

## PROPOSTA DE AULA EXPERIMENTAL PARA ENSINO DE ULTRASSOM

J. T. Goulart\*, J. W. M. Bassani\*\*\*, E. T. Costa\*\*\* e P. X. Oliveira\*\*\*

\*Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Unicamp, Campinas, Brasil

\*\* Centro de Engenharia Biomédica, Unicamp, Campinas, Brasil

e-mail: pedrox@ceb.unicamp.br

**Resumo:** Neste trabalho apresentamos uma proposta de aula experimental para introdução do mais básico princípio de funcionamento do ultrassom e da reconstrução de imagens pela técnica de “pulso-eco”. O experimento proposto pode ser facilmente utilizado em aulas práticas de um curso de introdução à engenharia biomédica, não requerendo grandes investimentos. Nosso roteiro permite que o estudante tenha contato com parte do processo de obtenção de uma imagem de ultrassonografia. Um sinal de “pulso-eco” mapeado em um plano com um transdutor monoelemento é utilizado para reconstruir um objeto metálico oculto em água turva. O procedimento é realizado num plano com duas resoluções (deslocando o transdutor no plano a passos de 0,5 ou 1 cm), o que permite ao aluno discutir a importância da resolução da imagem. O experimento (detectar um cilindro e/ou um paralelepípedo metálico) se mostrou bastante adequado para o ensino de alunos de graduação com interesse em ultrassonografia ou instrumentação biomédica.

**Palavras-chave:** ultrassom, aula prática, transdutor.

**Abstract:** *In this paper we present a proposal for an experiment using ultrasound to introduce to the student the most basic principle of operation of ultrasound equipment and image reconstruction by the pulse-echo technique. The experiment can be easily done in laboratory classes of an introductory course on biomedical engineering with very little investment. The proposed experiment allows the student to understand and implement part of the process of obtaining an ultrasound image. A mono-element transducer is used to generate ultrasound pulses and to detect echoes coming from a metallic object hidden by turbid water, scanned in a plane. The procedure is carried out in a plane moving the transducer on 0.5 and 1.0 cm steps, allowing the student to visualize and discuss the importance of image resolution. The experiment was carried out in our lab with two different steel objects (a cylinder and a rectangular base block) and has shown to be very useful for teaching undergraduate students interested in ultrasound imaging or biomedical instrumentation.*

**Keywords:** *ultrasound, practical class, transducer.*

### Introdução

O ultrassom é uma onda mecânica com frequência superior a 20 kHz. Seu uso é de grande interesse na prática médica, pois possibilita a obtenção de imagens

de forma não-invasiva, não usa radiação ionizante e apresenta custo substancialmente inferior a outras técnicas de imagem médica. A obtenção de imagens por ultrassom é possível porque, assim como toda onda mecânica, o ultrassom pode sofrer reflexão, refração e absorção ao se propagar por um meio material. Assim, à medida que as ondas se propagam por meios com diferentes impedâncias acústicas (como ocorre na interface entre diferentes estruturas ou tecidos biológicos) surgem ecos que podem ser detectados. Conhecendo a velocidade de propagação do ultrassom no meio de interesse e o tempo entre a emissão do pulso de ultrassom e a recepção do eco, a distância entre uma dada interface e o transdutor de ultrassom é facilmente estimada. Esta técnica de detecção de distâncias, conhecida como “pulso-eco”, é a base para a construção das imagens de ultrassonografia [1, 2, 3].

Portanto, em decorrência de sua simplicidade, segurança e interesse médico, o estudo prático do princípio de funcionamento dos aparelhos de ultrassom se mostra uma excelente abordagem para introduzir o estudante ao campo da instrumentação biomédica. Evidentemente, esse estudo prático deve ser acompanhado de uma base teórica, sendo a atividade prática um importante complemento no qual o aluno poderá vivenciar todo o processo de funcionamento do equipamento, desde o entendimento de seu princípio físico até a obtenção de seu resultado final, i.e., uma imagem reconstruída. Diversos trabalhos já mostraram que, se conduzido corretamente, o contato prático com o objeto de estudo amplia a capacidade de internalização do conhecimento pelos alunos, bem como enaltece discussões e debates em sala de aula, fomenta a criatividade e favorece a valorização dos conhecimentos teóricos, algumas vezes abstratos, atrelados ao entendimento do fenômeno prático observado [4, 5, 6, 7].

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a proposta de uma aula prática simples sobre a utilização do ultrassom que permita aos alunos de engenharia biomédica um primeiro contato com os desafios comumente encontrados no desenvolvimento de instrumentação biomédica.

### Materiais e métodos

No início da aula prática, o professor deve relembrar os alunos sobre os pontos teóricos que embasam a formação de imagem por ultrassom modo B. Assim,

com a instrumentação descrita a seguir, é coletado um sinal de eco, descrito seu processamento no modo A, explicada a transformação de cada linha A em tons de cinza, com o encadeamento do mapeamento do objeto sob estudo com as diversas linhas A obtidas, formando a imagem em modo B. Como método alternativo para a obtenção de informações do objeto, sem necessidade de aparato adicional, os estudantes são levados a realizar um experimento mais simplificado, tratando os sinais de eco obtidos com e sem o objeto de estudo e utilizando somente as distâncias para geração de imagens, não em tons de cinza, mas a partir de medições de tempo de voo dos pulsos de ultrassom (ecos ultrassônicos).

No experimento proposto, é utilizado um transdutor circular plano com 7 mm de diâmetro, sem focalização. O estudante deve inserir o suporte de transdutor (Figura 1. Fabricação Centro de Engenharia Biomédica – Unicamp, Campinas – SP) em um recipiente com água, de forma que somente a face do transdutor de ultrassom monoelemento (Figura 1) fique submersa. Um cilindro de aço (Figura 2-A) deve ser colocado logo abaixo do transdutor e o aluno deve ajustar o sistema pulso-eco (Fabricação Panametrics, Waltham, MA, USA - mod. 5072) de modo a observar o pulso gerado pelo aparelho e seu primeiro eco na tela do osciloscópio (Fabricação Tektronix Inc., Beaverton, Oregon, U.S.A. - mod. TDS-360). Utilizando o osciloscópio, o aluno deve medir o tempo entre o pulso gerado e o primeiro eco (T). Este procedimento deve ser repetido sem o cilindro e sem modificar a altura do transdutor com relação à base do suporte. A distância da face do transdutor e o anteparo (D) deve ser calculada pela equação 1:

$$D = c * T/2 \quad (1)$$

onde,  $c = 1480$  m/s (velocidade do ultrassom na água).

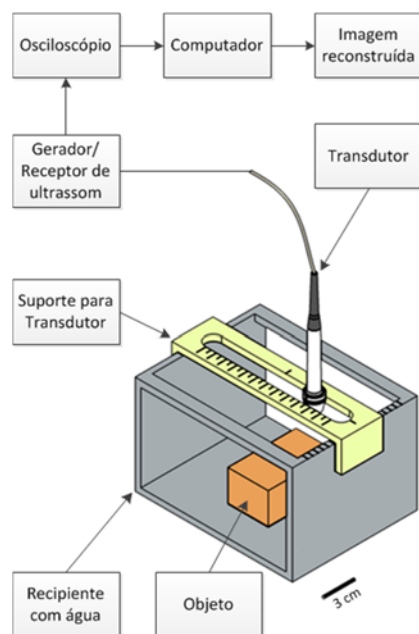


Figura 1: Diagrama de blocos do sistema utilizado em aula.

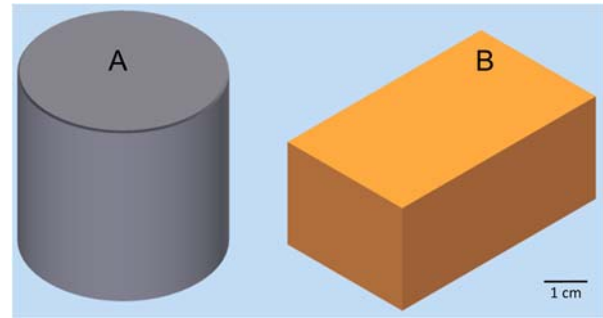


Figura 2: A) Ilustração de um cilindro de aço; B) Ilustração de um paralelepípedo de aço.

Subtraindo a distância entre o transdutor e a base do suporte e entre o transdutor e o cilindro, temos a altura do cilindro, que deve ser comparada com sua altura real.

Uma vez que o aluno entenda um dos modos de calcular a altura do cilindro, lhe será proposto a realização do mesmo procedimento com uma montagem similar. No entanto, nesta etapa a água será escurecida com anilina preta e, portanto, não será possível identificar visualmente o objeto abaixo do transdutor. Primeiramente o aluno deve fazer uma varredura com o transdutor, deslocando o transdutor e a régua da base para transdutor com um passo de 1 cm, e anotar T para cada posição. Utilizando a equação 1, calcula-se D para cada posição e subtraindo cada valor de D de  $D_M$  ( $D$  máximo), equivalente à distância do transdutor até a base, obtém-se a altura do objeto para cada posição. O aluno deverá plotar um gráfico 3D e reconstruir a forma do objeto. Este procedimento deverá ser repetido com um passo de 0,5 cm. As reconstruções apresentadas foram obtidas com auxílio do *software* MATLAB 7.1 (The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA).

Após o término do experimento, o objeto deverá ser retirado da água turva e suas medidas (obtidas com um paquímetro) comparadas com as observadas no gráfico 3D.

## Resultados

A Figura 3 mostra o tempo entre o pulso gerado e o primeiro eco que foi de  $26\mu\text{s}$  (Figura 3-A) e  $92,3\mu\text{s}$  (Figura 3-B), com e sem o cilindro, respectivamente. Calculando D para cada caso e fazendo a subtração obtemos 4,91 cm para a altura do cilindro.

Ao fazermos a varredura com o transdutor de ultrassom, sem sabermos qual a forma do objeto, calculamos D para cada posição e subtraímos a distância máxima para assim obter os gráficos das Figuras 4-A (varredura de 1 cm) e 4-B (varredura de 0,5 cm), para o cilindro (Figura 2-A), e Figuras 4-C (varredura de 1 cm) e 4-D (varredura de 0,5 cm) para o paralelepípedo (Figura 2-B).

A Tabela 1 apresenta as dimensões dos objetos obtidas experimentalmente (Figura 4) nas direções x, y (face superior do objeto), e z (altura máxima). As dimensões reais do cilindro são 5 x 5 cm (diâmetro x

altura) e as do paralelepípedo 3 x 6,5 x 3,9 mm (largura x comprimento x altura).

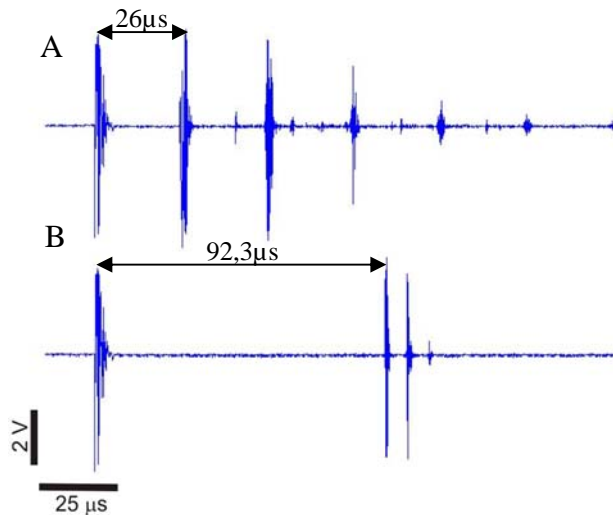


Figura 3: Gráficos tensão x tempo do sinal de ultrassom (linhas A) para 2 casos: A) Com o cilindro de aço embaixo do transdutor e B) Sem o cilindro de aço.

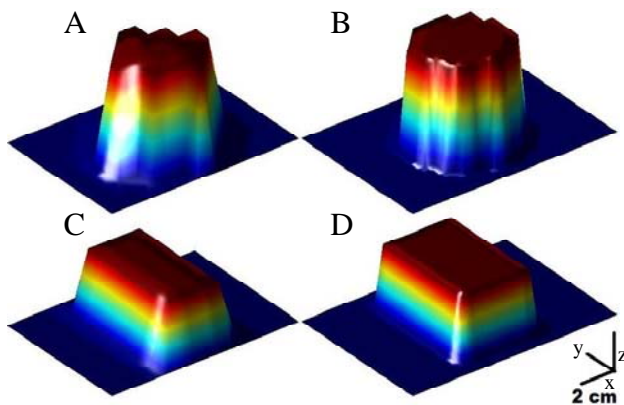


Figura 4: Gráficos x, y e z obtidos da varredura do sinal de ultrassom para 4 casos: A) Cilindro de aço com varredura de 1 cm; B) Cilindro de aço com varredura de 0,5 cm; C) Paralelepípedo de aço com varredura de 1 cm; D) Paralelepípedo de aço com varredura de 0,5 cm.

Tabela 1: Dimensões obtidas experimentalmente via ultrassom pulso-eco.

Objeto	Varredura (cm)	x (cm)	y (cm)	z (cm)
Cilindro	1,0	5	6	4,9
	0,5	5	5	4,9
Paralelepípedo	1,0	3	6	3
	0,5	4	6	3

## Discussão

Apresentamos aqui uma proposta de roteiro para um experimento que pode ser usado em aulas práticas de introdução à engenharia biomédica, ou instrumentação biomédica, nas quais utilizamos como objeto de estudo o ultrassom para detecção de objetos em meio turvo.

O experimento proposto foi satisfatoriamente aplicado como parte do conteúdo da disciplina EA097 (Técnicas Experimentais em Engenharia Biomédica) da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas. Os alunos, estudantes do curso de Engenharia Elétrica, não apresentaram quaisquer dificuldades técnicas em executar o experimento e demonstraram interesse em participar, aprovando a atividade quando questionados. Em nossa aplicação, o público atendido facilitou a execução do experimento, uma vez que já estavam todos habituados a utilizar os equipamentos eletrônicos necessários. Caso o público alvo da atividade não conheça previamente as ferramentas que serão utilizadas, é importante que haja um treinamento prévio ou o auxílio de monitores. Negligenciar este detalhe poderá levar os alunos a despender muito tempo simplesmente para se familiarizarem e aprenderem a operar o osciloscópio, por exemplo, o que terminaria criando dificuldades e desviaria o foco dos problemas que realmente são interessantes de serem abordados, i.e., aqueles relativos à obtenção de uma imagem utilizando-se da técnica de ultrassom “pulso-eco”.

Os dados obtidos no experimento proposto permitiram uma boa aproximação dos objetos ocultos após reconstrução 3D. Evidentemente um erro é esperado e inerente à resolução espacial reduzida, nos eixos x e y do sistema utilizado, mas fica clara a melhoria da aproximação quando se aumenta a resolução do sistema, usando passos de 0,5 cm ao invés de 1 cm. Entretanto, mesmo com a resolução máxima, 0,5 cm, o objeto (principalmente o cilindro) não é perfeitamente reproduzido. Isso ocorre porque na melhor das hipóteses essa resolução equivale a 1/10 da dimensão do objeto em estudo. Além disso, o diâmetro do transdutor circular plano (7 mm), sem focalização, com a consequente integração da onda refletida aliada ao espalhamento do feixe ultrassônico limitam a resolução do sistema. Todavia, ao invés de uma limitação, este artefato permitiu o desenvolvimento de uma ampla discussão dos alunos a este respeito, incentivando-os a proporem soluções (por exemplo, o possível uso de transdutor focalizado com foco na distância transdutor/objeto) para correção, bem como compreenderem as consequências da utilização de um sistema inadequado na obtenção de uma imagem médica, algo que em uma situação real culminaria em um diagnóstico ineficiente ou mesmo errôneo. A apresentação de normas para qualidade de imagem [8] pode ser interessante para que os alunos tenham base dos critérios de qualidade comumente adotados.

O erro da medida da altura, eixo z, foi mínimo e devido, principalmente, ao posicionamento do

transdutor no suporte, que não garantia sempre a mesma altura e/ou ao erro da medida do tempo entre o pulso e o eco. A solução utilizada para minimizar este erro foi o alinhamento (a cada medida) de uma linha guia do transdutor ao suporte. Entretanto, o desenvolvimento de um suporte que garanta este alinhamento seria desejável.

Sabe-se que o método alternativo aqui proposto para geração de imagem por ultrassom de um objeto oculto (como um órgão do corpo humano, por exemplo) não é utilizado na prática, ou seja, não é o método utilizado para geração de imagem médica em equipamentos de ultrassonografia. Entretanto, com os estudantes cientes das duas formas de obtenção de informações com uso do ultrassom, o presente experimento permite ao aluno conhecer as formas simples de medições que são geralmente realizadas nas imagens médicas com os equipamentos de ultrassonografia, fazendo uso de conceitos como tempo de voo, velocidade do meio, etc.

O experimento aqui proposto é apenas um dos que compõem o conjunto do curso. Na sequência de aulas, os alunos são levados a manipular *phantoms* comerciais ou construídos no laboratório, e instruídos a utilizar o ferramental aqui apresentado e em seguida um equipamento de ultrassom que permite a aquisição e posterior processamento de linhas-A. Entretanto, isto não é descrito neste trabalho, que é introdutório.

Vale ressaltar que é muito importante que a atividade seja executada com supervisão constante do professor responsável. Mais do que garantir a segurança dos estudantes, cabe ao professor responsável apresentar o problema aos alunos e desenvolver discussões e questionamentos durante a execução do experimento. A simples entrega de um roteiro do experimento aos alunos provavelmente não será eficaz, pois pode resultar em uma atividade mecânica, improdutiva e até mesmo cansativa e repetitiva, mesmo o experimento durando em torno de 20 minutos para ser executado. A participação ativa de um responsável capaz de ter em mente o objetivo da atividade, auxiliando o aluno a fazer as ligações necessárias entre os fenômenos observados e a teoria por trás deles, bem como fomentando os questionamentos acerca do problema, é imprescindível para o sucesso da atividade experimental aqui proposta, e de qualquer outra atividade prática voltada ao ensino de ciência [7]. Se conduzida corretamente, a utilização deste experimento se mostra uma excelente ferramenta didática, não apenas para o estudo da ultrassonografia em si, mas principalmente para incentivar o espírito de investigação e busca por soluções diversas na resolução de problemas, algo que será uma constante na vida profissional de um engenheiro biomédico.

## Conclusão

Quando aplicado em aula prática, o experimento proposto aqui foi capaz de induzir a ideia de reconstrução de um objeto desconhecido por meio de sinais obtidos por um sistema de ultrassom. Além disso, sua aplicação representou uma excelente alternativa

didática, prática e relativamente simples para introduzir aos alunos os conceitos básicos da ultrassonografia e de instrumentação biomédica em geral.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Área de Pesquisa e Desenvolvimento do CEB/Unicamp, em especial ao técnico Renato da Silva Moura.

## Referências

- [1] Wells PNT. Biomedical ultrasonics. 1ª ed. London: Academic Press Inc; 1977.
- [2] Bronzino JD. Biomedical engineering and instrumentation: Basic concepts and application. 1ª ed. Boston: PWS Engineering; 1986.
- [3] Christensen DA. Ultrasonic bioinstrumentation. 1ª ed. New York: John Wiley & Sons; 1988.
- [4] Hofstein A, Lunetta VN. The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of research. *Review of Educational Research*. 1982; 52(2):201-17.
- [5] Hodson D. Assessment of practical work. *Science & Education*. 1992; 1(2):115-44.
- [6] Abrahamsa I, Reiss MJ, Sharpe RM. The assessment of practical work in school science. *Studies in Science Education*. 2013; 49(2):209-51.
- [7] Abrahams I, Millar R. Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*. 2008; 30(14):1945-69.
- [8] Goodsitt MM, Carson PL, Witt S, Hykes DL, Kofler Jr JM. Real-time B-mode Ultrasound Quality Control Test Procedures. Report of AAPM Ultrasound Task Group No. 1. *Medical Physics*. 1998; 25(8):1385-406.