

PROTOCOLO PARA VERIFICAÇÃO DE ALTERAÇÃO NA INTENSIDADE ACÚSTICA DE APARELHOS DE ULTRASSOM FISIOTERAPÊUTICOS

R.M. Costa^{*,**}, M. Pastrana-Chalco^{*}, T.P. Omena^{*,***}, M.A. von Kruger^{*} e W.C.A. Pereira^{*}

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

^{**}Instituto Nacional de Câncer/INCA III, Rio de Janeiro, Brasil

^{***}Curso de Fisioterapia – Faculdade de Medicina/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

e-mail: rmcosta2@gmail.com wagner@peb.ufrj.br

Resumo: O ultrassom terapêutico (UST) é bastante utilizado pelos fisioterapeutas para tratamento de lesões musculoesqueléticas, devido aos seus efeitos térmicos e atérmicos. Mesmo com esta larga utilização, não há uma periodicidade na verificação do desempenho destes aparelhos e somente poucos laboratórios são capacitados para avaliá-los. Aliado a isto, verifica-se que há grande variação entre os valores nominal e medido nos equipamentos. Este estudo apresenta um protocolo de aplicação de corpos de prova termocromáticos para verificação de alterações de intensidade nos equipamentos de UST. Foram utilizados dois equipamentos de mesmo fabricante e tempo de uso, avaliadas potência acústica, área de radiação efetiva (ERA) e intensidade acústica, obtenção de imagens nas frequências de 1 e 3 MHz e cálculo da área aquecida. Foi possível verificar um padrão coerente entre o aumento da área aquecida e da intensidade acústica para ambas as frequências nas intensidades testadas.

Palavras-chave: ultrassom terapêutico, termocromático, intensidade acústica.

Abstract: *Therapeutic ultrasound is largely used by physical therapists in the treatment of musculoskeletal injuries, due to its thermal and athermal effects. Even with this widespread use, no periodicity in reviewing the performance of these devices is verified. In addition, only a few laboratories are able to evaluate them. Furthermore, there is great variation between the nominal and measured values of the equipments. This study presents a protocol for implementing thermochromatic test objects for verification of intensity changes in ultrasound equipments. Two devices of the same manufacturer and use time were subject to evaluation of their acoustic power, effective radiation area and acoustic intensity. Images, captured at frequencies of 1 and 3 MHz, were processed and heated area was calculated. It was possible to verify a consistent pattern between the increase of the heated area and of the acoustic intensity for both frequencies at the tested intensities.*

Keywords: *therapeutic ultrasound, thermochromatic, acoustic intensity.*

Introdução

Nas últimas décadas, o ultrassom terapêutico (UST) tem sido largamente utilizado como parte integrante de tratamentos em Fisioterapia, devido aos seus efeitos térmicos e não-térmicos nos tecidos biológicos. Frente a isto, é necessário um controle no que concerne à efetividade e segurança da utilização deste aparelho.

O uso de um equipamento de ultrassom terapêutico calibrado é essencial para que sua aplicação seja efetiva dentro de um protocolo de tratamento. Assim, é importante que sejam realizadas verificações periódicas dos equipamentos de UST, pois o uso na prática clínica de equipamentos descalibrados pode levar a tratamentos indesejáveis, como a redução ou ausência dos efeitos terapêuticos pretendidos, ou até mesmo, a piora da lesão tecidual.

Os métodos-padrões para verificação do UST são normatizados pela IEC 61689 [1] que relata procedimentos de medição e caracterização do feixe ultrassônico destes equipamentos. Esta norma define os parâmetros para o cálculo da dose utilizada no tratamento, como intensidade efetiva, área de radiação efetiva (ERA, do inglês: *Effective Radiation Area*), potência acústica, entre outros, além de definir seus limites de segurança.

Muitos trabalhos já demonstraram que há variação entre os valores da potência acústica nominal e os valores medidos [2,3,4,5,6,7,8] Além disso, nos manuais dos aparelhos, os fabricantes informam um valor nominal da ERA que usualmente não corresponde ao valor da ERA medida e que pode estar fora da faixa aceitável normatizada pela IEC 61689 [1].

Durante a vida útil do aparelho de UST são necessárias verificações de seu desempenho, e isto somente é realizado em laboratórios capacitados, o que é escasso em nosso país. Poucos profissionais de Fisioterapia realizam algum tipo de verificação de seu aparelho de UST [2].

Este estudo apresenta um protocolo para aplicação de corpos de prova à base de resina epóxi, e com propriedades termocromáticas para verificação de alteração da intensidade em equipamentos de ultrassom terapêutico.

Materiais e métodos

A metodologia utilizada consistiu na confecção dos corpos de prova, medição da potência acústica e da área de radiação efetiva (ERA) dos equipamentos de ultrassom terapêutico, obtenção e processamento das imagens térmicas do corpo de prova.

Confecção dos corpos de prova – Foi confeccionado um corpo de prova à base de epóxi e material termocromático (ChromaZone®), de acordo com a metodologia descrita por COSTA *et al* [9]. Possui diâmetro de 3,6 cm e espessura de 0,45 cm. A resposta do material termocromático ao aquecimento está na faixa nominal de 44-47 °C e este possui a propriedade da reversibilidade.

Medição da potência acústica de saída dos equipamentos de UST – Foi utilizada uma balança de força de radiação (UPM-DT-1; Ohmic Instruments, Easton, EUA) que possui um cone metálico como alvo refletor, e dois equipamentos de UST (1 e 2) com o mesmo tempo de uso (Avatar III, KLD). Estes foram configurados para operar em modo contínuo, e avaliados nas frequências de 1 e 3 MHz. O experimento foi realizado em um local sem correntes de ar, temperatura ambiente de 26 °C ± 1 °C, em uma superfície estável. O transdutor foi preso a um suporte, alinhado ao centro do cone metálico a uma distância de 1 cm com a superfície imersa em água destilada, e garantida a ausência de bolhas entre o transdutor e cone (Figura 1). Foram realizados 5 repetições em cada potência nominal (2,5 a 10W com passos de 2,5W).



Figura 1: Arranjo experimental para obtenção da potência de saída dos equipamentos de UST.

Cálculo da Área de Radiação Efetiva (ERA) – Foi realizado o mapeamento do campo acústico pela técnica de varredura por hidrofone (*Needle hydrophone*, Precision acoustics) [1], onde se coloca o transdutor e o hidrofone em um tanque acústico de dimensões 90 x 60 x 50 cm, preenchido com água destilada, e aguarda-se 30 min para que ocorra equilíbrio térmico do sistema (Figura 2). O movimento do hidrofone é realizado por motor de passo, com passos de 0,174 cm, controlado por um software em Labview 8.2. A varredura foi feita a 0,3 cm da face do transdutor [1]. Um programa em Labview 8.2 foi utilizado para cálculo do valor da ERA dos transdutores.

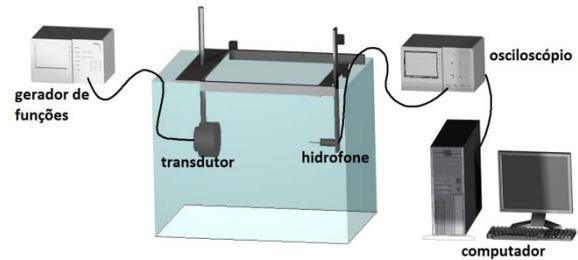


Figura 2: Arranjo experimental para mapeamento acústico por varredura de hidrofone dos equipamentos de UST.

Obtenção das imagens térmicas e cálculo da área de aquecimento – O processo de obtenção das imagens térmicas inicia-se posicionando a câmera fotográfica digital ao tripé preso à parede. Após, acopla-se um adaptador de PVC ao transdutor, ficando o corpo de prova a uma distância de 1,4 cm de sua face, sendo este espaço preenchido por água destilada. A Figura 3 mostra o arranjo experimental para obtenção das imagens. Entre a coleta consecutiva de imagens, aguardou-se um intervalo de 5 minutos para resfriamento da água e do corpo de prova. Houve controle da temperatura da água utilizando um termômetro digital antes do início de cada medição, e, além disso, a água foi obtida de um banho-maria com temperatura controlada a 25°C. O ambiente foi iluminado por luz fluorescente comum e o procedimento experimental foi realizado em temperatura ambiente de 26 ± 1 °C.

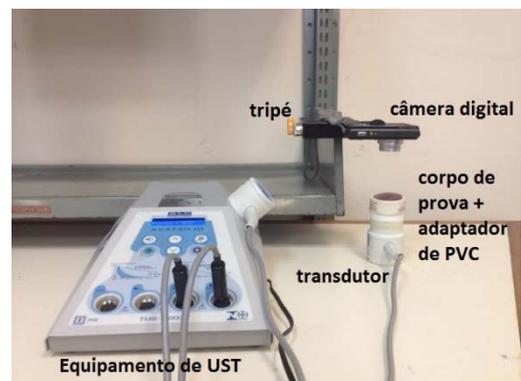


Figura 3: Arranjo experimental para obtenção das imagens térmicas do corpo de prova pela câmera digital.

Foram obtidas imagens térmicas, nas duas frequências, 1 e 3 MHz, em quatro intensidades nominais: 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 W.cm⁻², nos tempos de 0 e 15s. Este tempo foi estipulado com base no estudo anterior [9], para preservar a reversibilidade do pigmento termocromático.

Para processamento das imagens foi utilizado um algoritmo implementado em Matlab®, baseado no método de região crescente, que segmenta as áreas aquecidas de forma semiautomática. A Figura 4 apresenta um exemplo da janela final deste programa

com o processamento realizado e o valor da área da região delimitada. Nesta, há três janelas onde são carregadas as imagens. Após inserir o valor do diâmetro do corpo de prova em cm, carrega-se a imagem de referência, ou seja, no tempo 0 s, que servirá para achar o valor da área do pixel antes do aquecimento (antes que ocorra dilatação do material). Esta aparecerá na primeira janela à esquerda. Em seguida, clica-se em “processar” e carrega-se a imagem de interesse para o cálculo da área. Seleciona-se com um clique na área de interesse (área esbranquiçada central). Na terceira janela (à direita), ao se clicar em “finalizar processo”, aparecerá a imagem com a área de interesse delimitada e seu valor em cm^2 .

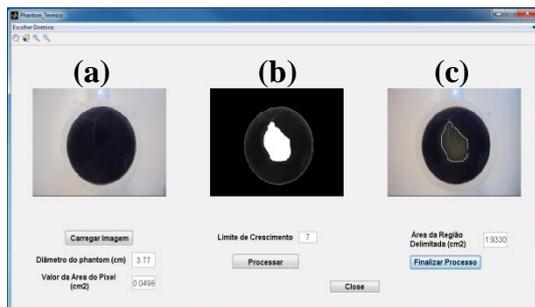


Figura 4: Janela do programa desenvolvido para cálculo e visualização da área aquecida no corpo de prova. (a) imagem de referência (0 s), (b) imagem de interesse onde é necessário clicar na área de interesse (área esbranquiçada central), (c) imagem final com a área de interesse delimitada e seu valor em cm^2 .

Resultados

Os valores estimados da Área de Radiação Efetiva (ERA) dos equipamentos em 1 e 3 MHz são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores da ERA estimada dos transdutores de 1 e 3 MHz dos 2 equipamentos estudados.

	ERA (cm^2)	
	1 MHz	3 MHz
Equipamento 1	2,83	3,69
Equipamento 2	1,19	3,75

Foram calculados os valores de intensidade acústica a partir dos resultados de potência acústica efetiva e da ERA. A intensidade é a razão entre o valor da potência acústica e a ERA. A Tabela 2 exibe os valores de média e desvio-padrão da intensidade real (I_R) comparados aos valores de intensidade nominal (I_N).

As Figuras 5 e 6 mostram as imagens térmicas com o corpo de prova de epóxi dos 2 equipamentos (1 e 2), nas frequências de 1 e 3 MHz, respectivamente, nas intensidades nominais de 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, para o tempo de 15 s.

Tabela 2 - Média e desvio-padrão (DP) dos valores de intensidade real (I_R), nas quatro intensidades nominais (I_N) estudadas, nas frequências de 1 e 3 MHz. Os valores de intensidade estão em ($\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$).

I_N	Equipamento 1				Equipamento 2			
	1 MHz	3 MHz	1 MHz	3 MHz	1 MHz	3 MHz	1 MHz	3 MHz
0,5	0,38	0,20	0,56	0,11	2,14	0,17	0,65	0,01
1,0	1,10	0,03	1,28	0,08	4,45	0,34	1,35	0,02
1,5	1,75	0,02	1,97	0,15	6,83	0,35	2,03	0,02
2,0	2,39	0,02	2,43	0,28	9,33	0,29	2,74	0,04

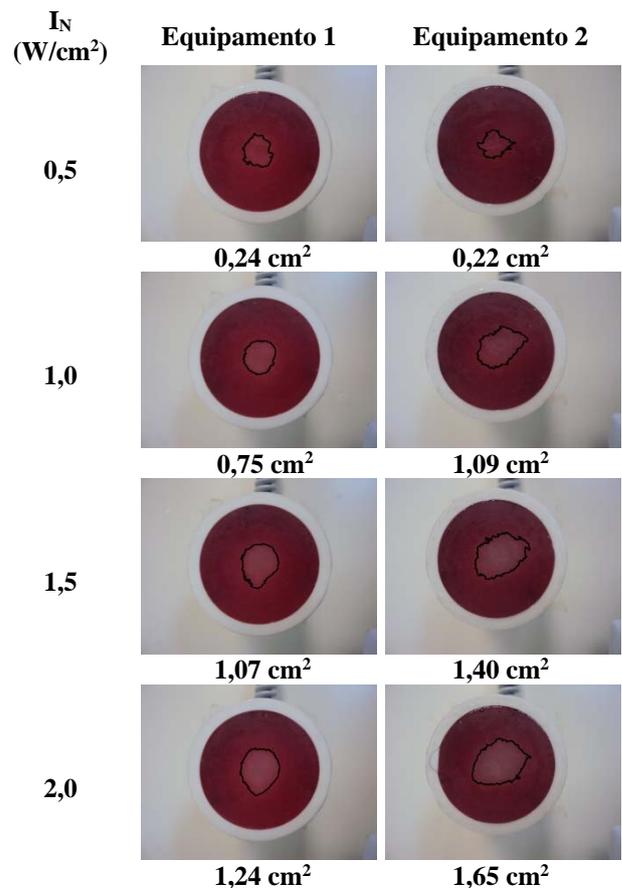


Figura 5 – Imagens térmicas no corpo de prova nas intensidades nominais 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, nos Equipamentos 1 e 2 em 1 MHz. Em cada imagem térmica aparece demarcada a área que perdeu cor (esbranquiçada), e o valor calculado desta área (em cm^2).

Discussão

Quanto às imagens térmicas, objeto principal do presente trabalho, foi possível verificar que os transdutores apresentaram padrão coerente ao aumentar a área aquecida com o aumento da intensidade acústica para ambas as frequências em quase todas as intensidades testadas.

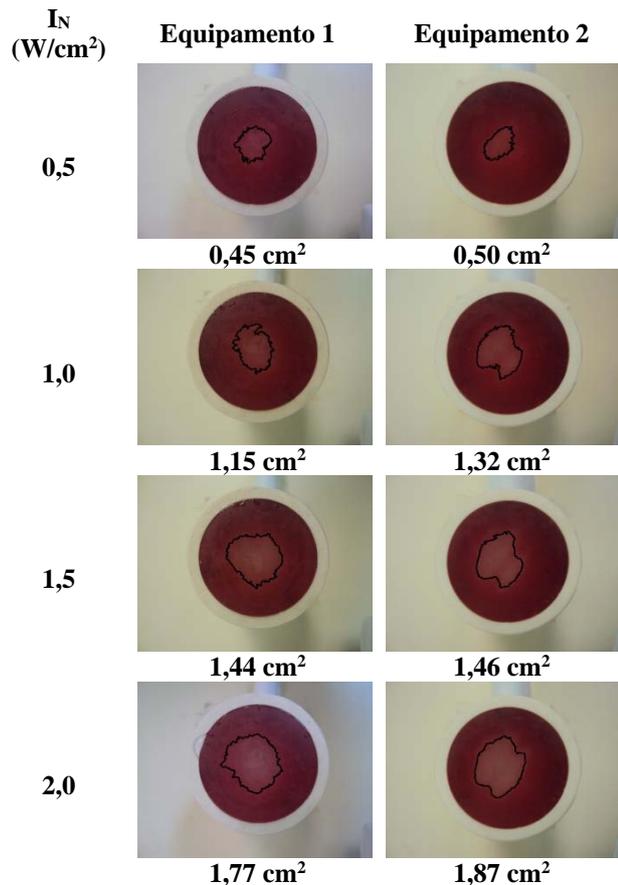


Figura 6 – Imagens térmicas no corpo de prova de resina epóxi nas intensidades nominais 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 W.cm⁻², nos Equipamentos 1 e 2 em 3 MHz. Em cada imagem térmica aparece demarcada a área que perdeu cor (esbranquiçada), e o valor calculado desta área (em cm²).

Na frequência de 1 MHz, ao se comparar as imagens térmicas entre os equipamentos na mesma intensidade nominal, os resultados se mostraram coerentes. O equipamento 1 apresentou menores áreas aquecidas comparado ao equipamento 2, estando em acordo com os resultados de intensidade acústica que apresentaram valores menores para o equipamento 1. Somente na intensidade de 0,5 W.cm⁻², a área do equipamento 2 não apresentou um valor maior comparado ao 1.

Na frequência de 3 MHz, ao se comparar os equipamentos 1 e 2, foi possível verificar que o equipamento que apresenta uma maior intensidade, apresenta uma maior área (Equipamento 2).

Além disso, nos resultados de 3 MHz, pelos valores das intensidades reais não serem muito diferentes entre os dois equipamentos, os valores da área aquecida também não apresentaram grandes diferenças. Ao contrário dos valores em 1 MHz, pois as intensidades reais do equipamento 2 foram bem maiores comparadas as do equipamento 1, visualizados também nos valores das áreas aquecidas.

Ao analisar na Tabela 2 os valores mais próximos de

I_R entre os dois equipamentos e se comparar com as respectivas imagens térmicas, nota-se que a área aquecida com a I_R de 2,39 W.cm⁻² do equipamento 1 é muito maior do que a área aquecida com a I_R de 2,14 W.cm⁻² do equipamento 2, e ainda assim, é menor do que a área aquecida na I_R de 4,45 W.cm⁻² do equipamento 2, que possui quase o dobro da I_R apresentada no dado do equipamento 1. Uma possível explicação é o fato do valor da ERA, que no equipamento 2 em 1 MHz é 1,64cm² menor do que o equipamento 1, como é possível ver na Tabela 1.

No que tange aos resultados do valor da ERA, potência e intensidade acústica dos equipamentos de UST, nenhum dos dois possui esses três parâmetros dentro da faixa de valores preconizada pela Norma IEC 61689 [1], o que também foi visto por Ishikawa *et al.* [5]. Esses resultados corroboram com o de outros estudos, que obtiveram uma baixa porcentagem de equipamentos dentro desta faixa [2,3,8]. Os equipamentos utilizados não estão submetidos ao uso diário, como seriam em uma clínica, e ainda sim, apresentaram estes resultados.

Uma das limitações do corpo de prova é este possuir somente um tipo de pigmento fazendo com que uma mesma cor ocorra para potências diferentes a partir de certo nível. A utilização de pigmentos para outras temperaturas poderá gerar padrões de área aquecida de onde se possam extrair informações mais detalhadas sobre a potência (intensidade). Além disso, será realizado um estudo da estabilidade dos corpos de prova termocromáticos, bem como da repetibilidade do uso destes para utilização do protocolo.

Conclusão

Com o protocolo proposto, foi possível observar um comportamento coerente da imagem térmica no corpo de prova com os valores de intensidade acústica. Em décadas de estudos da avaliação dos valores de potência e intensidade acústicas fornecidas pelos aparelhos de UST, sempre é relatado o problema de alterações nestes, o que influencia no tratamento e, mesmo com a existência de Normas específicas, não parece haver um controle de qualidade adequado das indústrias fabricantes dos equipamentos de UST. A proposta do uso deste protocolo de aplicação do corpo de prova (juntamente com o programa que calcula a área aquecida) poderá auxiliar na familiarização dos profissionais de saúde com as técnicas metrológicas, de forma que os mesmos possam se adequar à necessidade de realizar um melhor controle dos equipamentos utilizados em seus ambientes de trabalho.

Agradecimentos

À CAPES, FAPERJ e CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] IEC 61689 (2007), “Ultrasonics – Physiotherapy

systems – Field specifications and methods of measurement in the frequency range 0.5 MHz to 5 MHz”. IEC – The International Electrotechnical Commission.

- [2] Ferrari CB, Andrade MAB, Adamowski JC, Guirro JC, Guirro RRJ. Evaluation of therapeutic ultrasound equipments performance. *Ultrasonics*. 2010, 50: 704-9.
- [3] Johns LD, Straub SJ, Howard SM. Variability in Effective Radiation Area and Output Power of New Ultrasound Transducers at 3 MHz. *Journal of Athletic Training*. 2007; 42(1) 22-8.
- [4] Artho PA, Thyne JG, Warring BP, Willis CD, Brismée JM, Latman NS. A Calibration Study of Therapeutic Ultrasound Units. *Physical Therapy*. 2002; 82(3): 257-63.
- [5] Ishikawa NL, Alvarenga AV, Paes LFC, et al. Avaliação de Equipamentos de Ultra-som para Fisioterapia segundo a Norma NBR IEC 1689 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. In: *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*; 2000 Sept 21-23; Florianópolis, Brasil. 2000. p. 326-330.
- [6] Cunningham SJ. Calibration chaos makes research irrelevant. *Physiotherapy*. 1997; 83(8):440-1.
- [7] Pye SD, Milford C. The performance of ultrasound physiotherapy machines in Lothian region, Scotland, 1992. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 1994; 20(4):347-59.
- [8] Hekkenberg RT, Oosterban WA, Van Beekum WT. Evaluation of ultrasound therapy devices. *Physiotherapy*. 1986; 72(8): 390-5.
- [9] Costa, RM. Corpo de Prova de Resina Epóxi com propriedades termocromáticas para avaliação qualitativa do feixe ultrassônico aplicado em Fisioterapia [dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2009.