

CARACTERIZAÇÃO DE AMOSTRAS À BASE DE PVCP E CERA DE CARNAÚBA PARA APLICAÇÃO COMO *PHANTOMS* SIMULADORES DE TECIDOS BIOLÓGICOS

I. M. Carvalho*, M. A. von Krüger* e W. C. A. Pereira*

* Programa de Engenharia Biomédica/COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

email: isabelamiller@gmail.com

Resumo: *Phantoms* ultrassônicos são simuladores de tecidos biológicos que mimetizam suas principais características. Vários materiais têm sido estudados visando reproduzir as propriedades acústicas dos tecidos, porém, em sua maioria, apresentam instabilidade e pouca durabilidade. Este trabalho visa caracterizar as propriedades de amostras confeccionadas com PVCP e cera de carnaúba possibilitando a elaboração de *phantoms* que simulem diversos tecidos. Foram confeccionadas amostras com diferentes concentrações de cera de carnaúba (4%, 8% e 16%). A velocidade de propagação na amostra variou de 1494,92 a 1495,70 m.s⁻¹. O coeficiente de atenuação foram facilmente controlados de acordo com a concentração de cera de carnaúba na amostra, variando de 0,38 a 1,46 dB.cm⁻¹ a 1MHz. As outras propriedades caracterizadas (densidade, impedância e compressibilidade) encontram-se dentro da faixa de interesse para os tecidos biológicos. Estes resultados mostram que a cera de carnaúba é um material promissor, junto com o PVCP, na confecção de *phantoms* para ultrassom, apresentando estabilidade e durabilidade ao longo do tempo.

Palavras-chave: ultrassom, *phantom*, PVCP, cera de carnaúba.

Abstract: *Ultrasonic phantoms are objects that simulate biological tissues and mimic their main characteristics. Several materials have been studied aiming to reproduce the acoustic properties of biological tissues, but, on the whole, they present instability and low durability. This work aims to characterize the properties of samples made of PVCP and carnauba wax enabling the development of phantoms that simulate various tissues. The samples were produced using different concentrations of carnauba wax (4%, 8% and 16%). The propagation speed ranges from 1494.92 to 1495.70 m.s⁻¹. The attenuation coefficients were easily controlled according to the carnauba wax concentration, ranging from 0.38 to 1.46 dB.cm⁻¹ at 1MHz. The other characterized properties (density, impedance and compressibility) are within the range of interest of biological tissues. These results show that the carnauba wax is a promising material, together with PVCP, for the manufacture of ultrasound phantoms, presenting stability and durability over time.*

Keywords: *ultrasound, phantom, PVCP, carnauba wax*

Introdução

Phantoms ultrassônicos simuladores de tecidos biológicos são peças fundamentais na área médica, principalmente para treinamento de profissionais e no ensino de técnicas ultrassonográficas. Além disso, podem ser utilizados na calibração de aparelhos bem como na avaliação dos campos acústico e térmico.

Para a confecção de um *phantom*, é necessário que os materiais utilizados na sua produção apresentem valores das propriedades semelhantes àqueles dos tecidos biológicos. Estes valores variam de acordo com tecido a ser mimetizado, conforme mostrado na Tabela 1. Diversos materiais vêm sendo estudados com o propósito de reproduzir as propriedades ideais dos tecidos. Os mais usuais são à base de água ou de óleo, como, por exemplo, gelatina [1], agar [2], poliácilamida [3], epóxi [4], parafina [5] entre outros.

Em estudos preliminares [6], o policloreto de vinila plastificado, conhecido como PVCP (M-F Manufacturing Co., Fort Worth, TX, USA) mostrou-se eficiente na confecção de *phantoms* simuladores de tecidos biológicos, uma vez que apresentou estabilidade, durabilidade e resistência ao ataque de microorganismos. Este material é um tipo de plástico não-tóxico utilizado, por exemplo, na confecção de iscas de pesca. Consiste em uma solução opaca de monômeros que se polimeriza e torna-se translúcida, quando aquecida a altas temperaturas.

Uma vez definido o material-base, optou-se pela inclusão de cera de carnaúba como material complementar, com o objetivo de tornar o meio não homogêneo e para ajuste das propriedades. Este tipo de cera é extraída das folhas da palmeira *Copernicia prunifera*, uma planta nativa do Brasil, e já foi utilizado por Vieira *et al.* [5] na confecção de *phantoms* para ultrassom.

O presente trabalho se propõe a contribuir para ajustar as propriedades acústicas e físicas de amostras de PVCP e cera de carnaúba para a faixa de valores médios recomendada para tecidos biológicos (Tabela 1), e assim, possibilitar a elaboração de *phantoms* que simulem tais tecidos e que apresentem estabilidade e durabilidade.

Tabela 1: Valores das propriedades acústicas dos tecidos biológicos [7,8].

Tecido	Velocidade (m.s ⁻¹)	Atenuação (dB.cm ⁻¹)	Densidade (Kg.m ⁻³)	Impedância (10 ⁶ Kg.m ⁻² .s ⁻¹)	Compressibilidade (10 ⁻¹² .m ² .N ⁻¹)
Pele	1631	0,22	1100	1,87	335-349
Gordura	1435	0,97	916	1,37	508
Músculo	1595	1,47	1041	1,65-1,74	353-393

Materiais e métodos

Confeção das amostras do phantom – A matéria prima básica utilizada neste trabalho para a construção das amostras do *phantom* é o PVCP já descrito na sessão anterior. A cera de carnaúba foi utilizada como substância complementar. Este material permite ajustar os valores das propriedades, de acordo com a variação da concentração na amostra [5].

Para a confeção das amostras a mistura de PVCP e de cera de carnaúba foi preparada nas concentrações 4%, 8% e 16%, escolhidas empiricamente. Uma amostra com PVCP puro (sem cera) também foi confeccionada. Todas foram produzidas com as dimensões de 0,5 cm de espessura e 3,5 cm de diâmetro em um molde de alumínio (Figura 1).

A metodologia adotada para confeccionar as amostras foi descrita por Carvalho [6]. Cada amostra foi colocada em bomba à vácuo, por aproximadamente 30 minutos, para a redução das bolhas de ar. Em seguida, a mistura foi aquecida em forno de micro-ondas doméstico (marca Electrolux) por 4 intervalos de 2 minutos (8 minutos no total) em potência média-alta (70%). Em aproximadamente 160°C a mistura torna-se translúcida e viscosa, podendo ser colocada no molde. A amostra foi então deixada em repouso até atingir a temperatura ambiente.

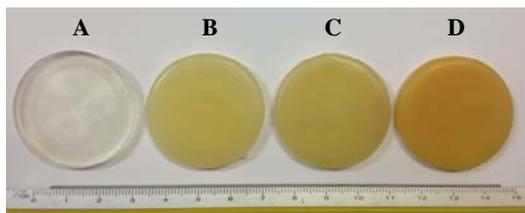


Figura 1: Imagem fotográfica das amostras feitas com (A) PVCP puro e (B, C e D) PVCP + cera de carnaúba a 4%, 8% e 16%, respectivamente.

Medição das propriedades acústicas – As amostras descritas no parágrafo anterior foram utilizadas na medição da velocidade de propagação longitudinal e de coeficiente de atenuação, empregando-se o método transmissão-recepção. As amostras foram inseridas entre dois transdutores, sem contato direto com os mesmos. A montagem experimental consistiu basicamente de dois transdutores (marca Olympus) alinhados segundo o eixo axial orientados em oposição, fixado em um trilho e imersos na água a 25°C (Figura 2). O transdutor transmissor (T) foi excitado pelo gerador de funções AFG 3021 (Tektronix Inc., Beaverton, OR, USA), com

uma salva de senóides de 15 ciclos e amplitude 10 V medidos pico-a-pico (Vpp) e período de repetição de 10 ms. O transdutor receptor (R), de mesma frequência que o transdutor transmissor, conectou-se a um osciloscópio TDS 3014B (Tektronix Inc., Beaverton, OR, USA) com memória de 1 kbyte e frequência de amostragem de 50 MSa.s⁻¹ Foram utilizados três pares de transdutores com frequências de 2,25, 5 e 10 MHz. Uma vez que são banda larga foi possível abranger a faixa de 1, 2 e 3 MHz com o transdutor de 2,25 MHz, a faixa de 4, 5 e 6 MHz com o transdutor de 5 MHz e a faixa de 7, 8, 9 e 10 MHz com o transdutor de 10 MHz. A frequência era então determinada pela excitação e a salva de senóides era longa o suficiente para ser possível escolher a região central da mesma onde a amplitude era constante e podia de assumida uma frequência. Nesta região foi selecionada a posição onde foi determinado o tempo t_c da senóide central para determinação do tempo de propagação. Foram também medidas as amplitudes A_{ref} e $A_{amostra}$ para o cálculo da atenuação. A mesma coleta de dados foi repetida para cada frequência coletando-se o sinal de referência (sinal do ultrassom propagando na água, sem a presença da amostra). Em seguida, a amostra foi posicionada entre os transdutores afastados e o sinal transmitido adquirido.

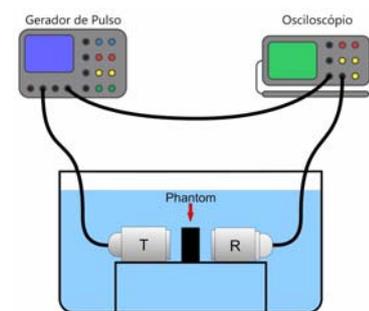


Figura 2: Ilustração da montagem experimental utilizada na aquisição dos sinais para medição das propriedades, onde T é o transdutor transmissor e R o transdutor receptor.

A velocidade de propagação na amostra ($c_{amostra}$) foi calculada usando a Equação (1):

$$c_{amostra} = \frac{x c_{ref}}{x + t_c c_{ref}} \quad (1)$$

onde x é a espessura da amostra, c_{ref} é a velocidade de propagação na água (1496 m/s) e t_c é a diferença temporal [9].

A atenuação ($\alpha_{amostra}$) foi calculada pela divisão do valor máximo do valor pico a pico dos sinais de referência (A_{ref}) e da amostra ($A_{amostra}$), usando a Equação (2):

$$\alpha_{amostra} = \frac{20}{x} \log_{10} \left(\frac{A_{ref}}{A_{amostra}} \right) \quad (2)$$

onde x é a espessura da amostra, A_{ref} é a amplitude do pico do sinal de referência e $A_{amostra}$ é a amplitude do pico do sinal da amostra. Foram coletados sinais na faixa de frequência de 1 a 10MHz, em passos de 1MHz.

A impedância acústica (Z) foi calculada a partir do produto da densidade pela velocidade de propagação, conforme a Equação 3:

$$Z = \rho \cdot c \quad (3)$$

onde ρ é a densidade e c a velocidade de propagação.

Medição da densidade – A determinação da densidade das amostras foi realizada através da medição da sua massa e seu volume. Para tal, utilizou-se uma balança digital, um picnômetro e água destilada. Primeiro, determina-se a massa do picnômetro vazio através da pesagem na balança digital. Em seguida, o picnômetro foi completado com água destilada, de maneira que não fique bolhas em seu interior para então ser pesado. Uma vez determinada a massa do picnômetro vazio e com água, mede-se a massa de todas as amostras também por pesagem. Por último, determina-se a massa do picnômetro contendo a amostra e a água. Foram realizadas três pesagens para então ser calculada a média. A densidade foi calculada pela expressão:

$$d = \frac{m_{amostra}}{M - M'} \quad (4)$$

onde $m_{amostra}$ é a massa da amostra; M é a massa do picnômetro com água + massa da amostra e M' é a massa do picnômetro contendo água e a amostra. Como a densidade da água é 1, numericamente massa de água corresponde a volume de água e vice-versa.

Medição da compressibilidade volumétrica – A compressibilidade volumétrica (κ) determina a diminuição do volume fracionário quando a pressão é aplicada no material e é calculada pela Equação (5):

$$\kappa = \frac{1}{\rho \cdot c^2} \quad (5)$$

onde c é a velocidade de propagação, ρ é a densidade e κ é a compressibilidade do meio.

Resultados

Um total de quatro amostras foi confeccionado utilizando o PVCP como material-base. A cera de carnaúba foi adicionada ao PVCP, como material complementar, para ajuste das propriedades.

A Tabela 2 mostra os valores de velocidade de propagação e atenuação a 1MHz, além da densidade relativa, impedância acústica e compressibilidade das amostras. Nota-se que o PVCP puro apresentou valores de velocidade e atenuação inferiores do que as amostras contendo cera de carnaúba. A adição de cera de carnaúba produziu pequenas alterações na velocidade de propagação. A maior alteração foi observada na amostra contendo 16% de cera de carnaúba. Considerando os valores de atenuação medidos a 1MHz, a adição de cera de carnaúba a 4% fez o coeficiente de atenuação do PVCP puro praticamente dobrar. Um valor superior (1,46 dB.cm⁻¹) foi observado com 16% de cera de carnaúba.

A variação do coeficiente de atenuação das amostras em função da frequência produzida com diferentes concentrações de cera de carnaúba (4%, 8% e 16%) e de PVCP puro é mostrada na Figura 2. Pode-se observar que a adição de cera de carnaúba ao PVCP promoveu alterações nos valores de atenuação.

No que diz respeito à densidade, pode-se observar valores relativamente mais altos para amostras com maior concentração de cera de carnaúba, ficando próximos aos valores médios atribuídos aos tecidos biológicos. Quanto à impedância acústica, o PVCP puro apresenta valor em torno de 1,47(10⁶ Kg.m⁻².s⁻¹). A adição de cera de carnaúba não produziu alterações expressivas na impedância, entretanto, estes valores encontram-se dentro da faixa de interesse para o estudo. Finalmente, no que se refere aos valores de compressibilidade volumétrica, notou-se uma discreta diminuição nos valores conforme o aumento da concentração de cera na amostra, porém estes valores são compatíveis com os descritos na literatura para os tecidos biológicos.

Tabela 2: Valores das propriedades das amostras a 1MHz produzidas com PVCP e cera de carnaúba.

Amostra	Velocidade (m.s ⁻¹)	Atenuação (dB.cm ⁻¹)	Densidade (Kg.m ⁻³)	Impedância (10 ⁶ Kg.m ⁻² .s ⁻¹)	Compressibilidade (10 ⁻¹² .m ² .N ⁻¹)
PVCP puro	1494,92	0,38	985	1,47	454
PVCP + cera 4%	1495,11	0,82	954	1,42	469
PVCP + cera 8%	1495,29	0,91	990	1,48	451
PVCP + cera 16%	1495,70	1,46	996	1,49	448

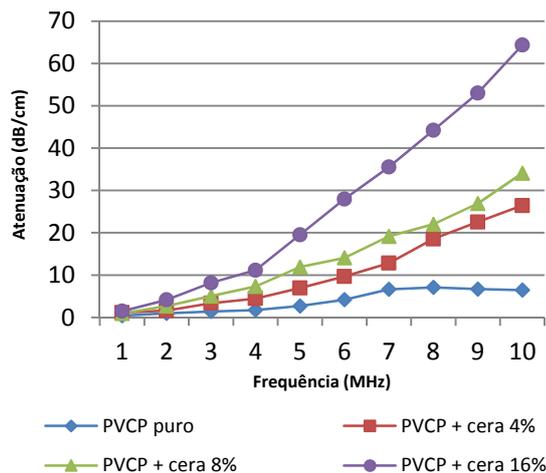


Figura 2: Gráfico da variação dos valores de atenuação em função da frequência do PVCP puro e misturado com diferentes concentrações de cera de carnaúba.

Discussão

Este trabalho consistiu basicamente de um estudo preliminar sobre o efeito da mistura de cera de carnaúba ao PVCP nas propriedades acústicas relevantes de materiais simuladores de tecidos biológicos. Foram testadas diferentes concentrações de cera de carnaúba em uma mistura com PVCP a fim de conhecer seus efeitos nas propriedades e assim avaliar sua utilização na produção de *phantoms* ultrassônicos. Elucidar tal comportamento torna-se importante na medida em que se procura desenvolver protocolos de produção de *phantoms* simuladores de tecidos biológicos, utilizando novos materiais que confirmem estabilidade e durabilidade ao *phantom*.

O uso do PVCP na confecção de *phantoms* já foi bem descrito em trabalhos anteriores como um material promissor na simulação de tecidos biológicos [6, 10]. Tomando-se os valores de atenuação, pode-se observar que quanto maior a concentração de cera na amostra, maior o valor de coeficiente de atenuação. As amostras de PVCP puro e aquelas contendo 4% e 8% de cera, a atenuação manteve-se praticamente no mesmo patamar, sem grandes variações, entretanto na amostra contendo 16% de cera, a atenuação foi bem maior, chegando a alcançar valores quase que 10 vezes superiores aos outros.

No que se refere aos valores de velocidade de propagação, foi possível observar um discreto aumento nos valores conforme aumento da concentração de cera na amostra. Este comportamento também é observado na maioria dos tecidos biológicos, onde a variação de velocidade de tecido para tecido se dá em torno da velocidade de propagação na água [8].

Em se tratando da estabilidade, foi possível notar, a curto prazo, que a adição de cera de carnaúba promoveu uma maior estabilidade às amostras quando comparadas às amostras feitas em um estudo anterior utilizando pó de grafite [6]. Algumas características foram analisadas

visualmente e pelo tato, como por exemplo, a elasticidade e a exsudação de líquido pela amostra. Porém, ainda é necessário explorar um período de tempo maior para estudar tal comportamento.

Conclusão

A cera de carnaúba produziu resultados promissores como um novo material para ser aplicado na confecção de *phantoms* para ultrassom. O estudo demonstrou que, pela variação da concentração de cera de carnaúba, é possível adequar as propriedades da amostra para valores próximos aos dos tecidos biológicos. Uma vez ajustado os valores das propriedades, pode-se elaborar *phantoms* para área de diagnóstico por imagem, visto que estas alterações na concentração de cera na amostra podem influenciar no padrão de textura, gerando imagens com níveis de espalhamento distintos.

Para trabalhos futuros, sugere-se explorar outras concentrações intermediárias de cera de carnaúba, a fim de ampliar as aplicações dos *phantoms*.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e à FAPERJ pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Madsen EL, Zagzebski JA, Frank GR et al. Anthropomorphic breast phantoms for assessing ultrasonic imaging system performance and for training ultrasonographers: Part I. *Journal of Clinical Ultrasound*. 1982; v. 10, p. 91-100.
- [2] Sun C, Pye SD, Browne JE, Janeczko A, Ellis B, Butler MB et al. The speed of sound and attenuation of an IEC agar-based tissue mimicking material for high frequency ultrasound applications. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2012; 38(7), p.1262-1270.
- [3] Prokop AF, Vaezy S, Noble ML, Kaczkowski PJ. Polyacrylamide gel as an acoustic coupling medium for focused ultrasound therapy. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2003; v. 29, p. 1351-1358.
- [4] Cardona MAR, Pereira FR, Pereira WCA, Machado JC. *Phantoms* para ultra-som com perfil para velocidade de propagação da onda. In: *Proceedings of Brazilian Congress of Biomedical Engineering 2000*, Florianópolis: p. 1111-1115.
- [5] Vieira SL, Pavan TZ, Jorge EJ, Carneiro AAO. Paraffin-gel tissue-mimicking material for ultrasound-guided needle biopsy phantom. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2013; 39(12): p. 2477-2484.
- [6] Carvalho IM. Desenvolvimento e caracterização de *phantoms* para simulação de lesões de mama com aspectos ultrassonográficos benignos e malignos. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 61p, 2013.
- [7] Hoskins PR. Physical properties of tissues relevant

to arterial ultrasound imaging and blood velocity. 2007; 33(10): p. 1527-1539.

[8] Wells PNT. Biomedical Ultrasonics. Academic Press. London, 1977.

[9] Bilaniuk N, Wong GSK. Speed of sound in pure water as a function of temperature. Journal of the Acoustical Society of America. 1993; 93(3): p. 1609-1612.

[10] Maggi LE. Caracterização das propriedades acústicas de novos materiais visando a confecção de *phantoms* ultrassônicos. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 117p, 2011.