

---

# Guia do professor: UEPS para o ensino de Ultrassom

**Helcio Mezzetti de Souza**, Universidade Federal do ABC

---

**A** onda sonora é um fenômeno físico perceptível ao ouvido humano estando em uma determinada faixa de frequência. O ultrassom, por sua vez, é um som com uma frequência alta suficiente para que não seja reconhecido. Diferentemente do som audível, a propriedade de ser resistente à difração torna o ultrassom um instrumento eficaz para a detecção de distâncias e velocidades estando, portanto, presente em muitos artefatos tecnológicos do cotidiano. Porém, o estudo do ultrassom é comumente tratado de forma muito superficial nos conteúdos de física do Ensino Médio e havendo pouca referência ao uso tecnológico do fenômeno. Com o propósito de fazer a conexão entre o estudo do ultrassom no Ensino Médio e a tecnologia em que ele é embarcado, propomos uma sequência de aulas para essa ligação. A sequência proposta tem como metodologia uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) associada a: um vídeo sobre a utilização do ultrassom para detecção de falhas estruturais de objetos; e a um experimento para detectar o intervalo de tempo de um pulso ul-

trassônico refletido por um obstáculo. Pretendemos com essa proposta, diminuir a distância entre o conhecimento de ondas ultrassônicas e sua aplicação tecnológica em diversas áreas e os alunos do Ensino Médio.

## 1 Apresentação

O som é uma perturbação de pressão do ar que pode ser detectada pelo ouvido humano. Para as flutuações harmônicas de pressão, o alcance típico de frequência em que o ouvido humano pode perceber é de :

$$20\text{Hz} \leq f \leq 20\text{kHz}$$

Contudo, o escopo do significado do som é estendido para frequências maiores ou menores que o som audível (infrassom e ultrassom). Dessa forma, o infrassom é um som cuja frequência seja menor que 20Hz. Esse tipo de som pode se propagar por cerca de 100km sem diminuir consideravelmente sua amplitude pois sua atenuação em função da distância da fonte depende do quadrado da frequência na qual é um valor baixo. Dessa maneira, essa característica torna o infrassom

importante para o monitoramento de explosões nucleares e eventos sísmicos.

Ondas sonoras com frequência acima de 20kHz são consideradas como ultrassom. Diferentemente do som audível, o som nessa frequência tem efeitos de difração minimizado pela relação entre o comprimento de onda e a largura dos obstáculos presentes em nosso cotidiano. Essa característica permite direcionar o ultrassom em um ângulo muito inferior ao que pode ser feito com o som audível. Dessa forma, podemos detectar pulsos ultrassônicos refletidos por alguma superfície a centímetros da fonte, sem que esse se deforme devido a difração.

Essa característica permite o uso do ultrassom de forma diferente do uso do som. O domínio da geração e detecção de ultrassom abriu diversas oportunidades de aplicação tecnológica nas diversas áreas da atividade humana, afetando o cotidiano do cidadão contemporâneo. A maior parte da aplicação do ultrassom em tecnologia consiste de gerar um pulso ultrassônico e captá-lo após ser refletido e/ou transmitido por um meio material. Das diversas utilizações do ultrassom podemos citar:

1. na medicina: diagnóstico por ultrassonografia, por efeito Doppler;
2. na engenharia: detecção de falha de estrutura de concreto na construção civil, monitoramento de materiais e estruturas utilizados em projetos navais, aeronáuticos;
3. na biologia: instrumento de medição de tecidos biológicos;
4. na estética: redução de tecido liposo;
5. na indústria, limpeza de ferramentas e produtos, detecção de superfícies metálicas, controle de instrumentos robóticos, sensores de monitoramento no automóvel, entre outras.

Desses exemplos de aplicação, podemos destacar o monitoramento e inspeção de soldas em projetos de engenharia. Com essa informação pode-se iniciar uma intervenção técnica em tempo adequado ao ponto de minimizar gastos com materiais e anular efeitos indesejáveis no projeto que possam acarretar em problemas de cunho

social, pessoal e ambiental. Partindo desse exemplo de aplicação tecnológica do ultrassom, podemos perceber o quanto é importante esse conhecimento para o cidadão, mesmo que esse seja de forma superficial.

Acreditando que o Ensino Médio e a escola têm como função a formação do indivíduo, pressupomos ser necessária uma intervenção pedagógica do ensino da Física de ultrassom quando o aluno tiver contato com a parte de ondas mecânicas e/ou acústica. Dessa necessidade, propomos um produto educacional baseado em uma unidade de ensino potencialmente significativo (UEPS). Essa unidade de ensino consiste de uma sequência de aulas potencialmente significativas e assistidas por um vídeo que informa ao aluno a importância do tema e um experimento demonstrativo sobre o uso e a aplicação do ultrassom .

## 2 Sequências de aulas baseada em UEPS

A metodologia aplicada nesse trabalho leva em consideração a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Baseado nessa teoria, é definido as UEPS (Unidades de Ensino Potencialmente Significativas) cujas concepções da teoria são realizadas na construção de um planejamento para uma aprendizagem significativa. Dessa maneira, para o desenvolvimento da UEPS, são necessários princípios facilitadores. São eles: a diferenciação progressiva em que se parte de uma ideia geral para conceitos específicos de maneira progressiva; a reconciliação integradora na qual as diferenças e semelhanças entre os conceitos são explorados de forma a reconciliar suas inconsistências reais e aparentes, a organização sequencial pela qual os conteúdos são organizados sequencialmente e com um formato lógico e a consolidação que traz a persistência do domínio do conteúdo antes de se inserir novos conceitos e conhecimentos.

Construímos a UEPS com o tema de Ultrassom contemplando vários conceitos a serem trabalhados pelo método. Entre eles: oscilações, ondas mecânicas, ondas sonoras, acústica e velocidade do som, ultrassom, funcionamento do dispositivo eletrônico baseado na piezoelectricidade e as aplicações do ultrassom. A UEPS foi elaborada

por meio dos seguintes passos:

1. **Tarefa inicial:** os grupos são incentivados a elaborar em um mapa mental. Esse mapa constitui-se de diagramas associáveis livres de relações de conceitos, hierarquia e podendo até incluir coisas que não são conceitos. Os grupos farão o mapa mental usando fichas com as seguintes palavras : (Natureza) ondas eletromagnéticas - ondas mecânicas – (meio de propagação) sólido – líquido – gás – vácuo – (elementos) comprimento – frequência – amplitude – período – energia – velocidade – (aplicação) – medicina – engenharia – estética – (tipos de onda) – som – ultrassom – luz visível – (dispositivos de geração) – caixas acústicas – instrumentos musicais – lâmpadas incandescentes – (dispositivos de detecção) – ouvidos – olhos – chapa fotográfica. Após realizar a tarefa, cada grupo explica seu mapa mental para os demais. A atividade envolverá 2 horas/aulas.

2. **Situações-problema iniciais:** Serão apresentadas as seguintes questões aos alunos:

- a) O que você já leu ou ouviu sobre ultrassom? (b) Qual a física por trás do ultrassom?
- b) Qual a física por trás do ultrassom?
- c) Como podemos detectar falhas em sólidos usando ultrassom?
- d) Dê alguns exemplos de implicações do ultrassom no cotidiano.

Após assistir ao vídeo, os alunos, em grupos, responderão as questões e apontarão trechos do vídeo onde encontraram dificuldades em entender o tema. A atividade envolverá 1 hora/aula.

3. **Aprofundando conhecimentos:** Com os dados coletados na atividade do mapa livre, nas respostas do questionário e nas palavras destacadas durante o vídeo, teremos elementos para uma diferenciação progressiva dos conceitos relacionados com ultrassom. Com o objetivo de reconciliar os conceitos, faremos um experimento demonstrativo de geração e de detecção de ultrassom baseado em um sensor acoplado em uma plataforma

de Arduino. Após a experimentação, será proposta uma organização sequencial em que os grupos retomarão aos destaques feitos por eles em relação a trechos não compreendidos do vídeo e construirão um resumo para melhor entendê-los. A etapa se desenvolverá em aproximadamente 2 horas/aula.

4. **Nova Situação-Problema:** Os alunos, em grupo, pesquisarão uma aplicação do ultrassom e apresentarão aos colegas. A pesquisa será realizada como tarefa de casa e a apresentação envolve uma hora/aula. Com a assistência do professor, os grupos construirão um mapa conceitual sobre os conceitos trabalhados com as mesmas palavras chaves da tarefa inicial. Esta atividade ocupará 2 horas/aula.

5. **Avaliação individual:** para a consolidação da aprendizagem significativa, serão propostas individualmente aos alunos as seguintes questões abertas relativas ao vídeo e ao experimento:

- a) Como é possível obter imagens do bebê na barriga da mãe usando ultrassom?
- b) Como funciona o sensor de estacionamento dos carros modernos?

O objetivo dessa avaliação será fazê-los ponderar sobre sua aprendizagem e o conhecimento de Física desde a construção do mapa livre. Essa avaliação fará parte de uma avaliação geral feita desde o início da aplicação da UEPS. A atividade será desenvolvida em 1 hora/aula.

6. **Aula expositiva dialogada integradora final:** o professor juntamente com os alunos, retomará os conceitos por meio de um mapa conceitual. Salientando a importância do ultrassom, sua utilização e recordando as explicações de cada grupo. Essa atividade necessitará de 1 hora/aula.

7. **Avaliação da aprendizagem da UEPS:** A avaliação será baseada nas atividades realizadas (na comparação entre o mapa livre e o mapa conceitual, na apresentação de uma aplicação do ultrassom, no material confeccionado para a apresentação e na avaliação

individual consistindo das questões respondidas após o vídeo).

8. **Avaliação da própria UEPS:** o professor avaliará a forma em que foi abordado o tema ultrassom em função de seus resultados e da avaliação dos alunos, se necessário, serão reformuladas algumas atividades.

Todas as atividades desenvolvidas na UEPS contemplam o total de nove horas/aula. Recomendamos que essa UEPS seja aplicada a alunos do segundo ano do Ensino Médio que já tiveram contato com aulas formais sobre ondas.

### 3 Descrição dos materiais auxiliares

Usaremos como instrumentos auxiliares da UEPS, um vídeo e um experimento com o propósito de conectar o entendimento sobre o ultrassom como uma onda sonora acústica e o uso tecnológico desse fenômeno físico.

#### 3.1 Vídeo sobre o Ultrassom

O vídeo foi obtido das aulas do telecurso 2000 (Aula 21 Ensaio de Materiais).

O vídeo encontra-se disponível em :

<https://sites.google.com/site/mnpefultrassom/>

Optamos pelo uso do vídeo em relação a uma aula expositiva dialogada por três motivos. O primeiro é a facilidade de acesso. O vídeo pode ser revisto pelo estudante em qualquer lugar usando tablet, computador e smartphones. O segundo ponto que pesou na escolha é o apelo visual, pois são mostrados instrumentos de produção de ultrassom de difícil acesso em sala de aula. O último motivo é de provocar interesse àqueles que sejam mais entusiasmados pelo caráter técnico do ultrassom.

No vídeo vemos assuntos relacionados a ondas mecânicas e ao som que interagem com o conhecimento prévio dos alunos promovendo a aprendizagem sobre o ensino do ultrassom numa abordagem experimental. O vídeo começa com a pergunta: como podem ser determinadas descontinuidades nas superfícies das peças ou em seu interior? Dá como resposta um tipo especial de som e segue apresentando o conceito de ondas e seus elementos

como frequência, período e comprimento, amplitude e velocidade, afirmando também que o som é um tipo de onda mecânica. Contextualiza o ultrassom como um som com frequência maior que 20kHz e que não são audíveis pelo ouvido humano. Ainda vemos no vídeo um comentário sobre os materiais piezelétricos e sua capacidade gerar tensão elétrica devido à pressão mecânica. No vídeo, a explicação do funcionamento do dispositivo é ilustrada por intermédio de uma animação em que um cristal piezelétrico quando submetido à tensão alternada começa a vibrar com frequência acima de 20kHz. Esse exemplo servirá de gancho para mostrar que, quando acoplados a transdutores, pode-se detectar descontinuidades por meio da reflexão dessas ondas sonoras.

#### 3.2 Experimento sobre Ultrassom

A ultrassonografia, ecografia, sonar e ecolocalização vale do mesmo princípio de localização usado pelos morcegos e golfinhos. Para localizar um objeto a uma certa distância, gera-se um som e espera o retorno da onda sonora refletida. A vantagem de usar o ultrassom é da onda de pressão gerada não sofrer difração ao ponto de preservar a forma do pulso de onda. Esse fato, como exposto na sessão anterior, é devido ao comprimento de onda do ultrassom ser menor que a dimensão dos possíveis obstáculos que essa onda possa encontrar.

O processo de medição de distância usando eco procede em enviar uma onda sonora que se propaga livre até alcançar um obstáculo que a faça ser refletida. Conhecida a velocidade de propagação do som e o tempo transcorrido da geração da onda e de sua detecção cuja localização seja a mesma da fonte, podemos obter a distância do objeto pela expressão,

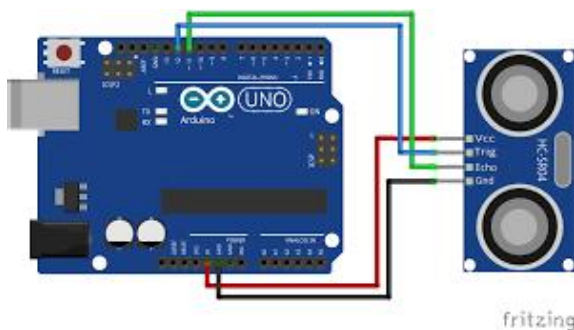
$$\Delta s = \frac{v_s \Delta t}{2}$$

Um instrumento de medição de distância que faz uso do eco de ondas ultrassônicas deve conter uma fonte de ultrassom e um detetor de ultrassom. Usamos como gerador e detetor de ultrassom o sensor ultrassônico HC-SR04. Esse sensor constitui de dois alto-falantes um transmissor e outro receptor, feitos de um material piezoelétrico. Os materiais piezoelétricos são

transdutores de energia mecânica para energia elétrica. Essa transdução ocorre quando, submetidos a uma diferença de potencial, contrai-se gerando uma diferença de pressão em torno dele. Por outro lado, ele é sensível a uma mudança de pressão em sua superfície fazendo com que haja uma diferença de tensão em seus terminais. Dessa forma, ao submeter um dos alto-falantes a uma diferença de potencial alternada em uma frequência de ultrassom, o material piezoelétrico oscilará na mesma frequência tornando, assim, uma fonte de ultrassom. No alto-falante receptor, se submetido a um ultrassom terá oscilações na superfície do material piezoelétricos com a mesma frequência. Essas oscilações geram uma tensão alternada nos terminais do material piezoelétrico. O sensor funciona conectado a um microcontrolador por quatro pinos. Dois pinos (GND, Vcc) correspondem a alimentação de tensão de 5V do dispositivo e ao aterramento do dispositivo, um pino (Echo) corresponde a leitura do receptor e o outro pino (Trig) corresponde ao controle do sensor que, quando acionado, gera um ultrassom de 40kHz. O alcance do sensor é de 2cm à 4m podendo ter uma acurácia de 3mm.

Para controlar o sensor usamos a plataforma Arduino. Em termos práticos, o Arduino é um computador em que pode-se programar para processar entradas e saídas de dispositivos conectados a ele.

Alimentamos o sensor conectando por cabo o pino GND com a saída GND e o pino Vcc com a saída 5V do Arduino. O pino correspondendo ao ECHO foi ligado a entrada digital 7 da plataforma Arduino e o pino Trig foi conectada à entrada digital 8.



**Figure 1:** Montagem do Arduino com o sensor HC-SR04.

A programação do microcontrolador contido na plataforma Arduino é feita através de uma porta USB conectada no computador de mesa ou em um smartphone. Após conectar o Arduino ao computador, usa-se um software de programação IDE baseado na linguagem C para instruir o Arduino. A vantagem da plataforma Arduino é o fácil manuseio do programa IDE. Esse software tem uma interface amigável pois consiste de um editor de texto para a programação do Arduino, uma saída de texto para as possíveis leituras que o Arduino esteja fazendo e dois comandos de controle. Um para transformar a linguagem escrita no editor de texto em procedimentos para o microcontrolador e outro comando para inserir tais comandos no microcontrolador. É de fácil compreensão a estrutura do programa a ser escrito no editor de texto do IDE. Pode-se dividir o programa em duas partes, a primeira é o ajuste inicial (setup) e a segunda é a rotina (loop) que se espera do Arduino. O código para esse experimento pode ser encontrado em:

<https://sites.google.com/site/mnpefultrassom/>

Ao copilar e transferir o programa para a plataforma Arduino conectada com o sensor espera-se que no ambiente gráfico do IDE seja exposto o tempo que o ultrassom sai do sensor, reflete no anteparo e volta para o mesmo senso. Esse resultado é exposto na saída gráfica do programa IDE.

Pela facilidade apoiamos a ideia de construção do detetor de distância como um projeto de ciências para um grupo de alunos do ensino médio. Junto ao projeto, usamos como metodologia didática para auxiliá-los a unidade de ensino potencialmente significativas na qual iremos tratar no próximo capítulo. O desenvolvimento e a aplicação acompanhada do método será tratado no próximo capítulo.

No produto educacional, propomos um experimento usando o sensor ligado ao Arduino para deduzir a velocidade do som. Nesse experimento colocamos o sensor posicionado no canto da mesa apoiado por uma folha de papel com marcas de distância com intervalo de 5cm em relação ao sensor. Ao ligar o senso, colocamos um obstáculo posicionado em uma das marcações da folha de papel. Ao medir o tempo em que o pulso ultrassônicos percorre do sensor ao obstáculo e sua volta, podemos determinar a velocidade do som.

Em uma tomada prévia, vemos pelo gráfico a posição do obstáculo em relação ao sensor e o tempo percorrido pelo pulso. Estimamos velocidades próximas de 343m/s.

## 4 Materiais instrucionais

Além dessa sequência de aulas, o professor pode usar os seguintes materiais instrucionais:

- *NUSSENZVEIG, M. H. Curso de Física Básica - vol. 2- 4ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2002.* Descrição sobre ondas em nível intermediário de graduação.
- *ELMORE, W. C.; HEALD, M. A. Physics of Waves. Nova York: Dover Publications, Inc., 1969.* Uma descrição sobre ondas em nível de graduação avançado.
- *MOREIRA, M. A. Unidade de Enseñanza Potencialmente Significativas UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU), Meaningful Learning Review vol. 1, p. 43-63, 2011.* A melhor explicação sobre UEPS.
- *ANDREUCCI, R. Ensaio por ultrassom. São Paulo, Associação Brasileira de ensaios não destrutivos e inspeção – ABEND, 2011.* Artigo na qual expõe uma utilização tecnológica do ultrassom.
- *BLANC, E.; CERANNA, R. Infrasound. Science for Security, p. 11-16.* Referência em que indica a utilização do Infrassom na detecção de movimentos sísmicos.
- *DWORAKOWSKI, L. A.; HARTMANN, A.; KAKUONO, E. M. ; DORNELES, P. F. T., Uso da plataforma Arduino e do software PLX-DAQ para a construção de gráficos de movimento em tempo real., Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 38, n. 3, p. e3503, 2016.* Aprofundamento sobre a utilização do sensor HR-SR04 em sala de aula.

## 5 Questões pertinentes

Sugerimos como avaliação a análise de questionário qualitativo a ser respondido pelos es-

tudantes antes (pré-UEPS) e após (pós-UEPS) a aplicação do produto. No questionário qualitativo faremos as seguintes questões:

1. Explique o que é ultrassom.
2. Qual(is) a(s) semelhança(s) e a(s) diferença(s) entre o som e o ultrassom?
3. Qual(is) a(s) aplicação(ões) do ultrassom?
4. Como os morcegos se orientam?
5. Como funciona o sonar?
6. Como funciona um aparelho de ultrassonografia?

## 6 Considerações finais

Esperamos que, após a aplicação da sequência de aulas, os alunos sejam capazes de vislumbrar e reconhecer as diversas aplicações do ultrassom. Não está exaurida a aplicação do ultrassom em instrumentação e controle. Há muito ainda a ser desenvolvido e temos que preparar o jovem para o que vem pela frente. Como disse o capitão Kirk: *Space, the final frontier. These are the voyages of the Starship Enterprise. Its five-year mission: to explore strange new worlds, to seek out new life and new civilizations, to boldly go where no man has gone before.*

Esse produto educacional faz parte das tarefas do autor para obtenção de título de mestre em ensino de física no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - polo UFABC.

