

ESTUDO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL EM LAMINADOS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

A. C. de M. C. Batista

Centro de Tecnologia, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal – RN/Brasil, CEP:
59072-970. E-mail: ana.batista@ufersa.edu.br

UFRN – Programa de Pós-graduação em Engenharia mecânica/PPGEM

S. R. L. Tinô

UFRN – Programa de Pós-graduação em Engenharia mecânica/PPGEM; Programa
de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de materiais/PPGCEM e Instituto
Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Goiás/IFG

R. S. Fontes

UFRN – Programa de Pós-graduação em Engenharia mecânica/PPGEM

E. M.F de Aquino

UFRN – Programa de Pós-graduação em Engenharia mecânica/PPGEM

Resumo

A gama de aplicação de plásticos reforçados com fibra de vidro (PRFV) vem crescendo para diversas formas de aplicações como a confecção de reservatórios e flanges. Os mesmos comumente ficam expostos a intempéries e possuem a presença de descontinuidades geométricas, logo é de extrema importância conhecer a influência da descontinuidade geométrica (furo central) e do envelhecimento ambiental sobre integridade estrutural dos mesmos. Neste sentido, o presente trabalho propõem estudar estes efeitos em um laminado compósito polimérico, cuja configuração é constituída de quatro camadas de tecido bidirecional de vidro/E e impregnadas com resina de poliéster orto-tereftálica. Para o estudo da integridade estrutural foram realizadas avaliações pela Técnica de Medição de Variação de Massa e Técnica de Medição de Variação de Espessura. Percebe-se que tanto o envelhecimento ambiental, quanto a presença do furo influencia diretamente na integridade estrutural do material.

Palavras chaves: *PRFV, envelhecimento ambiental, descontinuidade geométrica.*

INTRODUÇÃO

Muitos são os fatores que influenciam diretamente na resistência mecânica final do material compósito, porém destaque pode ser dado à presença de

descontinuidade geométrica nos mesmos, seja ela dos mais diversos tipos, como ranhuras, entalhes e furos, dentre outros. Assim como nos materiais convencionais, nos materiais compósitos, a alteração brusca da seção de área de um elemento estrutural leva a um fenômeno denominado de concentração de tensão ⁽¹⁻³⁾.

Outro fator que pode influenciar as propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos, de acordo com Batista *et al*⁽⁴⁾, é quando os mesmos são expostos à condições adversas de operação como, por exemplo, altas temperaturas, vapor aquecido e exposição à radiação ultravioleta, sendo essas condições, caracterizadas aqui por um processo de envelhecimento ambiental. Quando fatores como esses (presença de descontinuidades geométricas e envelhecimento ambiental) atuam simultaneamente nos materiais compósitos poliméricos, suas propriedades mecânicas sofrem influência direta como foi comprovado por Tinô e Aquino ⁽⁵⁾.

Porém, no que diz respeito a estudos realizados sobre essa influência simultânea na integridade estrutural em PRFV, ainda é bastante escasso. Logo, o presente trabalho busca mostrar o estudo do efeito simultâneo da presença da descontinuidade geométrica (furo concêntrico de 6 mm) e do envelhecimento ambiental acelerado em um PRFV na forma de um laminado constituído de quatro camadas de tecido plano bidirecional de fibras de vidro/E e matriz de poliéster orto-tereftálica. Para tanto, foram utilizadas duas técnicas experimentais de medição denominadas de Técnica de Medição de Variação de Massa e Técnica de Medição de Variação de Espessura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais utilizados e configuração dos laminados

Para a realização do estudo proposto, foi confeccionado um laminado compósito polimérico (denominado de **LT**) utilizando-se como matriz a resina poliéster insaturada orto-tereftálica (Novapol – L120), cura a temperatura ambiente e como catalisador o MEKP (metil-etil-cetona). Como reforço foi utilizado quatro camadas do tecido bidirecional (balanceado) de fibras de vidro/E com uma gramatura de 600 g/m² fornecido pela Empresa TEXIGLASS, sendo denominado comercialmente de WR-600/3-1. A fig. 1 mostra uma ilustração da configuração do laminado **LT**.

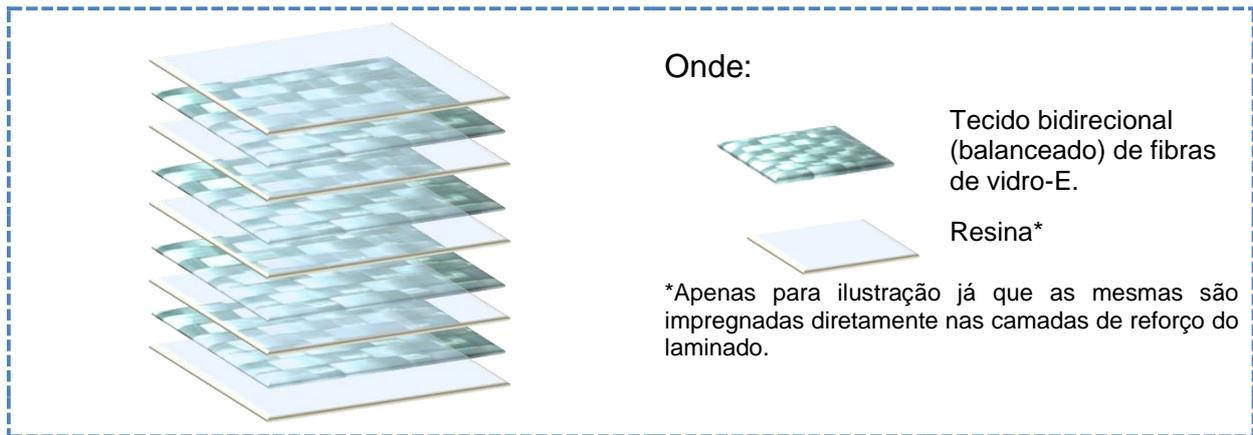


Fig. 1. Configuração do laminado composto polimérico **LT**.

Ensaio de envelhecimento Ambiental Acelerado e Corpos de Prova

O processo de envelhecimento foi realizado na câmara de envelhecimento ambiental acelerado, ver Fig. 2 (a) e (b), construída segundo a norma ASTM G-53 ⁽⁶⁾ e utilizado o método de envelhecimento ambiental acelerado conforme a norma ASTM G154 ⁽⁷⁾. Este ensaio consiste em submeter os corpos de provas (CP's) a ciclos alternados, diários de radiação UV (18 horas) e vapor d'água aquecido (6 horas) até atingir o tempo definido através da norma ASTM G154⁽⁷⁾ com 2016h de exposição no total.





Fig. 2. Câmara de envelhecimento ambiental com detalhe de seus componentes.

Técnicas Experimentais de Medição

Para realização da avaliação da estabilidade estrutural, foram utilizadas duas técnicas experimentais de medição, que são: Técnica de Medição de Variação de Massa (**TMVM**) e a Técnica de Variação de Espessura (**TMVE**), técnicas estas desenvolvidas por Felipe ⁽⁸⁾ e Felipe ⁽⁹⁾.

A Técnica de Medição de Variação de Massa (**TMVM**) é baseada na lei de difusão de Fick, e consiste em quantificar as perdas de massas. As variações de perda de massa são obtidas pela Eq. (A).

$$\Delta M = \frac{M_{\text{envelhecida}} - M_{\text{original}}}{M_{\text{original}}} \quad (\text{A})$$

Onde, ΔM é a perda percentual de massa (%), " $M_{\text{envelhecida}}$ " é a massa do corpo de prova envelhecido (g) e " M_{original} " é a massa do corpo de prova no estado original (g). As medidas foram efetuadas durante todo o processo de envelhecimento para intervalos de sete dias e sempre após a exposição dos CP's aos raios UV.

A Técnica de Medição de Variação de Espessura (**TMVE**) objetiva detectar variação de espessura na secção transversal dos corpos de prova, mediante a utilização do micrômetro. Para tanto, foram feitas marcações (pontos ao longo do comprimento útil dos corpos de prova), servindo essas marcações como referência. Nessa técnica, as medições da espessura foram realizadas antes e após a finalização do período de exposição dos CP's na câmara de envelhecimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como citado anteriormente, a instabilidade estrutural foi avaliada de duas formas distintas, primeiro através da técnica **TMVE** e em seguida pela técnica **TMVM**, as quais estabeleceram o comportamento da perda de espessura e de massa nos CP's. Ambas as técnicas foram realizadas para o material envelhecido, onde os CP's foram definidos como **LTE 0/90°** (na condição sem furo) e como **LTEF 0/90°** (para a condição com furo), sendo este último caracterizado como resultado da influência simultânea do processo de envelhecimento ambiental e presença do furo central. Já os CP's na condição original (antes do envelhecimento) foram definidos **LT 0/90°** (sem furo) e **LTF 0/90°** (com a presença do furo). Vale salientar que a disposição das fibras (0/90°) está diretamente ligada a direção de aplicação da carga de tração uniaxial, não sendo detalhado por não ser enfoque deste artigo.

Técnica de Medição de Variação de Espessura (TMVE)

Para a **TMVE** os resultados constam nas Figs. 3 (a) e (b). Numa análise dos resultados observa-se que tanto os CP's **LTE 0/90°** e quanto os CP's **LTEF 0/90°** apresentaram uma variação de espessura quando comparado às espessuras dos CP's **LT 0/90°** e **LTF 0/90°**, respectivamente.

Na Fig. 3 (c), observa-se que a integridade estrutural foi afetada de forma mais intensa nos CP's **LTEF 0/90°** (0,837%) (influência simultânea) do que nos CP's **LTE 0/90°** (0,824%). Este fato pode ser explicado pela presença do furo, que torna a o corpo de prova mais suseptível à variação da difusão da temperatura e umidade no tocante a ter uma região central aberta transversalmente ao corpo de prova, ou seja, na direção do gradiente do fluxo da umidade e da radiação.

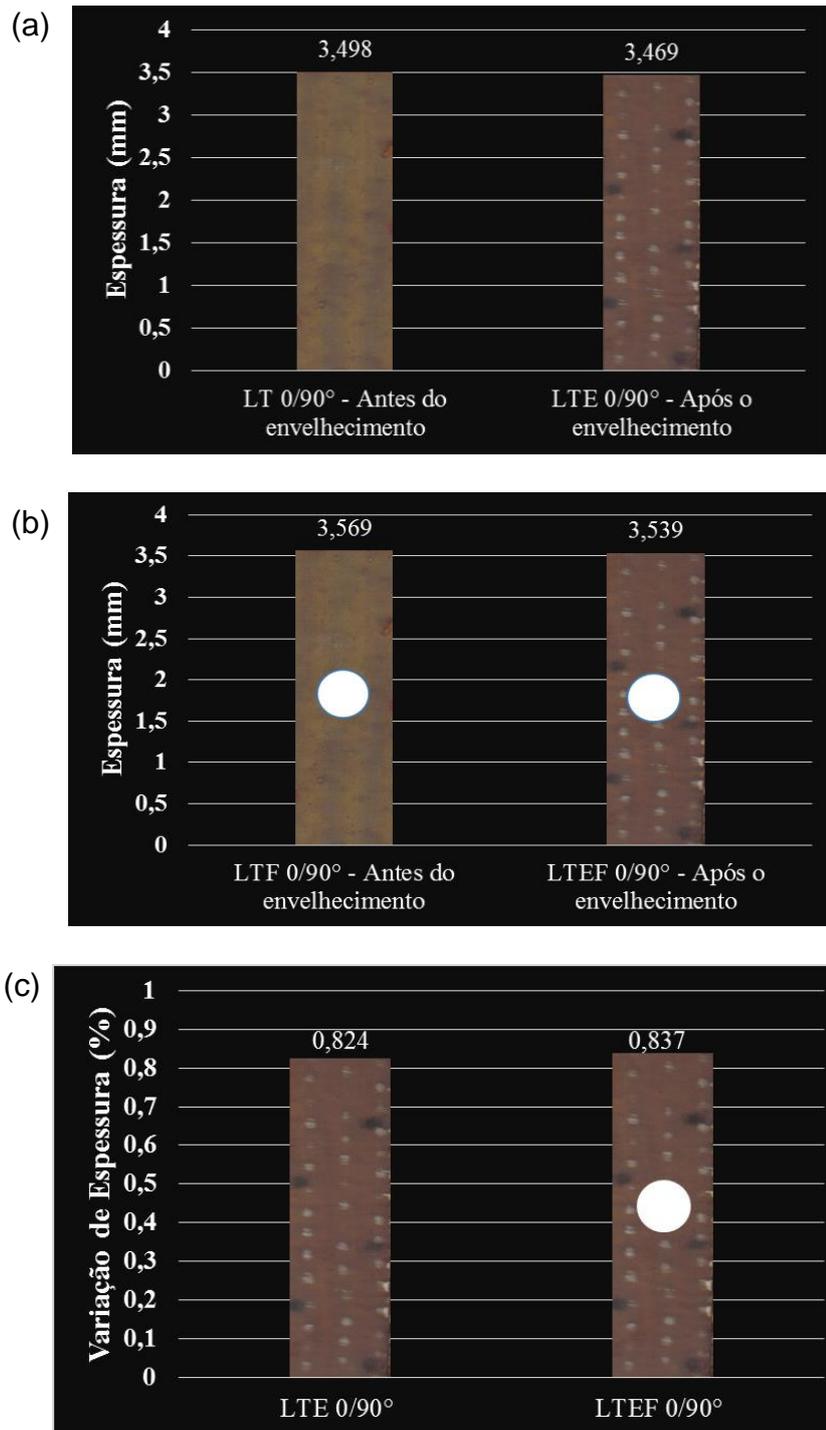


Fig. 3: Valores de espessura: (a) CP's **LT 0/90°** e **LTE 0/90°**; (b) CP's **LTF 0/90°** e **LTEF 0/90°** e (c) Influência simultânea - CP's **LTE 0/90°** e **LTEF 0/90°**.

Técnica de Medição de Variação de Massa (TMVM)

A avaliação da deterioração da integridade estrutural por meio da **TMVM** para os CP's **LTE 0/90°** e **LTEF 0/90°**, após o término do ensaio de envelhecimento, pode ser observado na Fig. 4. No comportamento da perda de massa em função do tempo de exposição se constata que os CP's iniciaram a perda de massa em tempos semelhantes de envelhecimento, ou seja, para ambos a perda de massa se deu a partir do 14° dia (aproximadamente 336 h) de envelhecimento.

No **LTEF 0/90°** (0,77 % e dispersão absoluta de 4,7 %) a degradação ocorreu de forma um pouco mais acentuada do que no **LTE 0/90°** (0,72 % e dispersão absoluta de 5,2 %), atingindo o valor de perda de massa de aproximadamente cinco centésimos (0,05 %) maior. Mais uma vez, pode-se destacar a influência da presença do furo, que torna o corpo de prova mais susceptível a variação da difusão da temperatura e umidade no tocante a ter uma região central aberta na direção do fluxo de radiação e umidade do corpo de prova, o que leva provavelmente, a uma perda de massa mais acentuada na região da vizinhança do furo.

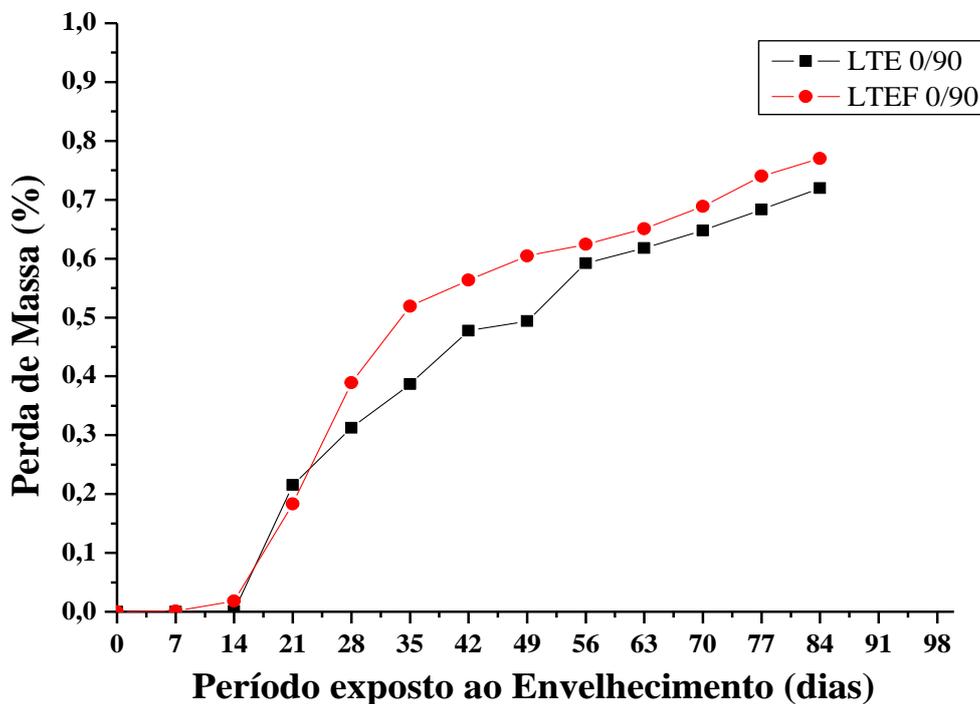


Fig. 4. Variação de massa ao longo do período de envelhecimento ambiental dos CP's **LTE 0/90°** e **LTEF 0/90°**.

Assim como em Felipe ⁽¹⁰⁾, percebe-se que a degradação medida pela **TMVE** apresentou uma variação percentual aproximada à da obtida pela técnica **TMVM**, o que indica consistência nos levantamentos feitos e sendo possível ser aplicadas em condições satisfatórias no monitoramento de estruturas de **PRFV** em condições ambientais próximas as da pesquisa realizada.

CONCLUSÕES

A presença do furo concêntrico durante o ensaio de envelhecimento ambiental teve uma influência negativa no que diz respeito à integridade estrutural, tanto para a **TMVM** quanto para **TMVE**, ou seja, os CP's **LTEF 0/90°** apresentaram valores de perdas maiores que os CP's **LTE 0/90°**.

As técnicas de medidas experimentais **TMVM** e **TMVE** se mostraram coerentes. Neste sentido, podem ser utilizadas na avaliação de possíveis degradações estruturais, quando um laminado compósito polimérico de características semelhantes ao **LT** for exposto às mesmas condições de serviço. O desenvolvimento da **TMVE** facilita a análise da integridade estrutural ocorrida no laminado após envelhecimento, uma vez que a sua medição se verifica apenas no final do ensaio.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao suporte financeiro (bolsas) proveniente do CNPq.

REFERÊNCIAS

1. AWERBUCH, J.; MADHUKAR, M. S.: Notched strength of composite laminates: Predictions and experiments – A review, *Journal of Reinforced plastics and Composites*, v. 4, 159p, 1985.
2. SHIGLEY, J. E.; MISCHEKE, C. R.: *Mechanical Engineering Desing*, 5° Ed., 347 p, 1989.
3. AQUINO, E. M. F.; TINÔ, S. R. L.: Descontinuidade Geométrica nos Compósitos Poliméricos: Resposta Mecânica e Característica da Fratura, In: IX CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA - CIBIM, Las Palmas de Gran Canaria, Anais /2009, Vol. 1, p. 12/2-12/9, 2009.

4. BATISTA, A.C.M.; OLIVEIRA, J.F.S. E AQUINO, E.M.F. Structural Degradation and Mechanical Fracture of Hybrid Fabric Reinforced Composites. *Polymer Engineering and Science*, 2016.
5. TINÔ, S.R.L; AQUINO, E.M.F. Polymer composites: Effects of environmental aging and geometric discontinuity in the isotropic and anisotropic behaviors. *Journal of Composite Materials*, 2015.
6. ASTM G53. Standard Practice for Operating Light- and Water- Exposure Apparatus (Fluorescent UV-Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials, ASTM International, Philadelphia,1996.
7. ASTM G154. Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials, ASTM International, Philadelphia, 2006.
8. FELIPE, R.C.T.S. *Envelhecimento Ambiental Acelerado em PRF a Base de Tecidos Híbridos Kevlar/Vidro: Propriedades e Instabilidade Estrutural*. 2012(a),189p. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica), UFRN, Natal-RN.
9. FELIPE, R.N.B. *Efeitos da Radiação UV, Temperatura e Umidade nos PRF: Modelagem, Instabilidade Estrutural e Fratura*, 2012(b), 247p. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica), UFRN, Natal-RN.
10. FELIPE, R.C.T.S.; FELIPE, R.N.B.; AQUINO, E.M.F., Laminar composite structures: Study of environmental aging effects on structural integrity, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 31, 21: p. 1455-1466, 2012(c).

STUDY OF STRUCTURAL INTEGRITY POLYMER COMPOSITES

ABSTRACT

The range of application of plastic reinforced with fiberglass (FRP) is increasing for various forms of applications such as the manufacture of tanks and flanges. They commonly are exposed to weather and have the presence of geometrical discontinuities, so it is extremely important to know the influence of geometric discontinuity (central hole) and environmental aging on structural integrity. In this sense, this paper proposes study these effects to polymer composite, whose configuration is composed of four layers of fiberglass-E bidirectional fabric

impregnated with polyester resin. To study the structural integrity assessments were performed by measuring technique for mass variation and Measurement technique for thickness variation. It is noticed that both the environmental aging, as the hole directly influences the structural integrity of the material.

Key-words: GFRP, environmental aging, geometric discontinuity.