

Artigo Original

Recebido em 16/07/2002 e aceito em 30/11/2003

**Phantom para Medição da Faixa
Dinâmica de Equipamentos de
Ultra-som Biomédicos**

*Phantom to Measure Displayed
Dynamic Range at Biomedical
Ultrasound Equipments*

S. Y. Sato

Mestre em Engenharia Biomédica
Programa de Engenharia Biomédica,
COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.
e-mail: sofiasato@uol.com.br

W. C. A. Pereira

Professor Adjunto,
Programa de Engenharia Biomédica,
COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.
e-mail: wagner@peb.ufrj.br

C. R. S. Vieira

Professor Adjunto,
Programa de Engenharia Biomédica,
COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.
e-mail: strauss@peb.ufrj.br

Resumo

O controle de qualidade da imagem em equipamentos ultra-sônicos de diagnósticos é baseado em parâmetros determinados por norma (IEC, 1996). Todos os parâmetros citados nesta norma, com exceção da Largura de Banda, podem ser avaliados utilizando-se de *phantoms* de tecidos biológicos. Baseado em normas e procedimentos internacionais, confeccionou-se um *phantom* para medição do parâmetro Faixa Dinâmica Exibida. Como material mimetizador de tecido, utilizou-se a solução matriz (agar, glicerina e água) adicionada de pó de grafite, apresentando coeficiente de atenuação (α_0) e velocidade da onda ultra-sônica (c) compatíveis com a norma ($\alpha_0 = 0,7 \text{ dB.cm}^{-1}.\text{MHz}^{0,83}$ e $v = 1540 \text{ m.s}^{-1}$). Adicionaram-se como conservantes, os antibióticos: cloranfenicol, tetraciclina, penicilina G e os antifúngicos nistatina e anfotericina B. Foi também desenvolvido um protocolo detalhado para aplicação do *phantom*. Este protocolo foi testado em um aparelho comercial novo e os resultados iniciais apresentaram-se satisfatórios sugerindo sua adequação (tanto do *phantom* como do protocolo) numa aplicação rotineira em aparelhos comerciais. **Palavras-chave:** Faixa dinâmica exibida, *Phantom*, Qualidade de imagem.

Abstract

The image quality control of diagnostic ultrasound equipment is based on parameters stated by the international norm IEC (1996). All parameters cited in this norm, except the Acoustic-working-frequency Bandwidth, can be evaluated by biologic tissue-mimic phantoms. Based in international norms and guiding documents, a phantom was made to measure the Displayed Dynamic Range parameter. As a tissue mimicking material, it was used a solution composed of agar, glycerine, water and graphite powder, showing an attenuation coefficient (α_0) and ultrasound speed (c) compatible with the corresponding norms ($\alpha_0 = 0,70 \text{ dB.cm}^{-1}.\text{MHz}^{0,83}$ and $v = 1540 \text{ m.s}^{-1}$). As medium preservatives, the following antibiotics were used: cloramfenicol, tetracycline, and antifungis: nystatin and anfotericin B. A detailed protocol was also developed to make the phantom usable. This protocol was tested in new commercial ultrasound diagnostic equipment and the first results were satisfactory, suggesting that the phantom and the protocol are adequate to be used in a routinely basis.

Key-words: Displayed dynamic range, Image phantom, Image quality.

Extended Abstract

Introduction

Ultrasonography is a well established imaging technique in clinical routine. This fact has raised the need of monitoring performance of the commercial equipment operating in clinics and hospitals. This follow-up should be done periodically by image quality tests. According to literature, these tests include the verification of several image parameters that could be observed with the help of ultrasonic phantoms which are devices with acoustic properties similar to those of biological tissues. The objectives of this work are design and construction of a low-cost ultrasonic phantom and the elaboration of a measurement protocol for the image dynamic range parameter. The phantom was filled with a mixture of several substances in order to simulate the average values of the two main acoustic properties of the biological tissues: sound speed: 1540 m/s and attenuation coefficient 0.7 dB.cm-1.MHz-1, according to IEC 1390 (IEC, 1996).

Methodology

This work could be divided in four steps. The first one was the selection of materials to constitute the phantom. The second was the elaboration of a protocol (recipe) to build the phantom. A third step consisted of the elaboration of the assessment protocol for the image dynamic range, based on the document IEC 1390 (IEC, 1996). The last step was the test of performance of the phantom and assessment protocol with calibrated ultrasonic image equipment.

The phantom was designed as an acrylic rectangular box (dimensions 18cm x 18cm x 7cm) filled with the mixture that had acoustic properties similar to the biological tissue. This mixture was a solution composed by Agar (2.5%); glycerine (11%), water (86.5%) and graphite (63.8g/l). To prevent microbiological contamination, the mixture was treated with antibiotics (cloramphenicol at 1g/l, tetracycline at 250mg/l, penicillin G at 25mg/l and anti fungi nystatin at 13 mg/l and anfotericin B at 1mg/l, as in Sato et al., 2000).

The phantom suggested by the IEC 1390 document to measure the image dynamic range was composed by two distinct regions (Figure 1), containing materials with different attenuation coefficients but the same sound speed (1540 m/s). The inferior part was filled with the mixture already explained, which was highly attenuated (0.7 dB.cm-1.MHz-1). The superior part was filled with the same mix-

ture without graphite, which made it less attenuated (0.1 dB.cm-1.MHz-1). The interface between the two media had to be as a form of a ladder with steps 1cm thick, so it was necessary to design a frame with this format to place inside the phantom before it started to be filled from the top (Figures 2 and 3). After the filling was complete, the phantom was sealed with a PVC film layer that would be used as an acoustic window.

The protocol to assess the image dynamic range was designed as follows (Figure 4): The transducer was made to sweep the ladder (going downwards) until it reached the step where the echo saturation threshold could be found. Then, at the same depth, one should move horizontally and look for the region where the echoes were on the threshold of detection. This position corresponded (on the vertical) to another step of the ladder. The image dynamic range was obtained from the distance between the two extreme positions (one should count the number of steps in between), once the attenuation coefficient on both side of the phantom was known.

To evaluate the performance of the phantom, digital images were acquired with a new and calibrated equipment from National Institute of Cancer (INCA). This equipment had adjustable controls for the dynamic range and the images were obtained in three different positions (at 35 dB, 45 dB and 60 dB) and following the proposed protocol (Figures 6 to 11). After the calculation of the dynamic range from the images, they were compared to the nominal values set on the equipment.

Results and Discussion

The phantom (Figure 5) presented a useful image convenient to the application of the developed protocol for the dynamic range evaluation. The image was acceptably homogeneous and the ladder steps were clear and well identifiable, suggesting that the procedure for the phantom construction was adequate.

When comparing the dynamic range values obtained from the measurements and the nominal values of the equipment (Table 3) an error between 4.4 and 6.2% was found, which was acceptable considering that the determination of the echoes threshold was a subjective task. These initial results indicated that the phantom has potential to be used as a first mean to measure periodically the dynamic range of ultrasonic image equipment. It had a cost around US\$ 200.00, therefore, acceptable for the majority if not all the clinics and hospitals that deals with this technology.

Introdução

A ultra-sonografia é o segundo exame de imagem médica mais utilizado atualmente, perdendo para a radiografia convencional. O diagnóstico é feito basicamente por inspeção visual da imagem e por isso é importante que esta apresente a melhor qualidade que o aparelho possa fornecer. As perdas mais grosseiras de desempenho podem ser detectadas pelo usuário, entretanto, algumas delas, particularmente as variações graduais no desempenho, são de difícil detecção, exigindo normalmente uma avaliação rotineira com metodologia definida e com propósito específico. Assim, com esse objetivo, vários parâmetros qualitativos e quantitativos foram definidos para imagens ultra-sônicas. Esses parâmetros caracterizam a qualidade da imagem do equipamento de ultra-som. Entre os principais estão (IEC, 1996): *Largura da Faixa de Frequência Acústica de Trabalho, Resolução Axial, Resolução Lateral, Resolução de Contraste, Zona Morta, Detectabilidade do Vazio Esférico, Espessura da Fatia Observada, Profundidade da Penetração, Faixa Dinâmica Exibida, Exatidão do Sistema de Medição, Erros de Registro*, além de outros. O primeiro deles, *Largura da Faixa de Frequência Acústica de Trabalho*, pode ser medido através da análise do espectro de amplitudes de um pulso ultra-sônico característico do transdutor. Todos os demais podem ser avaliados utilizando-se corpos de prova que mimetizam propriedades acústicas de tecidos biológicos, conhecidos como *phantoms*.

Foi desenvolvida uma literatura especializada sugerindo protocolos para a avaliação da imagem utilizando-se dos parâmetros citados anteriormente. Em julho de 1996, a IEC (*International Electrotechnical Commission*) publicou um relatório técnico que sugere procedimentos de testes para determinar o desempenho de sistemas pulso-eco em tempo-real. Neste documento, os parâmetros utilizados para avaliar a imagem e os correspondentes métodos de medição foram selecionados para prover uma base de comparação com as especificações do fabricante e entre tipos similares de instrumentos, de diferentes fabricantes, que se destinam à mesma aplicação de diagnóstico.

Nos documentos publicados pela IEC (1996), AIUM (1990) e no artigo de Goodsitt *et al.* (1998) são propostos alguns modelos de *phantoms* de diagnóstico, incluindo as especificações dos materiais mimetizadores de tecido. Já em outro documento da AIUM (1995), são descritas metodologias para obtenção de propriedades acústicas (velocidade do som, coeficiente de

atenuação e coeficiente de retroespalhamento) de *phantoms* mimetizadores de tecido.

Baseados nessas normas e publicações sobre materiais mimetizadores de tecido, vários pesquisadores (Madsen *et al.*, 1978; Burlew *et al.*, 1980; Rickey *et al.*, 1995; Teirlinck *et al.* 1998, Sato *et al.*, 2000), elaboraram várias misturas (agar ou gelatina dissolvidos em água, misturados a álcoois e algum tipo de pó ou microesferas) que mimetizam as características acústicas médias do tecido mole ($a_0 = 0,70 \pm 0,05 \text{ dB.cm}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1}$ e $v = 1540 \pm 6 \text{ m.s}^{-1}$) (IEC, 1996), para a confecção de *phantoms*.

Para a execução dos testes de qualidade de imagem, Goodsitt *et al.* (1998) propuseram um protocolo para implementação de rotinas de ensaios. Os autores apresentam a descrição detalhada dos procedimentos, abordando quase todos os parâmetros sugeridos pela IEC 1390 (IEC, 1996). Porém, o protocolo para a *Faixa Dinâmica Exibida* não foi elaborado neste artigo. De uma maneira geral, a literatura dá pouca atenção ao parâmetro *Faixa Dinâmica Exibida*. Isso serviu como uma das motivações para o presente. Outra motivação foi o fato do Laboratório de Ultra-Som - LUS - COPPE/UFRJ, já possuir outros tipos de *phantoms* e ter experiência em avaliar os outros parâmetros. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e implementação de um protocolo para medição da *Faixa Dinâmica Exibida* de ultra-sonógrafos clínicos comerciais, conforme indicado pela Norma IEC 1390. O trabalho inclui desde a escolha dos materiais mimetizadores e confecção do *phantom* até o desenvolvimento e implementação do protocolo de medição.

Fundamentos Teóricos

Os monitores que exibem imagens de US em aparelhos comerciais transformam a gama de amplitudes dos ecos de acordo com sua escala de cinza disponível que normalmente é mais estreita que a requerida pelos ecos. Se o limite superior dessa escala é “muito baixo”, isso significa que, todas as amplitudes dos ecos que ficarem acima desse limite serão representadas pelo mesmo nível de cinza. Comportamento similar ocorre com o limite mínimo: Se este é “muito alto” todas as amplitudes abaixo desse valor vão deixar de ser representadas. A diferença entre estes limites da escala de cinza do aparelho constitui o parâmetro chamado “*Faixa Dinâmica*”.

Segundo a IEC 1390 (IEC, 1996), *Faixa Dinâmica Exibida* é a razão, expressa em decibéis, entre a máxima amplitude do eco que não satura a imagem até a mínima amplitude de eco que pode ser detectada no monitor com os ajustes posicionados para teste.

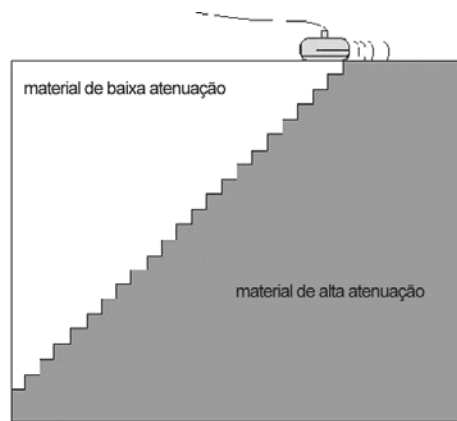


Figura 1. Esquema do phantom para medição do parâmetro Faixa Dinâmica Exibida (IEC, 1996). **Figure 1.** Phantom diagram to measure the Displayed Dynamic Range parameter (IEC, 1996).

Ainda conforme a IEC 1390, o phantom para medição da Faixa Dinâmica deve ser constituído de duas regiões distintas de materiais mimetizadores de tecido que apresentam diferentes coeficientes de atenuação e que reproduzem a velocidade do som de 1540m/s (Figura 1). O material de alta atenuação deve ter coeficiente de atenuação de $0,7\text{dB}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{MHz}^{-1}$ e o de baixa atenuação, deve ser o mesmo material sem a adição do material atenuador. O phantom deve possuir uma estrutura interna em forma de escada, com aproximadamente 22 degraus. Cada degrau tem 10 mm de largura e 10 mm de altura.

A idéia básica por trás do princípio físico de medição é encontrar, na imagem, o degrau em que os ecos se encontram no limiar de saturação (limite superior) bem como o degrau em que os ecos se encontram no limiar de detecção (limite inferior). A Faixa Dinâmica está relacionada ao número de degraus entre os limites superior e inferior, multiplicado pela atenuação de cada degrau (no caso, $0,7\text{ dB}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{MHz}^{-1}$). A equação abaixo é uma fórmula matemática (vide dedução no apêndice) para estimar (em dB) o parâmetro e leva em consideração a frequência central do transdutor:

$$\text{FDE} = 2,15 \times N \times (a_h \times f_0^{n_h} - a_l \times f_0^{n_l}) \quad (1)$$

Substituindo os valores obtidos para as misturas utilizadas (Sato *et al.*, 2000):

$$\text{FDE} = 2,15 \times N \times (0,7 \times f_0^{0,83} - 0,1 \times f_0^{0,77}) \quad (2)$$

Onde: FDE: Faixa Dinâmica Exibida; N: número de degraus entre as regiões observadas; f_0 : frequência central do transdutor; a_h , a_l (*): coeficientes de atenuação

a 1MHz dos materiais de alta e o de baixa atenuação, respectivamente; n_h , n_l (*): expoente da equação $a = a_0 \times f^n$ para o material de alta e de baixa atenuação, respectivamente. (*): Os valores numéricos substituídos na equação (1) serão comentados no item Discussão. Essa equação é válida para a faixa de frequência de 2,2 a 7,5 MHz.

Freqüentemente essas amplitudes (acima e abaixo dos limiares da tela) carregam informações relevantes e, portanto, é importante tentar manter a Faixa Dinâmica ótima disponível em cada aparelho. A literatura aponta para uma avaliação rotineira desses parâmetros fazendo-se uso de um phantom simples e de fácil manuseio. Assim torna-se viável a identificação da degradação da imagem devido à alteração da Faixa Dinâmica. Esse procedimento contribui para a manutenção de uma boa qualidade de imagem, favorecendo o paciente que necessita de um diagnóstico.

Materiais e Métodos

Neste item serão descritos os materiais utilizados e a metodologia adotada para a confecção e avaliação do phantom, bem como o procedimento para medição do parâmetro Faixa Dinâmica.

As normas AIUM (1995 e 1990) e IEC (1996) especificam valores das propriedades acústicas do tecido biológico, bem como sugerem modelos de phantoms para medição de parâmetros de avaliação da qualidade da imagem ultra-sônica, deixando a critério do usuário a seleção do tipo do material e a elaboração do procedimento para confecção dos phantoms propostos.

Para a obtenção do material com as características citadas anteriormente, utilizou-se a solução matriz obtida por Sato *et al.* (2000) (agar, glicerina e água) como

a mistura de baixo coeficiente de atenuação e adicionou-se pó de grafite nesta mesma solução para se obter a alta atenuação, além da introdução dos conservantes. O material de alto coeficiente compõe a região inferior do *phantom* e o de baixo coeficiente, a região superior. Para se fazer a separação dessas duas regiões, utilizou-se de um molde em formato de escada (vide Figura 2), confeccionado a partir de barras de alumínio de 7 cm, coladas lado a lado. Essas barras foram posicionadas sobre uma base e o espaço entre essa base e as barras foram preenchidas por "araldite".

1 – Confeção

O *phantom* foi produzido segundo a norma IEC 1390 (IEC, 1996) e constitui-se basicamente de uma caixa de acrílico de dimensões 18cm x 18cm x 7cm, preenchida por material mimetizador de tecido.

Para confeccionar o *phantom*, adotou-se o seguinte procedimento:

- 1) Desinfetar a caixa de acrílico e a escada de alumínio, utilizando um desinfetante volátil;
- 2) Colocar a escada (Figura 2) no interior da caixa com uma inclinação de 45 graus (Figura 3);
- 3) Misturar os componentes apresentados na Tabela 1 para confeccionar a solução matriz e acrescentar 63,8 g de grafite/litro de solução matriz para produzir o material de $0,7\text{dB}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 1MHz;
- 4) Aguardar fervura e esperar mais 5 minutos;
- 5) Colocar a mistura na bomba de vácuo até eliminar as bolhas;
- 6) Caso a massa da mistura seja inferior a $m_{\text{grafite}} + m_{\text{glicerina}} + m_{\text{água}} + m_{\text{agar}}$, acrescentar água até atingir esse valor;
- 7) Esperar o resfriamento ($\pm 45^{\circ}\text{C}$) e colocar os conservantes conforme a Tabela 2;
- 8) Preencher o *phantom* de forma que o material de alta atenuação fique na parte inferior da escada;
- 9) Colocar a caixa em um banho de água gelada;
- 10) Misturar a solução, suavemente, até o início do seu endurecimento;
- 11) Deixar resfriar (1 hora) e retirar o molde de escada, cuidadosamente;
- 12) Refazer a solução matriz sem o grafite para produzir o material de baixa atenuação;
- 13) Completar o preenchimento do *phantom*;
- 14) Cobrir a superfície com uma placa de vidro previamente aquecida;
- 15) Aguardar o resfriamento (cerca de 1 hora);
- 16) Ao terminar, fechar com um filme tipo "contact" com a camada adesiva removida e vedar muito bem as extremidades.

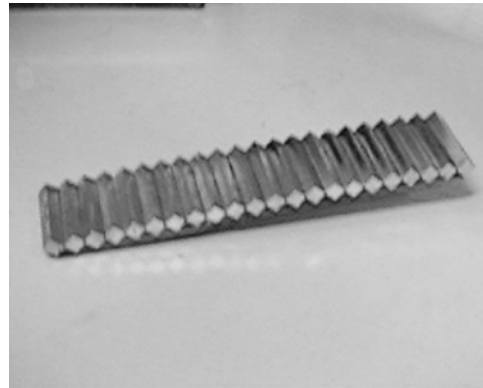


Figura 2. Molde de escada utilizada na confecção do *phantom* de Faixa Dinâmica. **Figure 2.** Stair mold used to make the Dynamic Range phantom.

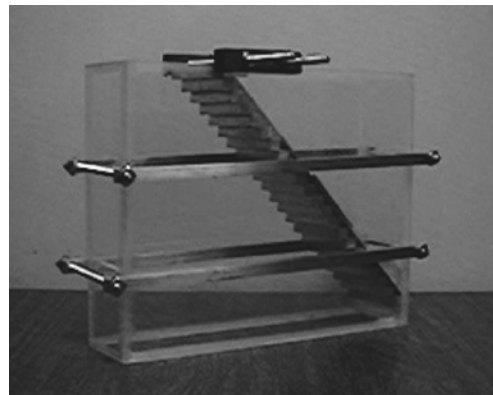


Figura 3. Posicionamento do molde de escada no *phantom* de Faixa Dinâmica. **Figure 3.** Stair mold positioning into the Dynamic Range phantom.

Tabela 1. Composição da solução matriz

Table 1. Matrix solution components

Material	% em massa	Quantidade
Agar	2,5	43,6 g
Glicerina	11	151,4ml ou 190,8g
Água	86,5	1500ml + excesso ($\pm 50\text{ml}$)

Tabela 2. Composição dos conservantes da solução matriz. **Table 2.** Preservatives components of the matrix solution

Material	Componente	Concentração
Antibióticos	Cloranfenicol	1000 mg/l
	Tetraciclina	250 mg/l
	Penicilina G	25 mg/l
Antifúngicos	Nistatina	1,5 a 13 mg/l
	Anfotericina B	1 mg/l

2 - Metodologia para avaliação do phantom

Para avaliar este *phantom*, coletaram-se imagens, em disquete, utilizando-se um transdutor de 3,5 MHz de frequência conectado a um equipamento de imagens por ultra-som novo, modelo Sonoline Sienna da Siemens recém adquirido pelo INCa (Instituto Nacional do Câncer).

O equipamento permitia o ajuste da sua *Faixa Dinâmica*, então, selecionaram-se três posições (35 dB, 45 dB e 60 dB). Coletaram-se as imagens conforme descrito no item 3 utilizando-se os mesmos ajustes durante todo o experimento. Fez-se então a comparação da *Faixa Dinâmica* obtida pelo método com o valor nominal do equipamento.

3 – Protocolo para avaliação do parâmetro Faixa Dinâmica Exibida

O princípio físico em que se baseia a medição com o *phantom* já foi apresentado nos Fundamentos Teóricos. Os detalhes do protocolo desenvolvido para avaliar a *Faixa Dinâmica*, passo a passo, foram desenvolvidos nesse trabalho e serão dados a seguir.

Inicialmente, deve-se realizar os ajustes no equipamento de forma a obter a imagem de melhor qualidade (critério visual). Em seguida, registram-se esses ajustes e a imagem obtida (através de cópias fotográficas). Esta será utilizada como imagem de referência e comparada com as outras que forem sendo obtidas ao longo do tempo, averiguando-se, assim, a eventual degradação progressiva do equipamento. Portanto, é importante realizar os testes com os mesmos ajustes utilizados para obtenção da imagem referência.

Ajustes para realização do teste (baseado em IEC, 1996) - Os seguintes ajustes devem ser realizados utilizando-se o *phantom* confeccionado:

- Ajuste de sensibilidade 1 (foco, brilho e contraste)
 - a) O foco deve estar nítido, os controles de brilho e contraste posicionados no mínimo (a posição focal normalmente é indicada nos aparelhos comerciais).
 - b) Deve-se aumentar o brilho até que se possa detectar um mínimo de graduação de cinza na imagem.
 - c) O controle do contraste deve ser aumentado de forma a fazer com que a imagem contenha a maior faixa de graduação cinza quanto possível. Pode-se identificar essa faixa, observando a escala de cinza exibida na tela do monitor do equipamento.
 - d) Em seguida, verifica-se o foco pela sua nitidez e se um ajuste adicional for necessário, todo o procedimento deve ser repetido.

- Ajuste de sensibilidade 2 (frequência, supressão, potência de saída, ganho, controle de ganho temporal - TGC)
 - a) Inicialmente, deve-se anotar a frequência nominal do transdutor;
 - b) Se existirem controles de supressão ou de rejeição de ecos, estes devem ser ajustados para permitir que o menor sinal possível seja exibido;
 - c) A potência acústica de saída e o ganho devem estar posicionados de forma a apresentar ecos na maior profundidade no material de alta atenuação;
 - d) O TGC deve ser ajustado para exibir o sinal de eco da primeira faixa de 1 cm ou 2 cm e da faixa intermediária do objeto de teste com uma graduação média de cinza, de forma a testar o equipamento com ajustes utilizados durante um exame, ou pelo menos próximos aos utilizados num exame pelo usuário.
- Otimização final
 - a) A otimização final da imagem pode ser feita por uma pequena modificação no nível de supressão, no ganho total ou na potência de saída;
 - b) Quando se tem a opção do controle de ganho automático (AGC) no aparelho, os testes devem ser feitos neste modo de operação;
 - c) A imagem do objeto de teste com AGC deve ser otimizada utilizando qualquer controle que ainda funcione manualmente, por exemplo, Potência de Saída (uma vez acionando o recurso AGC, os ajustes de ganho são realizados automaticamente e alguns controles que podem ser ajustados manualmente ficam desativados);
 - d) Deve-se fazer um registro da imagem final para que se possa fazer uma comparação numa data posterior.

Procedimento para avaliação da Faixa Dinâmica Exibida (baseado em IEC, 1996) - Como foi explicado no item Fundamentos Teóricos, a finalidade do *phantom* é estimar a diferença, em decibéis, entre a amplitude do mínimo eco detectável e do máximo eco não saturado. Para se obter esta estimativa propôs-se o seguinte protocolo (ver Figura 4):

- a) Posicionar o transdutor em direção ao degrau mais profundo;
- b) Estender o foco sobre a maior profundidade possível (ajustados pelos controles do aparelho);
- c) Varrer a janela acústica “subindo a escada”;
- d) Observar o degrau no qual os ecos estão no limiar

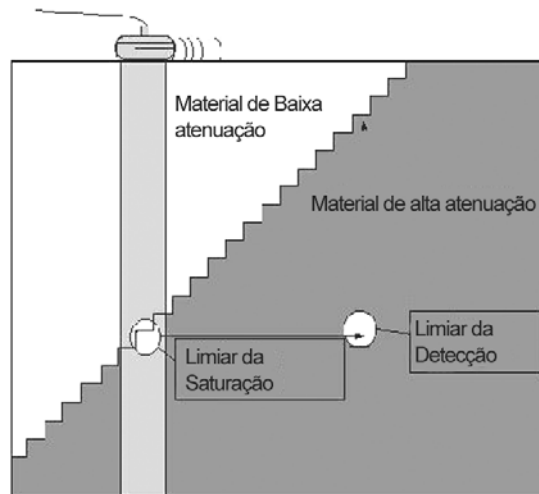


Figura 4. Esquema de coleta de dados para determinação da *Faixa Dinâmica* no *phantom* mimetizador de tecido mole (IEC, 1996). **Figure 4.** Data collection diagram for *Dynamic Range* determination with the soft tissue mimicking phantom (IEC, 1996).

da saturação (considerar o primeiro degrau em que os ecos apresentam a máxima intensidade de brilho);

- e) Marcar a posição do degrau com o paquímetro eletrônico do aparelho;
- f) Nessa mesma profundidade do degrau, observar a posição, no material de alta atenuação, em que os ecos estão no limiar da detecção (identificar a região em que quase não se visualizam os ecos);
- g) Contar o número de degraus, entre o degrau do item d e o determinado no item f (vide Figura 4);
- h) Calcula-se, então, a *Faixa Dinâmica Exibida*, utilizando-se esses dados e a equação (1). Obs: Caso o transdutor seja setorial, este deve ser movido de forma a posicionar a linha central do campo de visão perpendicularmente ao degrau observado. (repetir o procedimento quantas vezes for necessário para identificar a região de interesse).

Este procedimento foi testado e os resultados são apresentados a seguir.

Resultados

Materiais Mimetizadores

A caracterização dos materiais mimetizadores foi feita utilizando-se da Técnica de Substituição da Banda Larga, descrita em AIUM (1995). Com ela obtiveram-se curvas de $\log a \times \log f$ (a = coeficiente de atenuação e f = frequência) onde o valor do coeficiente de atenuação utilizado é medido a 1MHz e o valor de n (vide eq. 1) é obtido pelo valor do coeficiente angular da

curva. Encontrou-se um valor entre 0,05 a 0,15 dB/cm a 1MHz para a mistura matriz sem grafite. Como essa variação tem uma influência muito pequena nos cálculos da faixa dinâmica exibida, adotou-se para efeitos de cálculo, o valor de 0,1 dB/cm e $n = 0,77$. Para o material de alta atenuação (0,7 dB/cm a 1 MHz), adotou-se o valor de $n = 0,83$ (Sato *et al.*, 2000).

O Phantom

A Figura 5 apresenta o aspecto final do *phantom* acabado e pronto para uso.

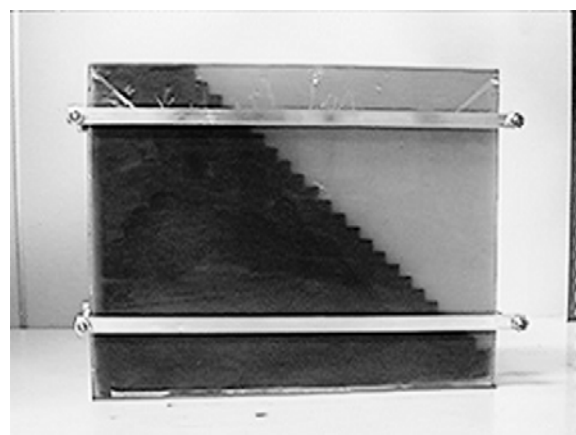


Figura 5. Vista frontal do *phantom* para medição do parâmetro: *Faixa Dinâmica Exibida*, construído conforme procedimento descrito anteriormente. **Figure 5.** Front view of the *phantom* to measure the *Displayed Dynamic Range* parameter, built according to the previously written procedure.

Aplicando a metodologia citada anteriormente, foram obtidas as imagens das Figuras 6a a 6f. Para cada uma das três faixas dinâmicas nominais selecionadas no aparelho, coletaram-se duas imagens (uma apresentando a região onde os ecos estão no limiar da saturação e a outra no limiar da detecção). Calculou-se a *Faixa Dinâmica Exibida* segundo a equação 1. O número de degraus entre as regiões observadas (N) corresponde à diferença entre a posição do

degrau ($N_{\text{saturação}}$) em que os ecos estão no limiar da saturação e o degrau correspondente (verticalmente) à posição ($N_{\text{detecção}}$) em que os ecos estão no limiar da detecção. E, f_0 corresponde à frequência nominal do transdutor utilizado (3,5 MHz). As Figuras 6a, 6c e 6e correspondem às regiões onde os ecos estão no limiar da saturação e as restantes (Figuras 6b, 6d e 6f), no limiar da detecção. A seguir serão apresentadas as imagens coletadas:



Figura 6a. O círculo indica a região onde os ecos estão no limiar da saturação para *Faixa Dinâmica* nominal de 35 dB (degrau 10). **Figure 6a.** The circle indicates the region where the echoes are on the saturation threshold to a nominal Dynamic Range of 35 dB (10th step).



Figura 6b. O círculo indica a região onde os ecos estão no limiar da detecção para a *Faixa Dinâmica* nominal de 35 dB (degrau 0). **Figure 6b.** The circle indicates the region where the echoes are on the detection threshold to a nominal Dynamic Range of 35 dB (0th step).



Figura 6c. O círculo indica a região onde os ecos estão no limiar da saturação para a *Faixa Dinâmica* nominal de 45 dB (degrau 14). **Figure 6c.** The circle indicates the region where the echoes are on the saturation threshold to a nominal Dynamic Range of 45 dB (14th step).

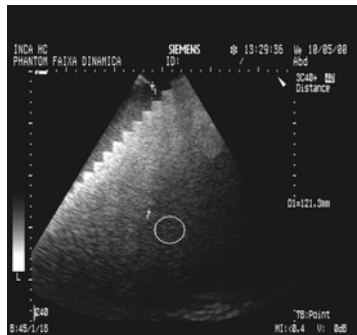


Figura 6d. O círculo indica a região onde os ecos estão no limiar da detecção para a *Faixa Dinâmica* nominal de 45 dB (degrau 1). **Figure 6d.** The circle indicates the region where the echoes are on the detection threshold to a nominal Dynamic Range of 45 dB (1st step).



Figura 6e. O círculo indica a região onde os ecos estão no limiar da saturação para a *Faixa Dinâmica* nominal de 60 dB (degrau 19). **Figure 6e.** The circle indicates the region where the echoes are on the saturation threshold to a nominal Dynamic Range of 60 dB (19th step).

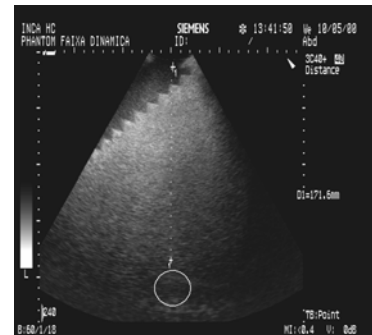


Figura 6f. O círculo indica a região onde os ecos estão no limiar da detecção para a *Faixa Dinâmica* nominal de 60 dB (degrau 2). **Figure 6f.** The circle indicates the region where the echoes are on the detection threshold to a nominal Dynamic Range of 60 dB (2nd step).

Discussão

Materiais Mimetizadores

A obtenção das misturas para gerar os parâmetros acústicos necessários ao *phantom* foi uma etapa razoavelmente simples. Notou-se, porém, que devido a grande quantidade de material envolvido na confecção do *phantom*, houve uma certa dificuldade na sua manipulação. E, durante a sua confecção, para que o grafite se distribua uniformemente dentro do *phantom*, procurou-se homogeneizar a mistura enquanto ocorre o endurecimento da mesma. Para acelerar esse processo, colocou-se a caixa de acrílico num banho de água com gelo. Deve-se produzir uma quantidade suficiente para preencher a caixa de uma só vez, pois durante o processo de resfriamento a agitação deve ser ininterrupta. Caso este procedimento não seja feito, o *phantom* poderá apresentar não-uniformidade na distribuição dos espalhadores.

O Phantom

Analisando os resultados obtidos para a avaliação do *phantom* (vide Tabela 3), pode-se observar que os valores calculados são bastante similares aos nominais.

Vale salientar que esta técnica é limitada, porque se faz uma relação de atenuação por degrau no objeto de teste, refletindo na inexatidão dos valores obtidos em relação ao nominal (considerando-se que o aparelho está calibrado). Isto ocorre porque a região em que os ecos estão no limiar da detecção ou da saturação pode estar numa profundidade localizada entre dois degraus, gerando uma incerteza. Deve-se levar em consideração também, um certo grau de subjetividade na determinação dessas regiões no *phantom*, mas observando-se a imagem e repetindo-se o procedimento algumas vezes, este erro poderá ser de apenas um degrau.

Os materiais utilizados para a confecção deste, são de fácil aquisição e o seu custo é relativamente baixo, em torno de US\$200,00. A mistura do material

mimetizador acrescida dos conservantes foi exposta diretamente ao ar (que é uma condição natural, possível de ocorrer) e apresentou uma durabilidade superior comparado ao material sem conservantes. A durabilidade depende da assepsia com que o material foi manipulado, e na construção deste *phantom* não foi tomado nenhum cuidado especial em relação a esse tópico. Entretanto o mesmo apresentou-se estável num período de pelo menos quatro meses. Para se ter uma idéia da durabilidade desse *phantom*, deve-se confeccioná-lo em ambiente estéril, vedação adequada, etc... (condições desfavoráveis ao crescimento microbiológico).

O grafite foi colocado visando obter-se o valor de atenuação médio em tecidos biológicos, como recomenda a norma. Em princípio nada impediria que se usassem microesferas ou outro material para atingir o mesmo objetivo. A norma ainda é omissa sobre o nível de *speckle* recomendado para esse tipo de medição. A literatura recomenda o pó de grafite como mimetizador da aparência ultra-sonográfica do tecido hepático. Certamente outros materiais podem mimetizar *speckles* de outros tecidos.

Protocolo para avaliação do phantom

O ajuste proposto para o TGC está baseado na idéia de estimar a *Faixa Dinâmica* efetivamente utilizada num exame de rotina abdominal que é aquele que pode investigar uma profundidade maior dos tecidos biológicos (maior *Faixa Dinâmica*). Poder-se-ia propor um outro tipo de ajuste padronizado de TGC, porém o ajuste proposto se adequa mais à realidade da rotina diagnóstica.

Procedimento para avaliação da Faixa Dinâmica Exibida

O critério para identificar as regiões de limiar de detecção e de saturação é subjetivo e um erro de um degrau poderá ocorrer. O ideal seria observar o eco em modo-A se o aparelho permitisse.

Tabela 3. Resultados do teste do *phantom* de *Faixa Dinâmica Exibida*

Table 3. Test results for the Displayed Dynamic Range phantom

N _{saturação} (cm)	10	14	19
N _{detecção} (cm)	0	1	2
N (cm)	10	13	17
Faixa Dinâmica Nominal (dB)	35	45	60
Faixa Dinâmica Calculada (dB)	36,93	48,00	62,78
Erro (%)	5,2	6,2	4,4

O limiar de detecção seria o ponto onde os ecos de pequena amplitude se confundem com o ruído. O ruído eletrônico nos aparelhos atuais é da ordem de -20dBs, e isso permite que ecos de pequena amplitude possam ser representados. Entretanto, à medida em que os ecos vão sendo atenuados ao longo da propagação, chegará o momento em que ecos e ruído eletrônico estarão com amplitude similares. Neste ponto, o ruído pode ser entendido como um limiar inferior de detecção, uma vez que seria impossível distinguirem-se ecos com amplitudes menores.

Conclusão

Foi possível construir um *phantom* com as características indicadas pela norma. Elaborou-se um protocolo de construção do *phantom* para permitir a sua reprodutibilidade. O protocolo detalhado para avaliação do parâmetro *Faixa Dinâmica Exibida* apresentou-se apropriado.

Por fim, os resultados iniciais da avaliação do *phantom* se mostraram consistentes com o esperado, sugerindo que o *phantom* pode realmente ser útil para a avaliação rotineira do parâmetro em aparelhos de US diagnóstico. As próximas etapas da pesquisa seriam a validação do *phantom* com a realização de testes em outros equipamentos e a comparação com outros *phantoms* comerciais.

Apêndice

Dedução da equação 1

A faixa dinâmica é a razão expressa em decibéis, entre a máxima amplitude do eco que não satura a imagem até a mínima amplitude de eco que pode ser detectado no monitor com os ajustes posicionados para teste.

A máxima amplitude se encontrará no material de baixa atenuação na profundidade: $N = A_{low}$

A mínima amplitude se encontrará no material de alta atenuação na profundidade: $N = A_{high}$

Razão da Amplitude (dB) $\geq 10 \log_{10} (A_{low}/A_{high})$ dB

Mas $A = A_0 \cdot e^{-A \cdot x}$

$$FDE = 10 \log_{10} (A_{0low} e^{-a_{low} x} / A_{0high} e^{-a_{high} x}) = A_{0low} / A_{0high}$$

$$FDE = 10 \log_{10} (e^{-a_{low} x} / e^{-a_{high} x})$$

$$FDE = 10 \log_{10} (e^{-a_{low} x + a_{high} x})$$

$$FDE = 10 \log_{10} (e^{x(-a_{low} + a_{high})})$$

$$FDE = 10 \cdot x \cdot (-a_{low} + a_{high}) \log_{10} e$$

$$FDE = 0,43 \cdot 10 \cdot x \cdot (a_{high} - a_{low})$$

mas $x = 2N$, pois é pulso-eco

$$FDE = 2,15 \cdot N \cdot (a_{high} - a_{low})$$

mas $a = a_0 \cdot f^n$

$$FDE = 2,15 \cdot N \cdot (a_{0high} \cdot f_{high}^n - a_{0low} \cdot f_{low}^n)$$

Substituindo os valores obtemos:

$$FDE = 2,15 \times N \times (0,7 \times f_0^{0,83} - 0,1 \times f_0^{0,77})$$

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, o PRONEX e a FAPERJ pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- AIUM (1990) *Standard Methods For Measuring Performance of Pulse-Echo Ultrasound Imaging Equipment*, Maryland: American Institute of Ultrasound in Medicine, 53 p.
- AIUM (1995) *Methods For Specifying Acoustic Properties of Tissue Mimicking Phantoms and Objects*, Maryland: American Institute of Ultrasound in Medicine, 13 p.
- Burlew, M.M., Madsen, E.L., Zagzebski, J.A., Banjavie, R.A., Sum, S.W. (1980) "A New Ultrasound Tissue-Equivalent Material", *Radiology*; v. 134, p. 517-520.
- Goodsitt, M.M., Carson, P.L., Witt, S., Hykes, D.L., Kofler Jr, J.M. (1998) "Real-time B-mode Ultrasound Quality Control Test Procedures – Report of AAPM Ultrasound Task Group n° 1", *Medical Physics*, v. 25, n. 8, p. 1385-1406.
- IEC (1996), *IEC 1390: Ultrasonics - Real-time pulse-echo systems - Test procedures to determine performance specifications*. Geneve: International Electrotechnical Commission., 49 p.
- Madsen, E.L., Zagzebski, J.A., Banjavie, R.A., Jutila, R.E. (1978) "Tissue Mimicking Materials for Ultrasound Phantoms", *Medical Physics*, v. 5, n. 5, p. 391-394.
- Rickey, D.W., Picot, P.A., Christopher, D.A., Fenster, A. (1995) "A Wall-less Phantom for Doppler Ultrasound Studies", *Ultrasound in Medicine & Biology*, v. 21, n. 9, p. 1163-1176.
- Sato, S.Y., Pereira, W.C.A., Vieira, C.R.S. (2000) "Materiais Mimetizadores de Tecido para Confecção de Phantoms para Ultra-som Diagnóstico". Anais do CBEB'2000, p. 1105-1110.
- Teirlink, C.J.P.M., Bezemer, R.A., Kollmann, C., Lubbers, J., Hoskins, P.R., Fish, P. Fredfeldt, K.E., Schaarschmidt, U.G. (1998) "Development of an Example Flow Test Object and Comparison of Five of these Test Objects, Constructed in Various Laboratories", *Ultrasonics*, v. 36, p. 653-660.