

Medida de Velocidade de Propagação do Som e Espessura de Materiais por Ultra-som

Speed of Sound and Materials Thickness Measuring by Ultrasound

Paulo Rogério Scalassara¹; Fernando Alves Negrão² ;
Edgar Matsuo Tsuzuki³; Carlos Dias Maciel⁴

Resumo

Atualmente, sistemas de pulso-eco de ultra-som são muito usados como ferramenta de diagnóstico, devido às suas características vantajosas, como, por exemplo, ser um método de análise não destrutivo e de ter uma resolução de alcance milimétrico para as frequências usadas atualmente. Em virtude dessas e outras qualidades, esse estudo visa a desenvolver um sistema para medir e analisar características físicas de alguns materiais. Usando um sistema de aquisição de dados em um microcomputador, são gerados pulsos de tensão para excitar um transdutor que envia um pulso de pressão em direção à amostra. Esse mesmo transdutor recebe o eco proveniente do material, converte a energia mecânica em elétrica, transformando em informação, a qual é processada posteriormente usando-se um programa matemático, com o processamento são obtidos os valores da velocidade do som e atenuação do sinal na amostra, além de sua espessura com um erro pequeno.

Palavras Chaves: Ultra-Som, Velocidade, Transdutor

Abstract

Nowadays, ultrasound pulse-echo systems are commonly used as a diagnostic tool, due to its advantageous characteristics such as being a non-destructive analysis method and having a millimeter range resolution for the currently used frequencies. Considering these and other qualities, this study intends to develop a system for measuring and analyzing physical properties of some materials. Using a data acquisition system in a microcomputer, electrical (voltage) pulses are generated to agitate a transducer that sends a pressure pulse towards the sample. This same transducer receives the echo reflected from the material, converts the mechanical energy into an electrical one, transforming it into information, which is processed later using a mathematical computer program. With this process, the values of the sound speed and the signal attenuation in the sample are obtained, plus its thickness with a minor error.

Key Words: Ultrasound, Speed, Transducer.

^{1,2,3}Alunos de Graduação em Engenharia Elétrica e de Iniciação Científica

⁴ Docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina. Email: maciel@uel.br

Introdução

O princípio para obtenção de informações com o uso de ultra-som é a análise da onda acústica retroespalhada pelo meio no qual ela se propaga (ENDERLE; BLACHARD; BRONZINO, 2000; PIOVEZAN; MACIEL, 2002). Essas características são, por exemplo, a velocidade de propagação do ultra-som no meio e a atenuação do sinal. Os fenômenos observados são produzidos por interfaces de diferentes impedâncias acústicas ou a atenuação do sinal ao atravessar esse meio.

Baseando-se na importância atribuída a essas características, este trabalho tem por intuito descrever um sistema para medição da velocidade do som em amostras de materiais, a atenuação do sinal causada pelos mesmos e também suas espessuras, pelo princípio da propagação do ultra-som em meio líquido e o eco refletido por interfaces de diferentes impedâncias acústicas.

O trabalho consiste na aplicação da técnica descrita em Abdelwahab (1997) usando os transdutores e sistemas pulso-eco fornecidos pela OPTEL. Esse sistema é de baixo custo e os transdutores, apesar de banda larga, apresentaram grandes oscilações na banda de interesse. Essas dificuldades comprometeram a estimativa da atenuação, embora as medidas de espessura e velocidade de propagação tenham sido feitas com baixos erros.

No item Teoria, foram apresentadas as principais equações e gráficos ideais para essas medidas. No item Materiais e Métodos, foi descrita a montagem experimental e os *softwares* desenvolvidos. Em Resultados, foram descritas as medidas de velocidade, atenuação e espessura em materiais como acrílico e misturas de araldite com pó de alumínio e pó de quartzo.

Teoria

O princípio para medida da velocidade do som em um meio é uma comparação entre o eco refletido na ausência (sinal de referência) e na presença do material a ser medido (FISH, 1990), figura 1. Essa comparação permite caracterizar a velocidade do som

e a atenuação do sinal; além do que, pode-se também medir a espessura do material.

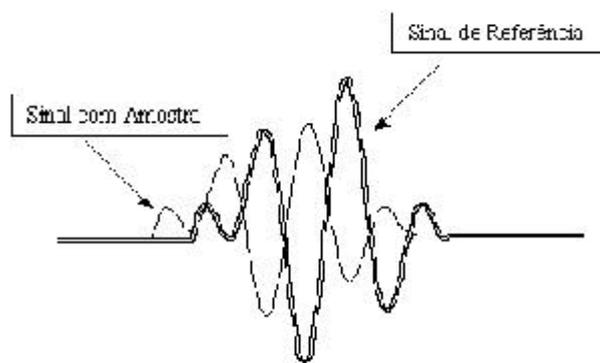


Figura 1. Comparação entre os sinais de ultra-som refletidos.

Para se calcular essas características, são usados três valores de tempo: t_p , $t_{p/f}$ e t_s , sendo o primeiro, um valor obtido sem a amostra (tempo de referência) e os outros dois com a amostra (ABDELWAHAB, 1997). Denomina-se t_p o tempo que a onda de ultra-som demora para percorrer o espaço entre o transdutor e a placa de metal e voltar, sem a amostra. O tempo gasto pela onda para percorrer esse mesmo espaço e voltar, mas com a amostra, é $t_{p/f}$, e o tempo necessário para a frente de onda alcançar a superfície da amostra e voltar é t_s , figura 2.

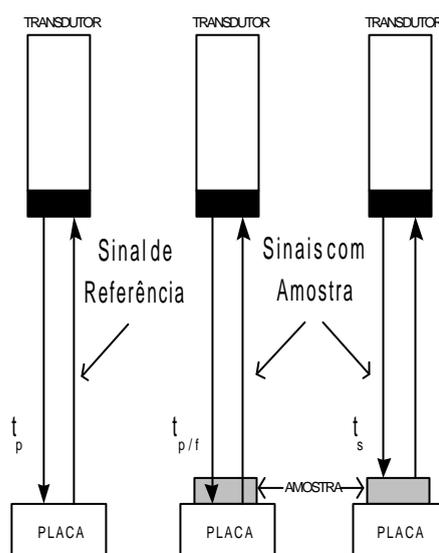


Figura 2. Os tempos t_p , t_s e $t_{p/f}$ dos sinais de ultra-som.

Para se calcular a velocidade do som, sendo a distância entre o ponto da interface água/amostra e a placa de metal, utiliza-se a equação 1.

$$2d = c_{amostra} \cdot \Delta t \quad (1)$$

onde $c_{amostra}$ é a velocidade de propagação do som na amostra e Δt é o tempo gasto nesse percurso. Utiliza-se $2d$, pois a onda de ultra-som percorre duas vezes a espessura da amostra. Portanto, considerando o valor da velocidade do som no meio aquoso como $c_{\text{água}}$, sendo $\Delta t = t_{p/f} - t_s$ o tempo necessário para o ultra-som percorrer essa distância pela amostra, e $\Delta t = t_p - t_s$ o tempo para percorrer essa distância sem a amostra, encontra-se 2.

$$c_{\text{água}} \cdot (t_p - t_s) = c_{amostra} \cdot (t_{p/f} - t_s) \quad (2)$$

então:

$$c_{amostra} = c_{\text{água}} \frac{(t_p - t_s)}{(t_{p/f} - t_s)} \quad (3)$$

Para se calcular a espessura da amostra, d , sabe-se que o tempo gasto pela onda sonora para atravessar a amostra, atingir a base de metal e voltar é $t_p - t_s$, considerando o espaço sem a amostra, (somente a água), encontra-se a equação 4.

$$d = \frac{c_{\text{água}}}{2} (t_p - t_s) \quad (4)$$

Para se calcular a atenuação do sinal ao atravessar a amostra, utilizam-se os sinais de referência, com tempo de percurso t_p e o com a amostra, com tempo $t_{p/f}$, pois são obtidos com o mesmo nível de potência e ganho, dessa forma, comparando-se os dois, obtém-se a atenuação.

Como o sinal não saturado tem amplitude inferior ao de referência, devido à atenuação sofrida no material, pode-se encontrar a atenuação por meio da dependência dos espectros de potência dos dois sinais, conforme a figura 3 (a). Segundo alguns autores, a variação da atenuação é quase linear com a

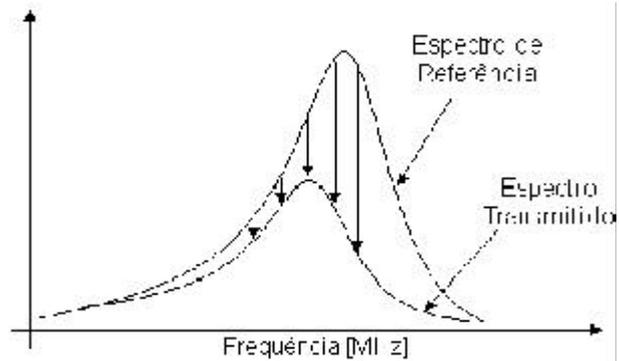


Figura 3a: Espectros de potência do sinal de referência (superior) e do sinal com amostra não saturado (inferior).

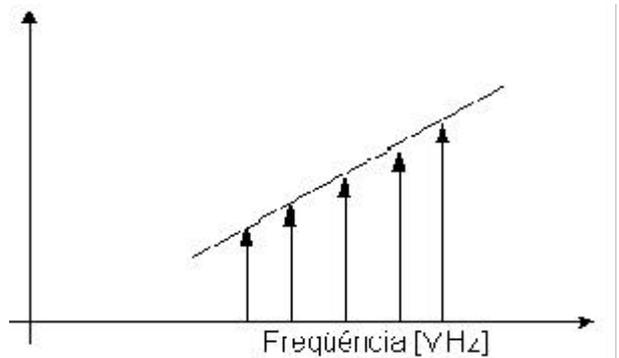


Figura 3b: Atenuação linear em função da frequência.

Portanto, o cálculo da atenuação é feito subtraindo-se os espectros de potência em decibéis – ou dividindo-se os módulos ao quadrado – e dividindo-se o resultado por duas vezes a espessura da amostra, pois a onda acústica passa duas vezes dentro do material (ida e volta), (ABDELWAHAB,1997; FISH, 1990), conforme a equação 5.

$$a(f) = \frac{1}{2 \cdot d} 10 \cdot \log \left[\frac{|S_p(f)|^2}{|S_{p/f}(f)|^2} \right] \quad (5)$$

Nessa equação $a(f)$ é a atenuação em dB/cm em função da frequência, e $S_p(f)$ e $S_{p/f}(f)$, os espectros

de potência do sinal de referência e não saturado, respectivamente.

Materiais e Métodos

Para gerar as ondas de ultra-som e para capturar o eco proveniente das amostras, foi necessária uma montagem experimental para fazer os testes. Foi utilizada uma base de aço inox de meio centímetro, na qual foi colocada a amostra. Isso foi feito para que ocorresse uma grande reflexão da onda sonora, devido à diferença de impedância acústica, com isso, conseguia-se uma melhor resposta da interface de saída do material. Foi utilizado um transdutor de 8MHz como emissor e receptor, de diâmetro 8mm, excitado por um sistema de pulso-eco (de fabricação da Optef) aço

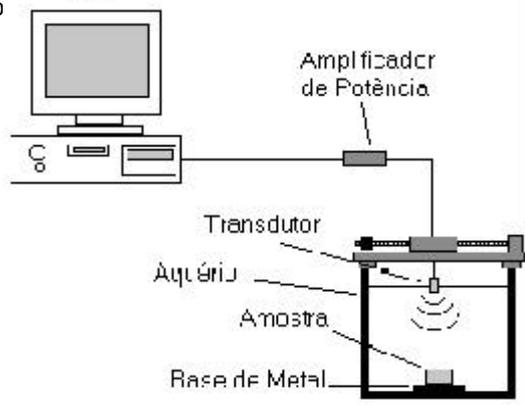


Figura 4. Visão geral do sistema de excitação/aquisição.

A placa de aquisição de sinais é ligada à interface ISA do computador, utilizando-se um programa (versão 0.3) feito em C++ com interface gráfica Tcl/Tk controla-se os parâmetros discutidos na tabela 1. A Tabela 1. Parâmetros de programação do sistema pulso-eco. interface do programa pode ser vista na figura 5.

Parâmetro	Descrição	Faixa de Variação
BUFFER	tamanho para o vetor em bytes	256 / 512 / 1k / 16k
GAIN	ganho aplicado ao sinal recebido	1 / 2 / 5 / 10 / 20 / 50 / 100 V/V
VOLTAGE	tensão do pulso aplicado ao transdutor	55/90/125/160/195/230/265/300 V
DELAY	atraso aplicado ao sinal mostrado	0 a 100 us
RATE	frequência de amostragem	50 ou 100 MHz

⁵ <http://www.optel.com.pl>

⁶ <http://www.mathworks.com>

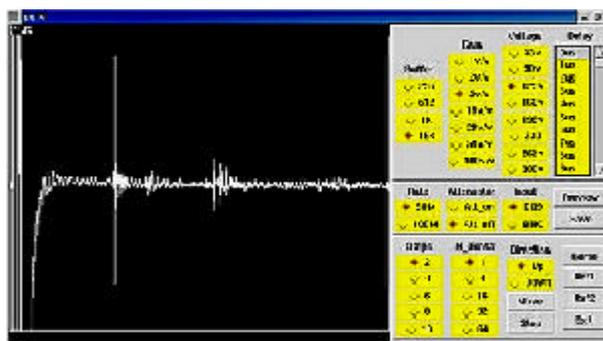


Figura 5. Interface do software desenvolvido para controlar o sistema pulso-eco de ultra-som.

O sinal analógico capturado é armazenado no buffer e gravado em um arquivo com formato usado pelo MatLab⁶. Um script carrega esse arquivo e armazena a informação em um vetor para ser posteriormente processada.

Para se caracterizar o sistema são feitas três medidas diferentes (ABDELWAHAB, 1997):

- sinal de referência: com pouca potência, obtenção da informação de fundo do recipiente;
- sinal saturado: com bastante potência e ganho, obtenção da interface da água com o material;
- sinal não saturado: com pouca potência, obtenção da informação de fundo com o material.

O script do MatLab carrega esses três sinais em vetores e, através de uma interface com o usuário, são ativados

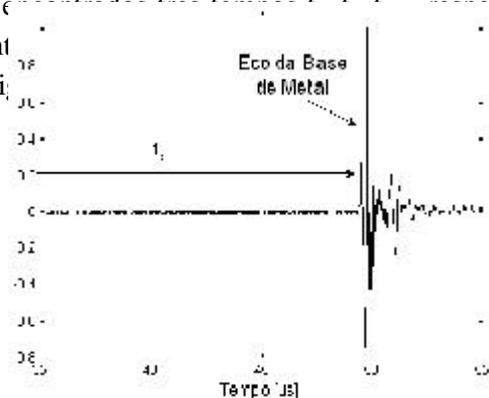


Figura 6a: Tempo t_p de eco da base de metal.

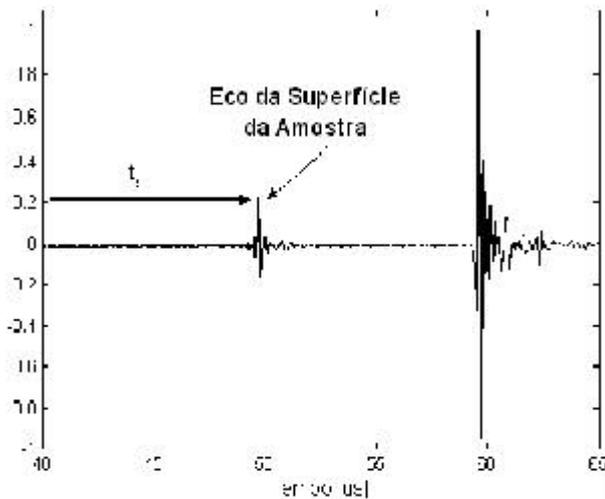


Figura 6b: Tempo t_s de eco da interface água/material.

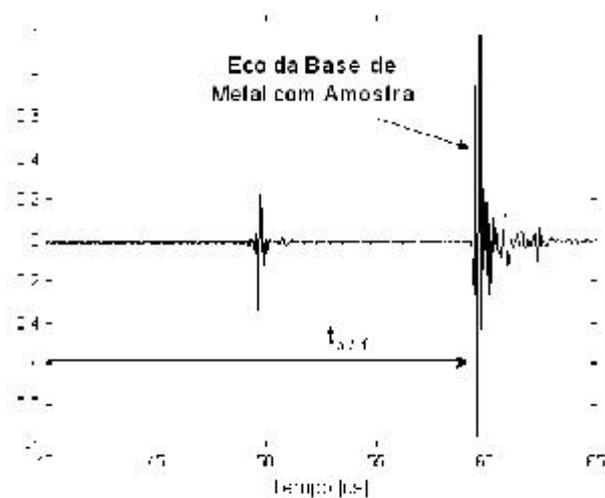


Figura 6c: Tempo $t_{p/f}$ de eco da interface da base de metal com o material.

Resultados

O sinal de eco do ultra-som utilizado para as medidas é apresentado na figura 7 (a) e o espectro de potência com oscilações é apresentado na figura 7 (b).

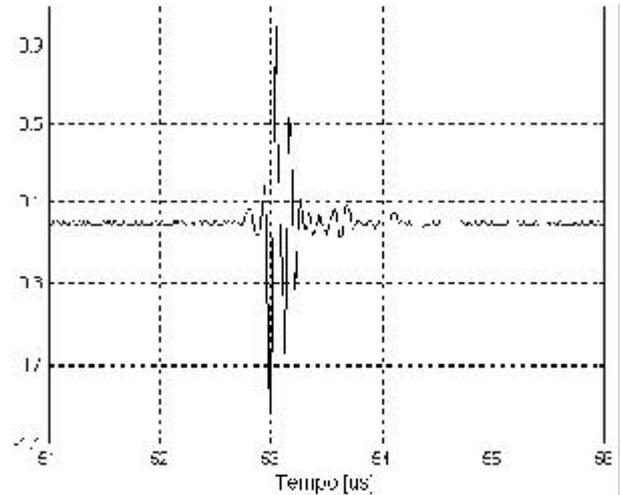


Figura 7a. Sinal de eco do ultra-som.

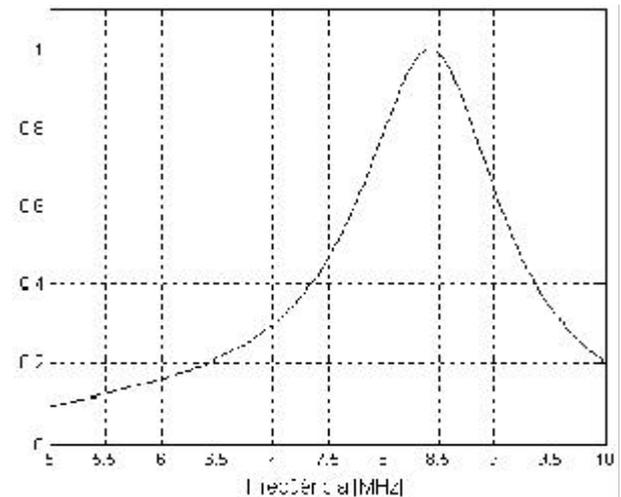


Figura 7b. Espectro de potência do sinal.

Como amostra para o sistema, foi usado um cubo de acrílico com espessura $d=1,68\text{cm}$, no qual a velocidade do som é conhecida $c_{ac} = 2670\text{m/s}$ (ACHENBACH, 1984). Coletaram-se os três sinais, conforme o método apresentado, mostrados com zoom adequado na figura 8.

Com esses sinais, foi calculada a velocidade do som no acrílico resultando em $c_m = 2747,7\text{m/s}$, com-

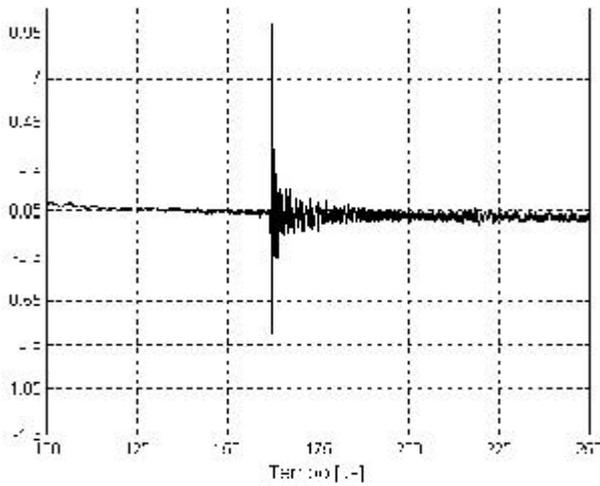


Figura 8a. Sinal de referência.

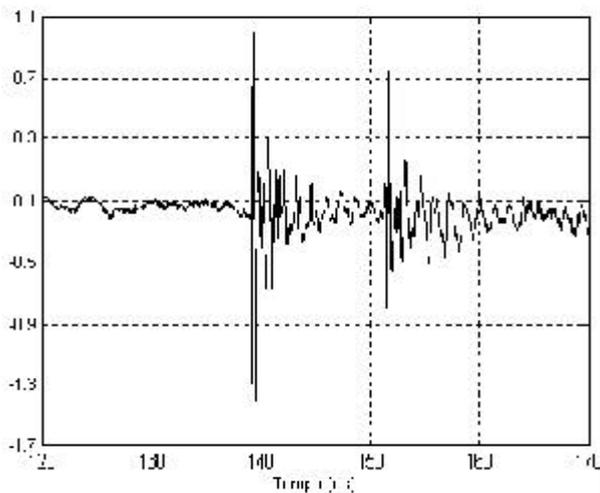


Figura 8b. Sinal saturado.

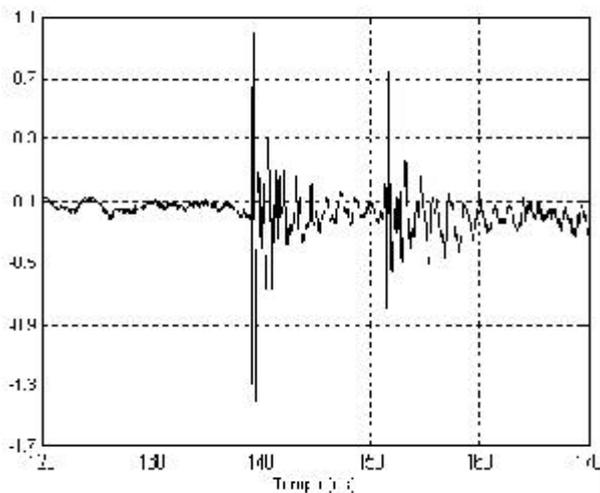


Figura 8c. Sinal não saturado.

parando-se com o valor esperado, calculou-se o erro percentual como $-2,91\%$. A espessura calculada foi $d_m = 1,6877\text{cm}$, com erro percentual $-0,46\%$.

Para o cálculo da atenuação, são usados os espectros de potência S_p e $S_{p/\Gamma}$ apresentados na figura 9.

Devido à grande quantidade de oscilações presentes nos espectros de potência, a curva de atenuação foi prejudicada. O resultado obtido foi diferente do esperado, (figura 10), apesar de se perceber um

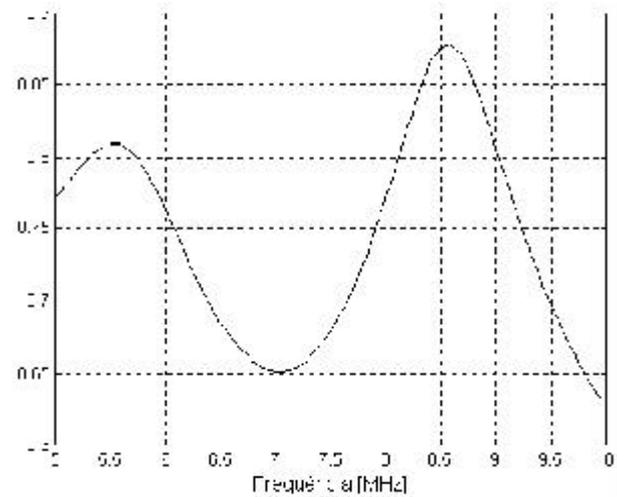


Figura 9a. Espectro de potência S_p .

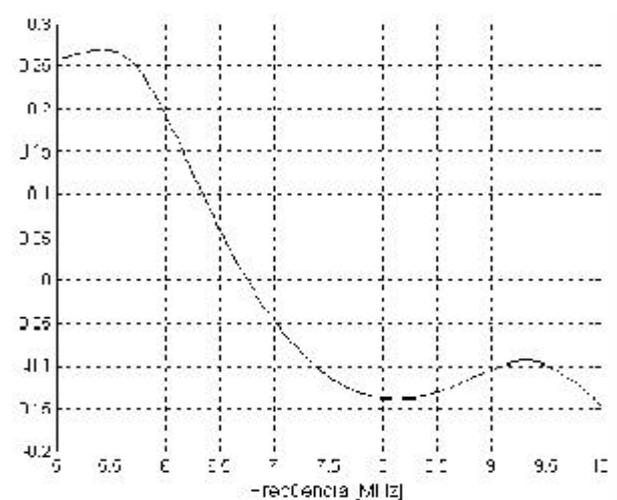


Figura 9b. Espectro de potência $S_{p/\Gamma}$.

crescimento do valor médio da atenuação até os 8,5MHz, que é, aproximadamente, o ponto até onde se analisa a curva.

Outros testes foram feitos com misturas de araldite (CIBA-GY279) e pó de quartzo e também com pó de alumínio. O primeiro ensaio feito de araldite e pó de quartzo a 5% tem espessura $d = 1,240\text{cm}$, o valor encontrado foi $d_m = 1,242\text{cm}$, o que equivale a um erro de $e = -0,161\%$; a velocidade do som foi $c_{\text{quartz}} = 2583\text{m/s}$. Para a mistura de araldite e pó de alumínio 7,5% de espessura $d =$

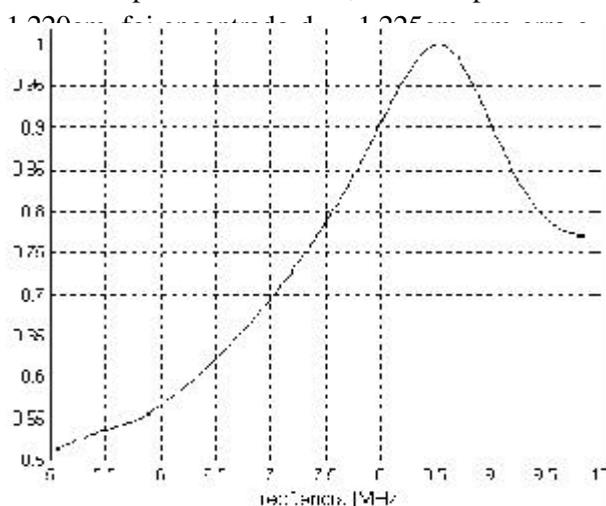


Figura 10. Curva de atenuação em função da frequência.

Tabela 2. Resultados obtidos.

Amostra	Descrição	Espessura	E. Medida	Erro (%)	Vel. Medida
1	araldite com quartzo 7,5%	1,25cm	1,254cm	-0,32	2586m/s
2	araldite com quartzo 5%	1,24cm	1,241cm	-0,063	2545m/s
3	araldite com alumínio 7,5%	1,22cm	1,208cm	0,9662	2665m/s
4	acrílico	1,68cm	1,688cm	-0,46	2748m/s
5	poliéster	1,665cm	1,692cm	-1,610	2621m/s

Conclusão

Com esse trabalho, pudemos desenvolver um

sistema para excitação de um transdutor de ultra-som e capturar o eco refletido de materiais em teste. Utilizando um programa de computador, foi possível salvar os sinais em arquivos do MatLab e analisá-los posteriormente, obtendo informações importantes sobre as características físicas do meio, como a velocidade de propagação do som e a sua espessura, com um erro baixo.

Com essas características, pode-se utilizar esse sistema para futuras pesquisas na área de biomédica, em estudos de tecidos vivos, podendo contribuir para o conhecimento científico atual.

Devido aos ruídos dos sinais e as características do transdutor que não eram ideais, os cálculos da atenuação não foram satisfatórios, ocorreram grandes diferenças em relação ao esperado. Futuramente, serão feitos procedimentos para filtrar os ruídos e assim obter uma informação com qualidade.

Esse sistema será usado em estudos seguintes para analisar fígado e baço caninos, serão realizados estudos sobre o uso de pulso-eco de ultra-som para detectar patologias que modifiquem a estrutura microscópica dos tecidos, sendo o estudo posteriormente aplicado a tecidos biológicos humanos.

Referência

ABDELWAHAB, Abdelhakin. *Sujet: Imagerie Quantitative Ultrasonore Du Foie Humaene: Corrélation Histopathologique*. Val de Marne: Universite Paris XII,. Laboratoire d'Imagerie Paramétrique, 1997.

ACHENBACH, J. D. *Wave Propagation in Elastic Solids*. North-Holland, Amsterdam, 1984.

ENDERLE, Jonh; BLACHARD, Susan; BRONZINO, Joseph. *Introduction to Biomedical Engineering*. New York: Ed. Academic Press, 2000.

FISH, Peter. *Physics and Instrumentation of Diagnostical Medical Ultrasound*. England: John Wiley & Sons, 1990.

