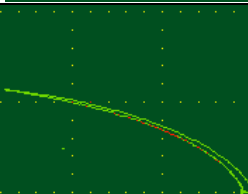
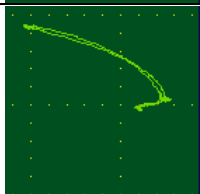
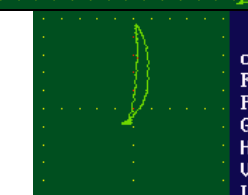
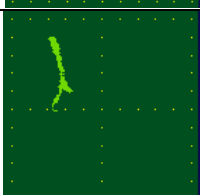
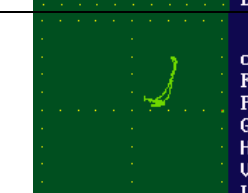
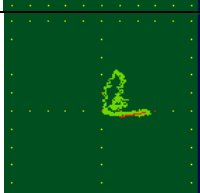
Quadro 2. Sinais das discontinuidades pontuais - Padrões PF1, 2, 3, e 4 - Sonda SS4 - Frequência 970kHz

Furo E/P/I	Profundidade do furo (% da parede)	Diâmetro do furo	
		1,0 mm	0,5 mm
Interno	50%	 chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 1.00 V volt/Div 1.00 Lp filter 125	 chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 0.50 V volt/Div 0.50 Lp filter 125
	75%	 chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 1.00 V volt/Div 1.00 Lp filter 125	 chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 0.50 V volt/Div 0.50 Lp filter 125
Passante	100%	 chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 1.00 V volt/Div 1.00 Lp filter 125	 chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 0.50 V volt/Div 0.50 Lp filter 125
Externo	75%	 chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 1.00 V volt/Div 1.00 Lp filter 125	 chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 0.50 V volt/Div 0.50 Lp filter 125

Continua...

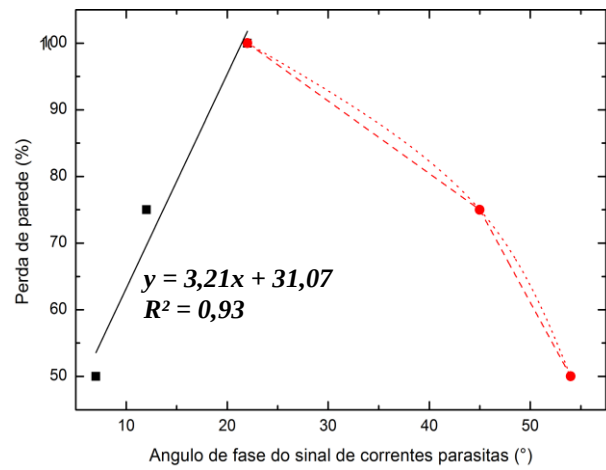
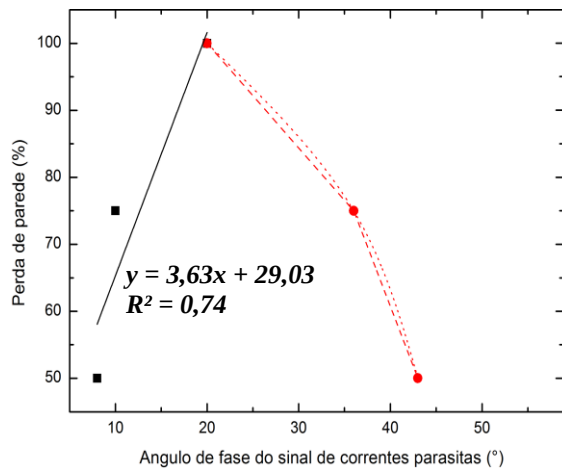
	50%		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 1.00 V volt/Div 1.00 Lp filter 125		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 0.25 V volt/Div 0.25 Lp filter 125
--	-----	---	--	---	--

Quadro 3. Sinais das discontinuidades pontuais - Corpos de prova CF1, 2, 3, e 4 - Sonda SS4 - Frequência 970kHz

Furo E/I	Diâmetro do furo					
	1,0 mm			0,5 mm		
Interno	59%		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 1.00 V volt/Div 1.00 Lp filter 125	57%		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 0.50 V volt/Div 0.50 Lp filter 125
	86%		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 1.00 V volt/Div 1.00 Lp filter 125	86%		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 0.50 V volt/Div 0.50 Lp filter 125
Externo	84%		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 1.00 V volt/Div 1.00 Lp filter 125	86%		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 0.50 V volt/Div 0.50 Lp filter 125
	55%		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 1.00 V volt/Div 1.00 Lp filter 125	57%		chaNnel 1 A Freq 970,000 Phase 192 Gain 23 H volt/Div 0.25 V volt/Div 0.25 Lp filter 125

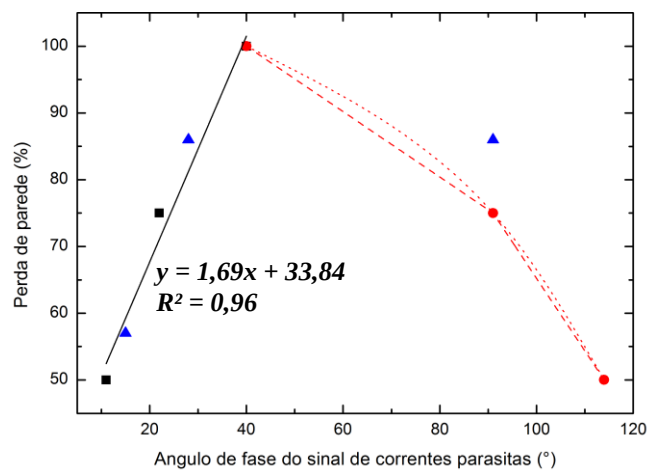
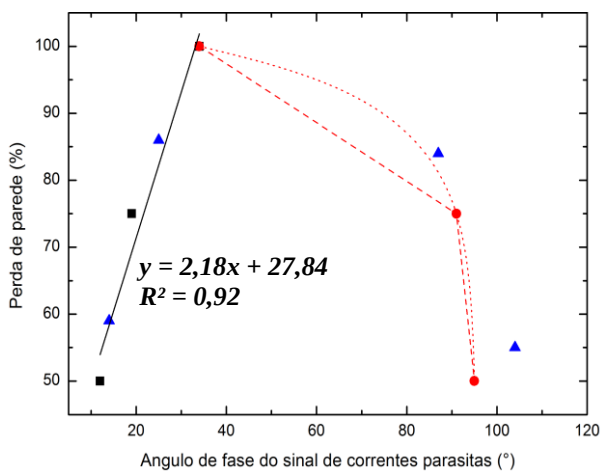
Na Fig. 7, são mostrados os gráficos que relacionam a perda de espessura do furo e o ângulo de fase do sinal de correntes parasitas correspondente. São apresentados:

- pontos de calibração internos (I), passante (P) e externos (E);
- pontos de validação;
- ajuste linear dos pontos internos de calibração, equação da reta e seu R^2 ;
- interpolação linear dos pontos externos de calibração;
- interpolação polinomial cúbica dos pontos externos de calibração.



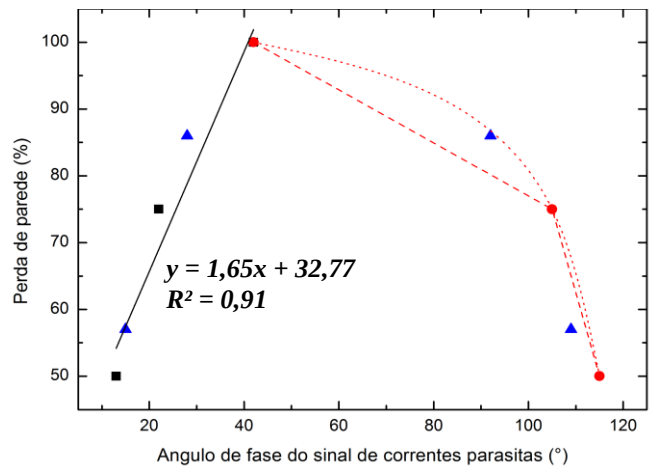
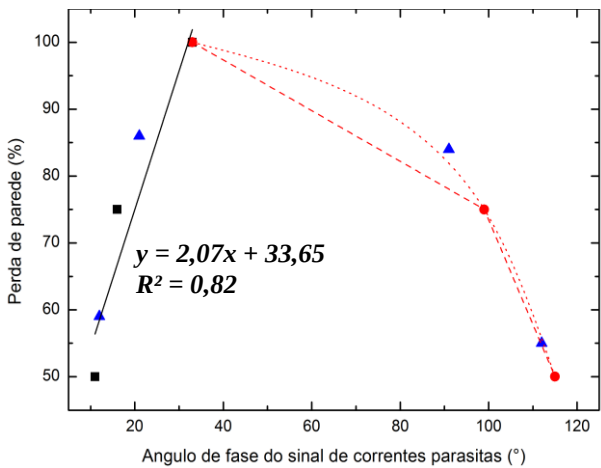
Sonda SS2 – Freq. 320kHz - Furos de diâmetro 1mm

Sonda SS2 – Freq. 320kHz - Furos de diâmetro 0,5mm



Sonda SS4 – Freq. 670kHz - Furos de diâmetro 1mm

Sonda SS4 – Freq. 670kHz - Furos de diâmetro 0,5mm



Sonda SS4 – Freq. 970kHz - Furos de diâmetro 1mm

Sonda SS4 – Freq. 970kHz - Furos de diâmetro 0,5mm



Legenda dos gráficos

Figura 7. Gráficos da profundidade do furo em função do ângulo de fase do sinal de correntes parasitas

Pode-se observar pelos sinais e gráficos do Quad. 2, Quad. 3 e Fig. 7, que as três configurações de sondas superficiais conseguiram separar as descontinuidades externas das internas de forma muito satisfatória. As três sondas conseguiram detectar todos os furos dos padrões de calibração e dos corpos de prova, exceto a sonda SS4-670kHz, que não conseguiu detectar o furo externo de validação de diâmetro 0,5mm com 57% de profundidade (não foi feita validação para a sonda SS2-320kHz).

Nos gráficos da Fig. 7, observa-se ainda que, para os furos externos, a interpolação polinomial cúbica foi mais adequada que a linear, uma vez que os pontos de validação externos ficaram mais próximos daquela. Nota-se, também, que os pontos de validação internos ficaram próximos do ajuste linear de calibração.

Para a SS4-670kHz, foi obtido um ponto de validação externo de 1,0mm distante da interpolação de calibração e não foram obtidos pontos de validação externos de 0,5mm satisfatórios. Será necessária a confecção de corpos de prova com maior número de descontinuidades para validação adicional da detecção de furos externos de diâmetros 1,0mm e 0,5mm pela sonda SS4-670kHz.

Na Fig. 8, são apresentados os sinais da sonda SS4-970kHz relativos a cada espessura dos padrões de calibração (PE1, PE2, PE3 e PE4). São apresentados também os valores de posição relativa dos patamares dos sinais.

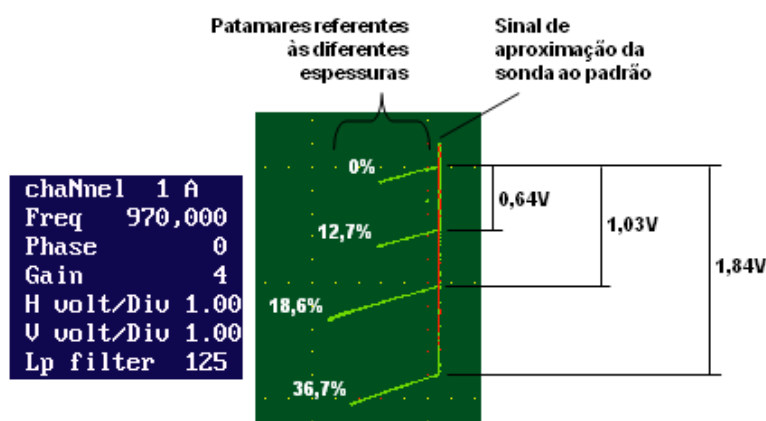


Figura 8. Sinais de perda de espessura - Padrões PE1, 2, 3, e 4 - Sonda SS4 - Frequência 970kHz

Na Fig. 9, são relacionadas a perda de espessura e a posição do patamar do sinal de correntes parasitas correspondente. São apresentados os pontos de calibração e seu ajuste linear. Observa-se uma ótima linearidade dos pontos.

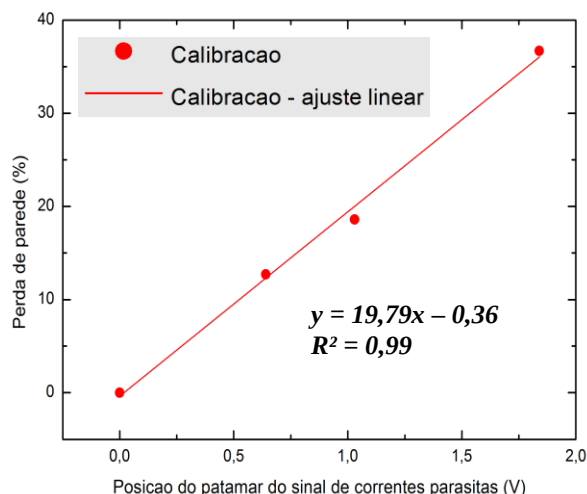


Figura 9. Gráfico de perda de parede em função da posição do patamar do sinal de correntes parasitas - Sonda SS4 - Frequência 970kHz

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi verificada a aplicabilidade do método de ensaio não destrutivo por correntes parasitas para a detecção de descontinuidades pontuais iniciadas nas paredes interna ou externa, com diâmetro 0,5mm ou 1,0mm e profundidade maior que 50% da espessura da parede; e de perdas de espessura não pontuais menores que 36,7% da parede, no revestimento de aço AISI 304 dos elementos combustíveis do reator TRIGA IPR-R1 do CDTN. Para isso,

foram usadas sondas superficiais com frequências 320kHz, 670kHz e 970kHz. De maneira geral, a sonda SS4 usada com frequência de 970kHz obteve os melhores resultados. Estudos e testes adicionais necessitam ser realizados para a aplicação *in loco* da metodologia aos elementos combustíveis do reator IPR-R1.

6. AGRADECIMENTOS

CNPq e FAPEMIG.

7. REFERÊNCIAS

- Alencar, D.A., 2004, “Avaliação de integridade de revestimentos de combustíveis de reatores de pesquisa e teste de materiais utilizando o ensaio de correntes parasitas”, Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- Alencar, D.A. et al, 2006, “Ensaio de inspeção visual em componentes estruturais e parte dos combustíveis do reator IPR-R1”, CDTN, Belo Horizonte. Nota interna NI-EC2-001/06.
- ASNT, 2004, “Nondestructive testing handbook”, ASTN, vol. 5- Electromagnetic testing, 3. ed., Columbus.
- CDTN, 2001, “Manual de operação do Reator TRIGA IPR-R1”, CDTN, Belo Horizonte.
- Cosarinsky, G. et al, 2011, “Eddy current testing reliability improvement; application to nuclear fuel cladding tubes”, Anais do Congresso Regional de ENDE, Campana, Disponível em: <<http://www.aaende.org.ar/CORENDE2011/trabajos/27-Cosarinsky-Savin-full-ready.pdf>>, Acesso em: 01 ago. 2014.
- IAEA, 2005, “Training material on TRIGA research reactors”, IAEA, Disponível em: <[http://ansn.iaea.org/Common/documents/Training/TRIGA%20Reactors%20\(Safety%20and%20Technology\)/intro/start_tmtrr.htm](http://ansn.iaea.org/Common/documents/Training/TRIGA%20Reactors%20(Safety%20and%20Technology)/intro/start_tmtrr.htm)>, Acesso em: 05 nov. 2012.
- IAEA, 2010, “Ageing management for research reactors”, IAEA, Vienna. Specific safety guide N° SSG-10.
- IAEA, 2015, “Research reactor database”, IAEA, Disponível em: <<http://nucleus.iaea.org/RRDB/RR/ReactorSearch.aspx>>, Acesso em: 15 jul. 2015.
- Neves, C.F.C. et al., 2006, “Corrosão de ligas de alumínio no reator TRIGA IPR-R1”, CDTN, Belo Horizonte. Relatório final de projeto RD-EC2-001/06.
- Perrota, J.A. e Silva, A.T., 2000, “Inspeção visual dos elementos combustíveis do reator IPR-R1 do CDTN”, IPEN, São Paulo. Relatório técnico PSE.CENC.CDTN.001.00 RELT.001.00.
- Veloso, M.A., 2005, “Avaliação termo-hidráulica do reator TRIGA IPR-R1 a 250 kW”, CDTN, Belo Horizonte. Nota interna NI-EC3-05/05.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR EVALUATION OF THE FUEL ELEMENTS CLADDING OF IPR-R1 RESEARCH REACTOR BY EDDY CURRENT - SURFACE PROBES

Roger Ferreira da Silva, rfs@cdtn.br¹

Silvério Ferreira da Silva Junior, silvasf@cdtn.br¹

¹Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, 6627 Pres. Antônio Carlos ave - UFMG campus, Pampulha - Zip Code 31270-901 - Belo Horizonte, MG, Brazil

Abstract. Worldwide, there are over 250 nuclear research reactors in operation, including the IPR-R1 TRIGA reactor of the Nuclear Technology Development Center (CDTN). During the lifetime of a nuclear reactor, its structures are subjected to service conditions that may lead to changes in the properties of their materials, affecting their safety functions. A critical safety item is the nuclear fuel cladding, as it is the barrier against the release of radioactive materials to the environment. The eddy current testing is an excellent tool to monitor the degradation of the cladding, it allows the determination of gradual thickness losses and localized thickness losses. In this context, the aim of this work is the application of eddy current technology for assessment of fuel elements with AISI 304 steel cladding of the IPR-R1 TRIGA research reactor of CDTN, including the development of surface probes, calibration standards and test pieces. The results show the applicability of this test for this type of evaluation.

Keywords: nuclear research reactor, structural integrity, nondestructive testing, eddy current, AISI 304.