

## ESTUDO DO EFEITO ACUSTOELÁSTICO EM MATERIAIS COMPÓSITOS

Marina de Fátima Ferri Della Torre (IC)<sup>1</sup>, Dr. Paulo Pereira Junior (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá

**Palavras-chave:** Acustoelasticidade. Compósito. Ultrassom.

### Introdução

Em Neto e Pardini(2006) ressalta-se que os materiais compósitos aumentaram sua gama de aplicações, sendo utilizados nas mais variadas áreas, tais como, bioengenharia, automobilística, aeronáutica, aeroespacial e petroquímica. Somado ao fato de apresentarem excelentes propriedades, sendo elas: elevada resistência à corrosão, rigidez, bom desempenho estrutural e, também, serem mais leves em comparação às ligas metálicas.

Em Andrino (2007), Santos (2007) e Santos et al. (2013) demonstra-se que o princípio da acustoelasticidade pode ser utilizado para correlacionar a velocidade de propagação de uma onda ultrassônica Lcr -longitudinal criticamente refratada -com o estado de tensões em um material. Ademais, em Jané (2018) confirma-se que pela acustoelasticidade pode-se descrever o tensor de tensões do material sob uma condição de carga conhecida, uma vez que suas constantes acustoelásticas também são conhecidas. Todavia, o método de medição aparenta ser afetado em materiais compósitos, dada a complexidade da distribuição dos esforços nestes e, também, por não apresentarem uniformidade durante o processo de fadiga; fatos que implicam no estabelecimento da correlação entre a variação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no material e o dano acumulado. Dessa forma, este trabalho objetiva contribuir com a obtenção de um método de ensaio não destrutivo que relacione, de modo indireto, a fadiga à velocidade da onda Lcr e ao efeito acustoelástico, permitindo a avaliação da vida útil restante de um componente fabricado com fibra de carbono/ epóxi, dispostos nas mais diversas orientações de laminação; sendo justificado pela carência de informações sobre materiais compósitos, no que tange seu comportamento mecânico sob cargas cíclicas, além da insuficiência de dados sobre as possíveis variações na velocidade de propagação de ondas Lcr nesses materiais.

Assim, essa pesquisa utilizou uma técnica não destrutiva de inspeção, por ultrassom com transmissão direta do tipo A (A-Scan), para medir a variação do tempo de percurso da onda (TOF) ao percorrer um trajeto pré-determinado no material. Isso foi possível, pois conectou-se o dispositivo ao ensaio dinâmico

tração-tração com amplitude de carga constante, medindo a indução ao surgimento de danos internos no material. Ressalta-se que a velocidade de propagação da onda é medida de modo indireto, a partir do tempo de percurso da onda.

### Metodologia

A Tabela 1 mostra a classificação das amostras de carbono/epóxi utilizadas, bem como alguns dados relevantes para o estudo.

Tabela 1 – Dados das amostras

Classificação das amostras	Tipo de laminado	Sequência de empilhamento	Nomenclatura	Ângulos das sapatas
Tipo 1	Quase-isotrópico	[45 0 -45 90] <sub>25</sub>	1328/16-MS-Q-16-08	14,9°
Tipo 2	Hard	[0 45 0 90 0 -45 0 45 0 -45] <sub>5</sub>	1328/16-MS-H-20-07	12,4°
Tipo 3	In-plane shear	[+45 -45] <sub>45</sub>	1328/16-MS-IS-16-18	18°
Tipo 4	Unidirecional	[0] <sub>16</sub>	1328/16-MS-U-16-12	11,1°

Para realização deste estudo, primeiramente, optou-se por realizar o Ensaio Acustoelástico, no qual ocorreu as medições das ondas nas amostras, bem como a observação do seu comportamento. A Figura 1 mostra um exemplo dessa observação obtida na amostra 1.2. Ressalta-se que para cada amostra foram realizadas 3 medições, todas no mesmo dia, sob as mesmas condições ambientes.

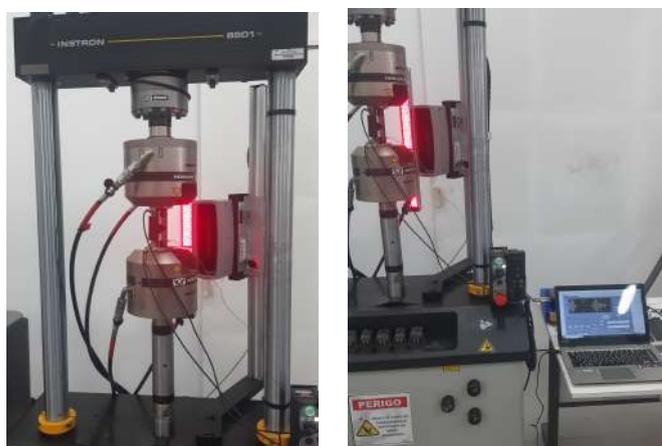


Figura 1 – Visualização da amostra 1.2 a partir do ultrassom.

Após esse procedimento, foi possível calcular o Módulo de Elasticidade para cada tipo de amostra e, assim, determinar a amplitude de carga constante utilizada no Ensaio de Tração. Este foi realizado posteriormente utilizando a Máquina Universal de Ensaios, como mostram as Figuras 2,3 e 4.



Figura 2 – Amostra posicionada na Máquina Universal de Ensaios.



Figuras 3 e 4 – Bancada de teste do Ensaio de Tração.

Esse ensaio consistiu em posicionar as amostras individualmente na Máquina Universal de Ensaios submetidas aos carregamentos de modo a medir deformação e tensão ao longo do experimento. Ressalta-se que, em ambos os ensaios, às amostras, previamente limpas e demarcadas- conforme a Figura 5- foram acoplados os sensores do ultrassom e um termopar para medição da temperatura da amostra. Além disso, o ultrassom foi conectado a um computador para observação do comportamento acustoelástico dos materiais ensaiados.

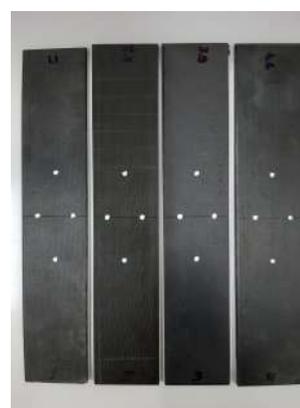


Figura 5 – Amostras limpas e demarcadas para o ensaio de tração

### Resultados e discussão

Os Gráficos 1,2,3 e 4 apresentam os resultados obtidos para cada tipo de amostra.

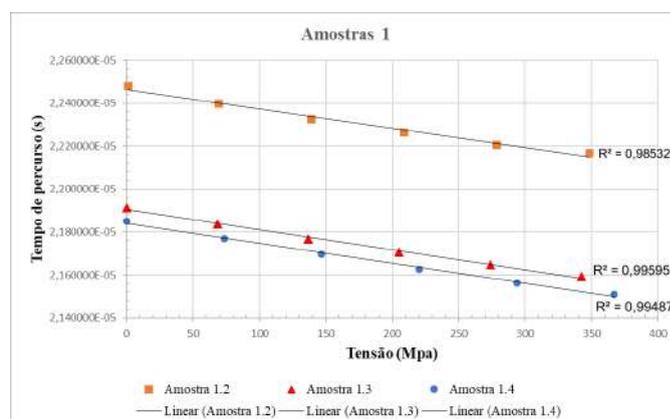


Gráfico 1 – Variação do TOF da onda Lcr em função da carga nas amostras tipo 1

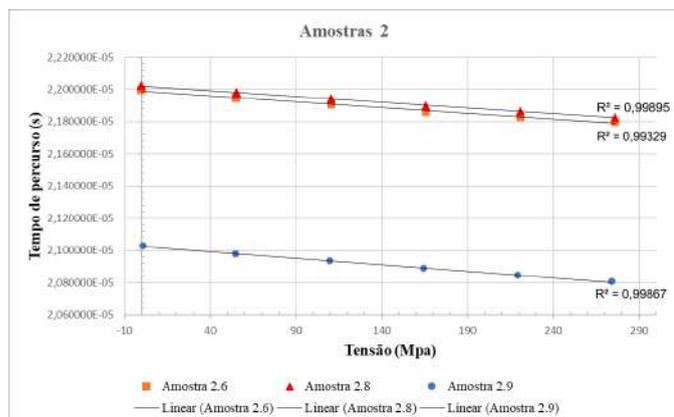


Gráfico 2 – Variação do TOF da onda Lcr em função da carga nas amostras tipo 2

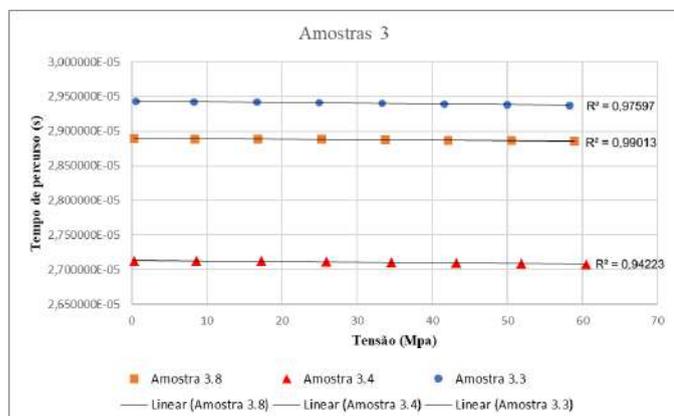


Gráfico 3 – Variação do TOF da onda Lcr em função da carga nas amostras tipo 3

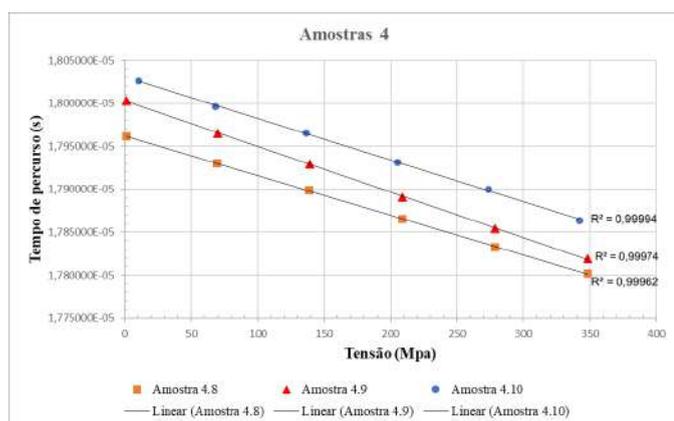


Gráfico 4 – Variação do TOF da onda Lcr em função da carga nas amostras tipo 4

Observa-se que para as amostras tipo 4 ocorreu um menor desvio padrão das medições das três amostras, enquanto nas do tipo 1,2 e 3 ocorreram maiores variações, advindas de características intrínsecas de cada amostra; além disso, deve-se considerar o

posicionamento da sapata na amostra e fatores relacionados à interação entre o equipamento de medição e a amostra, como a espessura do gel acoplante entre a sapata e a amostra ou entre o transdutor e a sapata acrílica.

Assim, foi possível ajustar uma linha de tendência em cada tipo de amostra. Os dados foram reunidos na Tabela 2, bem como a média desses valores.

Tabela 2 – Linhas de tendência das amostras

Amostras 1		Amostras 2	
Amostra 1.2	$y = -9,0369E-10x + 2,2464E-05$	Amostra 2.6	$y = -7,2304E-10x + 2,1989E-05$
Amostra 1.3	$y = -9,3269E-10x + 2,1904E-05$	Amostra 2.8	$y = -7,0716E-10x + 2,2019E-05$
Amostra 1.4	$y = -9,3237E-10x + 2,1840E-05$	Amostra 2.9	$y = -8,1082E-10x + 2,1025E-05$
Média das inclinações	-9,2292	Média das inclinações	-7,4701

Amostras 3		Amostras 4	
Amostra 3.3	$y = -9,9011E-10x + 2,9431E-05$	Amostra 4.8	$y = -4,6178E-10x + 1,7962E-05$
Amostra 3.4	$y = -8,7152E-10x + 2,7133E-05$	Amostra 4.9	$y = -5,2908E-10x + 1,8003E-05$
Amostra 3.8	$y = -6,9204E-10x + 2,8897E-05$	Amostra 4.10	$y = -4,8408E-10x + 1,8031E-05$
Média das inclinações	-8,5122	Média das inclinações	-4,9163

## Conclusões

Observando as curvas dos Gráficos 1 a 4, pode-se concluir que a relação entre o TOF da onda Lcr e a carga axial aplicada é linear, uma vez que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), obtido com o ajuste de uma equação de tendência para os dados das doze amostras utilizadas, está muito próximo de 1 (entre 0,94223 e 0,99994). Dessa forma, nas amostras utilizadas neste estudo, mais de 90% da variância dos valores do TOF pode ser explicada pela variação da carga.

Além disso, ressalta-se que, devido a heterogeneidade dos materiais compósitos, em função das variações do próprio material, ocorreu grande dispersão de dados. Assim, conclui-se que, deve-se adotar um procedimento de calibração do sistema de medição para cada amostra no início dos procedimentos de medição.

## Agradecimentos

Agradeço a Unifei e ao CNPq pela oportunidade e apoio.

## Referências

ANDRINO, M. H. **Aplicação de ondas longitudinais criticamente refratadas para a medição de tensões em dutos.** 2007. 203p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

JANÉ, Dario de Almeida. **Influência da Fadiga Mecânica na Velocidade de Propagação da Onda Longitudinal Criticamente Refratada em Compósito Laminado Carbono/Epóxi.** 2018. 171 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: Ciência e Tecnologia.** 1a ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

SANTOS, R. A. **Efeito da temperatura sobre a medição de tensão por ondas Lcr em aços API 5L X70.** 2007. 127p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SANTOS, A. A.; AMBIEL, L. B.; GARCIA, R. H.; RODOVALHO, T. G. *Stress analysis in carbon/epoxy composites using Lcr waves.* **Journal of Composite Materials**, v.0, p. 1-10, November 2013.