

Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica

Volumen
Volume **23**

Número
Number **1**

Marzo
March **2002**

Artículo:

Phantoms para ultrasonido con variación continua de la velocidad de propagación de la Onda

Derechos reservados, Copyright © 2002:
Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, AC

Otras secciones de
este sitio:

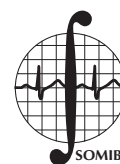
- 👉 [Índice de este número](#)
- 👉 [Más revistas](#)
- 👉 [Búsqueda](#)

*Others sections in
this web site:*

- 👉 [Contents of this number](#)
- 👉 [More journals](#)
- 👉 [Search](#)



www.Medigraphic.com



Phantoms para ultrasonido con variación continua de la velocidad de propagación de la onda

Marissa A. Rivera Cardona*
Fernando Reiszal Pereira**
Wagner C.A. Pereira*
João Carlos Machado*

* Programa de Ingeniería Biomédica,
COPPE/UFRJ
Rio de Janeiro, RJ, Caixa Postal 68510,
CEP 21945-970.

** Instituto Politécnico, IPRJ, Universidade do
Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Caixa
postal 97282, 28601-970, Nova Friburgo,
RJ, Brazil.
marissa@peb.ufrj.br; reiszal@iprj.uerj.br;
wagner@peb.ufrj.br; jcm@peb.ufrj.br

Artículo recibido: 18/enero/2002

Artículo aceptado: 8/febrero/2002

RESUMEN

En general, entiéndase como phantoms para ultrasonido, los cuerpos de prueba utilizados para imitar el tejido humano, posibilitando así el estudio de la interacción del tejido con el haz de ultrasonido. En los phantoms encontrados comercialmente, la velocidad de propagación de la onda (VPO) es considerada constante, alrededor de 1,540 m/s. En el cuerpo humano, la VPO varía según el tipo de tejido, dentro del intervalo entre 1,450 m/s y 1,650 m/s. Phantoms con diferentes VPO proporcionarían informaciones adicionales, sobre el comportamiento del ultrasonido, a aquellas proporcionadas por los phantoms convencionales. En este trabajo, cuatro métodos para la construcción de phantoms ecogénicos con perfil de VPO son presentados. Los primeros dos métodos utilizan polímeros y resinas como materiales base. En el segundo método se aumenta la cantidad de tungsteno en polvo a la resina para alterar la VPO de la misma. En el tercer y cuarto método, los materiales de base son agua destilada y alcohol etílico, respectivamente, a los cuales se les adiciona etilenglicol para alterar la VPO de la mezcla. La ecogenicidad de los phantoms es obtenida acrescentando a la mezcla, micro-partículas de sílica de 0.8 mm de diámetro. Es presentado el método que obtuvo el mejor desempeño y discutidos sus resultados.

Palabras clave:

Ultrasonido, Phantoms, Velocidad acústica.

ABSTRACT

Ultrasound (US) phantoms are generally used to mimic the acoustic properties of human tissue and thus provide a better understanding of the interaction of sound with tissue. Wave propagation velocity (WPV) is considered constant in commercial US phantoms, around 1,540 m/s. In the human body, the WPV varies according to the type of tissue, between 1,450 m/s and 1,650 m/s. US phantoms in which WPV varies will provide additional information on the US behavior besides the one provided by the conventional US phantoms. In this work, four procedures, to construct US phantoms with WPV profiles, are presented. The first two methods use polymer and epoxy resin as base materials. On the second method, tungsten powder is added to the epoxy resin in order to provide variation of the mixture WPV. On the third and fourth methods, respectively, distilled water and ethilic alcohol are used as the basic materials, in which ethilenglycol is added to increase the WPV. Phantoms ecogenicity is acquired by adding silica particles (0.8 mm diameter) to the mixture during the cure process. The method with the best result is presented and its results discussed.

Key words:

Ultrasound, Ultrasound phantoms, Acoustic velocity.

INTRODUCCIÓN

En la ultrasonografía para diagnóstico, entiéndase como *phantoms* los cuerpos de prueba utilizados para imitar el tejido humano, posibilitando así, el estudio de la interacción del tejido con el ultrasonido. Los cuerpos de prueba pueden ser clasificados en dos tipos: el primero busca imitar las propiedades ultrasónicas del tejido tales como la velocidad de propagación de la onda (VPO), los coeficientes de atenuación y retrodispersión, etc.; y el segundo, que tiene como objetivo principal aproximarse a la apariencia sonográfica de los tejidos a través de volúmenes que simulan quistes y/o órganos². Los *phantoms* que pertenecen a la primera categoría, usualmente son hechos de materiales con propiedades acústicas muy próximas de aquellas mostradas por el tejido, por ejemplo agar mezclado con grafito en polvo, geles de silicato de magnesio, y espumas de poliuretano. Estos *phantoms*, además de tener un costo elevado, son de construcción compleja. Por otro lado, los *phantoms* utilizados para simular quistes o determinadas masas de tejido, son más simples de ser construidos. Ellos pueden ser ecogénicos o transparentes al ultrasonido. El material ecogénico (produce *dispersión*) consiste, en general, de harina para empanizar (o similar) suspendida en gelatina, o bien en polvo de carburo de silicio suspendido en agar. Estos materiales simulan muy bien el tejido parenquimatoso²⁻⁵. En su construcción, durante el proceso de enfriamiento, necesitan de movimiento constante para mantener el material granular y los diversos volúmenes uniformemente distribuidos. El material transparente al ultrasonido consiste de gelatina o agar sin *scatterers*. Todos estos materiales tienen como desventaja el hecho de que las propiedades físicas y químicas, y consecuentemente sus respectivas características sonográficas, se modifiquen a largo plazo. Además, deben ser adecuadamente almacenados y sus superficies protegidas para evitar su laceración y deformación²⁻⁵. La conservación de las propiedades físicas y químicas, y consecuentemente, de las características sonográficas a ellas relacionadas, es de suma importancia durante los procesos de investigación, entrenamiento de ultrasonografistas y evaluación de equipos.

En lo que se refiere a la VPO, *phantoms* comerciales consideran un valor constante, alrededor de 1,540 m/s¹. En el cuerpo humano, la velocidad varía según el tipo de tejido, dentro del intervalo entre 1,460 y 1,650 m/s¹. *Phantoms* con diferentes VPO proporcionarían informaciones adicionales, sobre el comportamiento del ultrasonido, a aquellas proporcionadas por los *phantoms* convencionales.

Diversos trabajos⁶⁻⁸ han sido realizados con el objetivo de conseguir controlar el valor de la VPO. Por ejemplo, el uso de mezclas de resina-epoxi y tungsteno en polvo, muy utilizadas, en la construcción de transductores, para mejorar la resolución axial de los mismos. En estas mezclas, el tungsteno en polvo es adicionado a la resina para modificar la densidad y consecuentemente la impedancia acústica de la mezcla. Uno de los resultados de este procedimiento es la disminución brusca de la velocidad acústica de la mezcla, nada más alcanzando un valor cercano al del epoxi puro cuando el porcentaje de tungsteno se encuentra entre 60 y 70%^{6,7}, ver Figura 1a y 1b.

Otro ejemplo son las muestras de *compósitos* de cloruro de polivinil (PVC)/tungsteno/estaño hechos por el método *Hot Pressing* (aplicación de presión con elevación simultánea de temperatura). Estas muestras presentan una reducción de la VPO del *compósito* cuando las concentraciones de estaño son pequeñas (ver Figura 1.c). Si las muestras son hechas sin considerar el aumento de la temperatura, las conexiones entre las partículas de tungsteno serán débiles. Así, la disminución de la presión provocará la ruptura de estas conexiones resultando un material de estructura porosa. El aumento de la temperatura durante la aplicación de presión hace que el estaño fortalezca las conexiones entre las partículas de tungsteno, mejorando la estructura del material⁸.

Este trabajo tiene como fin evaluar varios métodos para construir *phantoms* ecogénicos (*phantoms* con micro-partículas de sílica de diámetros de 0.8 mm) que presenten la VPO variable en función de la profundidad de penetración de la onda. A largo plazo, el objetivo es la implementación experimental del procedimiento presentado por [9] para estimar la VPO, a lo largo de la longitud del medio en estudio, a partir de

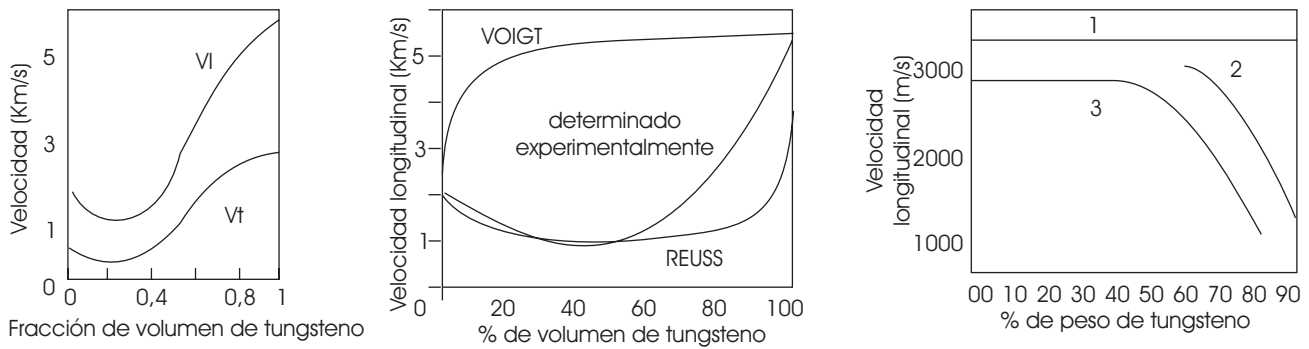


Figura 1. (a) Curva de velocidades transversal (V_t) y longitudinal (V_l) versus fracción de volumen de tungsteno. Tomado de [6]; (b) curvas de velocidad, experimentales y teóricas versus porcentaje de volumen de tungsteno. Tomado de [7]; (c) curvas experimentales de velocidad versus porcentaje de peso de tungsteno para diferentes presiones de compactación: 5 kbar (1), hot-pressing a 0.3 kbar (2) y 2 kbar (3). Tomado de [8].

señales de *scatterers* simuladas y generadas por un *phantom* virtual, siguiendo el esquema de la Figura 2.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron evaluados cuatro procedimientos para la construcción de *phantoms*, todos ellos construidos en capas:

1. *Phantom* con capas de materiales diferentes (PVC/acrílico/epoxi). Ver Figura 3a;
2. *Phantom* con capas de epoxi mezclado con diferentes cantidades de tungsteno en polvo. Ver Figura 3b;
3. *Phantom* con capas de diferentes concentraciones de agua destilada y etilenglicol;
4. *Phantom* con capas de diferentes concentraciones de alcohol etílico y etilenglicol.

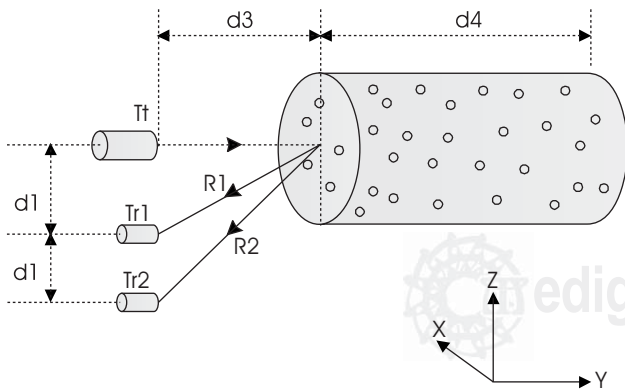


Figura 2. Diagrama esquemático utilizado en la simulación de señales de *scattering*. Tomado de [9].

El primer procedimiento utiliza una combinación de polímeros y epoxi (resina) cuyas características principales son citadas en el Cuadro 1. Estos materiales pueden variar su estructura física del estado líquido al sólido permitiendo la incrustación de *espalhadores* y la combinación con otros materiales (ejemplo: tungsteno en polvo). Inicialmente, se consideró que la construcción de *phantoms* ecogénicos con perfiles de VPO constante para diferentes valores de VPO, era viable. La mayor parte de los problemas está en el proceso de construcción de *phantoms* con perfil de velocidad variable. Este tipo de sólidos presentan una VPO alrededor de 2,200 m/s más, valor superior al presentado por el tejido humano.

La construcción del *phantom* consistió en colocar capas, una sobre la otra, de materiales con diferentes VPO, como el PVC, el acrílico, el epoxi (Figura 3a). Cada capa será adicionada antes del final del proceso de curación de la capa anterior y las micro-partículas fueron adicionadas durante el proceso de curación de los materiales. Cabe decir que cada material posee su propio procedimiento de preparación.

En el caso del PVC, el material viene en polvo y cada capa es hecha por *Hot Pressing Method*. Aquí, el polvo es derretido y simultáneamente compactado. El PVC es muy sensible a temperaturas superiores a los 100°C, donde sufre degradación. Por esta razón el procedimiento de fusión es muy demorado. El enfriamiento de la muestra debe ser lento, de lo contrario pueden ocurrir rajaduras en la misma. En relación al acrílico, éste resulta de la combinación del polímero con un reactivo catalizador que inicia el proceso de solidificación. Siendo el proceso de curación de ca-

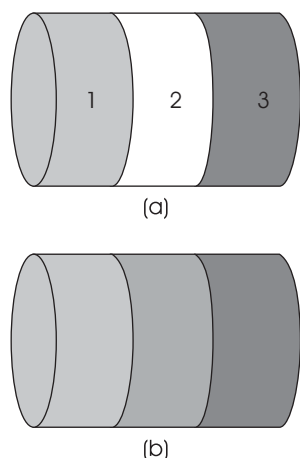


Figura 3. *Phantoms* con perfil de velocidad de propagación de la onda: (a) PVC+acrílico+epoxi; (b) epoxi con diferentes porcentajes de tungsteno, 0%, 3%, 10% (en peso).

rácter endotérmico, la temperatura de la mezcla no debe llegar a los 70°C cuando ocurre ebullición y alteración de la textura y transparencia de la muestra. El epoxi sigue un proceso semejante, un endurecedor es adicionado a la resina, iniciando su solidificación. El epoxi y el acrílico, cuando líquidos, son poco viscosos. Así durante el proceso de cura, las muestras tienen que estar en constante movimiento para mantener las micro-partículas uniformemente distribuidas.

El segundo procedimiento consistió en modificar la densidad del epoxi adicionándole cantidades diferentes de tungsteno en polvo y de acuerdo con las informaciones dadas por [6]. La VPO de la mezcla depende de la concentración (en peso) de polvo tungsteno en la muestra. Este *phantom* también debe ser hecho en capas, cada una adicionada poco antes de la curación total de la capa anterior. Cada capa tiene un valor de velocidad acústica diferente. Durante la

construcción del *phantom* es necesario retirar las burbujas de aire existentes en la mezcla usando una bomba de vacío.

Si la variación de las concentraciones de polvo de tungsteno, entre las capas, es mínima, las *interfaces* de la muestra definitiva tendrían sus impedancias acústicas variando lentamente. Con este procedimiento fue hecho un *phantom* con 3 capas (Figura 3b), cada capa con una concentración diferente de tungsteno en polvo: 0%, 3% y 10% del peso del epoxi.

En el tercer procedimiento, se realizaron experiencias adicionando cantidades diferentes de solución de etilenoglicol (1,740 m/s) con gelatina comercial a 50°C, a una solución de agua destilada (1,540 m/s) con gelatina¹². La gelatina es utilizada como agente para solidificar la solución. El *phantom* es también construido en capas y luego en cada capa un número de partículas, equivalente a 0.5% del volumen de la capa (15 partículas aproximadamente), es depositado (una por una) de manera *aleatoria*.

En el cuarto procedimiento, el proceso de construcción es similar al tercero. El agua destilada fue sustituida por alcohol etílico (1,300 m/s) y la gelatina por un agente estabilizador encontrado en pastillas de alcohol comercial cuya composición no fue proporcionada por la empresa que las fabrica¹². Todo el proceso fue realizado a una temperatura de 50°C. El procedimiento de distribución de las partículas es el mismo utilizado en el caso anterior.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los procedimientos primero y segundo no ofrecieron buenos resultados. En el primero hubo generación de ecos provenientes de las *interfaces*, con amplitud y duración superior a la de los ecos provenientes de los *dispersores*. En el segundo proce-

Cuadro 1. Principales características ultrasónicas de los materiales utilizados: velocidad longitudinal (V_l), velocidad transversal (V_t), densidad (ρ)

Material	V_l (m/s)	Selfridge (1985) ¹⁰		Birks et al (1991) ¹¹		
		V_t (m/s)	ρ (g/cm ³)	V_l (m/s)	V_t (m/s)	ρ (g/cm ³)
Cloreto de polivinil – PVC	2,380	-	1,38	2,395	1,060	1,4
Resina epoxi	2,600	-	1,23	2,400-2,900	1,100	1,1-1,25
Methil metacrilato – acrílico	2,750	-	1,19	2,680-2,760	1,260	1,18-1,27
Tungsteno	5,200	2,900	19,4	5,180	2,870	19,25
Grafito	-	-	-	8,390	-	1,54

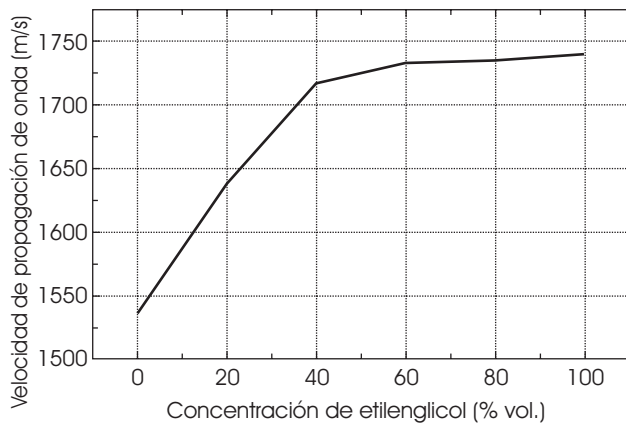


Figura 4. Curva de velocidad de propagación de la onda contra concentración de etilenglicol (% volumen) en relación al agua destilada.

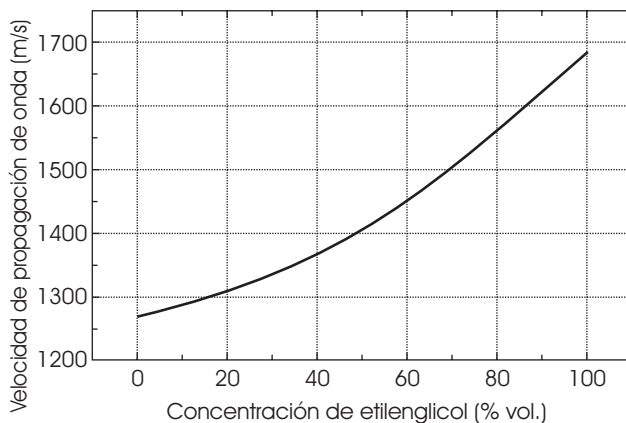


Figura 5. Curva de velocidad de propagación de la onda contra concentración de etilenglicol (% peso) en relación al alcohol etílico.

dimiento, la velocidad promedio del *phantom* quedó en 2,674 m/s. Las *interfases* no fueron detectadas pero hubo *dispersión* debido al tungsteno en polvo.

Las curvas de variación de velocidad acústica en función del porcentaje de etilenglicol, para el tercer y cuarto procedimientos, son mostradas en las Figuras 4 y 5. Para el caso de la curva de la figura 4 no se hicieron *phantoms* pues el intervalo de variación de velocidad es muy pequeño (200 m/s).

Con el cuarto procedimiento, fueron elaborados dos tipos de *phantoms* con perfil lineal de velocidad. El primero tiene un perfil decreciente y el segundo creciente. Los perfiles de velocidad varían entre 1,300 m/s y 1,700 m/s. Para elaborar es-

tos *phantoms* fue utilizado un molde cilíndrico de acrílico con 60 mm de altura por 50 mm de diámetro. El *phantom* posee 3 regiones consecutivas, siendo dos de ellas no ecogénicas (ver Figura 6).

Para el *phantom* con perfil creciente de velocidad, la primera región consiste en una capa no ecogénica (sin dispersores) de largo de 10 mm y velocidad acústica de 1,300 m/s. La segunda región está formada por 10 capas ecogénicas (con partículas) de 1 mm de largo cada una, con velocidades variando linealmente entre 1,300 m/s y 1,700 m/s. La última región consiste en una capa no ecogénica de 40 mm de largo con velocidad de 1,700 m/s. El *phantom* con perfil decreciente de velocidad sigue el proceso de construcción inverso.

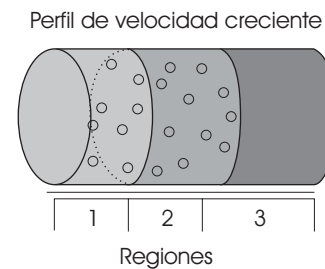


Figura 6. Diagrama esquemático de la distribución de regiones ecogénicas no *phantom* para el perfil creciente de velocidad. Región 1: capa no ecogénica con velocidad constante (1,300 m/s); región 2: 10 capas superpuestas ecogénicas siguiendo un perfil creciente de velocidad; región 3: capa no ecogénica con velocidad constante (1,700 m/s).

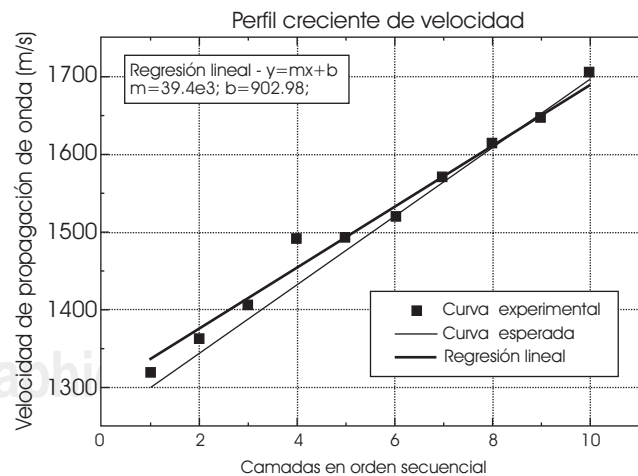


Figura 7. Curva de la velocidad de propagación de la onda contra capas.

El material empleado en cada capa de 1 mm fue también usado para la construcción de su respectivo cuerpo de prueba. Su velocidad fue medida, por el método de pulso-eco, utilizando un transductor de 3.3 MHz. La curva de velocidad contra el N° de la capa es mostrada en la Figura 7.

CONCLUSIONES

Las características ultrasónicas de los materiales usados en los dos primeros métodos varían poco o nada con el tiempo, pero su construcción es mucho más compleja que en los otros dos procedimientos. En el método que utiliza gelatina, mezclas con mayor porcentaje de etilenglicol absorben agua y el proceso inverso acontece en aquéllas con menor porcentaje de etilenglicol. Un phantom con este tipo de materiales tendería a deformarse con el tiempo. Los *phantoms* con alcohol en la mezcla podrán perderlo si no están apropiadamente sellados y almacenados. Caso contrario estos *phantoms* modificarán sus características ultrasónicas rápidamente.

Actualmente el cuarto procedimiento tuvo el mejor desempeño y es el que está siendo utilizado para *implementar* experimentalmente el método propósito por[9].

AGRADECIMIENTOS

Al CNPq y à FAPERJ por el apoyo financiero.

BIBLIOGRAFÍA

1. Robinson DY, Ophir J, Wilson LS, Chen DF. Pulse-echo ultrasound speed measurements: progress and prospects, *Ultrasound Med Biol*, 1991; 17(6): 633-646.
2. Bude REL, Adler RS. An easily made, low-cost, tissue-like ultrasound *phantom* material. *J Clin Ultrasound*; 1995; 23: 271-273.
3. Rownd JJ, Madsen YL, Zagzebski JA, Frank GR, Dong F. *Phantoms* and automated systems for testing the resolution of ultrasound scanners. *Ultrasound Med. Biol* 1997; 23(2): 245-260.
4. Sommer FG, Filly RA, Edmonds PD, Reyes Z, Comas MH. A phantom for imaging biological fluids by ultrasound and CT scanning. *Ultrasound Med Biol* 1980; 6: 135-140.
5. Zagzebski JA, Madsen YL. *Ultrasonics phantoms IEEE Trans. Nuclear Science* 1980; vol NS-27(3): 1176-1180.
6. Sayers CM, Tait CY. Ultrasonic properties of transducer backings. *Ultrasonics* 1984; 57-60.
7. Lees S, Davidson CL. Ultrasonic measurement of some mineral filled plastics. *IEEE Trans Sonics Ultrason* 1977; 222-225.
8. Rokhlin S, Golan S, Gefen Y. Acoustic properties of tungsten-tin composites. *J Acoust Soc Am* 1981; 69(5): 1505-1506.
9. Rivera Cardona M, Pereira WCA, Machado JC. Estimativa del perfil de velocidad acústica de um Meio Espalhador: resultados simulados. *Anais del IV Forum Nacional de Ciência y Tecnologia en Saude* 1998; 383-384.
10. Selfridge AR. Approximate material properties in isotropic materials. *IEEE Trans. Sonics Ultrason* 1985; su-32: 381-394.
11. Birks AS, Green RY Jr, McIntire P. *American society for non-destructive testing handbook*, 2nd Edition, 1991; vol 7.
12. Pereira FR. Medición de velocidad de propagación de la onda ultra-sónica a partir del perfil de atraso de sinais retroespalhados. Tese de Doutorado, Prog Eng Biomédica / COPPE/UFRJ, 1999.