

PHANTOM PARA ULTRA-SOM

por

E. A. FIGUEIREDO¹ e J. C. MACHADO²

RESUMO -- O presente trabalho visa descrever a utilização da kappa-carragenana como matéria prima para a construção de phantoms de ultra-som. Com a utilização de uma mistura contendo partículas ocas e esféricas de vidro com diâmetro médio de 75 micra, pó de grafite e kappa-carragenana obteve-se uma peça de phantom de ultra-som para a qual a velocidade de propagação da onda é de 1500 m/s e o coeficiente de atenuação em dB/cm situa-se entre 1.6 e 1.8 para uma frequência da onda variando de 1.0 a 2.2 MHz. Esses resultados, em conjunto com uma imagem ultra-sônica realizada com um equipamento de varredura linear e operando em 3.5 MHz, indicam que o phantom desenvolvido apresenta características semelhantes àquelas do fígado humano.

Palavras-Chave: simulação de tecido, mimetização de tecido, phantom ultra-sônico.

INTRODUÇÃO

Ao se tratar da utilização de ultra-som em medicina, quer seja em terapia, diagnóstico, ensino ou treinamento de pessoal especializado, torna-se fundamental a existência de objetos, denominados de phantom ultra-sônico, com formas anatômicas e/ou propriedades de propagação e atenuação do ultra-som semelhantes àquelas dos tecidos humanos. Com estes phantoms pode-se, inclusive, realizar a calibração e a aferição de equipamentos médicos de ultra-sonografia.

A confecção de um phantom envolve a realização de um trabalho tecnicamente complexo, pois para isto são necessários conhecimentos de vários campos. A anatomia deve estar correta com relação aos detalhes visualizados pelo ultra-som. As propriedades acústicas do tecido a ser imitado pelo phantom devem ser bem conhecidas (atenuação, espalhamento, velocidade de propagação da onda, impedância acústica, etc.). Igualmente é necessário o conhecimento da físico-química de materiais para a seleção de componentes que darão ao phantom estabilidade

¹Mestre em Engenharia Biomédica pela COPPE/UFRJ

²Professor Adjunto do Programa de Engenharia Biomédica - COPPE/UFRJ
Caixa Postal 68510 - Rio de Janeiro, R.J. - BRASIL

adequada e vida duradoura, bem como o domínio das técnicas de fabricação requeridas, ou seja, os métodos da fundição e soldagem dos materiais do phantom para se obter formas e contornos necessários para a modelagem adequada da anatomia humana.

Basicamente, a realização de trabalhos para a construção de phantoms de ultra-som data dos últimos quinze anos. Diversos aspectos tais como a escolha de material e a técnica de construção são encontrados em Madsen et alii (1978), Burlew et alii (1980) e Zagzebski e Madsen (1980). Uma descrição mais detalhada sobre diversos materiais básicos utilizados na construção de phantoms para ultra-som, assim como sobre a adição de material extra para controlar a atenuação e o espalhamento da onda é apresentado por Eggleton e Whitcomb (1979).

Em termos de tecidos biológicos, segundo Goss et alii (1978), a maioria deles apresenta, como características mais importantes, uma velocidade de propagação da onda de ultra-som em torno de 1540 m/s com uma atenuação variando entre 0.2 e 2 dB/cm na frequência de 1 MHz. Importante de se ressaltar é o fato de que para a maioria dos tecidos moles, tais como o cérebro e o rim, a atenuação é aproximadamente proporcional à frequência. Para outros tecidos, como o fígado e o músculo estriado, a atenuação varia exponencialmente com a frequência e o expoente se situa entre 1 e 2 para frequências próximas de 1 MHz (Dunn et alii, 1969).

Comumente se utiliza (Eggleton e Whitcomb, 1979) como matéria prima para a construção de phantoms materiais como o colóide hidrófilo irreversível, obtido a partir de alginato de sódio, o colóide hidrófilo reversível, obtido de éster sulfúrico de um polímero linear de galactose, ou uma mistura de borracha de silicone do tipo RTV 3110 com silicone líquido como o DC 200-20 CS, onde RTV 3110 e DC 200-20 CS são especificações da General Electric. Entretanto, esses materiais não apresentam uma velocidade de propagação da onda ou até mesmo uma atenuação compatíveis com os valores apresentados pelos tecidos biológicos. Para se contornar esse fato e tendo-se ainda em vista que os tecidos são não-homogêneos, adicionam-se à matéria prima partículas de materiais que têm como função o espalhamento e a atenuação da onda. A concentração e o tamanho destas partículas no meio que constitui o phantom constituem um fator importante para que as propriedades deste se aproximem daquelas do tecido. Em geral, a determinação das concentrações e dimensões destes materiais se faz de forma empírica. O trabalho recente de Zagzebski, Madsen e Frank (1991) descreve bem detalhadamente um método de construção de phantom para ultra-som, cuja matéria prima é a gelatina animal. Neste trabalho são apresentados detalhes importantes quanto à técnica de homogeneização das partículas no material básico e a eliminação de bolhas de ar.

O presente trabalho tem por objetivo introduzir a utilização de uma outra matéria prima, a kappa-carragenana, facilmente encontrada no mercado nacional e que pode substituir os materiais comumente mencionados na literatura científica e empregados na construção de phantoms para ultra-som. Os materiais que geralmente são citados por outros autores são difíceis de serem encontrados no mercado nacional e seus custos são bastante elevados. Neste trabalho são ainda apresentados aspectos importantes sobre a construção dos phantoms e resultados experimentais

quanto à atenuação e à velocidade de propagação do ultra-som.

MATERIAIS E MÉTODOS

A matéria prima básica utilizada neste trabalho para a construção dos phantoms é um polissacarídeo extraído de algas vermelhas e denominado de kappa-carragenana. Segundo Guiseley et alii (1980) a kappa-carragenana é solúvel em água a uma temperatura acima de 75°C e para a obtenção de um gel torna-se necessária a utilização de cloreto de potássio e borato de sódio. Sua dissolução em água ocorre em 50 minutos e com o decréscimo da temperatura inicia-se o processo de geleificação. O gel formado é tecnicamente reversível, ou seja, ele se funde com o aquecimento e geleifica novamente com o resfriamento. Sua consistência depende da concentração de kappa-carragenana empregada na mistura com água.

Para a construção do phantom a mistura de água e do polissacarídeo foi preparada na proporção de 6.5 gramas de kappa-carragenana (comercialmente disponível por Cialgas Cia. Ind. Algas) para 1000 ml de água destilada e deionizada. A esta mistura foram adicionados 1.4 gramas de borato de sódio, P.A. e 10 gramas de cloreto de potássio, P.A. (ambos produzidos por Reagen, Quimibrás Indústrias Químicas S.A.).

Para as concentrações mencionadas de água, polissacarídeo, cloreto de cálcio e borato de sódio o gel formado adquire, a uma temperatura ambiente de cerca de 30°C, uma consistência suficiente para manter em suspensão microesferas ocas de vidro (diâmetro médio de 75 micra e variando de 20 a 200 micra), distribuídas pela Reforplás Ind. e Com., e partículas de pó de grafite, que atuam como substâncias atenuadoras e espalhadoras de ultra-som. As concentrações utilizadas para essas partículas foram determinadas empiricamente, de forma a proporcionarem uma atenuação da onda semelhante àquela de tecidos humanos. Para a escolha do tamanho destas partículas foram levados em consideração os trabalhos de Zagzebski, Madsen e Frank (1991), Madsen et alii (1978) e Burlew et alii (1980).

Durante a confecção do phantom, um problema de difícil solução e que necessitou de um grande esforço para ser resolvido foi a eliminação de bolhas de ar surgidas durante o processo de fabricação do mesmo. Para solucionar esse problema foi utilizada uma câmara de compressão, de forma que a amostra do gel nela contida foi comprimida à medida em que a temperatura do meio diminuía e bolhas de ar surgiam. Durante esse processo de resfriamento do gel e eliminação das bolhas a câmara foi colocada para girar, pela ação de um homogeneizador de rolos, de forma a impedir a decantação do pó de grafite e a flutuação das partículas ocas de vidro. Os detalhes relativos ao procedimento de eliminação destas bolhas assim como de toda a construção do phantom são apresentados por Figueiredo (1991).

As peças de phantom foram construídas com geometria cilíndrica, contendo cerca de 5 cm de altura e 5.5 cm de diâmetro e colocadas dentro de um tubo de acrílico de mesma altura e mesmo diâmetro interno para dar resistência mecânica e permitir o manuseio do phantom. A

seguir, as duas faces abertas do tubo foram vedadas com filme de PVC (Rolopac comercial), colado na parede do tubo de acrílico com super bonder 401 (loctite). As janelas acústicas para o phantom se dão através da membrana de filme de PVC.

Para a preservação dos phantoms, os mesmos são guardados em geladeira e dentro de um recipiente fechado contendo uma solução isotônica em relação ao material do phantom (água destilada deionizada com a mesma concentração de cloreto de cálcio e borato de sódio).

Para a caracterização dos phantoms foram medidos o coeficiente de atenuação em função da frequência e a velocidade de propagação da onda.

O sistema experimental utilizado para a medição da atenuação e da velocidade de propagação da onda no phantom, mostrado na figura 1, consiste de um Sintetizador/Gerador de senóides Hewlett Packard modelo HP 3335A que produz um sinal senoidal de amplitude e frequência ajustáveis externamente. Este sinal é aplicado a um circuito Gerador de Salva de Senóides, desenvolvido no próprio local de trabalho, que o transforma numa seqüência de "pacotes" senoidais. Cada pacote possui uma duração de 100 μ s e frequência de repetição de 1 kHz. Dentro do pacote a senóide possui amplitude constante e sua frequência é definida pelo Sintetizador/Gerador de senóides.

O controle sobre a amplitude do sinal aplicado ao transdutor T é obtido por meio do atenuador Wavetek modelo 5080.1 que em seguida envia o sinal a um Amplificador RF de Potência ENI A300-40PA. A saída deste amplificador alimenta o transdutor de transmissão. Os transdutores utilizados são semelhantes, do tipo cerâmico e com ressonância em torno de 1.6 MHz e banda passante entre 1 e 2.2 MHz. Eles foram construídos no próprio local de trabalho.

Os transdutores são montados alinhados axialmente, com suas faces dirigidas uma para a outra, dentro de um recipiente preenchido com água, de forma a prover um meio adequado à propagação do ultra-som. O transdutor receptor, R, é diretamente acoplado a um osciloscópio que fornece as leituras do sinal acústico transmitido entre os dois transdutores, ora somente através da água, ora com o phantom intercalado entre ambos.

Para a realização das medições, optou-se pelo sinal de salva de senóides porque, devido à grande amplitude de excitação necessária para prover um valor mensurável, um sinal senoidal contínuo destruiria o transdutor transmissor pelo excesso de calor dissipado. Além disto, o uso de salva de ondas evita o surgimento de ondas estacionárias entre os transdutores. É importante se ressaltar, no entanto, que por possuir uma duração de 100 μ s com uma frequência central entre 1 e 2.2 MHz, havendo portanto cerca de 100 a 220 ciclos de senóide dentro do pulso da salva, então o sinal preserva características de onda contínua monocromática durante o intervalo de tempo que corresponde à duração do pulso.

A atenuação do ultra-som no phantom é determinada dividindo-se o valor do sinal recebido e medido no osciloscópio quando ele está

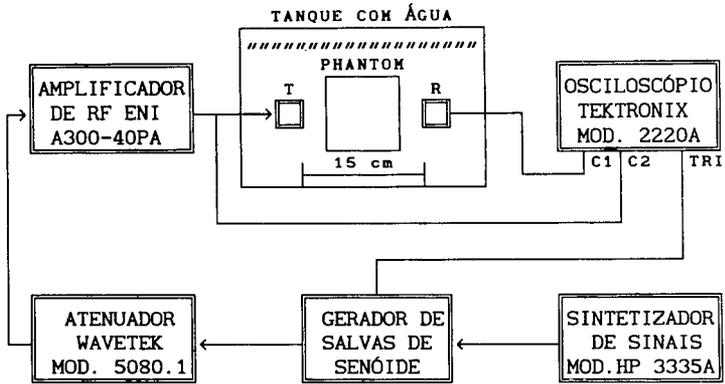


Figura 1 - Sistema experimental para a medição da atenuação e da velocidade de propagação da onda no phantom. T(R)-transdutor transmissor(receptor), C1(2)-canal vertical 1(2), TRI-entrada de trigger.

colocado no recipiente (interceptando o feixe ultra-sônico) por aquele sem ele (propagação somente pela água).

Para se medir a velocidade de propagação do ultra-som no phantom fez-se uso do mesmo sistema experimental utilizado para medir a atenuação. Inicialmente, sem a inserção do phantom entre os dois transdutores, mediu-se a velocidade de propagação do ultra-som na água. Isto foi realizado pela medição do atraso entre a excitação de T e o instante de chegada da onda incidente em R. Logo a seguir, inserindo-se o phantom entre os dois transdutores mediu-se um novo atraso. A diferença de tempo entre esses atrasos é utilizada para se determinar o valor da velocidade de propagação da onda no phantom de acordo com a Equação(1):

$$c_p = \frac{Lc_w}{L - \Delta Tc_w} \quad (1)$$

onde: c_p = velocidade da onda no phantom,
 c_w = velocidade da onda na água,
 L = espessura do phantom,
 ΔT = diferença de tempo entre os atrasos.

Após a implementação da metodologia necessária à construção dos phantoms, utilizando-se a kappa-carragenana, foram construídas diversas peças em forma cilíndrica nas quais se variaram as concentrações de pó de grafite e de partículas de vidro.

RESULTADOS

As peças de phantom constituídas apenas do gel, sem a presença de partículas, apresentaram uma atenuação do ultra-som muito próxima àquela da água. Isto verificou-se através da semelhança entre as amplitudes dos sinais recebidos pelo transdutor R (figura 1) com e sem a presença do phantom. Para aumentar a atenuação imposta pelos phantoms a construção destes fez uso, inicialmente, de partículas de vidro. Entretanto, apesar de se conseguir uma atenuação do ultra-som em dB/cm com valores compatíveis com aqueles de certos tecidos biológicos, a variação da atenuação com a frequência se dava através de um expoente da ordem de 2.3. Para a obtenção de phantoms com valores menores para esses expoentes utilizou-se pó de grafite em conjunto com as partículas de vidro. Conforme já mencionado anteriormente, as concentrações de partículas de vidro e pó de grafite são determinadas de forma empírica.

A figura 2 mostra, numa escala $\log \times \log$, os resultados obtidos para a atenuação em dB/cm em função da frequência ultra-sônica numa faixa de 1 a 2.2 MHz. Pode-se observar que o coeficiente angular n , que fornece a variação da atenuação em dB/cm com a frequência, situa-se em torno de 2.3 para o caso de phantoms contendo apenas partículas de vidro e situa-se entre 1.6 e 1.8 no caso de se empregar uma mistura contendo pó de grafite e partículas de vidro. Cada resultado experimental representa o valor médio obtido pela medição da atenuação em pelo menos dois phantoms construídos sob as mesmas condições.

Utilizando-se um equipamento médico de ultra-sonografia, operando em 3.5 MHz, marca SIEMENS modelo SONOLINE SL-2 do Hospital Universitário da UFRJ, foram feitas imagens de dois phantoms que são apresentadas na figura 3.

Para a velocidade de propagação do ultra-som em cada phantom o valor medido situou-se sempre em 1500 m/s, a 27.5°C, sendo que para isto fez-se uso do sistema experimental descrito na figura 1.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Embora já exista toda uma teoria voltada para a descrição e formulação da propagação de ondas acústicas em meios homogêneos ou não, onde esta formulação equaciona o processo de atenuação da onda, ainda é extremamente difícil de se reproduzir, com a utilização de materiais de propriedades acústicas bem definidas, as características de propagação do ultra-som em tecidos humanos. Sempre que se desenvolve um phantom a sua construção se dá quase que unicamente por métodos empíricos. Procura-se ajustar as concentrações dos materiais responsáveis pela absorção e espalhamento da onda e, conseqüentemente, por sua atenuação, de forma que a atenuação e a velocidade de propagação da onda no meio que constitui o phantom e a imagem ultra-sônica do mesmo se aproximem daquelas de tecidos biológicos.

Neste trabalho, após dominada a técnica de fabricação do gel contendo a kappa-carragenana como matéria prima, optou-se pela inclusão de partículas esféricas e ocas de vidro, de forma a tornar o meio não-homogêneo e com maior coeficiente de atenuação. Entretanto, a variação da atenuação em dB/cm como função da frequência não seguiu

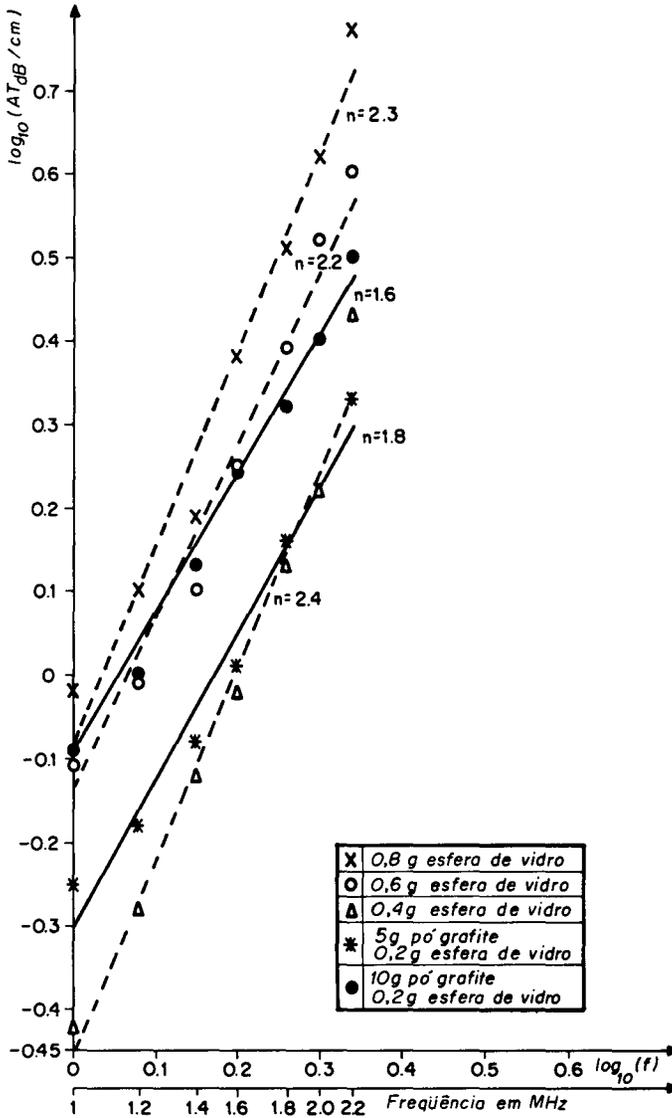


Figura 2 - Valores experimentais da atenuação em função da frequência para 5 tipos diferentes de phantoms, sendo 3 contendo apenas esferas de vidro (----) e 2 contendo esferas e pó de grafite (—). Para cada curva é apresentado o valor n de seu coeficiente angular.

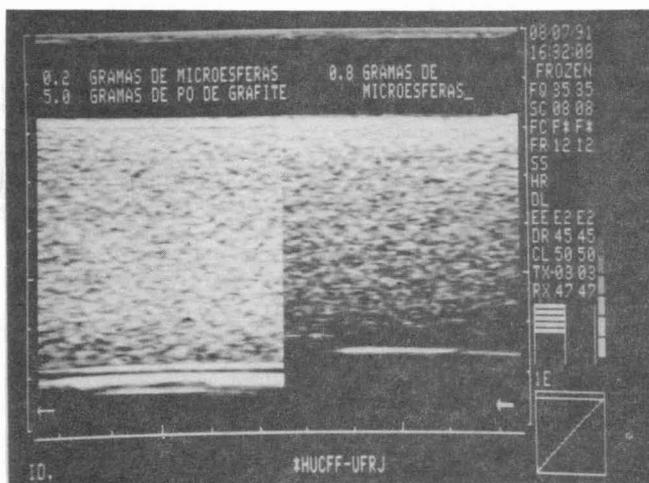


Figura 3 - Imagem ultra-sônica de dois tipos de phantoms, sendo o da esquerda com 0.2 g de microesferas e 5.0 g de pó de grafite e o da direita com 0.8 g de microesferas.

uma relação próxima daquela de tecidos biológicos para uma frequência ultra-sônica entre 1 e 2 MHz.

No intuito de melhorar esta relação da atenuação com a frequência foi adicionado pó de grafite à mistura. Isto resultou num phantom com característica de atenuação mais próxima daquela medida em tecidos biológicos. Uma possível explicação para uma diminuição do valor do coeficiente angular n (vide figura 2) quando se adicionou pó de grafite reside no fato de que o coeficiente de atenuação depende da seção de choque total das partículas usadas na construção do phantom. Cada partícula possui uma seção de choque que é função da frequência e que aumenta com esta até que o comprimento de onda se aproxima do tamanho da partícula. Com uma quantidade de grafite superior àquela de vidro, o coeficiente de atenuação passou a ser governado, em função da frequência, mais pela dependência da seção de choque das partículas de pó de grafite, diminuindo o valor de n .

Quanto à velocidade da onda no phantom, esta se manteve praticamente constante, independentemente da quantidade de partículas de vidro ou de pó de grafite utilizada. Essas partículas, por tornarem o meio não-homogêneo, têm influência direta na absorção e no espalhamento da onda. Entretanto, dada a quantidade pequena dessas

partículas em relação ao gel formado pela κ -carragenana, era de se esperar que a velocidade da onda permanecesse constante e igual àquela do próprio gel. Além do mais, dada a grande presença de água no gel, nada mais óbvio do que esperar uma velocidade de propagação da onda próxima daquela da água, cujo valor situa-se em torno de 1480 m/s.

Quando foi obtida a imagem ultra-sônica dos phantoms apresentada na figura 3, o radiologista responsável pela obtenção desta imagem fez uma avaliação técnica e classificou como sendo semelhante a uma imagem de fígado normal aquela do phantom que contém 0.2 g de partículas de vidro e 5 g de pó de grafite.

Cabe ressaltar que, para efeitos de reprodução dos phantoms, melhor seria se o pó de grafite utilizado, assim como as partículas de vidro, possuísem dispersão menor de tamanho e forma. No entanto, um material com estas características torna-se extremamente difícil de ser conseguido no Brasil e uma vez conseguido, certamente o custo de construção do phantom será tremendamente elevado. Entretanto foi possível construir, com matéria prima facilmente encontrada no mercado nacional e a custos baixos, a base de um phantom ultra-sônico que reproduz as características de imagem de um fígado e que se mantém estável na temperatura ambiente.

Trabalhos futuros devem ser realizados visando um maior domínio das propriedades acústicas do phantom de κ -carragenana e o seu modelamento anatómico, visando mimetizar a anatomia de órgãos humanos.

Os géis baseados em água são atualmente a matéria prima básica de phantoms de ultra-som fabricados nos Estados Unidos e na Europa. Com a κ -carragenana consegue-se também formar um gel baseado em água e a construção de um phantom com este gel, apesar de seu emprego não ser difundido em outros países, é um passo importante para se acompanhar as novas tecnologias nesta área.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos pelo apoio técnico prestado pelo INSTITUTO DE MACROMOLÉCULAS e pelo HOSPITAL UNIVERSITÁRIO da UFRJ, assim como pelo apoio financeiro concedido por CAPES, CNPq e FINEP.

REFERÊNCIAS

- BURLEW, M., MADSEN, E., ZAGZEBSKI, J. e SUM, S. (1980), "A new ultrasound tissue-equivalent material with a high melting point and extended speed of sound range", *Radiology*, Volume 134, pp. 283-235.
- DUNN, F., EDMONDS, P.D. e FRY, W.J. (1969), "Absorption and Dispersion of Ultrasound in Biological Media", em *Biological Engineering*, editado por Schwan, H.P., McGraw-Hill Book Company, New York, U.S.A.

- EGGLETON, R.C. e WHITCOMB, J.A. (1979), "Tissue Simulators for Diagnostic Ultrasound", em *Ultrasonic Tissue Characterization II*, editado por Linzer, M., National Bureau of Standards, Spec. Publ. 525, Washington, D.C., U.S.A.
- FIGUEIREDO, E.A. (1991), "Simulação de Características de Propagação do Ultra-som em Tecidos Humanos com um Gel obtido da KAPPA-CARRAGENANA", Tese de Mestrado em Engenharia Biomédica da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- GOSS, S.A., JOHNSTON, R.L. e DUNN, F. (1978), "Comprehensive Compilation of Empirical Ultrasonic Properties of Mammalian Tissues", *J. Acoust. Soc. Am.*, Volume 64(2), pp. 423-457.
- GUISELEY, K.B., STANLEY, N.F. e WHITEHOUSE, P.A. (1980), em *Handbook of Water-soluble Gums and Resins*, capítulo 5, editado por Davidson, R.L., MacGraw-Hill Book Company, New York, U.S.A.
- MADSEN, E.L., ZAGZEBSKI, J.A., BANJAVIC, R.A. e JUTILA, R.E. (1978), "Tissue Mimicking Materials for Ultrasound Phantoms", *Med. Phys.*, Volume 5(5), pp. 391-394.
- ZAGZEBSKI, J.A. e MADSEN, E.L. (1980), "Ultrasonic Phantoms", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Volume NS-27, pp. 1176-1182.
- ZAGZEBSKI, J.A., MADSEN, E.L. e FRANK, G.R. (1991), "A Teaching Phantom for Sonographers", *J. Clinical Ultrasound*, Volume 19, pp. 27-38.

ULTRASONIC PHANTOM

E.A.FIGUEIREDO and J.C.MACHADO

Biomedical Engineering Dept. COPPE/UFRJ, P.O.BOX 68510
Rio de Janeiro, R.J., BRAZIL

ABSTRACT -- This work describes the use of kappa-carrageenan as a basic material to the construction of ultrasonic phantoms. Using a mixture of hollow glass spherical particles with mean diameter of 75 micra, graphite powder and kappa-carrageenan a sample of an ultrasonic phantom was obtained with a propagating wave speed of 1500 m/s and the attenuation coefficient, in dB/cm, between 1.6 and 1.8 for a frequency ranging from 1.0 to 2.2 MHz. These results, together with an ultrasonic image obtained with a linear scanning ultrasonic equipment operating at 3.5 MHz indicate that the phantom presents characteristics similar to those of the human liver.

KEYWORDS: tissue simulation, tissue mimicking, ultrasonic phantom.