

## ENSAIO NÃO DESTRUTIVO POR ULTRASSOM XV INIC / XI EPG - UNIVAP 2011

**Emerson Jorge de Oliveira Rezende<sup>1</sup>, Juliano Garcia Silva Cruz<sup>2</sup>, Jair Candido de Melo<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup>FEAU – Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, UNIVAP – Universidade do Vale do Paraíba, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP  
<sup>2</sup>emersonjor@yahoo.com.br, <sup>3</sup>juliano.gsilva@hotmail.com, <sup>3</sup>jair@univap.br

**Resumo-** Este artigo visa apresentar a viabilidade da utilização do ultrassom em ensaios não destrutivos em materiais ferrosos ou não ferrosos que podem apresentar descontinuidades internas dos mais diferentes tipos ou formas e, dependendo do tamanho da descontinuidade e da aplicação do material, podem condenar toda peça. No ensaio por ultrassom ondas sonoras com frequência acima de 20 kHz geradas a partir de um aparelho eletrônico são enviadas através do material ensaiado. Na interrupção total ou parcial dessas ondas devido a pontos de descontinuidade interna da peça uma parte é refletida e outra é refratada. A análise das parcelas refletidas fornecem informações sobre a localização e orientação da imperfeição do material. Através de pesquisas e testes práticos utilizando as técnicas de ensaio não destrutivo por ultrassom, foram obtidos resultados relevantes em relação a identificação de descontinuidades nas peças ensaiadas.

**Palavras-chave:** Ultrassom, ensaio não destrutivo, técnicas de ensaio, pulso-eco, transmissão total.

**Área do Conhecimento:** Engenharia

### Introdução

O ensaio por ultrassom caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais ferrosos ou não ferrosos (ANDREUCCI, R., 2011).

Tais defeitos são caracterizados pelo próprio processo de fabricação da peça ou componentes a ser examinado como, por exemplo: bolhas de gás em fundidos, dupla laminação em laminados, micro trincas em forjados, escórias em uniões soldadas e muitos outros.

Portanto, o ensaio não destrutivo por ultrassom, assim como todo ensaio não destrutivo visa diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças de responsabilidade e o desperdício de peças utilizadas em ensaios destrutivos (ANDREUCCI, R., 2011).

O sinal de ultrassom é composto de ondas sonoras com frequência acima de 20 kHz geradas por um aparelho eletrônico. No ensaio as ondas se propagam em um meio elástico em direção à peça a ser ensaiada e, se for encontrado algum tipo de descontinuidade, é gerado um eco de reflexo na tela do aparelho de ultrassom, caracterizando uma peça não conforme. (DUARTE, M. A., 1999). As figuras 01 e 02 mostram o princípio básico do ultrassom em ensaios não destrutivos utilizando a técnica pulso-eco. O aparelho produz um pulso no

instante (T1), esse se propaga pela peça, e neste instante (T1) o circuito de controle do aparelho inicia a contagem do tempo.

Ao incidir numa descontinuidade (interface), figura 02, que se encontra na distância (S), ocorre a reflexão da onda emitida pelo cristal que é representado pelo eco de reflexão na tela do aparelho de ultrassom. (ANDREUCCI, R., 2011)

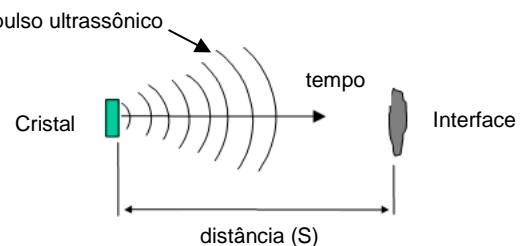


Figura 01 – Emissão do sinal ultrassônico (ANDREUCCI, R., 2011).

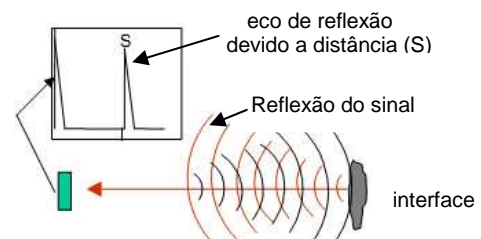


Figura 02 - Reflexão do sinal ultrassônico (ANDREUCCI, R., 2011).

As aplicações deste ensaio são inúmeras: soldas, laminados, forjados, fundidos, ferrosos e não ferrosos, ligas metálicas, vidro, borracha, materiais compostos, tudo permite ser analisado por ultrassom. Indústria de base (usinas siderúrgicas) e de transformação (mecânicas pesadas), indústria automobilística, transporte marítimo, ferroviário, rodoviário, aéreo e aeroespacial, podem utilizar o ensaio não destrutivo por ultrassom (ANDREUCCI, R., 2011).

No processo de produção de componentes metálicos, como por exemplo, conjuntos metálicos estruturais para automóveis utilizados na indústria automobilística, são utilizados soldas MIG/MAG para efetuar a junção das partes e obter o produto final. Porém para se obter uma solda de qualidade e com isso um componente que atenda as normas de segurança as empresas utilizam-se da técnica do ensaio destrutivo, cortando a peça de forma longitudinal para avaliar as características da união das peças através de amostragem (ANDREUCCI, R., 2011).

Isso acaba gerando aumento dos custos de produção pelo desperdício de material além do impacto ambiental devido à quantidade de energia gasta para que se consiga colocar esse material de novo em forma de matéria prima e utiliza-lo na produção de novas peças (DIAS, Carlos, 2011).

## Metodologia

Neste artigo foram utilizados dados colhidos através de pesquisas, e também testes práticos realizados em uma visita técnica a empresa Fibraforte Engenharia, Indústria e Comércio Ltda., que utiliza o ensaio não destrutivo por ultrassom para inspecionar diversos componentes como painéis de alumínio e de fibra de carbono, esses componentes tem aplicações no desenvolvimento de satélites e na indústria aeronáutica. Foi utilizado o ultrassom para fazer inspeção em alguns componentes de alumínio com insertos de teflon para simulação de defeitos utilizando as técnicas de transmissão total e pulso-eco.

## Geração das ondas ultrassônicas

As ondas ultrassônicas são geradas a partir de um aparelho eletrônico, que através de seu circuito de controle e circuito potência excita um cristal piezelétrico gerando desta forma ondas ultrassônicas. As ondas ultrassônicas são emitidas em direção ao material a ser ensaiado através de um elemento emissor, que vibra de acordo com a frequência ajustada no aparelho. Este emissor pode se apresentar em determinadas formas (circular, retangular). Tanto o elemento emissor e receptor, são denominados transdutores,

também designados por cabeçotes (THE ULTRAN GROUP, 2011).

A figura 03 mostra o cristal piezelétrico sem excitação da fonte (G1), devido a chave (K1) estar aberta.

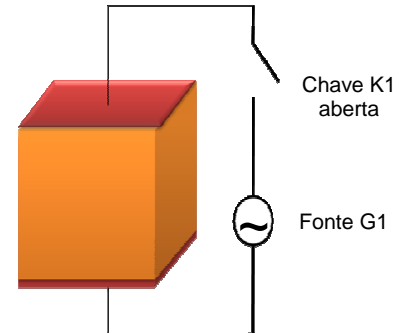


Figura 03 - Cristal piezelétrico sem a ação do campo elétrico.

A figura 04 mostra a chave (K1) fechada, desta forma o cristal piezelétrico esta sendo excitado pela fonte (G1) e oscilando com a frequência de ajuste do aparelho, gerando desta forma a onda ultrassônica .

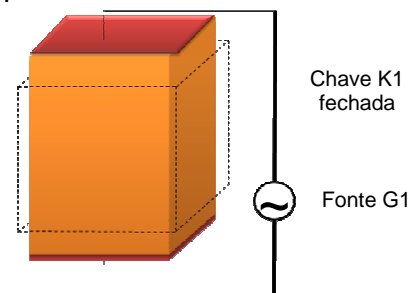


Figura 04 - Cristal piezelétrico com a ação do campo elétrico.

## Transdutores normais ou retos:

Os transdutores normais são construídos a partir de um cristal piezelétrico colocado num bloco rígido. A figura 05 mostra um transdutor normal.

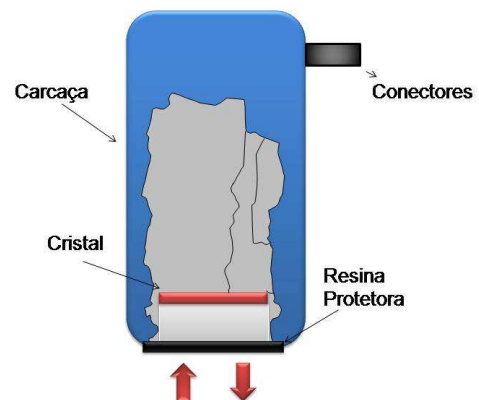


Figura 05 - Transdutor normal ou reto (THE ULTRAN GROUP, 2011).

### Transdutores Angulares:

Este transdutor se difere dos transdutores normais pois formam um determinado ângulo com a superfície do material. O transdutor angular é muito utilizado na inspeção de soldas e quando a descontinuidade está orientada perpendicularmente à superfície da peça (THE ULTRAN GROUP, 2011).

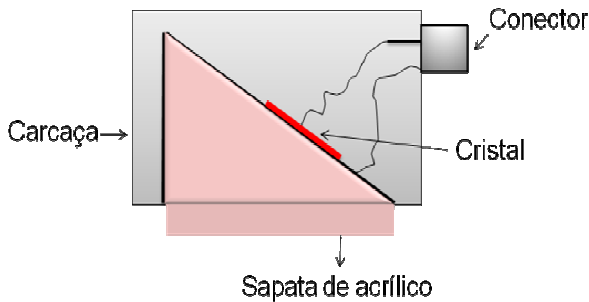


Figura 06 - Transdutor Angular (THE ULTRAN GROUP, 2011).

### Transdutores Duplo-Cristal

O transdutor duplo-cristal tem sua utilização nas aplicações de detecção de descontinuidades próximas da superfície e em medição de espessura, em razão do seu feixe sônico ser focalizado. Por possuir duplo cristal e operarem simultaneamente não existe atraso entre emitir e receber o sinal (THE ULTRAN GROUP, 2011).

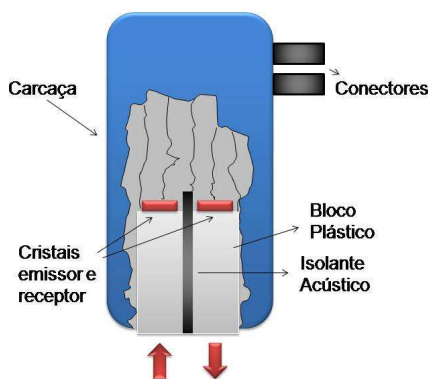


Figura 07 - Transdutor Duplo-Cristal (THE ULTRAN GROUP, 2011).

### Transdutor Phased Array

São transdutores que operam com diversos elementos compostos de pequenos cristais, cada um ligado à circuitos independentes capazes de controlar o tempo de excitação independentemente um dos outros cristais

Devido às particularidades dos transdutores phased-array, é possível em uma única varredura inspecionar um material com vários ângulos de

refração diferentes, já que a mudança do ângulo é feita eletronicamente. Isso significa uma maior velocidade de inspeção, principalmente em soldas, onde no mínimo é recomendado dois ângulos diferentes (THE ULTRAN GROUP, 2011).

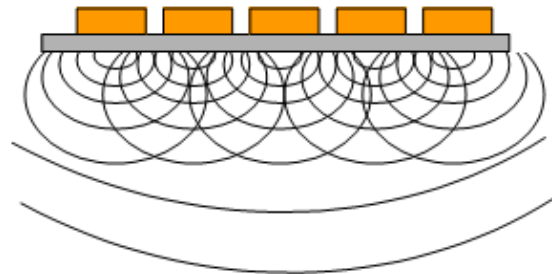


Figura 08 - Transdutor Phased Array (THE ULTRAN GROUP, 2011).

### Acoplantes

Para se inspecionar um determinado material, ocorre uma transição de meio físico no ultrassom, do transdutor para o material e há necessidade de um elemento acoplante, pois, ao acoplarmos o transdutor sobre a peça a ser inspecionada imediatamente se estabelece uma camada de ar entre a sapata do transdutor e a superfície da peça, causando atenuação elevada nas ondas ultrassônicas e como mostrado na tabela 01 o ar é um péssimo acoplante. Por essa razão se usa um fluido que estabeleça uma redução desta diferença acustica e permita a passagem das ondas para a peça. Os acoplantes devem ser selecionado em função da rugosidade da superfície da área de varredura, o tipo de material, forma da peça, dimensão da área de varredura e posição para inspeção (SANTIN, Jorge Luiz, – Ed. 1996).

Tabela 1 - Impedancia de alguns acoplantes.(SANTIN, Jorge Luiz, - Ed. 1996)

Acoplante	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Velocidade da onda long. (m/s)	Impedância Acústica (g/cm <sup>2</sup> .s)
Óleo (SAE 30)	0.9	1700	1,5 x 10 <sup>5</sup>
Água	1.0	1480	1,48 x 10 <sup>5</sup>
Glicerina	1.25	1920	2,4 x 10 <sup>5</sup>
Carbox Metil Celulose (15g/l)	1.20	2300	2,76 x 10 <sup>5</sup>
Ar ou Gás	0,0013	330	0,0043 x 10 <sup>5</sup>

## Aparelho de Ultrassom

O aparelho de ultrassom contém o circuito eletrônico de potência, responsável pela geração dos sinais que são aplicados ao elemento cristal do transdutor causando o efeito piezelétrico (THE ULTRAN GROUP, 2011) e também contém o circuito de controle que é responsável pelo controle entre emitir, receber e amplificar o sinal enviado pelo transdutor à peça que esta sendo ensaiada. Os sinais captados no cristal são mostrados em uma tela em forma de pulsos denominados “ecos”, que podem ser regulados na amplitude como na posição da tela graduada. O aparelho ultrassom mostra os sinais basicamente como um osciloscópio projetado para medir o tempo do percurso do som na peça ensaiada através da relação  $S = V \times T$  onde o espaço percorrido (S) é proporcional ao tempo (T) e a velocidade de propagação (V) no material.

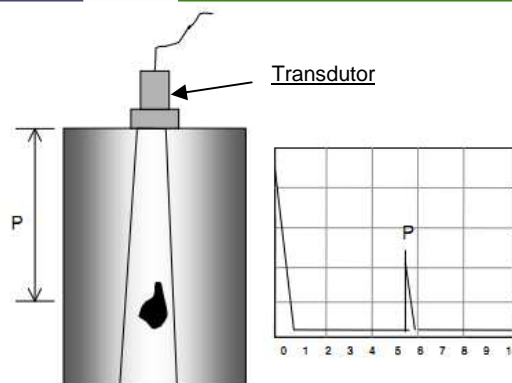


Figura 10 - Técnica de Pulso-eco (ANDREUCCI, R., 2011).

## Técnica de Transmissão Total

Esta técnica utiliza dois transdutores separados, um transmitindo e outro recebendo as ondas ultrassônicas. É necessário acoplar os transdutores nos dois lados da peça de forma alinhada. Neste tipo de inspeção não se pode determinar a profundidade da descontinuidade na peça como na técnica pulso-eco, é somente um ensaio do tipo passa-não-passa (ANDREUCCI, R., 2011).

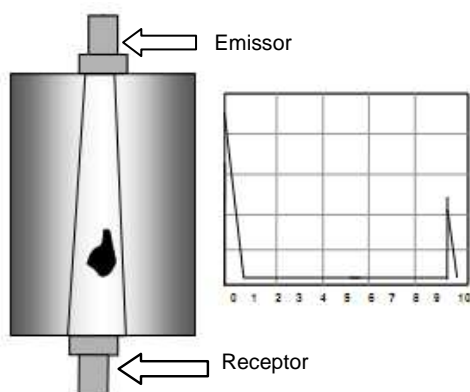


Figura 09 - Técnica de Transparência (ANDREUCCI, R., 2011).

## Técnicas de Inspeção Pulso-Eco

Essa técnica se caracteriza pela análise feita da parcela refletida do sinal de entrada. Em caso de haver descontinuidades no material, é possível identificar suas dimensões e a sua localização na peça (ANDREUCCI, R., 2011).

## Resultados

Em visita realizada a empresa FIBRAFORTE, realizamos testes com ultrassom para inspecionar um painel de alumínio com insertos de teflon utilizando as técnicas de transmissão total e pulso-eco com frequência de 120 kHz.

A figura 11 mostra o painel utilizado no ensaio, esse painel possui 300mm de comprimento, 300mm de largura e 20mm de espessura, é formado por duas placas e estrutura interna de alumínio e foi preparado para simular defeitos internos na união entre as placas e a estrutura. Para simular as descontinuidades foram colocados no interior do painel insertos de teflon com localidade e dimensões conhecidas simulando bolhas de ar.



Figura 11- Painel sanduíche com insertos de teflon (FIBRAFORTE).

A figura 12 exibe a tela do aparelho de ultrassom com imagem do ensaio realizado através da técnica de transmissão total. Nota-se que existem áreas em vermelho, o que indica descontinuidades, ou seja, para unir as placas na estrutura aplica-se um adesivo epoxi, e como foi introduzido insertos de teflon para simular bolhas

de ar e o ar é um péssimo acoplante o sinal foi atenuado, sendo essa atenuação reconhecida pelo receptor e indicada na tela do aparelho de ultrassom.

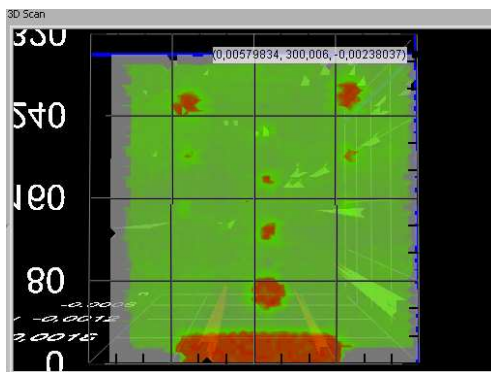


Figura 12 – Imagem da inspeção do painel (FIBRAFORTE).

O mesmo painel foi ensaiado com a técnica de pulso-eco, porém devido à espessura da peça o resultado não foi satisfatório, esta técnica é mais indicada para ser utilizada em materiais com espessuras mais fina.

Para justificarmos os resultados em números concretos, é necessário o desenvolvimento e a construção de um sistema que efetue o ensaio não destrutivo por ultrassom e para isto o custo é alto e fora de nossas possibilidades, porém assim como mostrado, este tipo de ensaio é muito vantajoso pelos aspectos apresentados e entendemos que com tempo e financiamento é perfeitamente possível o desenvolvimento de um projeto para esta aplicação.

## Discussão

As técnicas de ensaio são utilizadas de acordo com o tipo, espessura e geometria do material ensaiado.

A técnica de pulso-eco utiliza apenas um transdutor, o que torna a inspeção um pouco mais lenta devido ao tempo de envio e retorno da onda ultrassônica, porém esta técnica permite a localização da profundidade da descontinuidade na peça ensaiada. A técnica de transmissão total utiliza-se dois transdutores, com isso a velocidade da inspeção é mais rápida, uma desvantagem desta técnica em relação ao pulso-eco é que não é possível identificar a profundidade da descontinuidade na peça.

Normalmente se usa o pulso eco para peças mais finas, pois o som deve percorrer duas vezes a espessura antes de retornar ao transdutor. Para peças espessas, isso produz uma atenuação muito acentuada do sinal. Nesses casos é mais indicado que se utilize a transmissão total.

Vantagens em relação a outros ensaios (ANDREUCCI, R., 2011).

O método ultrassônico possui alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas descontinuidades internas, por exemplo:

- Trincas devido a tratamento térmico, fissuras e outros de difícil detecção por ensaio de radiações penetrantes (radiografia ou gamagrafia).
- Para interpretação das indicações, dispensa processos intermediários, agilizando a inspeção.
- No caso de radiografia ou gamagrafia, existe a necessidade do processo de revelação do filme, que via de regra demanda tempo do informe de resultados.
- Ao contrário dos ensaios por radiações penetrantes, o ensaio ultrassônico não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação.
- A localização, avaliação do tamanho e interpretação das descontinuidades encontradas são fatores intrínsecos ao exame ultrassônico, enquanto que outros exames não definem tais fatores. Por exemplo, um defeito mostrado num filme radiográfico define o tamanho, mas não sua profundidade e em muitos casos este é um fator importante para proceder um reparo.

Limitações em relação a outros ensaios (ANDREUCCI, R., 2011).

- Requer grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor.
- O registro permanente do teste não é facilmente obtido.
- Faixas de espessuras muito finas constituem uma dificuldade para aplicação do método.
- Requer o preparo da superfície para sua aplicação. Em alguns casos de inspeção de solda, existe a necessidade da remoção total do reforço da solda.

## Conclusão

O ensaio não destrutivo por ultrassom apresenta uma vantagem relevante no que diz respeito à possibilidade de ensaiar o componente sem que com isso haja necessidade de destruir a peça. No teste prático realizado ficou constatado que o ensaio é confiável no diagnóstico do componente ensaiado.

Apesar de vantajoso em relação aos ensaios destrutivos, este tipo de ensaio tem custo de implementação elevado e apresenta complexidade na utilização e interpretação do método.

As técnicas apresentadas permitem ensaiar materiais de diversas geometrias e espessura, sendo necessária apenas a adequação da técnica ao material a ser ensaiado. Com isso, apesar dos custos de desenvolvimento com a tecnologia, é possível obter resultados satisfatórios em relação a custos de produção e ao meio ambiente.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a empresa FIBRAFORTE Engenharia, Indústria e Comércio Ltda. pelas orientações e informações fornecidas que foram fundamentais para o desenvolvimento do estudo.

### **Referências**

- ANDREUCCI, R. Ensaio não destrutivo por ultrassom. Ed. Jan/2011.
- DIAS, Carlos. Qualidade e Ensaio de Materiais. Disponível em: <http://sme.dcm.fct.unl.pt/u/dias>. Acesso em 13 ago 2011.
- DUARTE, M. A., Machado, J. C. and Pereira, W. C. A. (1999). Método para classificação de ecos reais e de reverberação em meios homogêneos, multicamadas. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, Vol. 15, No 3; pp159-174.
- LEITE, P. G. P, Curso de Ensaio Não Destrutivos. Associação Brasileira de Metais – ABM , 8ª Ed 1966.
- SANTIN, Jorge Luiz, Ultra-som – técnica e aplicação – editora Qualitymark – Ed. 1996, pp 52-60, 72, 96-101, 258.
- THE ULTRAN GROUP, Non-Contact Ultrasound, Composites Analysis. Disponível em :<http://www.ultrangroup.com>. Acesso em 22 jun 2011.