

## **ANÁLISE DA APLICABILIDADE DA TÉCNICA TOFD PARA INSPEÇÃO DE DEFEITOS EM JUNTAS SOLDADAS**

Sebastião Carlos da Costa, [sccosta@unifei.edu.br](mailto:sccosta@unifei.edu.br)<sup>1</sup>  
Anderson Paulo de Paiva, [andersonppaiva@yahoo.com](mailto:andersonppaiva@yahoo.com)<sup>1</sup>  
Rafael Conradi Leme, [leme@unifei.edu.br](mailto:leme@unifei.edu.br)<sup>1</sup>  
Roney Fonseca, [roneyfo@yahoo.com](mailto:roneyfo@yahoo.com)<sup>1</sup>

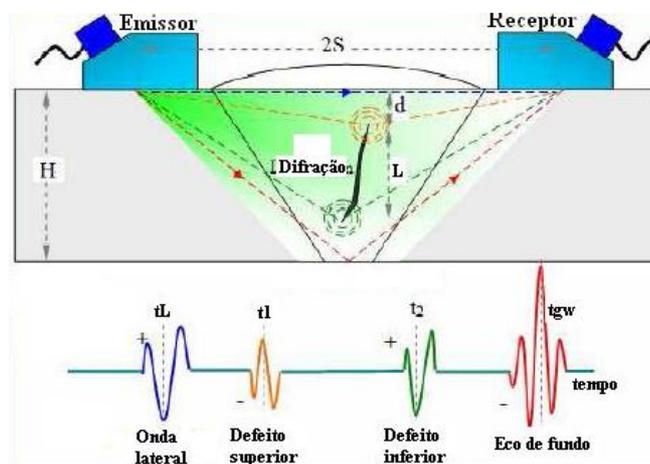
<sup>1</sup>Unifei, Av. BPS, 1303 – CEP 37500-000 – Itajubá, MG

**Resumo:** A técnica TOFD (*Tempo de Percurso de Onda Difrata*) baseia-se na interação das ondas ultrasônicas com as extremidades das descontinuidades. Desta interação resulta a emissão de ondas difratadas numa vasta gama de ângulos. Através da utilização de um transdutor emissor e outro receptor, é possível a detecção de ondas difratadas tornando possível estabelecer a presença de descontinuidades, bem como o seu dimensionamento, utilizando para isto a medição do tempo de percurso dos sinais. Em função dos sinais ultrasônicos serem emitidos em um sentido longitudinal através de um determinado ângulo, a frequência do transdutor bem como o ângulo de propagação dos sinais influenciam no dimensionamento dos defeitos. Entretanto tais informações, muito embora sejam relevantes, notam-se poucos estudos para consubstanciar uma utilização mais efetiva da técnica. Baseado nestes aspectos este trabalho tem por objetivo analisar, através de técnicas estatísticas, a influência da frequência dos transdutores e dos ângulos de propagação das ondas ultrasônicas na capacidade de avaliação de defeitos de pequena e grande dimensão, em condições que minimizem os erros de medição. Para isto foram analisados transdutores específicos com frequência de 5 MHz e 10 MHz e ângulos de 45°, 60° e 70° na detecção de defeitos, caracterizados por furos, em chapas de média espessura (19,2 mm). Os resultados obtidos mostraram que há variações interessantes na combinação transdutor/ângulo de incidência para a detecção de defeitos de pequena e grande dimensão.

**Palavras-chave:** TOFD, ensaio por ultrassom, ensaios não destrutivos, defeitos em soldagem

### **1. INTRODUÇÃO**

A técnica de inspeção TOFD – *Time of Flight Diffraction* ou Tempo de Percurso Difrato – é uma técnica de inspeção ultrasônica recente que permite, através da utilização de dois transdutores de mesma frequência dispostos simetricamente em relação ao local de inspeção, determinar a presença e dimensionamento de descontinuidades através da análise do tempo de percurso difratado de uma forma mais simplificada que os métodos tradicionais de inspeção. Esta técnica baseia-se na interação das ondas ultrasônicas com as extremidades das descontinuidades, resultando assim na emissão de ondas difratadas numa vasta gama de ângulos. A detecção de ondas difratadas torna possível estabelecer a presença de descontinuidades conforme mostrado na Fig. (1).



**Figura 1. Detalhes do modo de identificação dos sinais oriundos do TOFD.**

O tempo de percurso dos sinais registrados incidentes nas extremidades do defeito ( $t_L$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_{gw}$  da Fig. (1)) permitem avaliações da localização e dimensionamento da descontinuidade, diferentemente dos métodos tradicionais que são muitas vezes afetados pela orientação não favorável das descontinuidades conduzindo a desvios do feixe ultrassônico. Bossuat et al (2006) afirmam que tal técnica apresenta a possibilidade real de permitir simplificações das inspeções ultrassônicas, refletindo em um primeiro instante na ampliação da capacidade de utilização da inspeção ultrassônica e, num segundo estágio na extensão de seu campo de atuação.

A técnica TOFD tem mostrado uma aplicabilidade interessante na inspeção de chapas a partir de 10 mm (Wassink & Dijkstra, 2008). Para inspeções em chapas mais finas, uma série de limitações ainda são encontradas devido a presença de ruídos indesejáveis que dificultam a identificação dos sinais (Baskaran et. al., 2006). Independentemente da espessura, pesquisadores concordam que a aquisição e processamento digital dos sinais e sua posterior recomposição eliminando ruídos indesejáveis tem permitido avanços consideráveis no sentido de superar estas dificuldades. Várias técnicas matemáticas aplicadas ao processamento de sinais tem possibilitado avanços significativos no conhecimento e expansão do método em aplicações industriais como citam Murayama et. al. (2002). A identificação destes sinais e seu processamento permitem inclusive a classificação automática de defeitos a partir de defeitos padronizados.

O conhecimento da técnica TOFD desperta um interesse no sentido de melhor compreendê-la e assim expandir a sua capacidade de utilização em aplicações industriais (Shekhar et. al., 2007). Neste sentido se observa o desenvolvimento de pesquisas com foco em vários aspectos associados a mesma. Parte destas pesquisas tem se centrado na análise dos sinais difratados de forma a permitir uma melhor caracterização das descontinuidades. Isto se deve ao fato de que na técnica TOFD, os sinais ultrassônicos correspondentes a uma determinada falha são aquisitados juntos com sinais não relevantes causados por ruídos, alteração granulométrica do material, ondas laterais e eco de fundo (Gang & Chi, 2008; Yang et al., 2004; Chen et. al, 2005; Chen et. al, 1999). Além disso, como os sinais correspondente a onda lateral e eco de fundo são muito intensos, os sinais difratados na parte superior e inferior da falha exigem a utilização de fator de ganho mais intenso, fazendo com que muitos sinais indesejáveis sejam também absorvidos (Riahi & Abolhasany, 2006). Estes aspectos tornam difíceis as interpretações dos mesmos, afetando desta forma a precisão na localização e dimensionamento dos defeitos (Shekhar et. al, 2007). Portanto, o processamento digital dos sinais tem sido a forma utilizada no sentido de decomposição dos sinais, eliminação dos ruídos indesejáveis e posterior recomposição, que integrado a técnicas de reconhecimento de padrão ou redes neurais, tem permitido identificações automáticas de defeitos (Moura et al 2004) conforme padrões de sinais estabelecidos por normas internacionais como, por exemplo, a norma BS 7706 (1993)

Carneval (2007) ao compararem este método com outras técnicas de Ensaios Não Destrutivos – END - tais como radiografia, partículas magnéticas e *Phased Array*, destacam o seu reconhecido potencial de utilização no meio industrial. Porém por ser uma técnica de inspeção relativamente recente, já que foi inicialmente introduzida em 1985 no Harwell Center (UK) como uma resposta a insistentes anseios no dimensionamento mais preciso de defeitos em vasos de reatores nucleares soldados (Quirk, 1999), observa-se que, a despeito de sua evolução técnica, muitos aspectos ainda permanecem abertos para o desenvolvimento de suas potencialidades. Dentre estes aspectos, o conhecimento da influência da frequência dos transdutores bem como dos ângulos de propagação do feixe ultrassônico se tornam informações fundamentais no sentido de melhor caracterizar a utilização do método. Além disso, a capacidade de detecção dos defeitos certamente é influenciada pelo próprio tamanho dos defeitos, espessura de peças, entre outras, cujas informações atualmente em uso muitas das vezes se baseiam em dados empíricos. Portanto, a utilização da técnica TOFD para a inspeção de chapas com espessuras acima de 10 mm mostra ser de acordo com citações na literatura, uma técnica viável. Entretanto não há uma indicação clara da influência da frequência dos transdutores, tampouco dos ângulos das cunhas na capacidade de detecção de defeitos, sendo este o objetivo principal deste trabalho.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender aos objetivos deste trabalho foi confeccionado um corpo de prova que pudesse conter a presença de defeitos predefinidos, servindo portanto a sua geometria como fator de padronização para os testes de inspeção. Estes defeitos foram caracterizados pela inserção de furos de diâmetros 3 e 6 mm (pequeno e grande defeito respectivamente) localizados no centro de duas peças de aço carbono ABNT 1020, com 19,1 e 19,2 mm de espessura respectivamente, conforme detalhes mostrado na Fig. (2). Tal método visa, de certa forma, reproduzir algo que apresente uma analogia com um defeito de porosidade. Foram analisados os transdutores com frequências de 5 MHz e 10 MHz (marca Olympus) com ângulos de cunha de 45, 60 e 70° (marca Olympus) na detecção de ambos os defeitos pré-dimensionados. Como sistema de medição foi utilizado um dispositivo denominado USLT 2000 Krautkramer que apresenta a capacidade para inspeções ultrassônicas com adaptação para medições através da técnica TOFD. Tal sistema é mostrado na Fig. (3).

Para se realizar as medições, utilizou-se a técnica estatística baseada no projeto e análise de experimentos (*DOE – Design of Experiments*) através de um planejamento simplificado baseado em superfícies de respostas, metodologia esta similar a descrita por Davim et. al. (2008). Como software de apoio foi utilizado o software comercial Minitab v.14. A Tabela (1) mostra os fatores experimentais e respectivos níveis utilizados. Considerando todas as combinações dos fatores foram realizados 12 experimentos. Como procedimento experimental, os transdutores foram dispostos com um afastamento de 64 mm apoiados sob uma guia e conectados as respectivas cunhas. Foram utilizadas cunhas com os mesmos ângulos para cada medição. Como aglomerante utilizou-se óleo multiviscoso no contato das cunhas com a peça.

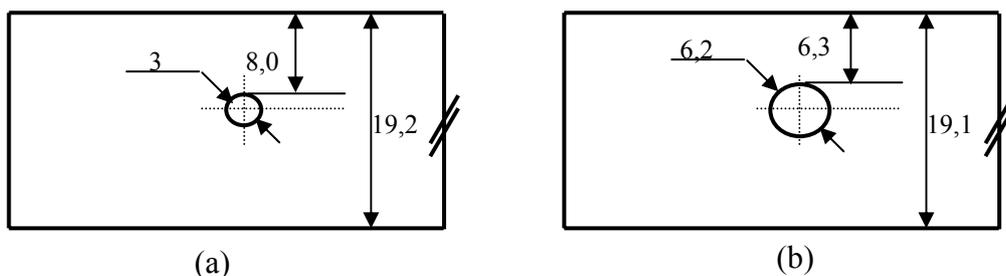


Figura 2. Corpos de prova com defeitos padronizados e suas dimensões reais: (a) furo 3 mm; (b) furo 6 mm.

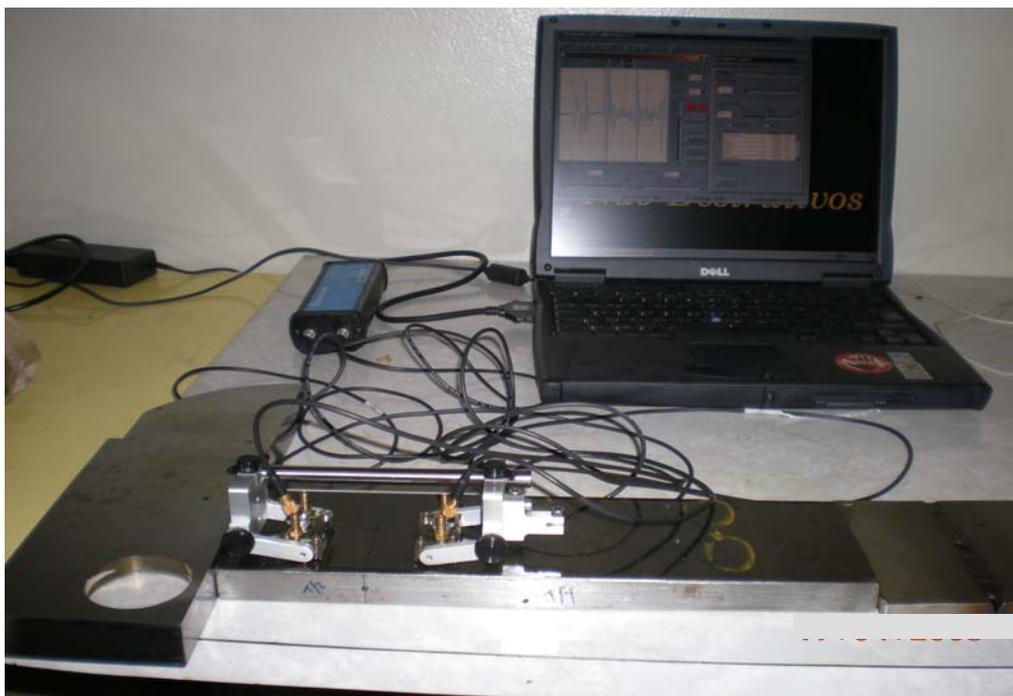


Figura 3. Banco de testes utilizando o TOFD.

Tabela 1. Fatores experimentais e níveis.

Fatores	Notação	Unidades	Níveis		
			1	2	3
Diâmetro defeito	Diam	Mm	3	6	-
Frequência transdutor	Freq	MHz	5	10	-
Ângulo cunha	Ang	°	45	60	70

Como respostas foram determinados a localização da profundidade do defeito ( $d$ ) e o tamanho do defeito ( $L$ ), valores estes derivados do tempo de vô das medições. Para aferir a capacidade de detecção foram avaliados os erros de medição em relação a medição real. Desta maneira, foram determinados os erros relativos percentuais correspondentes a profundidade do defeito ( $Erro_d\%$ ) e ao tamanho do defeito ( $Erro_L\%$ ). Vale ressaltar que estes erros foram modulares não interessando se o erro foi positivo ou negativo, já que o foco central seria reconhecer o desvio em relação à medida real. Como objetivo para a determinação da influência dos fatores nas respostas, a condição de minimização dos erros foi imposta como a condição ideal. A Figura (4) mostra, a título de ilustração, uma medição dos sinais utilizando TOFD a qual indica a presença de um defeito e realizada com o aparato experimental disponível.

Nas medições dos sinais TOFD, o ganho utilizado nos procedimentos variou em função da frequência dos transdutores, cujo objetivo foi obter a melhor caracterização dos sinais ultrasônicos. Para o transdutor de 5 MHz utilizou-se um ganho de 80dB e para o de 10MHz um ganho de 70dB. Na caracterização dos sinais ultrasônicos e correspondentes medidas dos tempos de vô, procurou-se determinar os valores de eco na condição de máxima amplitude conforme detalhes mostrados na Fig. (1). A Tabela (2) mostra os resultados obtidos conjuntamente com as condições das medições realizadas.

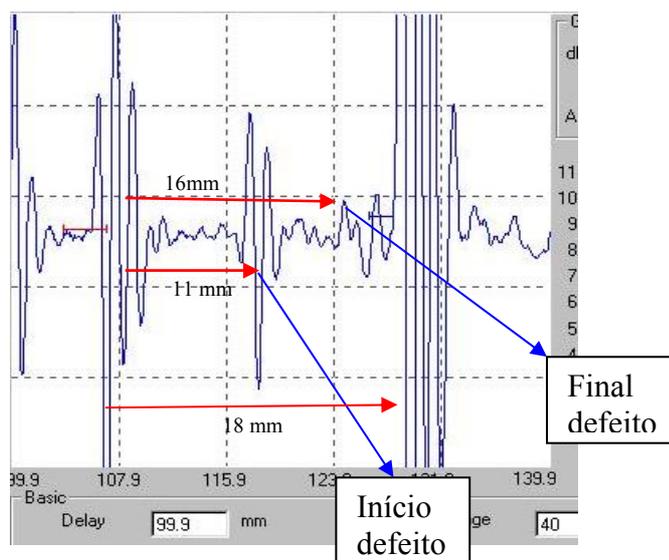


Figura 4. Sinal utilizando TOFD relativo a um defeito interno,  $f=5\text{MHz}$ , cunha  $70^\circ$ .

Tabela 2. Seqüência de testes e resultados obtidos.

Testes	Fatores			Respostas					
	Diam mm	F MHz	Ang °	$d_{\text{real}}$ mm	$d_{\text{med}}$ mm	Erro d %	$L_{\text{real}}$ mm	$L_{\text{med}}$ mm	Erro L %
-	mm	MHz	°	mm	mm	%	mm	mm	%
1	3	5	45	8,0	7,05	11,88	3,0	2,95	1,67
2	3	5	60	8,0	8,94	11,75	3,0	3,37	12,33
3	3	5	70	8,0	8,40	5,00	3,0	3,28	9,33
4	3	10	45	8,0	10,91	36,30	3,0	3,57	19,00
5	3	10	60	8,0	10,18	27,30	3,0	3,65	21,67
6	3	10	70	6,3	9,45	18,10	6,2	3,53	17,70
7	6	5	45	6,3	6,35	0,79	6,2	7,27	17,26
8	6	5	60	6,3	6,25	0,79	6,2	7,28	17,42
9	6	5	70	6,3	5,29	16,03	6,2	5,58	10,00
10	6	10	45	6,3	6,19	16,40	6,2	7,18	15,81
11	6	10	60	6,3	7,18	13,97	6,2	7,27	17,26
12	6	10	70	8,0	7,13	13,17	3,0	7,03	13,39

De posse dos resultados, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) sendo que para se determinar a influência significativa dos fatores, foi considerado um nível de significância  $\alpha$  de 95%. Portanto um fator  $P_{\text{value}}$  inferior a 0,05 denota uma condição de significância dos fatores. A Tabela (3) mostra a análise de variância para os resultados obtidos, sendo que os valores em negrito se referem aqueles significativos nas respostas.

Tabela 3. Análise de Variância dos resultados.

Fatores	$P_{\text{value}}$	
	Erro d	Erro L
Diam	0,056	0,020
F	0,037	0,048
Ang	0,735	0,041
Ang * Ang	0,975	0,062
Diam * F	0,073	0,023
Diam * Ang	0,022	0,095
F * Ang	0,221	0,566
$R^2$	93,3	91,3
$R^2_{\text{adj}}$	81,6	75,9

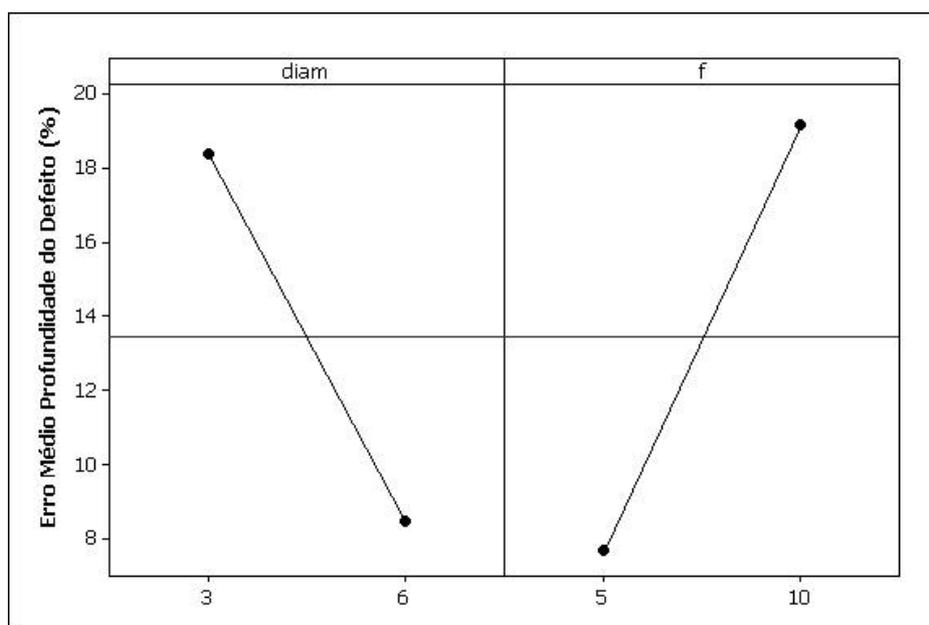
Observando os resultados da Tab. (3) nota-se que as respostas obtiveram um fator de correlação ( $R^2_{adj}$ ) razoável. Entretanto estes resultados podem ser melhorados pela eliminação dos fatores não significativos, tendo-se que levar em consideração o princípio da hierarquia (Montgomery, 2001). A Tabela (4) apresenta os resultados da nova análise de variância desconsiderando os fatores não significativos. Percebe-se que a correlação teve uma pequena melhora, sendo, portanto, considerado estes resultados definitivos para efeitos de análises. Dos resultados nota-se que na determinação da profundidade do defeito, o fator frequência do transdutor, a interação do diâmetro e o ângulo da cunha, o diâmetro e finalmente a interação do diâmetro com a frequência foram, nesta seqüência, os mais significativos no erro relativo de medição. Para o tamanho do defeito, todos os fatores isoladamente foram os mais significativos no erro relativo de medição, seguidos pela interação do diâmetro com a frequência dos transdutores.

**Tabela 4. ANOVA dos resultados eliminando fatores não significativos.**

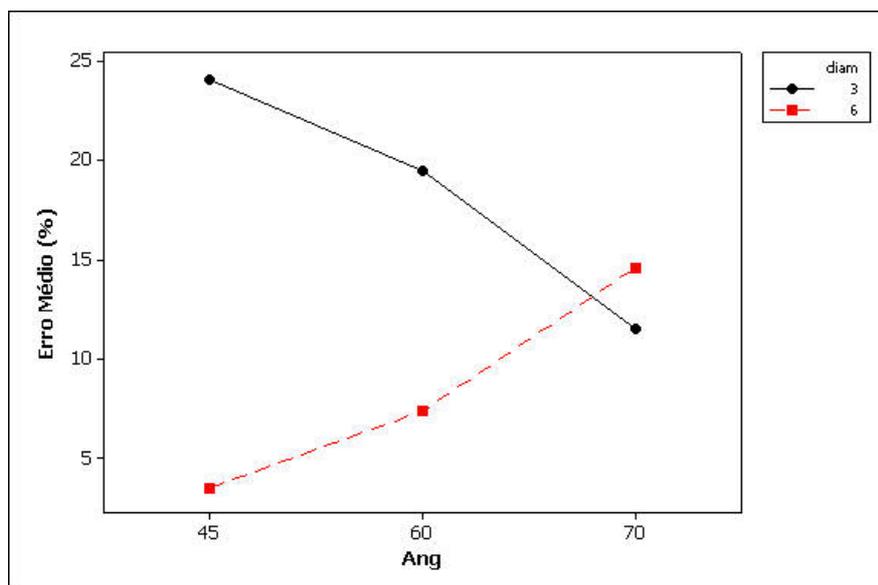
Fatores	P <sub>value</sub>	
	Errod1(%)	Erro L1(%)
Diam	<b>0,031</b>	<b>0,011</b>
F	<b>0,019</b>	<b>0,004</b>
Ang	0,140	<b>0,027</b>
Ang * Ang	*	0,064
Diam * F	<b>0,043</b>	<b>0,012</b>
Diam * Ang	<b>0,010</b>	0,068
F * Ang	0,166	*
R <sup>2</sup>	93,3	90,4
R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	85,3	78,9

## 2.1 Análise da Influência na Determinação da Profundidade do Defeito

A Figura (5) mostra os efeitos principais dos fatores significativos diâmetro e frequência sobre a profundidade do defeito. Observa-se que a frequência do transdutor foi o fator mais significativo na minimização do erro médio de medição, sendo que a utilização do transdutor de 5 MHz conjuntamente com a inspeção do furo de 6 mm permitiram a melhor precisão na previsão dos resultados. Por outro lado, os resultados mostram que o ângulo de cunha dos transdutores, isoladamente não influenciou no resultado. Porém o mesmo fator se mostrou significativo ao interagir com o tamanho do defeito, Fig. (6), onde observa-se que a melhor previsão de resultado se deu na detecção do maior defeito com a utilização de uma cunha de 45°. Por outro lado, para o menor defeito (3 mm) a utilização do ângulo de cunha de 70° permitiu a melhor previsão do resultado. Considerando a incidência das ondas sonoras, na condição do maior defeito a cunha de 45° fez com que as respostas apresentassem uma maior amplitude para o eco referente a parte superior do defeito, ao passo que no ângulo de 70° a condição de propagação do espectro sônico permite uma maior difração para o defeito de menor diâmetro, permitindo desta forma uma melhor previsibilidade dos resultados e minimização dos erros de avaliação.

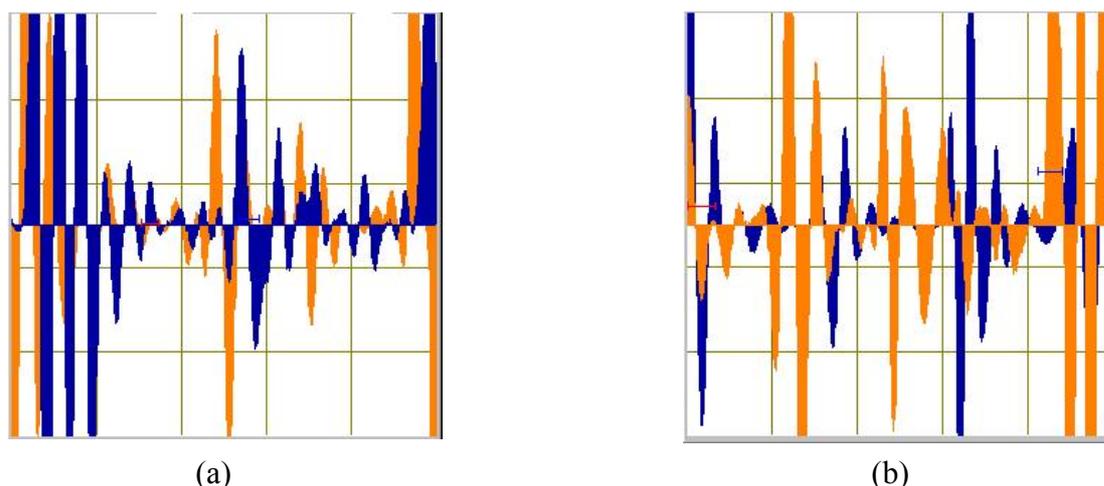


**Figura 5. Efeitos principais dos fatores nos erros de avaliação relativos a profundidade do defeito.**



**Figura 6. Interação entre o ângulo de cunha na detecção de um defeito pré-definido. Freq.: 5 MHz.**

Para analisar a influência dos ângulos de cunha na previsão dos resultados, a Fig. (7) mostra a interpolação dos espectros ultrassônicos para os dois defeitos simulados, quer sejam 3 mm e 6 mm quando utilizados transdutores de 5 MHz e ângulos de 45 e 70° respectivamente. Vale ressaltar que a faixa de medição de ajuste (*range*) foi mantida constante em ambos os casos, bem como a distância entre os transdutores na inspeção TOFD. Observando a Fig. (7a) que corresponde ao pequeno defeito, nota-se que para o ângulo de 70° há uma melhor definição da presença do defeito, representado pela maior amplitude dos ecos difratados referentes as partes superior e inferior do defeito. Com relação a faixa de medição, nota-se que para o ângulo de 45° há uma redução da faixa de medição entre a onda lateral e o eco de fundo, o que diminui a precisão de medição. Para o furo de 6 mm (maior defeito), nota-se que a utilização da cunha de 45°, Fig. (7b), resultou na geração de um eco da parte inferior com amplitude maior que o da parte superior (diferente das outras situações). Isto mostra que neste caso o afastamento adotado entre transdutores (64 mm) e o ângulo de propagação adotado permitiu, muito provavelmente, uma difração mais intensa das ondas ultrassônicas atingindo a parte inferior do defeito, resultando na amplitude maior. A medição neste caso se torna mais precisa nesta condição, o que pode justificar os resultados obtidos. Entretanto análises complementares variando a distância entre os transdutores merecem ser mais adequadamente estudadas.



**Figura 7. Espectros ultrassônicos simultâneos para transdutor de 5 MHz: (a) Furo 3 mm, espectro azul - 45°, espectro marrom - 70°; (b) Furo 6 mm, espectro azul - 45°, espectro marrom - 70°.**

## 2.2 Análise da Influência dos Fatores na Determinação do Tamanho do Defeito.

Considerando a análise de variância, Tab. (4), percebe-se que os efeitos principais dos fatores isoladamente podem explicar a sua influência na minimização do erro de medição do defeito. Muito embora tenha se percebido uma interação significativa entre o diâmetro e a frequência, nota-se que esta interação, muito embora significativa, o seu

$p$ \_value é superior aos efeitos isolados destes mesmos fatores, razão pela qual não foi considerada a sua análise. A Figura (8) mostra os efeitos principais no erro médio na previsão da dimensão do defeito. Nota-se que a frequência, o diâmetro e ângulo da cunha foram, nesta seqüência, os mais significativos. Os melhores resultados para a previsão da dimensão real do defeito mostram que a utilização de um transdutor de 5 MHz se mostrou como a frequência mais adequada, conjuntamente com a inspeção do furo de menor diâmetro. Com relação aos ângulos, nota-se que o ângulo de 70° apresenta um resultado um pouco melhor comparativamente ao ângulo de 45°. Estes resultados apresentaram uma similaridade de resultados com os da previsão da profundidade dos defeitos.

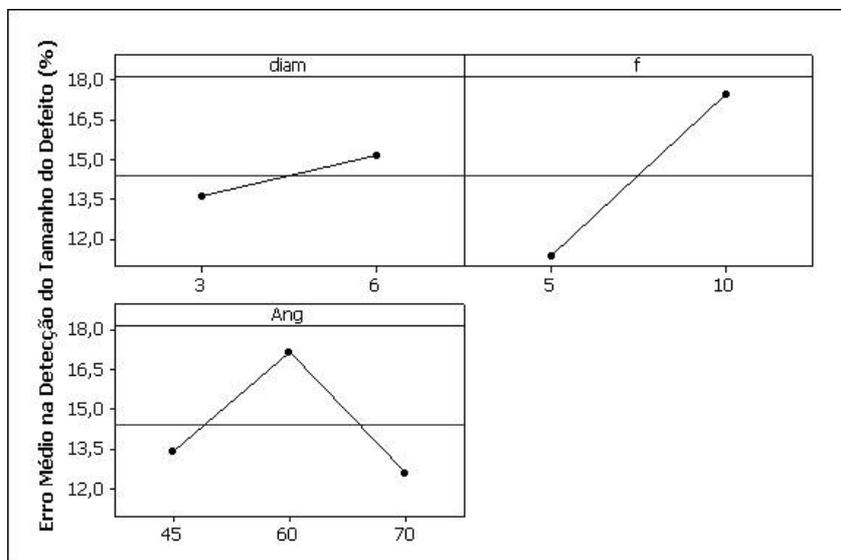


Figura 8. Efeitos principais dos fatores nos erros de avaliação relativos ao tamanho do defeito.

### 3. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos para os casos estudados, envolvendo a detecção da profundidade e dimensão do defeito utilizando a técnica TOFD com transdutores de 5 e 10 MHz e cunhas com ângulos de 45, 60 e 70° para chapas de 19,2 mm observou-se que a precisão dos resultados obtidos para a inspeção TOFD é influenciada pela dimensão do defeito a ser detectado. Resultados obtidos por este trabalho mostram que para um pequeno defeito (3 mm), a melhor precisão nos resultados foi obtida para uma frequência de 5 MHz e ângulo de 70°. Para um maior defeito (6 mm), resultados indicam que a melhor previsão foi obtida para a frequência de 5 MHz e ângulo de 45°. Estes resultados muito possivelmente estão relacionados ao ângulo de propagação do espectro sônico que certamente influencia na difração das ondas ultrasônicas.

### 4. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar o seu agradecimento ao CNPq pelo apoio na realização deste trabalho.

### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baskaran, G., Balasubramaniam, K. and Rao, C.L., 2006, "Shear-Wave Time of Flight Diffraction (S-TOFD) Technique", *NDT & E International*, v39, pp. 458-467.
- Bossuat, B., Walaszek, H. and Flavenot, J.F., 2006, "Non-Destructive Evaluation by Time of Flight Diffraction Method Mechanical Applications". ECNDT, France.
- BS 7706, 1993, "Guide to Calibration and Setting-Up of the Ultrasonic Time of Flight Diffraction Technique for the Detection, Location and Sizing of Flaws". British Standard Publications, London.
- Carneval, R.O. et. al, 2007, "Uso das Técnicas de END: Ultra-som (TOFD e Phased Array), Radiografia, Partículas Magnéticas e ACFM na Avaliação de Juntas Soldadas com Trincas de Fadiga". IV Conferência Panamericana de END, Outubro, Buenos Aires.
- Chen, T., Que, P., Zhang, O. and Liu, Q., 2005, "Ultrasonic Nondestructive Testing Accurate Sizing and Locating Technique Based on Time-of-Flight-Diffraction Method", *Russian Journal of Nondestructive Testing*, Vol. 41, No. 9, pp. 594-60.
- Chen, J., Shi, Y. and Sh, S., 1999, "Noise Analysis of Digital Ultrasonic Nondestructive Evaluation System". *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 76, pp. 619-630.
- Gang, T. and Chi, D., 2008, "Ultrasonic TOFD Testing Model for Crack Measurement in Thick Wall Measurement". 17<sup>th</sup> World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai, China.
- Montgomery, D.C., 2001, "Design and Analysis of Experiments", Fourth Ed., Wiley, New York.

- Moura, E.P., Silva, R.R., Siqueira, M.H.S. and Rebello, J.M.A., 2004, "Pattern Recognition of Weld Defects in Preprocessed TOFD Signals using Linear Classifiers", Journal of Nondestructive Evaluation, v 23, No. 4., pp. 163-172.
- Murayama, R., Nakamura, M., Yamano, M. and Ookubo, H., 2002, "Study of Two Dimensional Inspection of Thin Sheets using Lamb Waves", Acoust. Sci & Tech., v23, n. 1, pp. 47-49.
- Quirk, J., 1999, "Achieving Greater Efficiency in NDT Inspections". Sensor Review, no. 4, pp. 268-272.
- Riah, H.M. and Abolhasany, M.R., 2006, "Substitution of Time-of-Flight Diffraction Technique for Nondestructive Test of Welds and Thick Layers of Steel: A Comparative Investigation", Russian Journal of Nondestructive Testing, Vol. 42, No. 12, pp. 794-801.
- Shekhar, C., Shitole, C.N., Zahran, O. and Al-Nuaimy, W., 2007, "Combining Fuzzy Logic and Neural Networks in Classification of Weld Defects using Ultrasonic Time of Flight Diffraction", NDT.net, v. 49, No. 2, pp. 79-82.
- Wassink, C. and Dijkstra, F., 2008, "Approaches for Developing Solutions for Specific NDT Problems". 2<sup>nd</sup>. Int. Conference on Technical Inspection and NDT, Teheran.
- Yang, W.X., Hull, J.B. and Seumour, M.D., 2004, "A Contribution to the Applicability of Complex Wavelet Analysis of Ultrasonic Signals". NDT&E International, 37, pp. 497-504.

## 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# APPLICABILITY ANALYSIS OF ULTRASONIC TOFD TECHNIQUE TO FLAWS DETECTION IN WELDED JOINTS

Sebastião Carlos da Costa, [sccosta@unifei.edu.br](mailto:sccosta@unifei.edu.br)<sup>1</sup>  
Anderson Paulo de Paiva, [andersonppaiva@yahoo.com](mailto:andersonppaiva@yahoo.com)<sup>1</sup>  
Rafael Conradi Leme, [leme@unifei.edu.br](mailto:leme@unifei.edu.br)<sup>1</sup>  
Roney Fonseca, [roneyfo@yahoo.com](mailto:roneyfo@yahoo.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unifei, Av. BPS, 1303 – CEP 37500-000 – Itajubá, MG

**Abstract:** The Time of Flight Diffraction técnica ( TOFD) is based on the interaction of ultrasonic waves with the edges of flaws. Through the use of a pair of angle compression wave probes (transmitter/receiver) held at fixed separation distance, any anomalies lying between these two surfaces are highlighted by signals diffracted and refracted of their extremities. Timing of the tip diffractions is used for sizing, using lateral wave and bottom refraction as references. *The TOFD transducers are used with specialized TOFD wedges designed to produce refracted longitudinal waves in steel and depending the transducer frequency and the angle of the wedges, the sizing of defects are surely affected.* However few studies has concentrated in such information, although relevant, are noted few studies to substantiate a more effective use of technology. Based on these aspects, this work has the aim to analyze through the use of statistical techniques based on the design of experiments, the influence of transducers frequencies and the angles of TOFD wedges in the capacity of evaluation of pre-sized small and large defects, under conditions that minimize the measurement error. In order to do that, specific TOFD transducers with a frequency of 5 MHz and 10 MHz and wedge angles of 45 °, 60 ° and 70 ° were evaluated. The results showed that there are interesting variations in the combination transducer / wedge angle in sizing defects.

**Key-words:** TOFD, Ultrasound Testing, Non Destructive Testing, welding defects.

## RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.