

PHANTOMS DE GÉIS DE COPOLÍMERO A BASE DE ÓLEO PARA ULTRASSONOGRRAFIA

Cabrelli, L. C.; Pelissari, P.I.B.G.B.; Carneiro, A.A.O. e Pavan, T. Z.
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP, Ribeirão Preto, Brasil
E-mail: lucabrelli@usp.br

Resumo: Materiais à base de água são os tipos mais utilizados para confecção de *phantoms* aplicados a técnicas de ultrassonografia, dado o bom desempenho em reproduzir as propriedades acústicas dos tecidos moles, apesar de apresentarem desvantagens de sofrerem fácil degradação e não apresentarem estabilidade por longo período. O presente trabalho propõe um novo material para *phantoms* aplicados em ultrassonografia, a base de óleo mineral, não contendo os efeitos indesejáveis de degradação. Foram confeccionados géis de SEBS (estireno-etileno/butileno-estireno), variando a porcentagens de SEBS entre 5% e 15%, e com porcentagem fixa de polietileno de baixa densidade (PEBD). Foram medidos a velocidade de propagação acústica e o coeficiente de atenuação usando cinco transdutores planares de imersão com frequências centradas entre 2,25 MHz a 10 MHz através da técnica de substituição, sendo água o material de referência utilizado. A velocidade de propagação acústica das amostras variou de (1464,1±0,8) m/s a (1477,2±2,0) m/s. O coeficiente de atenuação variou entre (0,76±0,13) e (0,95±0,13) dB/cm/MHz. Os resultados sugerem que géis de copolímeros são promissores para serem aplicados na confecção de *phantoms* para ultrassonografia.

Palavras-chave: phantom, ultrassom, gel de SEBS.

Abstract: Water-based materials are the most common material applied in phantoms for ultrasound techniques, due to good results in mimicking the acoustical properties of soft tissues. However, these materials have the disadvantages such as easy degradation and low temporal stability. This study presents an oil-based new tissue mimicking material for ultrasound, with the advantage of presenting low temporal degradation. Styrene-Ethylene/Butylene-Styrene (SEBS) copolymer-in-oil gels were made varying the percentage of SEBS between 5%-15%, and fixed percentage of low-density polyethylene (LDPE) was used. Speed of sound and attenuation coefficient were studied using 5 planar immersion transducers with frequencies ranging from 2.25 MHz and 10 MHz by the substitution technique, using water as the reference material. The speed of sound varied from (1464.1±0.8) m/s to (1477.2±2.0) m/s, and the attenuation coefficient varied from 0.76 to 0.95 dB/cm/MHz. The results suggest the copolymer gels are promising materials for ultrasound phantoms.

Keywords: phantom, ultrasound, SEBS gel.

Introdução

Um *phantom* trata-se de um objeto que tem por finalidade simular uma ou mais estruturas biológicas. Em estudos que utilizam o ultrassom como sistema de imagem médica, deve-se atentar para que o material do *phantom* possua propriedades acústicas equivalentes àquelas encontradas nos tecidos moles biológicos como a velocidade de propagação acústica no meio, coeficiente de atenuação acústica e coeficiente de retroespalhamento [1].

Phantoms aplicados a imagens de ultrassom são comumente confeccionados com materiais à base de água, pois proporcionam propriedades acústicas bastante próximas às dos tecidos biológicos [2]. Porém, esses tipos de materiais apresentam problemas quanto ao armazenamento e conservação, o que pode ocasionar em mudanças de suas características acústicas em um curto período de tempo [2]. Assim, surge a necessidade de se investigar novos materiais que preservem suas características acústicas e mecânicas ao longo do tempo para serem utilizados na confecção dos *phantoms*.

A parafina em gel é um material obtido a partir de uma rede polimérica em óleo mineral, que vem se mostrando bastante eficiente para se utilizar em *phantoms* aplicado ao ultrassom, não possuindo os problemas relatados de materiais à base de água [3]. Semelhante a esse material, pode-se obter géis a partir de copolímero em bloco estireno-etileno/ butileno-estireno (SEBS) e polietileno de baixa densidade (PEBD) e óleo mineral, com a vantagem de ser um material termorreversível, podendo ser remodelado quando aquecido acima de uma temperatura crítica e voltando a se comportar como gel após resfriado [4].

O presente estudo teve como objetivo a produção e caracterização acústica de géis de SEBS e PEBD a base de óleo mineral, avaliando a dependência dos parâmetros acústicos com a composição dos géis.

Materiais e Métodos

Para manufatura dos géis utilizou-se copolímero em bloco estireno-etileno/butileno-estireno conhecidos como SEBS (Kraton G-1650), óleo mineral alimentício (Naturol, Farmax) e polietileno de baixa densidade (PEBD). O PEBD e o óleo mineral foram mantidos a uma temperatura de 110°C e foram misturados até completa dissolução do PEBD. Posteriormente foi adicionado o copolímero e a mistura foi mantida a 110°C, até total dissolução do copolímero obtendo uma

solução transparente. Logo após a dissolução do copolímero foi adicionado pó de vidro, a uma concentração de 0,5% em massa, aos *phantoms* para simular o padrão de retroespalhamento observado em imagens de ultrassom do tecido humano. Foram confeccionadas seis amostras de gel com diferentes proporções de polímeros e óleo mineral. A tabela 1 mostra a composição usada para cada um dos materiais.

Tabela 1: Composição das amostras de géis

Amostra	% PEBD	% SEBS
1	5	5
2	5	7
3	5	9
4	5	11
5	5	13
6	5	15

Os géis foram colocados em recipientes cilíndricos de PVC com 7,5 cm de diâmetro e 2,5 cm de espessura. As suas extremidades foram seladas com filmes de PVC. Determinou-se a densidade de cada amostra através da medição da massa de 5 porções de cada composição de gel e calculado o volume deslocado ao colocar a porção em uma proveta com óleo mineral.

As amostras foram caracterizadas acusticamente usando a montagem experimental mostrada na figura 1. Nesse caso, o transdutor ultrassônico foi posicionado a 27 cm de distância do hidrofone de agulha. As amostras foram sempre posicionadas a 13,5 cm dos transdutores, o que consistentemente ficou em seu campo distante. Foram utilizados cinco transdutores planares de imersão não focalizados (*Panametrics*) de banda estreita com frequência centradas entre 2,25 MHz e 10 MHz operados por um equipamento *pulser/receiver* modelo 5800 (*Panametrics*), com frequência de repetição de 200 Hz e energia de 12,5 μ J. Os sinais gerados foram adquiridos através de um hidrofone do tipo agulha com sensor de 1 mm de diâmetro (*Precision Acoustics sn 1861*) conectados a um osciloscópio (MSO7104B, *Agilent Technologies*). As medidas foram realizadas em um tanque contendo água degaseificada em uma sala acústica climatizada com temperatura mantida a 22°C.

Para fins de comparação foram feitas duas amostras sem a presença do homopolímero PEBD, com porcentagem de SEBS de 5% e 10%. A atenuação e velocidade de propagação acústica foram obtidas pelo mesmo arranjo experimental utilizado para as amostras com PEBD.

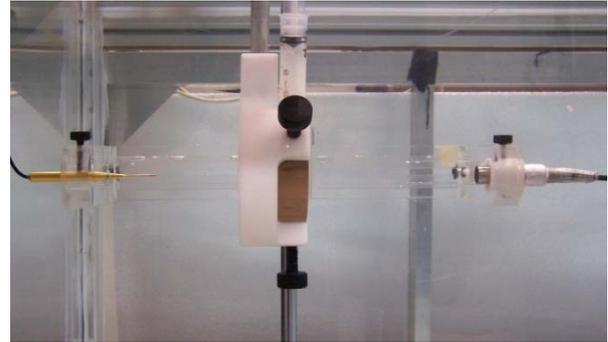


Figura 1: Arranjo experimental para caracterização acústica das amostras de géis de SEBS: o transdutor emissor de ultrassom (direita), a amostra (centro) e o receptor hidrofone de agulha (esquerda).

As propriedades acústicas das amostras foram obtidas através da técnica de substituição, que determina a mudança de tempo de trânsito de pulso quando a amostra é substituída por um material com velocidade de som bem conhecida, no caso a água [3]. A equação para o cálculo da velocidade de propagação acústica na amostra é dada por

$$c_s = c_w \left(1 + \frac{c_w \Delta \tau}{d} \right)^{-1}, \quad (1)$$

sendo c_s é a velocidade de propagação acústica na amostra, c_w é a velocidade de propagação acústica na água (meio padrão), d é espessura da amostra e $\Delta \tau$ é a diferença de tempo de trânsito de pulso para a amostra imersa em água.

O coeficiente de atenuação é dado por

$$\alpha = \frac{20}{d} \log \left(\frac{A_0}{A} \right), \quad (2)$$

sendo α o coeficiente de atenuação da amostra, A_0 é a amplitude da pressão do pulso transmitido antes da inserção da amostra na água e A é a amplitude da pressão do pulso transmitido depois da inserção da amostra na água.

Resultados

As médias das medidas de densidade, com os respectivos desvios padrões estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Densidade das amostras de géis descritas da tabela 1.

Amostra	Densidade (g/cm ³)
1	0,75 ±0,02
2	0,85 ±0,05
3	0,85±0,06
4	0,87±0,03
5	0,78 ±0,05
6	0,86±0,09

Foi obtido experimentalmente o coeficiente de atenuação acústica e velocidade de propagação acústica para o óleo mineral, obtendo valores, respectivamente, de $(0,40 \pm 0,01)$ dB/cm a 1 MHz e $(1432,3 \pm 0,6)$ m/s. A velocidade de propagação acústica para as seis amostras com a presença de PEBD são mostradas na figura 2. Para o cálculo da velocidade de propagação acústica das amostras, foram realizadas três medições espaçadas no tempo com um transdutor de 1 MHz. A média das velocidades e o desvio padrão estão apresentados na figura 2. A média da velocidade da água c_w usada para o cálculo da velocidade das amostras foi de $(1486,9 \pm 1,4)$ m/s.

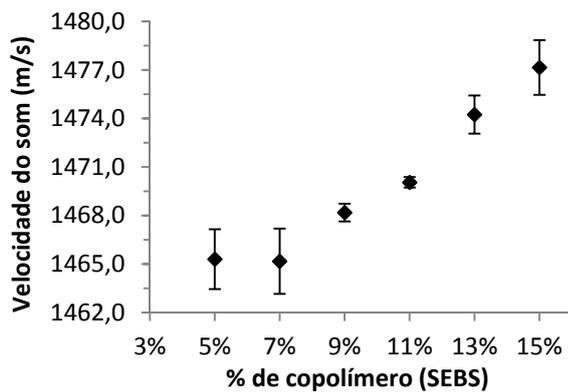


Figura 2: Velocidade de propagação acústica das amostras com variação da porcentagem de SEBS com PEBD.

As atenuações acústicas das amostras com PEBD foram avaliadas para as frequências de 2,25 MHz, 3,5 MHz, 5 MHz, 7,5 MHz e 10 MHz e estão mostradas na figura 3.

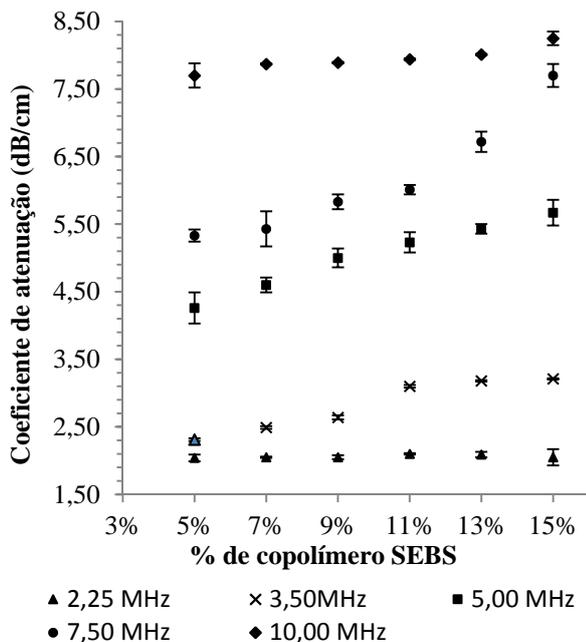


Figura 3: Coeficiente de atenuação das amostras de géis de SEBS com PEBD para diferentes frequências.

Cada ponto do gráfico da figura 3 representa a média de cinco medidas coletadas em diferentes posições de cada amostra e a barra de erro é o desvio padrão. Também foi avaliada a atenuação acústica por frequência para cada amostra. A média dos valores das cinco frequências utilizadas está ilustrada na figura 4.

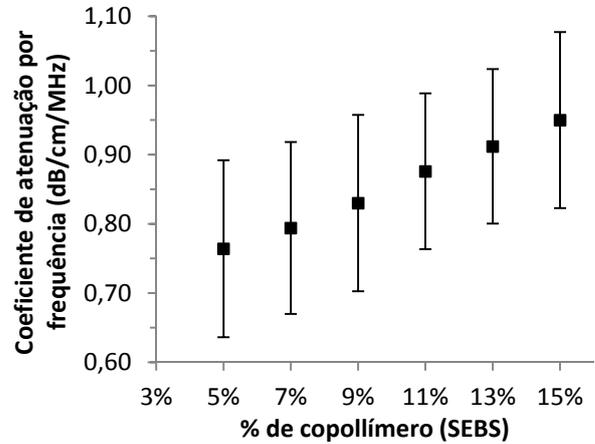


Figura 4: Coeficiente de atenuação das amostras de géis de SEBS com PEBD por frequência utilizada.

A velocidade de propagação acústica e a atenuação por frequência das amostras sem a presença de PEBD foram mensuradas e são apresentadas na figura 5.

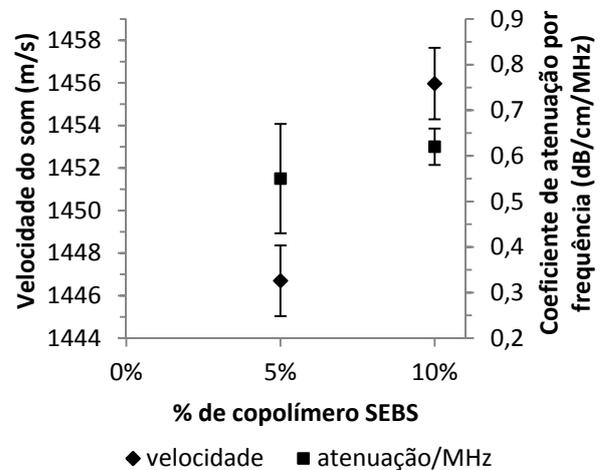


Figura 5: Velocidade de propagação acústica e coeficiente de atenuação por frequência das amostras de géis de SEBS sem a presença de PEBD.

Discussão

Os valores de referência para os parâmetros acústicos de tecidos moles são: velocidade de propagação acústica de 1540 m/s, coeficiente de atenuação por frequência em torno de 0,5 dB/cm/MHz, e densidade próxima de 1 g/cm³ [5]. As densidades das amostras estão próximas ao valor padrão para tecidos moles, mantendo-se bastante similares entre todas as amostras estudadas. Embora não tenha sido feito um estudo quantitativo, notamos que o aumento da

porcentagem de SEBS ocasionou em um material mais rígido, como já foi relatado na literatura [5].

Todas as amostras de géis apresentaram velocidade e atenuação maiores que a medida para o óleo mineral alimentício utilizado. Para maiores concentrações de SEBS observa-se o aumento da velocidade de propagação acústica no material de 12 m/s para as amostras com concentração de 15% do polímero, relativamente à amostra com concentração de 5%. Foi realizado um teste estatístico ANOVA, adotando um nível de significância de 5%, para a velocidade de propagação acústica das amostras com a presença de 5% de PEBD ($p = 0$), sugerindo que o aumento da porcentagem de SEBS promoveu aumento significativo da velocidade de propagação acústica. As velocidades mensuradas para os géis de SEBS com PEBD estão em razoável acordo com o valor padrão para tecido mole de 1540 m/s.

A partir da figura 5, nota-se que a adição de PEBD promoveu aumento na velocidade de propagação acústica e na atenuação das amostras. Comparando os coeficientes de atenuação por frequência das amostras de 5% de SEBS com adição de PEBD e 5% de SEBS sem PEBD, utilizando o teste estatístico ANOVA, com nível de significância de 5% ($p = 0,0244$), e comparando a porcentagem total em massa de polímeros dos géis, utilizando as amostras de 5% de SEBS com adição de 5% de PEBD e 5% de SEBS sem PEBD ($p = 0,0489$), os resultados sugerem que a adição de PEBD promoveu aumento significativo da atenuação das amostras estudadas. Os testes estatísticos foram repetidos para os valores de velocidade de propagação do som, obtendo respectivamente, ($p = 0,0015$) e ($p = 0,0107$), e novamente os resultados sugerem que o PEBD promoveu o aumento significativo da velocidade de propagação do som nas amostras.

A atenuação do material mostrou-se dependente da porcentagem de copolímero nas amostras em cada frequência analisada. Quando avaliada a atenuação por frequência, houve variação dos valores sendo maiores para amostras com maior concentração de SEBS. Na média, a atenuação por frequência ficou entre $(0,76 \pm 0,13)$ e $(0,95 \pm 0,13)$ dB/cm/MHz.

Conclusão

Os géis de SEBS com PEBD se mostraram satisfatórios para a utilização em *phantoms* aplicados em técnicas de ultrassonografia, com velocidade de propagação acústica entre $(1464,1 \pm 0,8)$ m/s a $(1477,7 \pm 2,0)$ m/s e atenuação acústica entre $(0,76 \pm 0,13)$ e $(0,95 \pm 0,13)$ dB/cm/MHz. Os resultados encontrados mostram que a adição de PEBD promoveu aumento da velocidade de propagação acústica e atenuação das amostras estudadas. Assim, é sugerido um estudo paralelo para avaliação da influência do PEBD ou outro homopolímero nas características acústicas do material. As características mecânicas dos géis de SEBS e a estabilidade temporal serão também futuramente estudadas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Dr. Antonio José Felix de Carvalho pelas valiosas discussões. Esse trabalho foi parcialmente financiado pela CAPES, NAP-Fis-Med USP, CNPq 476671/2013-2 e FAPESP 2013/18854-6.

Referências

- [1] Madsen, E.L. et al. Tissue mimicking materials for ultrasound phantoms. 1978. *Medical Physics* 5, p. 391-394.
- [2] Culjat, M.O., Goldenberg, D., Tewari, P., Singh, R.S., 2010. A Review of Tissue Substitutes for Ultrasound Imaging. *Ultrasound Med. Biol.* 36, p. 861–873.
- [3] Vieira, S.L., Pavan, T.Z., Elias JR, J., Carneiro A.A.O., 2013. Paraffin-gel tissue-mimicking material for ultrasound-guided needle biopsy phantom. *Ultrasound Med. Biol.* 39, p. 2477-84
- [4] Carvalho, A.J.F., 2000. Caracterização de géis termorreversíveis de SEBS. *Polímeros* 10, 01–07.
- [5] Oudry, J. et al. Copolymer-in-oil phantom materials for elastography. 2009. *Ultrasound in Medicine and Biology* 35, p.1185-1197.