

# Medidas quantitativas de viscosidade e elasticidade utilizando a técnica de vibromagnetoacustografia

## Quantitative measurement of viscosity and elasticity using the vibromagnetoacoustography technique

Thiago W. J. Almeida, Diego Ronaldo T. Sampaio, Theo Z. Pavan e Antônio Adilton O. Carneiro

Departamento de Física, Universidade de São Paulo (USP) – Ribeirão Preto (SP), Brasil.

### Resumo

Este artigo apresenta a técnica de vibromagnetoacustografia (VMA) na análise quantitativa de viscoelasticidade através da análise da propagação de ondas de cisalhamento em *phantoms* de gelatina marcados com nanopartículas magnéticas. Os *phantoms* foram estimulados aplicando-se um gradiente de campo magnético externo e os movimentos induzidos na estrutura interna do *phantom* devido a interação do campo com as partículas foram obtidos através de um equipamento de ultrassom pulso-eco com transdutor matricial. As informações de movimento foram processadas para se obter valores da elasticidade e viscosidade do meio.

**Palavras-chave:** vibromagnetoacustografia, ultrassom, elasticidade.

### Abstract

This paper describes the vibromagnetoacoustography technique in the quantitative analysis of viscoelasticity through shearwave propagation in gelatin phantoms labeled with ferromagnetic nanoparticles. Phantoms were excited applying an external magnetic field gradient and the movements induced in the internal phantom structure due to the interaction of the field with the particles were obtained through pulse-echo equipment ultrasound. The movement's informations were processed to get values of elasticity and viscosity of the medium.

**Keywords:** vibromagnetoacoustography, ultrasonics, elasticity.

### Introdução

A caracterização de propriedades mecânicas de tecidos moles tais como elasticidade e viscosidade têm aplicações médicas importantes, como, por exemplo, avaliar algum tipo de patologia no tecido<sup>1</sup>. Diversas técnicas utilizam ultrassom ou ressonância magnética para analisar quantitativamente tais características mecânicas de forma não invasiva. Uma destas técnicas denominada *Shearwave Dispersion Ultrasound Vibrometry* (SDUV)<sup>2</sup> usa o ultrassom para quantificar a elasticidade e a viscosidade com base do cálculo da velocidade de propagação de ondas de cisalhamento (*shearwave*) no meio em estudo<sup>3</sup>.

A técnica proposta neste trabalho denominada vibromagnetoacustografia (VMA) consiste em aplicar

uma excitação magnética em um meio marcado por nanopartículas magnéticas (óxido de ferro –  $\text{Fe}_3\text{O}_2$ ) ou nanopartículas superparamagnéticas. Ao perturbar o meio, ondas de cisalhamento se propagam pelo material. Usando ecos ultrassônicos (também conhecido como mapa de rf) proveniente do meio em análise, é feito um processamento e obtido os parâmetros necessários para quantificar a viscoelasticidade do meio.

### Material e Métodos

Para realizar as medidas, foi construído um sistema composto por um módulo excitador, um módulo de aquisição e um porta amostra. O módulo excitador é

**Autor correspondente:** Thiago Wellington Joazeiro de Almeida – Universidade de São Paulo / Figlabs Pesquisa e Desenvolvimento S/A – Avenida Dra Nadiir Aguiar 1805 – Supera Parque de Tecnologia – Campus USP – Monte Alegre – Ribeirão Preto (SP), Brasil – E-mail: thiago.almeida@fig-labs.com

composto por uma bobina (Solen Inc) com as características descritas na Tabela 1.

A bobina foi isolada do sistema de aquisição e porta amostra para que não ocorresse a transmissão da vibração mecânica da bobina para o sistema de leitura durante a aquisição do sinal (Figura 1). No centro da bobina, foi colocado um concentrador de campo magnético em formato cônico focalizando o campo aplicado sobre uma determinada região além de intensificar o gradiente de campo magnético. Este concentrador foi posicionado a 1 mm de distância do phantom. A força magnética é gerada devido a um gradiente de campo magnético originário de um pulso senoidal amplificado em 40 vezes por um amplificador de áudio conectado a bobina. A frequência de vibração das nanopartículas magnética é o dobro da frequência de excitação da bobina<sup>4</sup>. A excitação do material foi feita aplicando uma força magnética variando a frequência de excitação de 50 a 250 Hz.

Para cada frequência, foi determinada a velocidade de propagação da onda medindo a distância percorrida por esta onda em um dado intervalo de tempo.

**Tabela 1.** Características da bobina.

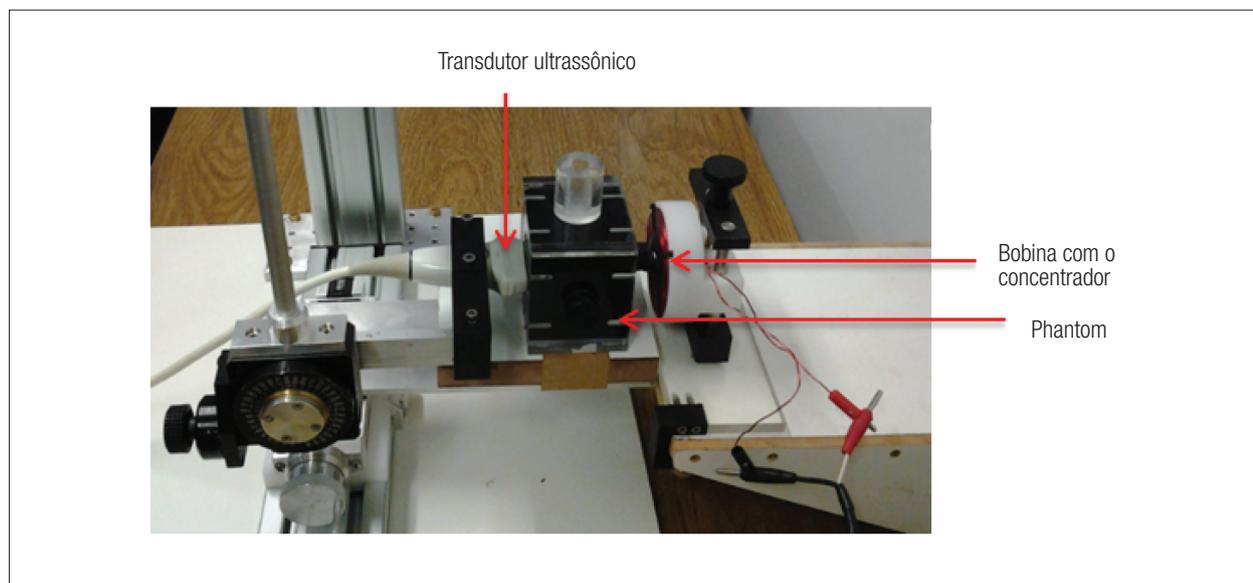
Item	Descrição
Part Number	S189.1
Indutância (mH)	9,1
Dimensões (mm)	22 x 45 x 89
Impedância ( $\Omega$ )	2

O *phantom* foi construído utilizando 6% de gelatina bloom 250 dissolvida em 500 mL de água mili-Q. Na construção do phantom foi adicionado 5% de nanopartículas de óxido de ferro ( $Fe_3O_4$ ) cujo tamanho varia entre 20 nm e 30 nm e 0,047 gramas de formaldeído por grama de gelatina. O formaldeído é utilizado para aumentar o ponto de fusão da mistura e também atua como agente bactericida, possibilitando o uso prolongado do phantom. Para que mistura fique totalmente homogênea, a mesma foi colocada em um porta amostra preza a um sistema giratório (2,5 rotações por minuto).

Para medir a perturbação mecânica promovida as estruturas internas do phantom pela ação do campo magnético aplicado, utilizou-se um equipamento de ultrassom da Ultrasonix Medical Corporation, modelo Sonix RP. Este equipamento possui uma plataforma dedicada a pesquisa que permite ajustar a configuração de formação do feixe acústico tais como o controle dos elementos do transdutor para realizar a transmissão e recepção do sinal acústico. Para a aquisição dos mapas de rf utilizou-se um menor número de elementos (4 elementos por aquisição) no transdutor para que pudéssemos aumentar a taxa de aquisição dos dados. O equipamento de ultrassom foi sincronizado com o sistema de excitação para que o sinal de ultrassom fosse capturado a partir do instante em que o pulso magnético fosse aplicado.

Os dados obtidos foram processados em um programa computacional desenvolvido em Matlab. Este programa lê os dados de rf, faz a correlação cruzada entre cada linha de rf obtida e traz a informação de deslocamento do meio gerado pela excitação magnética das nanopartículas presente no *phantom*.

Para quantificar os parâmetros viscoelásticos, adotou-se o modelo Kelvin-Voigt de viscoelasticidade.



**Figura 1.** Sistema de excitação e aquisição.

Neste modelo, a velocidade de propagação da onda de cisalhamento depende das propriedades mecânicas do meio e da frequência com que o meio é excitado.

$$v = \frac{2(\mu_1^2 + \omega_b^2 \mu_2^2)}{\rho(\mu_1 + \sqrt{\mu_1^2 + \omega_b^2 \mu_2^2})} \quad (1)$$

sendo:

$\mu_1$  e  $\mu_2$  os coeficientes de elasticidade e viscosidade de cisalhamento, respectivamente;

$\rho$  a densidade do meio;

$\omega_b$  a frequência angular de vibração.

Os experimentos foram realizados em uma temperatura ambiente de 25° C.

## Resultados

A Figura 2 foi obtida fazendo o processamento dos dados de rf no programa desenvolvido em Matlab. Nota-se nesta figura o deslocamento da onda de cisalhamento ao longo do phantom.

Na Figura 2 a onda de cisalhamento de movimento com uma velocidade de 2,4 m/s. Aumentando a frequência de excitação da amostra, a velocidade aumenta conforme é mostrado na Figura 3. A frequência de resposta do meio considerado é o dobro da frequência de excitação<sup>4</sup>. A partir de um ajuste não linear utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquadt aplicado na equação 1, os valores obtidos para a elasticidade e viscosidade foram 4 kPa e 2,2 Pa.s, respectivamente.

## Discussão e Conclusões

O procedimento adotado para obtenção da elasticidade e viscosidade do meio usando a técnica VMA demonstrou que é possível quantificar os parâmetros viscoelásticos considerando um meio homogêneo. Ao comparar os valores obtidos com valores divulgados na literatura<sup>1-3</sup>, nota-se boa concordância. Porém, o processo manual de construção dos *phantoms* pode trazer diferenças nas características do material e também a variação de temperatura no ambiente pode gerar mudanças no comportamento do material.

## Agradecimentos

À FAPESP, Capes, CNPq, FINEP e FIGLABS pelo apoio financeiro e técnico dado ao projeto.

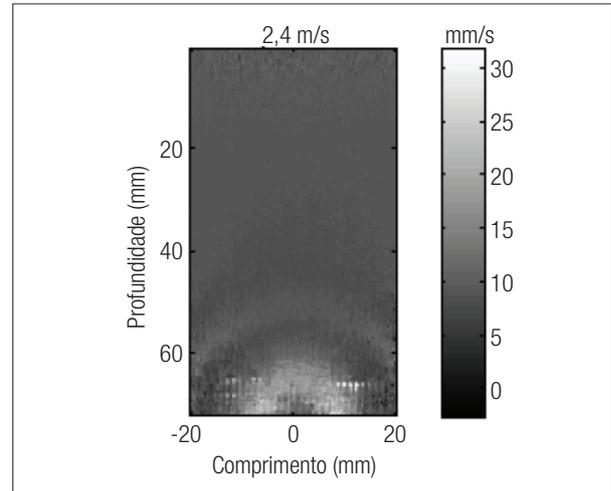


Figura 2. Ondas de cisalhamento propagando pelo phantom.

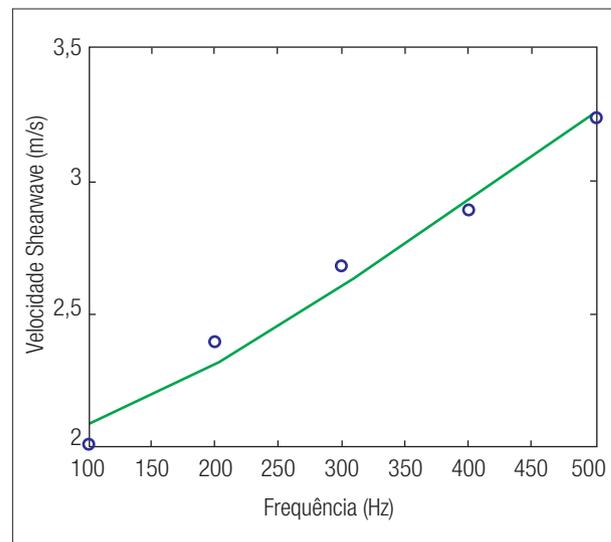


Figura 3. Curva de ajuste para obtenção da viscoelasticidade.

## Referências

1. Sarvazyan AP, Rudenko OV, Swanson SD, Fowlkes JB, Emelianov SY. Shear wave elasticity imaging: A new ultrasonic technology of medical diagnostics. *Ultrasound Med Biol.* 1998;24(9):1419-35.
2. Chen S, Urban MW, Pislaru C, Kinnick R, Zheng Y, Yao A, Greenleaf JF. Shearwave Dispersion Ultrasound Vibrometry (SDUV) for Measuring Tissue Elasticity and Viscosity. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control.* 2009;56(1):55-7.
3. Chen, Fatemi M e Greenleaf JF. Quantifying elasticity and viscosity from measurement of shear wave speed dispersion. *J Acoust Soc Am.* 2004;115(6):2781-4.
4. Bruno AC, Carneiro AAO. Transdutor híbrido para medidas susceptométricas e ultrassônicas simultaneamente. [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo; 2010.
5. Urban MW, Nenadic IZ, Mitchell SA, Chen S, Greenleaf JF. Generalized response of a sphere embedded in a viscoelastic medium excited by ultrasonic radiation force. *J Acoust Soc Am.* 2011;130(3):1133-41.

