

UM DISPOSITIVO PRÁTICO PARA AVALIAR A POTÊNCIA ULTRA-SÔNICA TERAPÊUTICA

A Practical Instrument to Evaluate the Therapeutic Ultrasonic Power

Ana Carolina Brandt de Macedo¹

Resumo

Os efeitos fisiológicos do ultra-som nos tecidos são proporcionados pelos efeitos térmicos e não-térmicos gerados no modo contínuo e pulsado, respectivamente. Esses efeitos só são proporcionados se a intensidade especificada no painel for realmente a intensidade aplicada ao paciente. Segundo a norma NBR IEC 1689 (ABNT, 1998), as intensidades podem variar $\pm 20\%$ para o valor ajustado no equipamento. O objetivo deste estudo é implementar um recurso que poderá ser utilizado para verificar a potência ultra-sônica por Fisioterapeutas em sua prática clínica. O teste do calorímetro foi realizado em vinte equipamentos, quatorze dos quais operam na frequência de 1 MHz, quatro na de 3 MHz e dois em ambas as frequências. Nos equipamentos de 1 MHz, encontrou-se que as intensidades de 30% dos equipamentos estavam dentro do especificado nas normas, 23% abaixo e 47% acima. Nos equipamentos de 3 MHz, encontrou-se 56% dentro do especificado, 31% acima e 13% abaixo. Conclui-se que o teste do calorímetro pode ser utilizado pelos Fisioterapeutas com relativa facilidade e que ele é um método eficaz para avaliar a potência ultra-sônica.

Palavras-chave: Ultra-som terapêutico, Potência ultra-sônica, Teste do calorímetro, Fisioterapia.

Abstract

Thermal and not-thermal effects generated in the continuous and pulsed mode, respectively, proportionate the physiological effects of the ultrasound in tissues. These effects are only verified if the intensity specified in the panel is the intensity applied in the patient. According to NBR IEC 1689 (ABNT, 1998) standard, the intensities can vary $\pm 20\%$ of the set value. The objective of this study is to implement a resource that can be used to verify the ultrasonic power by Physiotherapists in their practical clinics. The calorimeter test was carried out in twenty equipment, fourteen of them operating in the frequency of 1 MHz, four in the frequency of 3 MHz and two in both frequencies. For 1 MHz equipment, 30 % of them were found according to the specified standard, 23% below and 47% above. For 3 MHz equipment, 56% were found according to the specified standard, 31% above and 13% below. It is concluded that Physiotherapists can use the calorimeter test with relative facility and that it is an efficient method to evaluate the ultrasonic power.

Keywords: Therapeutic ultrasound, Ultrasonic power, Calorimeter test, Physical therapy

¹ Av. da República, 7651, ap. 55. Portão. Curitiba-PR. CEP: 80610-220.
E-mail: acbrandt@bol.com.br

Introdução

O ultra-som é definido como uma forma de onda acústica de frequências superiores às que podem ser detectadas pelo ouvido humano, ou seja, ondas cujas frequências são superiores a 20 kHz, podendo atingir até 100 MHz em algumas aplicações (1). Segundo a ABNT (2), a frequência do ultra-som terapêutico situa-se entre 0,5 a 5 MHz, sendo as mais utilizadas as de 1 e 3 MHz. As intensidades terapêuticas situam-se entre 0,1 e 3 W/cm². Intensidades menores que 0,1 W/cm² são utilizadas para diagnóstico e maiores que 10 W/cm² para destruição tecidual (2).

O instrumento terapêutico de ultra-som, amplamente utilizado em fisioterapia, é um agente térmico de aquecimento profundo que fornece uma forma de energia mecânica produzida através de um transdutor que converte a energia elétrica em mecânica. O transdutor é constituído, geralmente, de material piezoelétrico, sendo o mais utilizado o zirconato-titanato de chumbo (PZT). Os transdutores são, em geral, circulares e são eficientes geradores de potência ultrasônica. Podem funcionar no modo contínuo ou pulsátil (4).

Os efeitos fisiológicos do ultra-som nos tecidos são proporcionados pelos efeitos térmicos e não-térmicos gerados no modo contínuo e pulsado, respectivamente. Esses efeitos só são verificados se a intensidade especificada no painel for realmente a intensidade aplicada no paciente. Vários estudos demonstraram a falta de aferição e calibração dos equipamentos, indicando que as intensidades aplicadas aos pacientes muitas vezes eram superior ou inferior a 20% da especificada no painel, o que vai contra as normas da ABNT de 1998 (5, 6,7,8,9,10,11,12,13,14).

Os equipamentos de ultra-som terapêuticos devem ser calibrados pelo menos 1 vez por ano, porém se o equipamento for danificado entre os períodos que antecedem a calibração, não existem métodos que verifiquem a boa funcionalidade deste equipamento. Em geral, o único procedimento existente é a realização do teste da nebulização que verifica se o cristal está funcionando, porém não quantifica a energia que está sendo recebida pelo paciente. Portanto, o objetivo deste trabalho é implementar um procedimento prático, utilizado para verificar a potência ultrasônica, o teste do calorímetro, que poderá ser efetuado por Fisioterapeutas em sua prática clínica.

Materiais e Métodos

O calorímetro é um dispositivo composto de dois “*beakers*” de plástico de 200 ml, um termômetro digital e uma seringa. Cada “*beaker*” de 200 ml tem um diâmetro de 80 mm. Um contém um cone de polietileno côncavo de ângulo interno de 97°28’ colado na margem do “*beaker*”. O cone é feito de 0,1 mm de espessura de lâmina de polietileno e colado no “*beaker*” com borracha de silicone (figura 1). A medição da energia ultra-sônica ocorrerá quando o transdutor estiver operando a uma determinada intensidade, pois as ondas mecânicas causam uma agitação molecular na água (12). Para Garcia (16) o calor é a energia térmica em movimento e esta agitação causará um aumento da temperatura da água que será registrada pelo termômetro. Teoricamente, quanto maior a intensidade, maior o grau de agitação molecular e conseqüentemente, maior o calor (12).

O calorímetro tem como objetivo apresentar resultados quantitativos que permanecerão constantes para o cabeçote de tratamento que libera quantidade constante de potência. Apesar de não efetuar uma mensuração absoluta, este é um método útil, de fácil construção e operação e proporciona ao Fisioterapeuta praticidade para determinar a potência semanalmente ou mensalmente durante os meses subsequentes à calibração do ultra-som. Enfatiza-se que é uma ferramenta de monitoração e não de mensuração porque a temperatura da água é afetada por inúmeros fatores em adição à quantidade de energia absorvida pelo calorímetro, como por exemplo, a energia elétrica dissipada como calor (12).

Para a realização do teste do calorímetro foram utilizadas as intensidades de 0,5; 1; 1,5 e 2 W/cm². Os equipamentos foram submetidos ao teste propriamente dito, que se processou da seguinte forma (12):

- Coloca-se 50 ml de água no primeiro “*beaker*” (sem o cone) a uma temperatura de 20-25° C e insere-se o transdutor, com o equipamento desligado, nesse “*beaker*” por pelo menos um minuto para permitir que o transdutor e a água atinjam a mesma temperatura.

- A seguir transfere-se uma quantidade de água do primeiro “*beaker*” para o segundo utilizando a seringa. A quantidade depende do tamanho do transdutor: 20 ml para transdutores de áreas grandes (3-5 cm²) e 5 ml para transdutores de áreas pequenas (1 cm²);

- Remove-se o transdutor do primeiro “*beaker*”, o mesmo é secado e imediatamente imerso no outro “*beaker*” (com o cone) para que a posição final do transdutor seja vertical e repouse gentilmente nas paredes do cone;

- O aparelho é ligado na intensidade desejada por 60 s;

- O transdutor deve ser movido para cima e para baixo na água para que esta seja misturada à medida que é aquecida;

- Mexe-se a água restante no primeiro “*beaker*” com o termômetro. Mensura-se e anota-se a temperatura;

- A temperatura final será a diferença entre a temperatura mensurada no 1º “*beaker*” e o 2º “*beaker*”;

- Se o aumento da temperatura mensurada não está entre a faixa especificada para o transdutor e frequência, repete-se o procedimento para uma nova verificação.

A combinação de intensidades, tempo de tratamento e volume de água usada geram aumentos na temperatura entre 2-4 °C (12). Uma variação na potência de saída especificada de $\pm 20\%$ é permitida de acordo com a norma NBR IEC 1689 (2).

O teste do calorímetro foi realizado primeiramente em um equipamento que foi enviado para a empresa fabricante, o qual emitiu um laudo de verificação considerando o equipamento “calibrado”. Foi traçado o gráfico da variação da temperatura *versus* intensidade nas frequências de 1 e 3 MHz para esse equipamento. Este gráfico foi utilizado como comparativo de resultados do teste do calorímetro para outros equipamentos.

O teste do calorímetro foi realizado em

um total de vinte equipamentos, quatorze dos quais operam na frequência de 1 MHz, quatro na de 3 MHz e dois em ambas as frequências. Em todos os equipamentos testados foi realizado o teste da nebulização antes do teste do calorímetro para assegurar que os transdutores estavam em funcionamento.

Resultados

Primeiramente, o teste do calorímetro foi realizado no ultra-som “calibrado” pelo fabricante, o qual gera as frequências de 1 MHz e 3 MHz, obtendo-se os valores plotados nas figuras 2 e 3. Essas figuras mostram os dados obtidos (pontos) assim como as retas de ajuste aos dados (mínimos quadrados) para o equipamento sob frequência de 1 MHz e 3 MHz, respectivamente.

Analisando-se os gráficos, encontrou-se um coeficiente de correlação entre os dados de 0,98 para a frequência de 1 MHz e 0,99 para 3 MHz, o que mostra uma forte correlação entre o aumento da intensidade e o aumento da temperatura. Em relação à sensibilidade, encontrou-se 2,10 °C/(W/cm²) para 1 MHz e 2,30 °C/(W/cm²) para 3 MHz.

Durante a realização do teste da nebulização (realizado antes do teste do calorímetro) verificou-se que dos 19 equipamentos avaliados, 2 (11%) não nebulizaram, sendo excluídos do teste do calorímetro.

A tabela 1 mostra os resultados das variações da temperatura medidas para cada intensidade em cada equipamento na frequência de 1 MHz.

Tabela 1- Resultados das Variações de Temperaturas (em °C) na Frequência de 1 MHz para Cada Equipamento

Intensidade (W/cm ²)	Equipamento													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,13	0,93	0,67	1,70	1,10	1,20	2,40	1,20	0,40	0,93	1,90	1,00	1,43	0,50
1,0	0,90	3,83	2,60	3,90	2,23	2,73	3,40	2,50	0,80	1,63	3,30	2,33	3,60	1,13
1,5	2,00	4,85	4,40	4,50	4,56	3,70	4,70	3,60	1,50	2,36	4,05	3,43	4,63	1,60
2,0	3,50	6,36	5,50	6,10	6,60	5,40	5,40	4,60	1,80	3,00	5,33	4,25	5,76	2,00

Com o intuito de comparação dos equipamentos sob teste com o “calibrado”, foram calculadas as médias aritméticas das medições obtidas no teste com os equipamentos de 1 MHz em cada intensidade. Por meio dessas médias foi estabelecida uma reta de ajuste que resultou em $y = 2,36x + 0,004$.

A figura 4 mostra os dados obtidos (pontos), assim como a reta de ajuste aos dados do ultra-som calibrado e da média dos outros equipamentos.

Analisando-se o gráfico da figura 4, encontrou-se um coeficiente de correlação da reta de ajuste aos dados para a média dos equipamentos de 0,99, confirmando a forte correlação linear existente entre a variação da temperatura e a intensidade, similar ao gráfico da figura 2. Em relação à sensibilidade, como já descrito, obteve-se $2,10 \text{ }^\circ\text{C}/$

(W/cm^2) para o ultra-som “calibrado” e $2,36 \text{ }^\circ\text{C}/$ (W/cm^2) para a média dos equipamentos ($y = 2,36x + 0,004$), mostrando sensibilidades próximas (diferença em torno de 12%). Entretanto, verifica-se um desvio de zero entre as duas retas de ajuste, ou seja, para uma mesma intensidade, obtiveram-se temperaturas diferentes. O desvio de zero ocorre quando todos os valores de saída aumentam ou diminuem na mesma quantidade absoluta, o que pode caracterizar uma calibração errônea de fábrica ou variações ambientais de temperatura, choques mecânicos, vibrações, etc. (17).

Os equipamentos de 3 MHz foram analisados da mesma forma que os de 1 MHz. A tabela 2 mostra os valores medidos das variações da temperatura em cada intensidade nos equipamentos na frequência de 3 MHz.

Tabela 2 - Resultados das Variações de Temperaturas (em $^\circ\text{C}$) na Frequência de 3 MHz para Cada Equipamento

Intensidade (W/cm^2)	Equipamento			
	1	2	3	4
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	1,30	0,40	0,26	0,00
1,0	2,65	1,05	1,06	0,50
1,5	6,10	2,30	3,20	2,26
2,0	7,90	3,50	5,73	0,00

A figura 5 mostra os dados obtidos (pontos), assim como a reta de ajuste aos dados do ultra-som calibrado e da média dos outros equipamentos.

Na média dos equipamentos, encontrou-se um coeficiente de correlação de 0,98. Em relação à sensibilidade, obteve-se $2,25 \text{ }^\circ\text{C}/(\text{W}/\text{cm}^2)$ para as médias dos equipamentos ($y = 2,25x - 0,39$) e $2,30 \text{ }^\circ\text{C}/(\text{W}/\text{cm}^2)$ para o equipamento “calibrado” de 3 MHz. Nesse caso, o gráfico da figura 5 mostra um desvio de zero menor e uma pequena variação na sensibilidade das curvas, mas praticamente iguais ($2,25$ e $2,30 \text{ }^\circ\text{C}/(\text{W}/\text{cm}^2)$). O desvio de zero mínimo demonstra que a uma mesma intensidade, as temperaturas são praticamente as mesmas, assim como as suas variações de sensibilidade muito próximas.

A norma NBR IEC 1689 (2) especifica que a intensidade pode variar $\pm 20\%$ para cada valor ajustado. Este parâmetro foi utilizado para verificar quais temperaturas estavam dentro da norma, considerando a correlação entre a intensidade e a temperatura. Portanto, as temperaturas obtidas em cada equipamento nas intensidades de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 W/cm^2 foram comparadas às temperaturas da reta de ajuste do equipamento “calibrado” tanto na frequência de 1 MHz quanto 3 MHz.

As figuras 6 (para 1 MHz) e 7 (para 3 MHz) apresentam as retas de ajuste do equipamento “calibrado” com suas respectivas variações de $+20\%$ e -20% (retas superior e inferior). Também estão indicados nas figuras os valores para todos os outros equipamentos (pontos) obtidos das tabelas 1 (para 1 MHz) e 2 (para 3 MHz).

Nas figuras 6 e 7, observa-se que os equipamentos correspondentes aos pontos acima de 20% e abaixo de 20% não estão adequados aos limites da norma NBR IEC 1689 (2).

A Tabela 3 apresenta um resumo da situação verificada na prática para todos os equipamentos.

Tabela 3 - Resultados Obtidos no Teste do Calorímetro Segundo a Norma de Referência NBR IEC 1689 (2)

Frequência	Intensidade (W/cm ²)	N.º de equipamentos		
		-20%	Dentro da Norma	+20%
1 MHz	0,5	3	7	4
	1,0	4	3	7
	1,5	3	3	8
	2,0	3	4	7
TOTAL DE CASOS		13	17	26
3 MHz	0,5	3	0	1
	1,0	3	0	1
	1,5	2	1	1
	2,0	1	1	2
TOTAL DE CASOS		9	3	5
TOTAL GERAL		22	19	31

Discussão

O estudo de Pye et al. (12) aplicou o teste do calorímetro em equipamentos de ultra-som na Inglaterra e verificaram a correlação entre a variação da temperatura e a variação da intensidade. Essa correlação também foi encontrada nos testes realizados neste trabalho com o ultra-som previamente “calibrado” e nos demais utilizados. Esses resultados mostram que o teste do calorímetro pode ser utilizado para verificar as intensidades dos equipamentos pelo aumento de temperatura, pois deverá ser observada a mesma variação de temperatura para a mesma variação de intensidade, desde que haja registro das medições iniciais para cada equipamento. Uma variação maior ou menor que 20% (fora da curva do equipamento) implicará em procedimentos de reparo precoces, pois o equipamento estará funcionando em uma intensidade diferente da especificada pela norma e fora da sua curva padrão de sensibilidade.

O resultado obtido com o ultra-som “calibrado” foi utilizado como padrão para compara-

ção com os outros equipamentos. Utilizou-se a variação de $\pm 20\%$ da intensidade prevista na norma NBR IEC 1689 (2) e o termo comparativo foi a variação da temperatura. Ressalta-se que pelo fato de não se conhecer a exatidão do equipamento de referência utilizada pelo fabricante do equipamento de ultra-som para a calibração desse dispositivo e pelos valores obtidos no ensaio do fabricante (+5% para 1 MHz e +15% para 3 MHz em 2 W), alguns valores obtidos nas medições deste trabalho como dentro das variações da norma (até +20%) podem estar fora da tolerância e valores obtidos nas medições deste trabalho como fora das especificações da norma (abaixo de 20%) podem, na verdade, estar dentro da tolerância.

De qualquer forma, as relações quantitativas de dentro e fora das tolerâncias da norma devem se manter aos níveis obtidos.

As figuras 8 e 9 apresentam um resumo das situações obtidas para os equipamentos de 1 MHz e 3 MHz.

O teste do calorímetro mostrou que as intensidades (correspondendo às variações de tem-

peratura) de 70% (39) dos casos encontrados nos equipamentos nas frequências de 1 MHz (23% (13) abaixo de 20% e 47% (26) acima de 20%) e 87% (19) na frequência de 3 MHz (56% (9) abaixo e 31% (5) acima) estavam fora das normas. Stewart et al. (18) testaram a potência dos equipamentos de ultra-som e verificaram que 85% desses estavam fora das normas (27% acima e 60% abaixo). Repacholi e Benwel (19) encontraram 72%, Fyfe e Parnell (9) 78%, Snow (20) 78%, Rivest et al. (21) 70%. Esses autores utilizaram a variação de $\pm 20\%$. Lloyd e Evans (10) e Pye e Mylford (15) encontraram 41% e 69%, respectivamente, da potência fora das tolerâncias das normas, porém utilizaram uma variação de $\pm 30\%$. Todos esses estudos demonstraram que todas as potências que estão especificadas no painel não são reais, resultando em um tratamento ineficaz.

Conclusão

A aplicação do teste do calorímetro demonstrou que esse teste pode ser realizado sem maiores dificuldades práticas, de modo que um Fisioterapeuta treinado pode efetuar esse procedimento em sua clínica. O calorímetro é um dispositivo de baixo custo e o teste é rápido e fácil de se implementar. O teste deve ser realizado primeiramente durante a etapa de recebimento do equipamento, ocasião em que deverá ser plotada uma reta de ajuste (calibração) que será utilizada como referência para as outras medições. Cada equipamento deverá ter sua reta de calibração pelo teste do calorímetro e as novas medições que serão realizadas semanal ou mensalmente deverão ser efetuadas sempre da mesma maneira. Apesar de o teste do calorímetro não ser um teste quantitativo em termos absolutos, ele poderá ser utilizado para verificação das intensidades pela variação de temperatura, que, se diferir do padrão inicial indicará presença de alguma falha do equipamento. Reitera-se que apesar do equipamento utilizado como referência nas medições ter sido considerado “calibrado”, ele apresentava desvios de calibração e, portanto, os resultados obtidos sofreram essa influência. Não obstante, comparando-se os resultados finais com os de outros trabalhos, há grande semelhança o que mostra a tendência correta deles. De qualquer forma, esse teste é útil para os Fisioterapeutas, pois atualmente só é realizado o

teste da nebulização para verificar o “funcionamento” do equipamento. Em muitas circunstâncias práticas há a queixa do paciente em relação ao superaquecimento do cabeçote, o que demonstra a importância de um teste que possa verificar esse aumento da temperatura, provavelmente relacionado a um aumento de intensidade indesejada.

Referências

1. Ecri. Healthcare Product Comparison System (HPCS). [1 CD-ROM], **Scanning systems, ultrasonic, general purpose; abdominal; obstetric gynecologic**. PA, EUA: ECRI, Plymouth Meeting; 1999.
2. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **Ultrason: sistemas de fisioterapia: prescrições para desempenho e métodos de medição na faixa de frequências de 0,5 MHz a 5 MHz**, NBR IEC 1689. Rio de Janeiro;1998.
3. Michlovitz S. **Thermal agents in rehabilitation**. 3.ª ed. Philadelphia: Davis Company; 1998.
4. Alvarenga AV. **Implementação de protocolo para obtenção de parâmetros do feixe acústico de transdutores ultra-sônicos biomédicos**. Rio de Janeiro;1999. Dissertação [Mestrado COPPE] - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro;1999.
5. Kossoff G. Calibration of ultrasonic therapeutic equipment. **Acustica**. 1965;12.
6. Allen KGR, Battye CK. Performance of ultrasonic therapy instruments. **Physiotherapy** 1978; 64(6):174-178.
7. Docker MF. A Review of instrumentation available for therapeutic ultrasound. **Physiotherapy** 1987; 73(4): 154-155.
8. Miller EB, Yaghjian AD. Two theoretical results suggesting a method for calibrating ultrasonic transducer by measuring the total near field force. **J. Acoust. Soc. Am** 1979; 66(6):1601-1608.
9. Fyfe MC, Parnell SM. The importance of measurement of effective transducer radiating area in the testing and calibration of “therapeutic” ultrasonic instruments. **Health Physics** 1982; 43(3): 377-381.

10. Lloyd JJ, Evans JA. A calibration survey of physiotherapy ultrasound equipment in North Wales. **Physiotherapy** 1988; 74(2).
11. Hekkenberg, RT, Reibold R, Zeqiri B. Development of standard measurement methods for essential properties of ultrasound therapy equipment. **Ultrasound in Medicine & Biology** 1994; 20(1): 83-98.
12. Pye SD, Milford C. The performance of ultrasound physiotherapy machines in lothian region, Scotland, 1992. **Ultrasound in Medicine & Biology**, United States, v. 20, n. 4, p. 347-359, 1994.
13. Guirro R, Serrão F, Elias D, Bucalon AJ. Calibration of acoustic intensity of therapeutic ultrasound equipment in use in the city of Piracicaba. **Revista Brasileira de Fisioterapia** 1997; 2(1): 35-37.
14. Ishikawa NM. **Avaliação de equipamentos de ultra-som para fisioterapia segundo a norma NBR IEC 1689 da Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Rio de Janeiro; 2000. Dissertação [Mestrado – COPPE] Universidade Federal do Rio de Janeiro.
15. Pye S, Hildersley K, Somer E, Munro V. A simple calorimeter for monitoring the output power of ultrasound therapy machines. **Physiotherapy**; 1994;80(4).
16. Garcia EAC. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier; 2000.
17. Webster JG. **Medical instrumentation: application and design**. 3. edth. New York: John Wiley & Sons; 1998.
18. Stewart HF et al. Survey of use and performance of ultrasonic therapy equipment in pinellas county, Florida. **Physical Therapy** 1974;54(7): 707-714.
19. Repacholi MH, Benwell D A. Using surveys of ultrasound therapy devices to draft performance standards. **Health Physics** 1979;36(36): 679-686.
20. Snow CJ. Ultrasound therapy units in manitoba and northwestern Ontario: performance evaluation. **Physiotherapy Canada** 1982;34(4):185-189.
21. Rivest M, Girardi CQ, Searbone D, Lambert J. Evaluation of therapeutic ultrasound devices: performance stability over 44 weeks of clinical use. **Physiotherapy Canada** 1987;39(2):77-86.

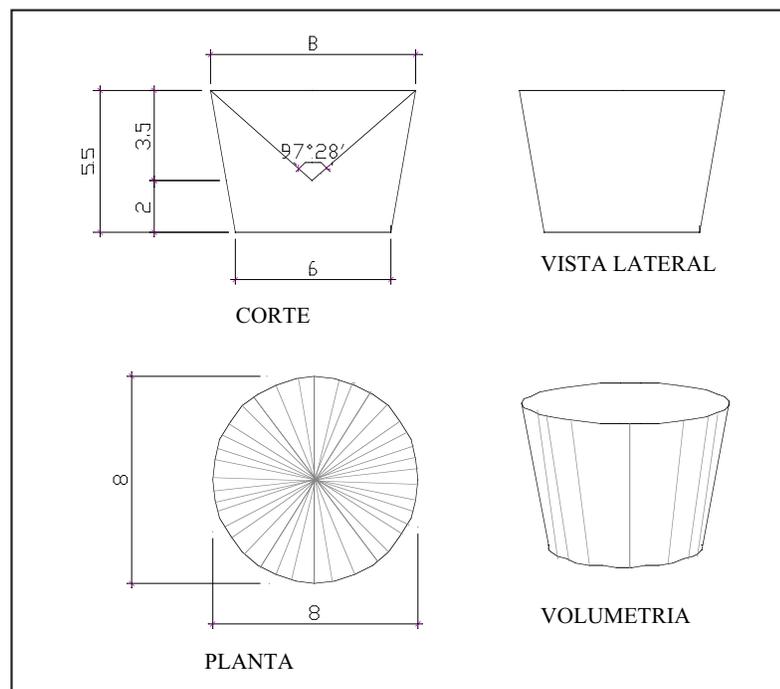


Figura 1 - Componentes em Polietileno para o Teste do Calorímetro. Dimensões em Centímetros.

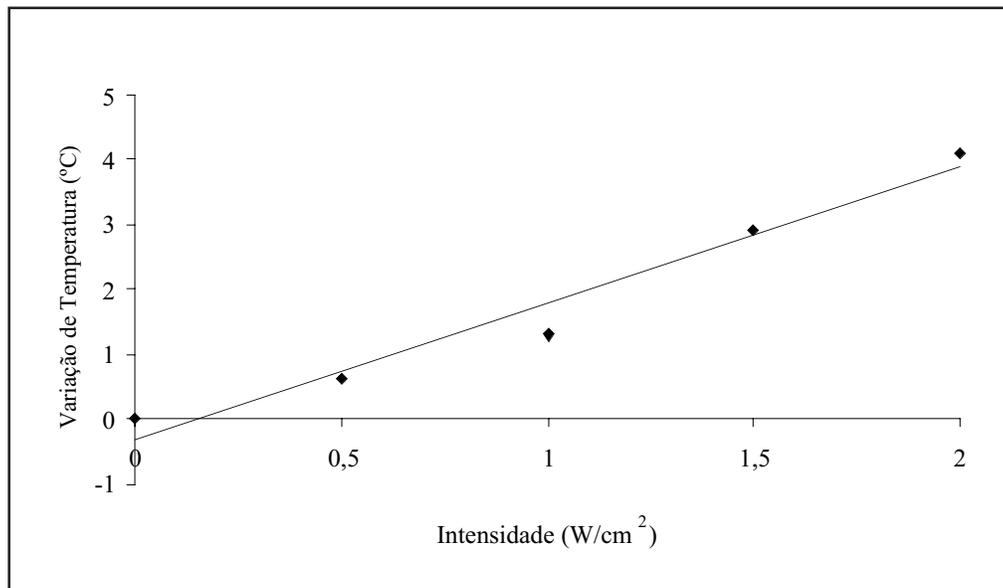


Figura 2- Gráfico da Relação Variação de Temperatura-Intensidade para o Equipamento "Calibrado" como Obtido com o Calorímetro na Frequência de 1 MHz (n=5). Retas de Ajuste: $y = 2,10x - 0,32$.

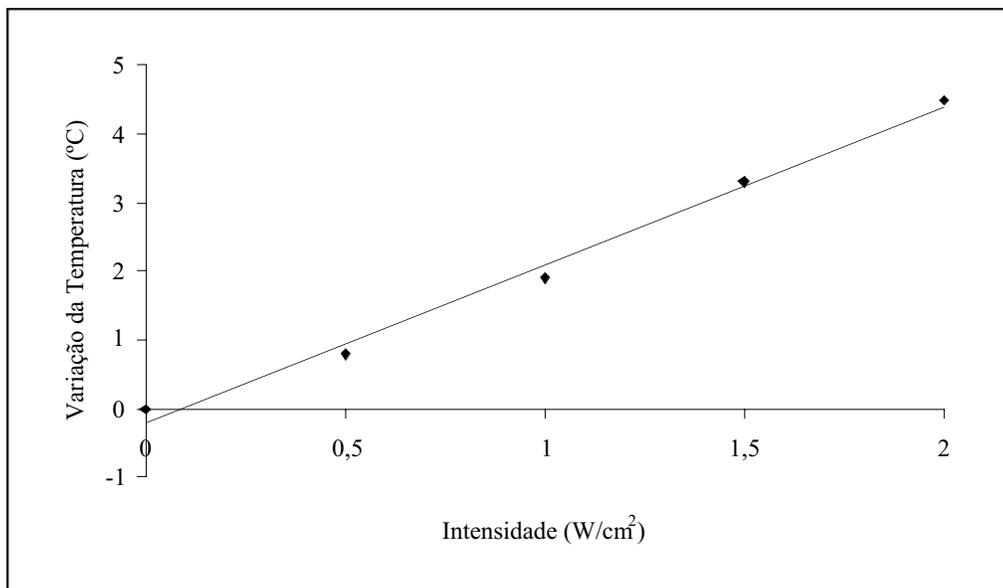


Figura 3 - Gráfico da Relação Variação de Temperatura-Intensidade para o Equipamento "Calibrado" como Obtido com o Calorímetro na Frequência de 3 MHz (n=5). Retas de Ajuste: $y = 2,30x - 0,20$.

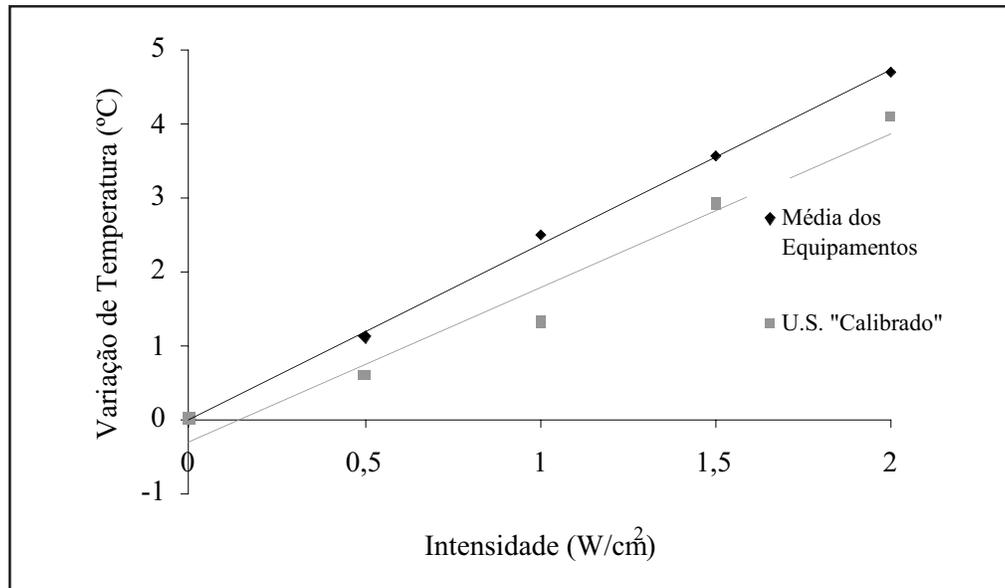


Figura 4- Gráfico da Relação Variação de Temperatura-Intensidade como Obtido com o Calorímetro na Frequência de 1 MHz no Ultra-som "Calibrado" e na Média dos Outros Equipamentos. n= 14 (média).

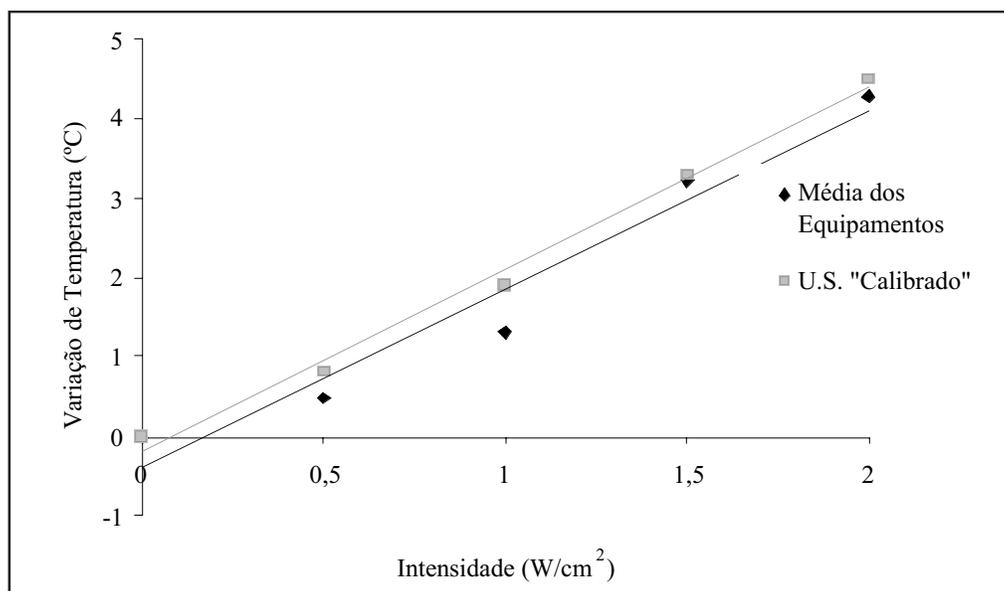


Figura 5- Gráfico da Relação Variação de Temperatura-Intensidade como Obtido com o Calorímetro na Frequência de 3 MHz no Ultra-som "Calibrado" e na Média dos Outros Equipamentos. n=4 (média).

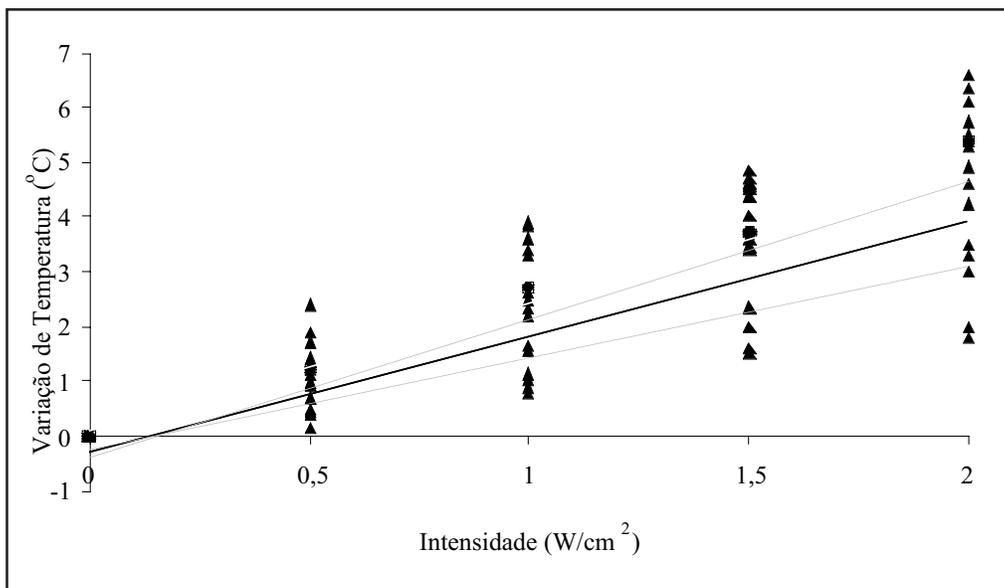


Figura 6- Gráfico dos Dados Obtidos para os Equipamentos e a Reta de Ajuste do Equipamento "Calibrado" na Frequência de 1 MHz.

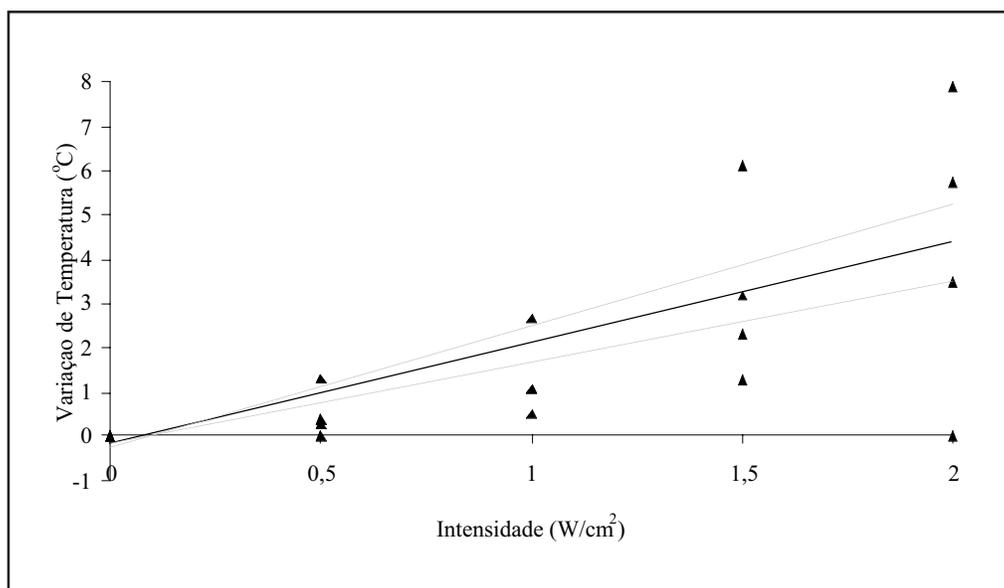


Figura 7- Gráfico dos Dados Obtidos para os Equipamentos e a Reta de Ajuste do Equipamento "Calibrado" na Frequência de 3 MHz. As retas superior e inferior indicam +20% e -20% de variação, respectivamente.

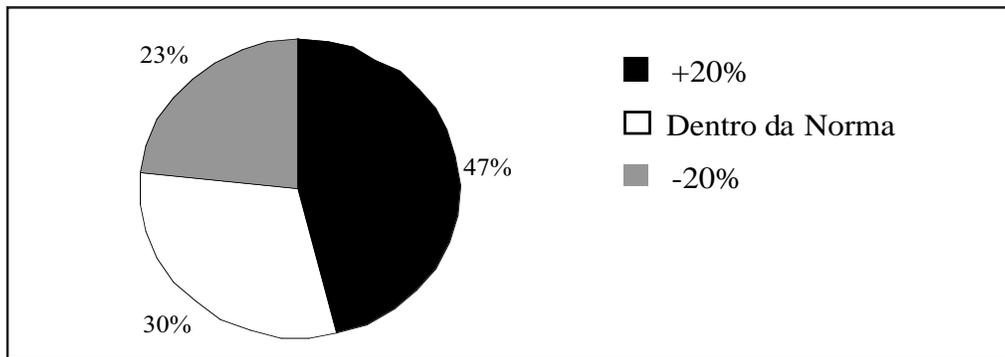


Figura 8- Porcentagem de Equipamentos de 1 MHz (n = 56) Dentro e Fora da Tolerância da Norma

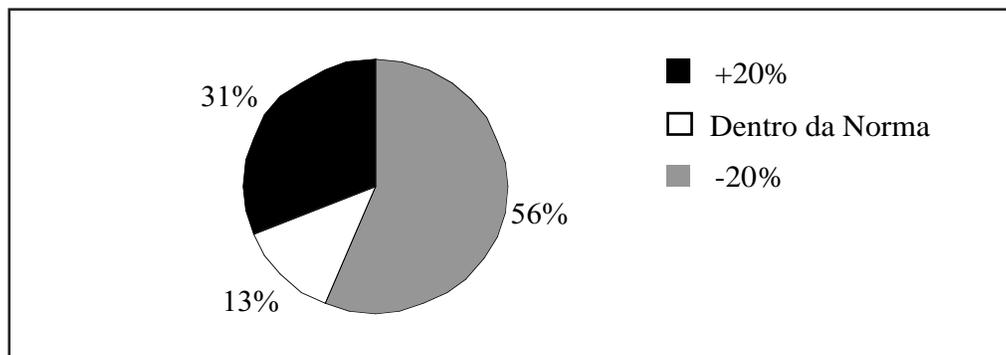


Figura 9- Porcentagem de Equipamentos de 3 MHz (n = 16) Dentro e Fora da Tolerância da Norma

Recebido em: 25/01/05
Aprovado em: 14/04/05