

CARACTERIZAÇÃO DE JUNTAS DE COMPÓSITOS PEI/FIBRA DE CARBONO SUBMETIDOS A CONDICIONAMENTOS AMBIENTAIS.

I.L.R. Cintra^{1,*}; A.B.R.M. Abrahão¹; F. F. Silva¹; M.P.S. Ribeiro²; L.F.B. Marques²; E.C. Botelho²

1-Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba - Rodovia Vereador Abel Fabricio Dias, 4010 – Pindamonhangaba/SP, CEP: 12.445-010, Brasil. Telefone: (12) 3648-8756, *Isabelacintra26@gmail.com

2- Unesp, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - Departamento de Materiais e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista - Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 – Guaratinguetá/SP, CEP 12.516-540, Brasil. Telefone: (12) 3123-2800.

*isabelacintra26@gmail.com

RESUMO: Materiais compósitos possuem boas propriedades como baixo peso e elevada resistência, o que faz com que sejam cada vez mais estudados para utilização em peças da indústria aeronáutica. Entretanto, devido as condições em que são expostas as aeronaves quando em voo, é necessário uma avaliação de propriedades dos materiais para essa utilização. Uma das formas para esta avaliação é submeter os materiais a ensaios de condicionamento ambiental para analisar a resistência destes quando expostos a intempéries. Uma das limitações na utilização de compósitos industrialmente é o uso de processos de união adequados, sendo os mais comum união adesiva, fusão e rebiteagem. Por possuir vantagens como melhor qualidade da junta e menor custo o processo de união por fusão se destaca dos demais. Neste sentido este trabalho visa avaliar a resistência mecânica de juntas soldadas por oxiacetileno de material compósito PEI/fibra de carbono quando submetidos a ensaios de condicionamento ambiental higrotérmico e ultravioleta.

PALAVRAS-CHAVE: compósitos poliméricos; Condicionamento ambiental; Soldagem; Ultravioleta; Higrotérmico.

ABSTRACT: Composite materials have good properties such as low weight and high strength, which makes them increasingly studied for use in parts of the aeronautical industry. However, due to the conditions under which aircraft are exposed when in flight, an assessment of material properties is required for such use. One of the ways for this assessment is to subject the materials to environmental conditioning tests to analyze their resistance when exposed to weathering. One of the limitations in using composites industrially is the use of suitable bonding processes, the most common being adhesive bonding, melting and riveting. Because it has advantages such as better joint quality and lower cost, the fusion joining process stands out from the others. In this sense, this work aims to evaluate the mechanical resistance of oxyacetylene welded joints of PEI / carbon fiber composite material when submitted to hygrothermal and ultraviolet environmental conditioning tests.

KEYWORDS: polymer composites; Environmental conditioning; Welding; Ultraviolet, Hygrothermal.

1. INTRODUÇÃO

Por trabalhar em grandes altitudes, as aeronaves acabam sendo expostas as mais variadas condições atmosféricas, como incidência de raios UV, baixas temperaturas, variações de umidade e exposição a ambientes ácidos; o que pode resultar na perda das propriedades originais dos materiais utilizados na fabricação. As condições ambientais as quais os materiais compósitos são submetidos

durante o uso acabam dificultando a análise de propriedades mecânicas destes para serem utilizados na fabricação de aviões. Para que os resultados dos ensaios mecânicos obtidos em laboratório sejam coerentes com os resultados apresentados em serviço, se torna necessário que as amostras sejam submetidas ao condicionamento ambiental, que simula as condições de trabalho durante o voo (ROSA, 2017).

A umidade do ambiente associado a temperatura é uma das situações mais atuantes em compósitos estruturais, quando expostos a estas condições pode ocorrer a degradação hidrolítica das cadeias poliméricas, a formação de ligações cruzadas e a plasticização da matriz, sendo neste caso a matriz polimérica o componente mais afetado, pois esta absorve as moléculas de água em sua estrutura. A água penetra na matriz polimérica por meio do processo de difusão, sendo a absorção interrompida quando a concentração de equilíbrio entre o material e meio ambiente é atingida. Essa movimentação das moléculas dentro da matriz é fator responsável pela difusão de umidade de uma região de maior concentração para uma de menor concentração. Como consequência da difusão a resistência a tração, cisalhamento e rigidez tem seus valores reduzidos (DAMATO, 2010; COSTA; BOTELHO; PARDINI, 2011; ROSA, 2017).

A ação dos raios UV em compósitos poliméricos pode causar falhas prematura destes quando em serviço, sendo que quando estes materiais são expostos a esse meio à ocorrência de reações oxidativas que resultam na degradação do material, causando alterações em suas características físicas (fragilização mecânica e formação de fissuras) e alterações químicas como a formação de novos grupos químicos e diminuição da massa molar (OLIVEIRA et al, 2012). A radiação ultravioleta associada com a umidade pode aumentar a degradação do material polimérico. As microtrincas geradas pela exposição do material facilitam a penetração da umidade para o interior do material. O vapor d'água gerado pode remover produtos solúveis provenientes das reações foto-oxidativa e expõe novas superfícies a radiação (QUAN, 2016). O comportamento de materiais compósitos quando expostos à radiação UV é ainda um campo pouco explorado, devido à complexidade das interações entre os componentes e os produtos oriundos da degradação (OLIVEIRA et al, 2012).

As técnicas de união de compósitos podem ser classificadas por fixação mecânica, união adesiva e união por fusão (soldagem). No entanto, dentre as técnicas utilizadas, destaca-se os processos de soldagem devido a estes proporcionarem uma melhor qualidade nas juntas, sendo importante um menor tempo de processo e pouca preparação da superfície a ser soldada (SOUZA, 2013).

Um dos processos que vem sendo adaptados para a soldagem destes materiais é o processo oxigás, onde é utilizado como fonte de calor a combustão de dois gases, e que apresenta como vantagem a possibilidade de controle da temperatura durante o processo e o baixo custo (BRACARENCE, 2000). O processo oxigás utilizando acetileno já é bem difundido para corte e solda em materiais metálicos, entretanto para materiais compósitos pouca literatura ou publicações são encontradas. Neste sentido a proposta deste estudo é fazer a caracterização de juntas soldadas de compósito PEI/fibra de carbono pelo processo oxiacetileno, frente aos condicionamentos ambientais ultravioleta e higrotérmico. Serão estudadas as amostras soldadas com parâmetros de soldagem já desenvolvidos em trabalhos anteriores.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 Laminados

Foram utilizados amostras do laminado PEI/Fibras de carbono, nas dimensões 100x25 mm, confeccionados com tecidos na configuração 8 HS com espessuras nominais entre 2mm a 3,5mm, e com configuração (0/90)5s contendo aproximadamente, 50% em volume de matriz.

2.2 Soldagem Oxiacetileno

Para a soldagem foram utilizados um conjunto de cilindros Oxiacetileno, utilizando uma chama neutra com vazões de $1,0 \text{ kgf/cm}^3$ de acetileno e de $0,5 \text{ kgf/cm}^3$ de oxigênio. Para o controle da temperatura, foi um pirômetro óptico da marca INSTRUTHERM. Na soldagem as amostras foram posicionadas e fixadas em um dispositivo desenvolvido por Carvalho e Oliveira (2018) que consiste em dois tijolos refratários, mostrado na Figura 1, possuindo dois orifícios para a passagem da chama.



Figura 1. Dispositivo utilizado na soldagem com dimensões.

No orifício de recebimento da chama, foi utilizada uma chapa da liga de Alumínio 2024 nas dimensões $25 \times 25 \text{ mm}$ como protetor e condutor térmico, os parâmetros para a soldagem forma de tempo 50 segundos e distância da chama 50 mm.

2.3 Condicionamentos ambientais

Para a realização dos ensaios de condicionamento higrotérmico e ultravioleta as amostras foram submetidas a um processo de secagem em estufa a vácuo da marca QUIMIS, modelo Q819V2, para que porcentagem de água absorvida durante o condicionamento fosse precisa. Elas foram pesadas e colocadas em estufa á 80°C , durante um período de 12 horas, até que ocorresse a estabilização da massa e a presença de umidade fosse mínima. A perda calculada através da Equação 1.

$$\% \text{ perda de massa: } \frac{(M_u - M_s)}{M_u} \quad (1)$$

Onde: M_u = massa úmida; M_s = massa seca

2.3.1 Condicionamento Higrotérmico

Cinco juntas soldadas foram colocadas para condicionamento em uma câmara higrotermica da marca Marconi modelo MA 835/UR, com temperatura de 80°C e umidade relativa de 90%. Os ensaios foram realizados baseando-se nas normas ASTM D5229/ D522 m-04. Para acompanhamento do ganho de massa, foram utilizadas duas amostras de acompanhamento sendo estas pesadas durante todo o período de condicionamento, inicialmente diariamente até o 7 dia, depois a cada 4 dias, e por fim uma vez a cada 7 dias, até que seja notada a estabilização das massas, sendo então retiradas e pesadas todas as amostras. O valor do ganho de massa é obtido através da Equação 2.

$$\% \text{ Ganho de Massa: } \frac{(M_u - M_s)}{M_s} 100 \quad (2)$$

Onde: M_u = massa úmida; M_s = massa seca

2.3.2 Condicionamento Ultravioleta (UV)

Cinco amostras permaneceram expostas ao condicionamento ultravioleta em um equipamento da marca Q-Lab modelo QUV durante 1.200 horas, com um ciclo de 8 radiações UV e 4 horas de

condensação. Os ensaios foram realizados na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, baseando-se na norma ASTM G154.

2.4 Caracterização Mecânica

2.4.1 Lap Shear (LSS)

Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios da SHIMADZU modelo AG-X, apresentada na Figura 2, com uma célula de carga de 50 KN, baseando-se nas normas ASTM D1002-10 e ASTM D5868-01. As amostras serão posicionadas nas garras da máquina de ensaio universal e tracionadas a 1,5 mm / min (0,05 in / min) até que ocorra a falha.



Figura 2. Máquina utilizada na realização do ensaio Lap Shear.

2.4.2 Interlaminar Short Beam (ILSS)

O ensaio de ILSS (*Interlaminar short beam*) foi realizado com o intuito de avaliar a resistência ao cisalhamento interlaminar das juntas soldadas com e sem submissão aos condicionamentos ambientais. Os ensaios foram realizados com uma célula de carga de 10 KN em uma máquina universal de ensaios mecânicos da Shimadzu, modelo AG-X. Os ensaios foram realizados na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá de acordo com a norma ASTM D2344. A Equação para a obtenção dos valores de resistência ao cisalhamento interlaminar esta apresentada na Equação 3.

$$\tau = \frac{3}{4} \times \frac{P}{Wt} \quad (3)$$

Onde: τ = Resistência ao cisalhamento interlaminar; P= Carga na falha [N]; W= Largura [mm]; t= Espessura [mm].

2.5 Caracterização Microestrutural

Após a realização dos testes de condicionamento ambiental as amostras foram submetidas a ensaios mecânicos para a avaliação do efeito do condicionamento na resistência mecânica da junta. Elas foram lixadas em lixas d'água com granulometria de 320, 600 e 1200, seguido de polimento com pasta de diamante de granulometria de 1 μ m. Para obtenção da microscopia e macroscopia das amostras foram utilizados um microscópio óptico da marca ZEISS modelo VERT A1 com aumento de 50x a 1000x e um Estereoscópio da marca OLYMPUS, com aumento de 6,7x a 45x.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Condicionamentos ambientais

3.1.1 Condicionamento Higrotérmico

Os efeitos causados pela ação da umidade em materiais compósitos devem ser levados em consideração na realização de um projeto. Através da difusão a umidade penetra na fase matriz do material até que o equilíbrio seja atingido, sendo esse processo acentuado quando em conjunto com a temperatura. A absorção de umidade pode gerar a expansão da matriz polimérica causando lesões internas, podendo resultar na redução da resistência mecânica e rigidez do material, gerando também mudanças nas características físico-química da matriz (QUAN, 2016). A Figura 3 apresenta o ganho de massa das amostras em porcentagem.

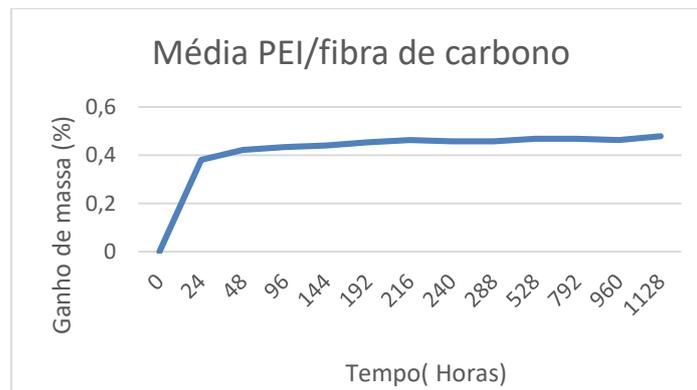


Figura 3. Ganho de massa das amostras submetidas ao condicionamento higrotérmico.

Analisando-se a curva obtida observa-se que o ganho de umidade pelas amostras cresce com o tempo, sendo este, cerca de 0,48%. Na primeira semana de ensaio as amostras absorveram a água mais rapidamente, até que se atinja um estado chamado de pseudo-equilíbrio. No final do ensaio é notado um ganho de massa das amostras devido a absorção de umidade que depois de certo tempo tente a penetrar a matriz polimérica através do processo de difusão, tornando a absorção de umidade mais lenta, como visto por Quan (2016) e Reis (2016).

3.1.2 Condicionamento Ultravioleta

Na Figura 4 é apresentado a curva de perda de massa do material submetido ao condicionamento UV, considerando a partir da segunda semana que houve efetivamente o efeito deste condicionamento na degradação do material.

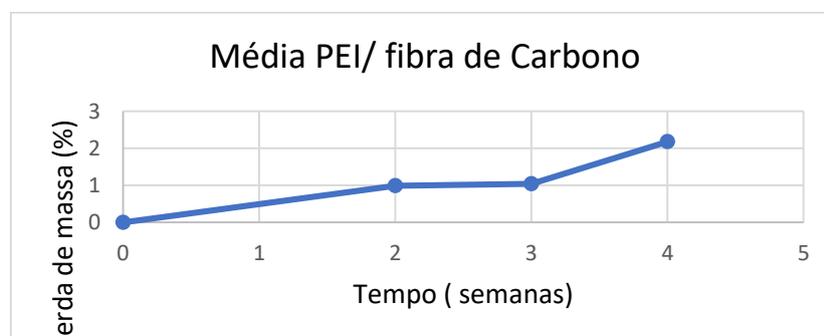


Figura 4. Perda de massa do material submetido ao condicionamento UV.

Observou-se que na primeira semana houve um ganho de massa na amostra, de 14,28 g para 14,33 g (em torno de 0,33 %), provavelmente devido à absorção de umidade pelo laminado. Já entre

a segunda e terceira semana constatou-se a perda de massa, de 14,33 g para 14,14 g. Entre a terceira e quarta semana a massa permaneceu sem muita variação, enquanto que da quarta para a quinta semana está perdeu cerca de 0,16 g. A partir disto é possível observar a ocorrência de perda de massa de aproximadamente 2,51 %. Possivelmente a perda de massa do material após condicionamento UV se dá pela liberação de moléculas de água e voláteis, e também pela degradação do material pela foto-oxidação, causada pela radiação (BATISTA; BOTELHO, 2009).

3.2 Caracterização Mecânica

3.2.1 Lap Shear (LSS)

Após a estabilização do ganho de massa das amostras submetidas à câmara de climatização higrotérmica e ultravioleta foi realizado o ensaio mecânico *Lap Shear* para a verificação da resistência a tração da junta, os valores obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Resistência mecânica das amostras submetidas a condicionamento Higrotérmico

Amostra	Lap shear (MPa)		
	Material Soldado	Condicionamento Higrotérmico	Condicionamento Ultravioleta
1	14,22	8,70	5,20
2	14,12	11,37	2,40
3	15,82	10,30	0,85
4	15,55	9,10	14,39
5	14,58	6,42	9,47
Média	14,85	9,18	6,46

Fonte: (AUTOR, 2019).

Observa-se que os valores de resistência mínimos e máximos obtidos no ensaio *Lap shear* das amostras não condicionadas foram de 14,12 MPa e 15,82 MPa, respectivamente. Nos compósitos submetidos ao condicionamento higrotérmico esses valores foram de 6,42 MPa e 11,37 MPa, enquanto que no condicionamento Ultravioleta os valores foram de 0,85 até 14,39. Foi observado uma queda de resistência mecânica das amostras condicionadas quando comparadas com as do material como recebido, correspondente em média a 38,1% no condicionamento higrotérmico e 56,4% no Ultravioleta.

3.2.2 Interlaminar Short Beam (ILSS)

Os valores de resistência interlaminar das juntas soldadas em comparação as juntas submetidas ao condicionamento Higrotérmico e Ultravioleta são apresentadas na Tabela 2.

Os resultados obtidos após a realização do ensaio ILSS mostram que houve uma pequena perda de resistência ao cisalhamento interlaminar das amostras submetidas aos condicionamentos, sendo no Higrotérmico de cerca de 9,7% e no Ultravioleta de 18,9% em relação as amostras soldadas pelo processo oxiacetileno objeto de estudo deste trabalho.

Tabela 2. Resistência interlaminar das juntas submetidas ao condicionamento higrotérmico.

Amostra	Material Soldado	ILSS (MPa)	
		Condicionamento Higrotérmico	Condicionamento Ultravioleta
1	24,3	20,17	12,01
2	27,23	27,45	35,32
3	32,20	27,18	26,05
4	31,10	30,00	25,42
5	35,86	31,12	24,60
Média	30,10	27,18	24,40

Uma informação também relevante fornecida neste estudo, é a comparação com os resultados obtidos por Abrahão (2015) que obteve a resistência interlaminar do material compósito PEI/ fibra de carbono como recebido sendo em média de 47,95 MPa. Em comparação aos valores de resistência interlaminar de amostras do material tanto as juntas soldadas quanto as amostras condicionadas pelos dois ensaios, é notável que houve uma queda de resistência, de cerca de 37,2% para junta soldada, 43,3% no condicionamento Higrotérmico e 49,9% na Ultravioleta em relação aos as amostras do compósito como recebido.

3.3.Caracterização morfológica das amostras fraturadas

3.3.1 Lap Shear (LSS)

- **Junta não condicionada**

Após a realização do ensaio *Lap shear* foi observado a ocorrência da fratura do tipo intralaminar nas amostras que não foram submetidas aos ensaios de condicionamento. Foi analisada a microestrutura destas juntas para verificação posterior comparativa. A microestrutura da amostra da junta rompida no ensaio LSS do material como recebido soldado que apresentou maior valor de resistência está apresentada na Figura 5.

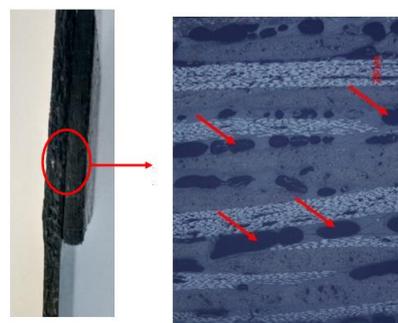


Figura 5. Microscopia óptica da amostra que apresentou maior valor de resistência obtido com ampliação de 50x.

Na figura evidencia-se que há a presença de vazios na região da resina polimérica (indicado pelas setas vermelhas) devido a um eficiente processo de soldagem e como resultado do ensaio mecânico realizado. Também é observado que não há a degradação da área da fibra o que explica seu elevado valor de resistência mecânica, já que esta é responsável por fornecer resistência ao material compósito.

- **Condicionamento Higrotérmico**

A Figura 6 apresenta a microscopia da junta que apresentou maior valor de resistência após serem submetida ao condicionamento higrotérmico e realização do ensaio mecânico *Lap shear*.

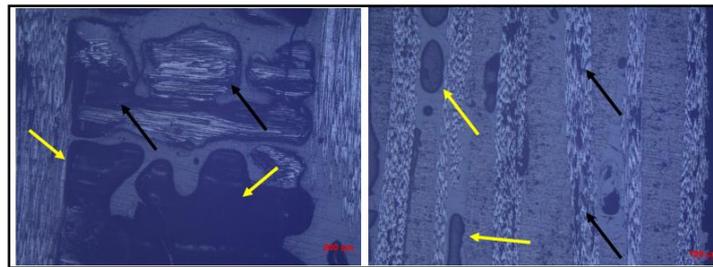


Figura 6. Microscopia da junta submetida ao condicionamento higrotérmico com ampliação de 50 X.

Através da microscopia da amostra é possível observar a presença de vazios na região da matriz (setas amarelas) e de quebras nas regiões fibrosas (setas pretas). Quando comparada a microscopia das amostras submetidas ao condicionamento higrotérmico com a do material como recebido observa-se que no material condicionada há uma maior presença de vazios na matriz e a expansão das fibras devido a difusão da umidade e quebra das cadeias o que, de acordo com Quan (2016) resulta na diminuição da resistência e rigidez do material.

- **Condicionamento Ultravioleta (UV)**

Na Figura 7 é apresentado a microscopia da junta soldada submetida ao condicionamento Ultravioleta com ampliação de 50x.

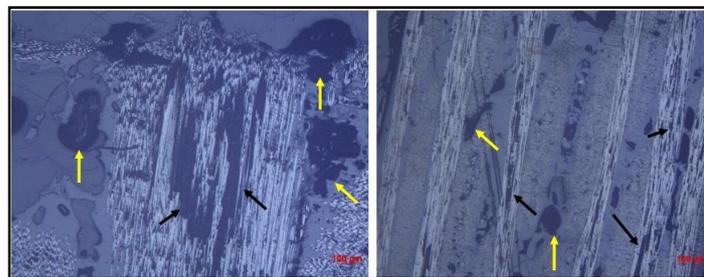


Figura 7. Microscopia da amostra condicionada por ultravioleta que apresentou maior valor de resistência, com ampliação de 50X.

Analisando-se as imagens obtidas através da microscopia ótica é possível verificar que a ação da umidade juntamente com os raios ultravioletas gerou grandes vazios na fase matriz e causou degradação da área fibrosa, devido a liberação de moléculas de água e pela foto-oxidação; tendo isto resultado na elevada queda de resistência mecânica do material condicionado quando comparado com

o recebido. De acordo com Oliveira (2012) a radiação ultravioleta, se tratando de um ambiente não-penetrante causa a degradação superficial de materiais compósitos. Entretanto, neste caso a soldagem causou uma fragilização permitindo assim a penetração dos raios UV, causando a degradação das fibras internas do material.

3.3.2 Interlaminar Short Beam (ILSS)

- **Junta não condicionada**

Com o intuito de analisar a fratura ocorrida foi realizado a microscopia optica das amostras. Na Figura 8 é apresentado a micrografia da junta soldada que não foi submetida ao condicionamento ambiental.

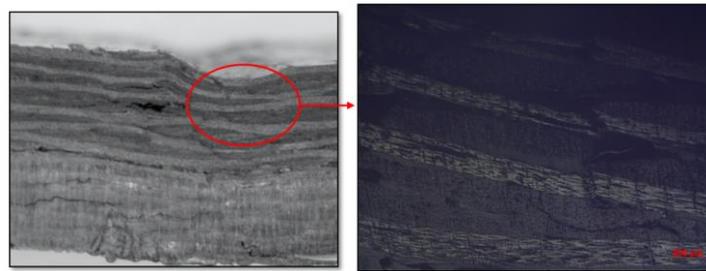


Figura 8. Microscopia da junta soldada sem exposição a condicionamentos ambientais com ampliação de 50x.

Na figura é observado a ocorrência da fratura translaminar de modo 3, que segundo Marinucci (2001) são as que ocorrem transversalmente ao plano do laminado, tendo como característica a quebra das fibras, conforme visto na Figura 8. É visto também a ocorrência de fendas em sentido transversal ao carregamento utilizado.

- **Condicionamento higrotérmico**

É apresentado na Figura 9 a microscopia da junta soldada após condicionamento higrotérmico e realização do ensaio mecânico ILSS.

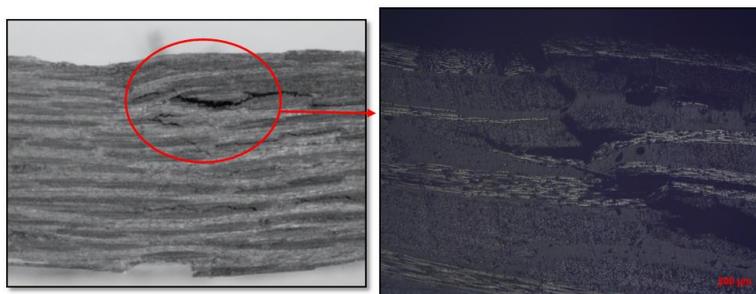


Figura 9. Microscopia da junta soldada com exposição ao condicionamento higrotérmico com ampliação de 50x.

Na figura verifica-se a ocorrência de fratura intralaminar e interlaminar de modo 2 na junta pós-condicionamento, que de acordo com Bandeira (2015) se caracteriza pela ocorrência da fratura entre as laminas do compósito, como é observado na microscopia da amostra a presença de fendas transversais ao carregamento utilizado. Constata-se também que não houve a propagação da trina em toda a extensão da amostra ensaiada, tendo está se prolongado apenas próximo ao local do carregamento, não atingindo assim a interface soldada do material.

- **Condicionamento Ultravioleta**

A Figura 10 apresenta a microscopia da amostra da junta soldada submetida ao condicionamento Ultravioleta com ampliação de 50X.

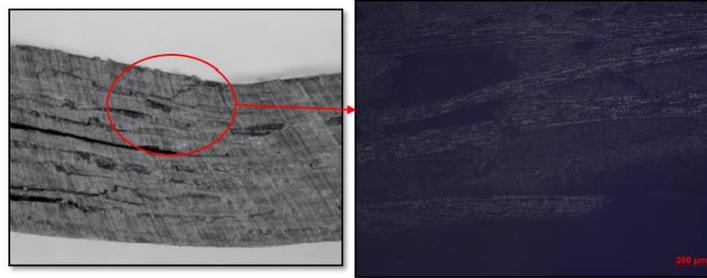


Figura 10. Microscopia da junta soldada com exposição ao condicionamento ultravioleta com ampliação de 50x.

Através da microscopia nota-se que houve a ocorrência de fendas em sentido paralelo ao das camadas do laminado, caracterizando assim a fratura do tipo interlaminar de modo 2. Observa-se também que não houve propagação de trinca na amostra ensaiada.

4. CONCLUSÕES

No ensaio de condicionamento ambiental higrotérmico observou-se um ganho de massa inicial nas primeiras 24 horas de ensaio. Após este período o material atingiu o pseudo-equilíbrio, onde passou a absorver a umidade mais lentamente e em menor quantidade até que sua massa passou a ser estável. Notou-se também a ocorrência de uma diminuição significativa da resistência mecânica devido à plasticização da resina e da quebra de fibras devido a difusão Fickiana.

No ensaio de condicionamento ultravioleta foi observado um ganho de massa entre a primeira e segunda semana de ensaio, enquanto que entre a segunda e quinta semana houve uma queda de massa devido à fotodegradação. Notou-se também uma queda significativa na resistência mecânica do material devido a degradação causada pela radiação ultravioleta.

Quando comparadas as microscopias pós ensaios mecânicos de LSS e ILSS, dos ensaios de condicionamento com a da junta soldada foi observado que no ensaio UV não houve a ocorrência a degradação da matriz polimérica, enquanto que na amostra do condicionamento higrotérmico ficou evidenciado a presença de grandes vazios na resina devido à absorção da umidade. Tanto nos ensaios higrotérmico e UV foi observada também a ocorrência da degradação da fibra em grandes dimensões, isto provavelmente devido ao processo de soldagem, que causou a fragilização das juntas permitindo assim a penetração e ação dos condicionamentos nas fibras internas do material.

REFERÊNCIAS

ASTM D1002-10(2019), **Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)**, ASTM International, West Conshohocken, PA,

ASTM D5229 / D5229M-14e1, **Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, Doi: 10.1520/D5229_D5229M-14E01

ASTM D5868-01(2014), **Standard Test Method for Lap Shear Adhesion for Fiber Reinforced Plastic (FRP) Bonding**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org. DOI: 10.1520/D5868-01R14

ASTM G154-16, **Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org. DOI: 10.1520/G0154-16.

ABRAHÃO, A. B. R. M. **Otimização do processo de soldagem por resistência elétrica em compósitos PEI/fibras contínuas para aplicações aeronáuticas**. 2015. 200f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

BANDEIRA, C. F. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina/fibra de carbono**. 2015. 201 f. Teses (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BATISTA, N.L.; BOTELHO, E.C. **Influência do intemperismo no desempenho visco elástico de laminados PEI/fibras de Carbono com aplicações aeroespaciais**. Congresso Brasileiro de polímeros, 2009, Iguazu.

BRACARENCE, A. C. **Processo de Soldagem Por Chama Oxi-gás – OFW**. Belo Horizonte. 2000. Apostila de Soldagem.

CARVALHO, T. P.; OLIVEIRA, V. S. **Desenvolvimento e otimização do processo de soldagem por Oxi-acetileno para compósito PEI Fibra de vidro**. 2018. Monografia (Graduação Tecnologia Mecânica – Processos de Soldagem). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, 2018.

COSTA, A.P. BOTELHO, C. E. PARDINI, L.C. **Efeito da Degradação Ambiental nas Propriedades de Cisalhamento de Compósitos PPS/Fibra de Carbono**. Vol 21, nº 3, p. 161-167. 2011.

DAMATO, Cesar Augusto. **Efeito do condicionamento ambiental nas propriedades de cisalhamento e visco elásticas de compósitos híbridos metal fibra**. 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2010.

MARINUCCI, G. **Desenvolvimento, Fabricação E Análise De Falha E Fratura De Cilindros De Fibra De Carbono Colapsados Por Pressão Interna**. 151 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências - Área de Tecnologia Nuclear-Materiais. INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES, São Paulo, 2001.

QUAN, N. D. G. "Análise comparativa da performance de elementos resistivos na soldagem por resistência elétrica em compósitos PEI/fibras de carbono." (2016): 114-f.



OLIVEIRA, C. F. P. DEMARQUETTE, N. R. CARASTAN, D. J. - Fotodegradação de compósitos de poliestireno/argila montmorilonita: efeito do tipo de argila e presença de sal. Revista Polímeros. 2012.

REIS, J. F. **Influência do condicionamento higrotérmico no comportamento mecânico de compósitos soldados de PEI/fibras de carbono.** 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ROSA, B. M. **Avaliação Do Condicionamento Higrotérmico Em Compósitos Fibra De Carbono/Epóxi E Titânio Anodizado.** 73 f. Dissertação (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

SOUZA, S.D.B. **Avaliação dos parâmetros de soldagem por resistência para compósitos de PPS/Fibras contínuas com aplicações aeronáuticas.** 2013. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica- Projetos e Materiais) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013