

RODOLFO JOSÉ BUENO ROGERIO

CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS PRODUZIDOS VIA VARTM PARA
APLICAÇÕES AÉRONAUTICAS.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Física da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Física.

Orientador: Prof.^a. Dra. Maria Odila Hilário Cioffi

Guaratinguetá

2011

Rogério, Rodolfo José Bueno
R72
3c
Caracterização de compósitos produzidos por VARTM para aplicações
aeronáuticas / Rodolfo José Bueno Rogério – Guaratinguetá: [s.n], 2011.
47 f.: il.
Bibliografia: f. 43-45

Trabalho de Graduação em Bacharelado em Física – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Maria Odila Hilário Cioffi

1. Materiais compositos 2. Resinas Epóxi 3. Fadiga I- Título

CDU 620.1

CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS PRODUZIDOS VIA VARTM PARA
APLICAÇÕES AÉRONAUTICAS.

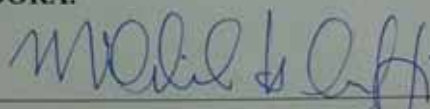
RODOLFO JOSÉ BUENO ROGERIO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUAÇÃO EM FÍSICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM FÍSICA

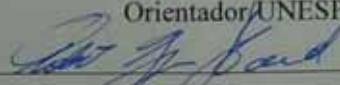
Prof.^a Isabel Cristina de C. Monteiro
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:



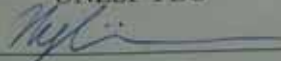
Prof.^a Dra. MARIA ODILA HILÁRIO CIOFFI

Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. ROBERTO YZUMI HONDA

UNESP-FEG



MSc. MARCOS YUTAKA SHIINO

UNESP/FEG

Dezembro de 2011

De modo especial, aos meus pais, Paulo e Ana, que com sua
experiência e sabedoria sempre souberam me guiar pelos caminhos
que escolhi.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais, Paulo e Ana, pela minha vida e pelo meu caráter. Tenho imensa gratidão por sempre me apoiarem em todas as decisões que tomei e sempre me aconselhando para o meu melhor.

Devo agradecer também a Gabriela, minha namorada, que esteve presente comigo sempre que precisei me dando suporte e esperança.

Agradeço em especial minha Orientadora, Maria Odila Hilário Cioffi, que me convidou para fazer parte do grupo de pesquisas, me ensinou muito a respeito dessa área que hoje estou fazendo parte.

Um sincero agradecimento ao Senhor Manoel Francisco dos S Filho, pessoa responsável e que operou os equipamentos durante todos os ensaios mecânicos que foram necessários para a realização do projeto, sempre me auxiliando com sua experiência nessa área, para que pudéssemos ter sempre os melhores resultados.

Agradeço aos amigos que conquistei, onde vivi aprendendo e ensinando todo esse tempo, em meu segundo lar, República Arrancabaço.

“Nós nos movemos em círculos
Balançamos o tempo todo
No reluzente fio da navalha
Uma esfera perfeita
Colidindo com nosso destino
A história acaba onde começou”

John Petrucci

ROGERIO, R. J. B. **Caracterização de materiais compósitos produzidos via VARTM para aplicações aeronáuticas.** 2011. 47 f. (Trabalho de Graduação em Física) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Nos últimos anos na indústria aeronáutica tem crescido o investimento em áreas de pesquisas tecnológicas visando materiais que ofereçam melhor desempenho, segurança, redução de peso e consumo de combustível.

Para isso os materiais mais estudados são os materiais poliméricos, por possuírem alta resistência mecânica e alta rigidez (Ziha, 2008; Mahmood, 2008).

Este trabalho consiste em avaliar as características de dois laminados produzidos a partir do mesmo processo, mas que se diferem apenas nas regiões onde é feita injeção de resina e posicionamento do vácuo.

Os laminados foram de resina SC-79 reforçados com tecido de fibra vidro *plain weave* processado via VARTM. Para isso o material foi submetido a ensaios mecânicos como: tração e fadiga seguindo as normas ASTM D 3039 e ASTM D 3479, respectivamente, sendo que o ultimo foi observada a curva S-N do mesmo. Foi realizada a análise de Ultrassom C-Scan para a verificação da impregnação da fibra pela resina. Considerando que o processo foi o mesmo para os dois laminados, com pequenas variações na injeção e no vácuo, esperou-se encontrar características semelhantes.

PALAVRAS CHAVE - Resina Epóxi, Fibra de Vidro, C-Scan, Tração, Fadiga.

ROGERIO, R. J. B. **Characterization of composite materials manufactured via VARTM for aeronautical uses.** 2011. 47 f. (Graduate Work in Physics)- Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

In recent years the aeronautic industries has increased investment in areas of technological research aiming at materials that offer better performance, safety, weight reduction and fuel consumption.

For this reason the most studied materials are polymeric materials, due to their higher mechanical strength and higher stiffness.

This work evaluated characteristics of two composite laminates produced from the same process, but they differed only in regions where the resin was injected and the vacuum position.

The composite laminates were SC-79 resin reinforced with glass fiber fabric (*plain weave*) processed via VARTM. For this reason the material was subjected to mechanical tests such as: tensile, and fatigue following standards ASTM D 3039 and ASTM D 3479, respectively. The latter was observed the S-N curve. It was performed the ultrasonic C-scan analysis to check impregnation of the fiber. Considering that the process was the same for the two laminates, with small variations in the injection and in vacuum ports, it was expected to find similar characteristics.

KEY WORDS - Epoxy Resin, Fiberglass, C-Scan, Tensile, Fatigue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fibra de Vidro. (http://www.fazfacil.com.br/materiais/fibra_vidro.html)	16
Figura 2: Processo VARTM (http://www.appliedpoceramic.com/VRESIN.htm).	18
Figura 3: Laminado do Compósito de Fibra de Vidro com resina epóxi.	24
Figura 4: Ultrassom por imersão em água MUIS32.....	24
Figura 5: Escala do Mapa de Impregnação.....	25
Figura 6: a) Mapa de impregnação FFB7-8; b) Mapa de impregnação FFB8-8	27
Figura 7: a) Mapa de impregnação FFB7-15; b) Mapa de impregnação FFB8-15	28
Figura 8: a) Mapa de impregnação FFB7-20; b) Mapa de impregnação FFB8-20	28
Figura 9: Mapa de impregnação do laminado FFB7 injeção de resina na lateral com vinte camadas.	29
Figura 10: Mapa de impregnação do laminado FFB8, injeção de resina na lateral com oito camadas	30
Figura 11: a) Gráfico de Resistência a tração laminado FFB7-15 (esse gráfico mostra um deslizamento do corpo de prova na garra).; b)Gráfico de Resistência a tração laminado FFB7-8 c) Gráfico de Resistência a tração laminado FFB7-20	31
Figura 12: a) Gráfico de Resistência a tração laminado FFB8-8 b) Gráfico de Resistência a tração laminado FFB8-15; c) Gráfico de Resistência a tração do laminado FFB8-20....	32
Figura 13: Curva Termogravimétrica do Laminado FFB7-8.....	39
Figura 14: Curva Termogravimétrica do Laminado FFB7-15.....	39
Figura 15: Curva Termogravimétrica do laminado FFB8-8.....	41
Figura 16: Curva Termogravimétrica do laminado FFB8-15.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistência a tração do Laminado FFB 7.....	30
Tabela 2: Resistência a tração do laminado FFB8.	32
Tabela 3: Resultados do ensaio de Fadiga no laminado FFB7-20.....	33
Tabela 4: Resultados do ensaio de Fadiga no laminado FFB7-15.....	34
Tabela 5: Resultados ensaio de Fadiga no laminadoFFB7-8.....	35
Tabela 6: Resultados ensaio de Fadiga no laminado FFB8-20.....	35
Tabela 7: Resultados ensaio de Fadiga no laminadoFFB8-15	36
Tabela 8: Resultados ensaio de Fadiga no laminado FFB8-8.....	36
Tabela 9: Comparação entre os limites de fadiga dos laminados.	37
Tabela 10: Resultados da análise Térmica do laminado FFB7.....	38
Tabela 11: Resultados da análise Térmica laminado FFB8.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VARTM	Vaccum Assisted Resin Transfer Moulding.
DTG	Termogravimetria Derivada
TGA	Termogravimetria
MPa	Mega Pascal.
GPa	Giga Pascal
C-Scan	Análise por Ultrassom
Psi	Pound per square inch
Matec Iview	Software para tratamento de imagens

LISTA DE SÍMBOLOS

T	Temperatura	°C
t	Tempo	h
S	Carga	KN
A	Amplitude	KN
σ	Tensão	MPa
L	Comprimento	mm
m	Massa	mg
P	Pressão	psi
I	Intensidade Sonora	dB
f	Frequência	Hz

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 COMPÓSITOS.....	15
2.1.1 FIBRA DE VIDRO.....	16
2.1.2 RESINA EPÓXI.....	17
2.2 PROCESSAMENTO VARTM.....	17
2.3 INSPEÇÃO POR VARREDURA ACÚSTICA.....	19
2.4 ENSAIOS MECÂNICOS	20
2.4.1 TRAÇÃO	20
2.4.2 FADIGA.....	21
2.4.3 ANÁLISE TÉRMICA.....	22
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	23
3.1. MATERIAL:	23
3.1.2 INSPEÇÃO NÃO DESTRUTIVA POR ULTRASSOM C-SCAN.....	24
3.2. OS ENSAIOS MACÂNICOS.....	25
3.2.1. ENSAIO DE TRAÇÃO E FADIGA	25
3.2.2. TERMOGRAVIMETRIA:.....	26
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	27
4.1 ULTRASSOM C-SCAN.....	27
4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO.....	30
4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FADIGA.....	33
4.3.1 LAMINADO FFB7.....	33
4.3.2 LAMINADO FFB8.....	35
4.4 ANÁLISE TGA.....	37
4.4.1 ANÁLISE TGA DO LAMINADO FFB7.....	37
4.4.2 ANÁLISE TGA DO LAMINADO FFB8.....	40
5. CONCLUSÕES:	42
REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

O que tem acontecido nos últimos anos na indústria aeronáutica é o investimento na área de pesquisas tecnológicas, buscando materiais que ofereçam melhor desempenho, segurança, redução de peso e consumo de combustível.

Para isso os materiais mais estudados tem sido compósitos poliméricos, por possuírem alta resistência mecânica, alta rigidez.

O desenvolvimento de processos novos para a Indústria aeronáutica é muito importante, pois gera um ganho na produção e no tempo, como também economia e aumento da qualidade.

O processo de Moldagem por Transferência de Resina Assistida por Vácuo (VARTM) tem sido desenvolvido ao longo dos anos para garantir um compósito de alta qualidade. Na indústria aeronáutica, a principal vantagem desta ferramenta de moldagem se aplica à sua habilidade de produzir partes com formas complexas. Para que este processo se expanda na indústria aeronáutica, os componentes em compósitos devem ser produzidos com propriedades melhores ou similares às aquelas produzidas usando o processo de autoclave, por exemplo, e com economia de custo (Bathias, 2006).

Para a indústria aeronáutica nacional, a avaliação das propriedades mecânicas do compósito a ser desenvolvido é parte interessante deste projeto, juntamente com o conhecimento completo do comportamento do material que integrará o componente. O Grupo de Fadiga e Materiais Aeronáuticos (GFMA) possui no laboratório de propriedades do DMT/FEG/UNESP os equipamentos INSTRON 88001 e MIScan, adquiridos nos projetos FAPESP 1999/06549-5 e 2006/021021-6, respectivamente, para desenvolvimento do projeto

Especificamente, neste trabalho foi realizado:

- Caracterização do comportamento de fadiga seguindo a norma ASTM D 3479 do compósito da resina SC-79 reforçado com tecido de fibra vidro (*Plain Weave*) processado via VARTM ;
- Inspeção por ultrassom C-Scan para verificar a homogeneidade da distribuição de resina e observar a existência de defeitos no compósito como porosidades ou excesso de resina;

Os materiais de estudo foram fornecidos pela EMBRAER para verificação da possibilidade de uso em componentes aeronáuticos.

Através destas caracterizações foi possível avaliar se o compósito de resina epóxi/tecido de vidro atende aos requisitos para aplicação estrutural na indústria aeronáutica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPÓSITOS

Compósito polimérico é uma combinação de dois ou mais materiais distintos, sendo: elementos de reforço e/ou cargas unidas por uma matriz polimérica, diferenciando-se em forma e/ou composição. Estes componentes permanecem com suas identidades individuais, podendo ser fisicamente identificados, apresentando, porém, uma interface entre eles, o que oferece ao material uma atuação em conjunto na aplicação final do compósito (Callister, 1991).

Em comparação com os materiais convencionais, os compósitos garantem redução de peso e melhor desempenho dos componentes, também apresentam características como resistência à corrosão, o que permite sua utilização em ambientes quimicamente agressivos. Além disso, aditivos especiais e resinas específicas podem solucionar aplicações que requeiram propriedades além das usuais (Callister, 1991; Bathias, 2006).

Os compósitos poliméricos mais pesquisados pela indústria aeronáutica são os

avancados, por apresentarem combinação do reforço e da matriz polimérica conferindo ao compósito obtido menores valores de massa específica e maiores valores de resistência mecânica e rigidez e excelentes propriedades térmicas, que são os aspectos mais requisitados por essa indústria (Hull, 1996).

No entanto, as possíveis aplicações dos compósitos poliméricos avançados não se restringem somente ao setor aeronáutico, podendo-se mencionar aplicações nas áreas espacial, automobilística, náutica e biomédica. Como exemplos podem ser citados: estruturas de satélites e de veículos lançadores de satélites, protetores de Carter, suportes de assentos, cascos de embarcações e próteses ortopédicas (Hull, 1996; Kirk 1998)

2.1.1 FIBRA DE VIDRO

A fibra de vidro é trabalhada de forma artesanal, tendo assim uma maior liberdade de forma na confecção, não enferruja e não oxida. Sendo que uma das suas principais características é a leveza.

A fibra de vidro tem ainda muitas características importantes como, por exemplo, isolante elétrico, isolante térmico, resistência ao fogo, alta resistência mecânica e à oxidação, resistência à umidade e baixo custo (Huang, 2008; Pandita 2001).



Figura 1: Fibra de Vidro. (http://www.fazfacil.com.br/materiais/fibra_vidro.html)

2.1.2 RESINA EPÓXI

As resinas termorrígidas são endurecidas de uma forma permanente, o que recebe o nome de cura, formando ligações cruzadas que desencadeiam uma estrutura rígida tridimensional. Além disso, apresentam boa resistência química a solventes e a altas temperaturas. No entanto, apesar de sofrerem decomposição quando submetidos a elevadas temperaturas, não são recicláveis (Mano, 1999).

Mais uma vantagem do uso de resinas termorrígidas é o fato de essas impregnarem facilmente as fibras, sem necessidade de processamentos especiais, a temperaturas de aproximadamente 120°C e com vácuo (Mano, 1999)

A resina epóxi, um tipo de resina termorrígida, mantém suas propriedades em altas temperaturas (aproximadamente 350°C), como alto módulos (podendo chegar a 4,3 GPa) e resistência à tração acima de 50,0 MPa, forte adesão à fibra e baixa retração no processo de cura; viabilizando a sua aplicação estrutural. Além disso, essa classe de resinas exibe propriedades elétricas, adesão adequada com vários substratos e fácil processabilidade (Canevarolo, 2003; Bathias, 2006)

As únicas desvantagens dessa resina são o custo e o longo período de cura. Além disso, quando submetidas a altas temperaturas, perdem resistência mecânica por se tornarem mais dúcteis. As resinas epóxi são materiais frágeis, pouco resistentes a impactos e por esse motivo são normalmente utilizados como matriz para aplicação estrutural (Canevarolo, 2003; Bathias, 2006).

2.2 PROCESSAMENTO VARTM

A Moldagem por Transferência de Resina Assistida à Vácuo (VARTM) é um processo de fabricação de compósitos em grande escala, é um dos mais eficientes e econômicos. Os equipamentos do processo não são caros o que reduz o custo de implementação, e permite obter componentes com excelente controle das propriedades

mecânicas, são usados moldes fechados de forma a diminuir a contaminação por voláteis no ambiente de trabalho e os riscos de intoxicação, sendo produzido um compósito com boa incorporação e possibilidade de produção de peças grandes e complexas (aumentando a variabilidade das peças), além da qualidade da superfície obtida (H. Nouri, 2008).

Quando a resina não preenche totalmente as regiões entre as fibras formam-se vazios. Esses vazios são prejudiciais ao desempenho do material. Para a diminuição deles é necessário um modelo de pós-enchimento, fase realizada em VARTM. Após a injeção ser interrompida, a pressão da resina diminuirá e a pressão de compactação sobre o tecido aumentará; forçando a resina a deslocar-se para os vazios, preenchendo-os (Lawrence, 2000).

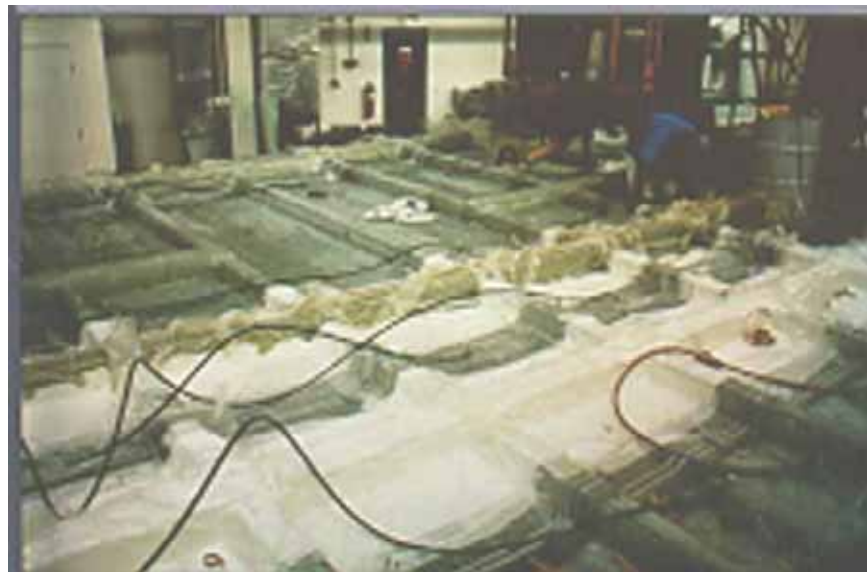


Figura 2: Processo VARTM (<http://www.appliedpolaramic.com/VRESIN.htm>).

Neste processo, as fibras pré-impregnadas são colocadas em uma ferramenta e cobertas através de um fluxo de resina, a montagem é envolta em um saco plástico no qual se aplica o vácuo para difundir a resina à fibra. Micros vazios podem aparecer durante a saturação da resina (Lawrence, 2000).

A produção de compósitos por VARTM contendo reforço de fibras secas faz com que seja necessária a utilização de uma matriz polimérica de baixa viscosidade para que

haja uma impregnação completa deste reforço pela matriz e, devido a isso, as resinas epóxi são as mais indicadas (Lawrence, 2000).

Atualmente vêm sendo desenvolvidos sistemas epoxídicos para esse processo, objetivando a confecção de componentes de elevada qualidade, que é uma exigência da indústria aeronáutica. O sistema de resina utilizado neste trabalho é a SC-79 fabricado pela HEXCEL Composites.

Com o desenvolvimento de um novo material e a utilização de processamento ainda em estudo, são necessárias análises do compósito que possibilitem associar as características estruturais com as propriedades mecânicas.

2.3 INSPEÇÃO POR VARREDURA ACÚSTICA

A inspeção por varredura acústica (MIScan) é uma análise na qual uma sonda emite impulsos a uma determinada frequência em direção à amostra e a mesma sonda recebe os sinais refletidos pela amostra, transformando-os em sinais eletrônicos que permitem obter uma imagem correspondente ao intervalo de tempo entre emissão e recepção dos sinais. Este intervalo pode ser relacionado com a profundidade do obstáculo ou defeito encontrado na amostra (Canevarolo, 2003).

É considerado um método de ensaio não destrutivo e por isso essencial para avaliação do dano existente no compósito antes de sua entrada em serviço ou mesmo em situações de avaliação do progresso de danos para adequação das condições de funcionamento, além deste permitir a detecção de defeito não superficial na amostra (Yashiro, 2007; Canevarolo, 2003).

Neste trabalho foi utilizada a técnica não destrutiva por ultrassom C-Scan, no microscópio de inspeção acústica MIScan, processo FAPESP 06/02121-6, que funciona por emissão de ondas propagadas por um meio elástico no qual, a onda sônica ao percorrer um material qualquer sofre em sua trajetória efeitos de dispersão e absorção, resultando na redução da sua energia ao percorrer um material qualquer esta onda muda

sua característica inicial, refletindo um sinal captado por um transdutor.

Em compósitos as discontinuidades mais comuns são na forma de vazios gerados por escassez inicial de resina, formados na injeção de resina, sofrendo contração ou expansão durante a cura, processo no qual também podem surgir novos vazios pela formação de gases devido às reações químicas ou também acúmulo de resina. Essas discontinuidades são responsáveis pela mudança da magnitude de perda de energia da onda ao passar pelo material (Yashiro, 2007; Canevarolo, 2003).

2.4 ENSAIOS MECÂNICOS

2.4.1 TRAÇÃO

Apesar de nenhum ensaio mecânico prever completamente o real desempenho mecânico de um material, seja na etapa de produção ou na etapa de utilização, o ensaio de tração é considerado o teste mecânico que apresenta a melhor relação entre informações obtidas e custo/complexidade de ensaio (Callister, 1991). Mesmo este teste, normalmente, sendo realizado em condições bem distintas daquelas nas quais o material será requisitado, os parâmetros nele obtidos são o ponto de partida para a caracterização e especificação (Callister, 1991; Afaghi-Khatibi, 2000).

O ensaio de tração geralmente é realizado num corpo de prova de forma e dimensão padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser comparados ou, se necessário, reproduzidos. Os esforços ou cargas são medidos na própria máquina de ensaio na qual o corpo de prova foi fixado, e, normalmente, levado à ruptura, sendo, portanto, um ensaio destrutivo (Callister, 1991).

Ensaio de tração nos permite classificar os materiais como dúcteis ou frágeis, ou seja, se ocorre ou não as deformações plásticas, possibilitando uma melhor definição de sua aplicação (Callister, 1991; Afaghi-Khatibi, 2000).

2.4.2 FADIGA

Para observar falhas comuns nos compósitos os ensaios de fadiga nos permitem conhecer suas vidas úteis. Essas falhas vêm da nucleação de trincas por fadiga e sua propagação até a ruptura final. No caso de componentes críticos, esse tipo de falha pode resultar em acidentes (Ziha, 2008).

Falhas por fadigas são danos que ocorrem devido às tensões variáveis com o tempo. Com a aplicação de cargas cíclicas, o material pode nuclear pré-trincas que, com o tempo ou número de ciclos, desenvolvem-se gerando trincas que se propagam até a falha do material. Geralmente, essas falhas ocorrem em valores de tensão abaixo da tensão de escoamento do material, a variação na amplitude dos carregamentos e número de ciclos deve ser suficiente para que ocorra a propagação das trincas. (H. Nouri, 2008; Pandita, 2001).

Podendo assim definir a vida em fadiga como o número de ciclos necessários para que uma trinca no material propague-se de sua nucleação até seu tamanho crítico.

Estruturas de compósitos em serviço são geralmente submetidos a cargas de fadiga. Danos por fadiga causam uma redução gradual nas propriedades mecânicas dos compósitos tais como resistência e dureza. A fadiga em compósitos reforçados com fibras contínuas consiste em um fenômeno muito complexo. Devido à degradação das propriedades durante o carregamento cíclico, as tensões são continuamente redistribuídas à estrutura do compósito, portanto, o comportamento em fadiga para este material ocorre de forma diferente quando comparado aos materiais metálicos. (Garcia 2000; Suri 1995)

Nos materiais compósitos, geralmente este processo inicia-se a partir da formação de microfissuras na matriz logo nos primeiros ciclos, entretanto, estes materiais podem suportar cargas até que a fratura do reforço ocorra. Desta forma, durante a realização dos ensaios de fadiga, podem acumular-se muitos danos, sem que visualmente seja evidente uma fissura macroscópica podendo, no entanto, registrar significativas perdas na rigidez e na tensão de ruptura . (Zhang 1999)

2.4.3 ANÁLISE TÉRMICA

Métodos de análise térmica medem variações de um parâmetro ocorridas como uma função da temperatura ou do tempo à temperatura constante.

Na termogravimetria, o parâmetro medido é a massa, isto é, detecta-se o ganho ou perda de massa que ocorre na amostra em função de uma variação de temperatura controlada (Lucas, 2001). As curvas geradas por essa técnica fornecem informações quanto à estabilidade térmica da amostra, à composição e à estabilidade dos compostos intermediários e do produto final, sendo que durante o processo de aquecimento pode ser verificada a eliminação de produtos voláteis por reação de desidratação, oxidação, vaporização, dentre outras (Canevarolo, 2003).

Alguns fatores podem influenciar nos resultados obtidos com essa técnica, e esses podem ser tanto de origem instrumentais quanto relacionados à amostra, dentre eles temos: a razão de aquecimento, a atmosfera do forno, a forma, tamanho e composição do cadinho, a massa, o volume, a forma e a granulometria da amostra (Canevarolo, 2003; Lucas, 2001).

Para compósitos poliméricos, dentre algumas possibilidades, a TGA pode ser aplicada para avaliar a estabilidade térmica do polímero, o efeito de aditivos, para determinar a quantidade de umidade e de voláteis e a temperatura de degradação (Canevarolo, 2003; Lucas, 2001).

Na termogravimetria diferencial, resultado da derivada da curva TGA, o parâmetro medido é a variação de massa em função do tempo, ou seja, taxa de variação de massa. Comparada a TGA, a DTG possui a vantagem, por exemplo, de uma melhor visualização das informações, como uma maior exatidão na T_{pico} (Canevarolo, 2003; Lucas, 2001).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.

3.1. MATERIAL:

Os laminados obtidos para os ensaios de tração e de fadiga foram confeccionadas na Embraer.

O primeiro laminado produzido apresenta as seguintes características:

- Laminado em fibra de vidro com sequência de empilhamento:
(0, 90)₈ (8 camadas invertidas);
(0,90)₁₅ (15 camadas invertidas);
(0,90)₂₀ (20 camadas invertidas);
- Dimensões: 300 x 600 mm
- Pré-formagem: 120 °C x 20 min;
- Um ponto de entrada de resina posicionado próxima a lateral de oito camadas e um ponto de vácuo na outra extremidade do laminado com 20 camadas
- Infusão: SC 79 com mídia
- Cura: 120°C x 2h

O segundo laminado produzido apresenta as seguintes características:

- Laminado em fibra de vidro com sequência de empilhamento:
(0, 90)₈ (8 camadas invertidas);
(0,90)₁₅ (15 camadas invertidas);
(0,90)₂₀ (20 camadas invertidas);
- Dimensões: 300 x 600 mm
- Pré-formagem: 120 °C x 20 min;
- Um ponto de entrada de resina posicionada próxima a lateral com vinte camadas e um ponto de vácuo na outra extremidade do laminado com oito camadas.
- Infusão: SC 79 com mídia
- Cura: 120°C x 2h

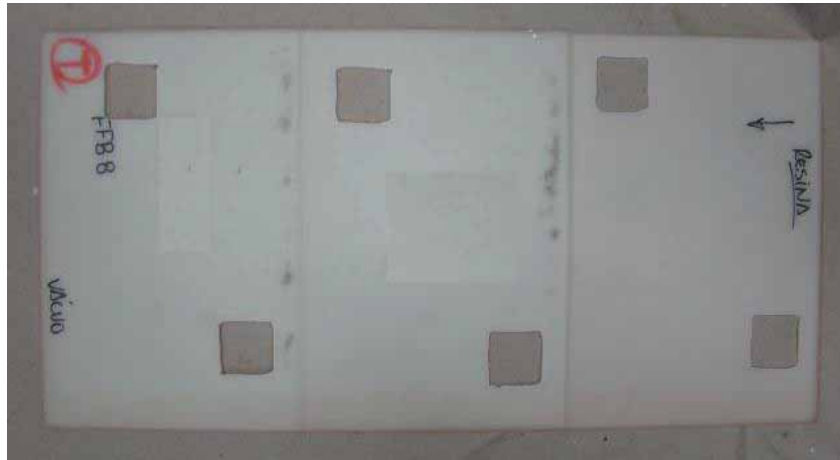


Figura 3: Laminado do Compósito de Fibra de Vidro com resina epóxi.

3.1.2 INSPEÇÃO NÃO DESTRUTIVA POR ULTRASSOM C-SCAN.

A inspeção de ultrassom foi feita utilizando o microscópio de inspeção acústica (MIScan) pelo método C-Scan modelo MUIS32 do fabricante MATEC (Figura 4), por imersão em água, a qual foi adquirida no projeto FAPESP 2006/02121-6, para verificação de possíveis acúmulos de resina, vazios e espaços secos.



Figura 4: Ultrassom por imersão em água MUIS32.

Objetivo do ultrassom, foi para a verificação na distribuição de resina, observar possíveis pontos onde há existência de bolhas (ausência de resina), trincas, ou qualquer outro tipo de anormalidade na injeção da resina nas peças.

Essa técnica é uma técnica não destrutiva, e permite estabelecer um controle da qualidade de laminados, com níveis de atenuação em dB/mm.

A Imagem é obtida através do Software “Matec Iview”. Diferentes cores podem ser atribuídas para cada nível de atenuação. A escala de atenuação adotada pelo Grupo de Fadiga e Materiais Aeronáuticos FEG/UNESP, que está representada na Figura 5, sendo que a porcentagem que está na escala é a porcentagem de sinal que volta para o equipamento, mostrando assim o nível de distribuição da resina no material, dessa maneira fica mais fácil identificar a porcentagem de sinal atenuada em cada região do laminado. O controle de formação de vazios é importante em compósitos, pois dependendo da extensão com que ocorram, podem prejudicar o material em suas propriedades mecânicas, principalmente quando o material é submetido à variação de temperatura e umidade.

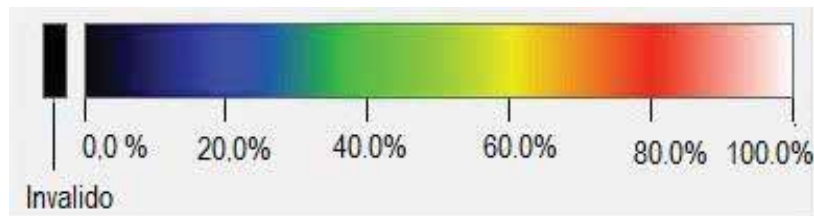


Figura 5: Escala do Mapa de Impregnação

3.2. OS ENSAIOS MACÂNICOS.

3.2.1. ENSAIO DE TRAÇÃO E FADIGA

Os ensaios de tração e fadiga axial foram realizados em uma máquina universal de ensaios INSTRON 8801, do Laboratório de Propriedades Mecânicas do DMT/FEG/UNESP de acordo com as normas técnicas ASTM D-3039 e ASTM D 3479.

Os corpos de prova foram confeccionados no CTA e na UNESP – Campus de Guaratinguetá, com medidas 25 mm de largura, 175 mm de comprimento. A espessura dos corpos variando entre 2,3 á 6 mm dependendo da placa.

A pressão utilizada na garra da máquina variou entre 800 e 1150 psi. Essa pressão deve ser ideal tal que não presse o corpo de prova danificando-o, ou formando micro trincas que se propaguem, fazendo com que o ensaio seja prejudicado, também não deve ser baixa de maneira que o corpo escorregue da garra durante as oscilações.

Utilizando uma razão entre carga máxima ($S_{m\acute{a}x}$) e carga mínima ($S_{m\acute{i}n}$) igual a 0,1, frequência do ensaio de 10 Hz para todos os ensaios e uma amplitude A de ensaio dada pela média da diferença entre as cargas máximas e mínimas para cada ensaio realizado.

3.2.2. TERMOGRAVIMETRIA:

Os ensaios termogravimétricos foram realizados nos laminados sob mesmas condições iniciais tais como: Temperatura Inicial por volta de 25°C chegando até uma Temperatura final próxima de 1000°C, tendo como uma razão de aquecimento 10°C/min., e atmosfera controlada de Nitrogênio no interior do forno.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

4.1 ULTRASSOM C-SCAN.

Os laminados em estudo são do mesmo material compósito, sendo que se diferem apenas no modo como foram injetadas e feito o posicionamento de vácuo. Para o laminado FFB7 a resina é injetada pela lateral de 20 camadas, e para a FFB-8 é injetada pelo lado de o8 camadas.

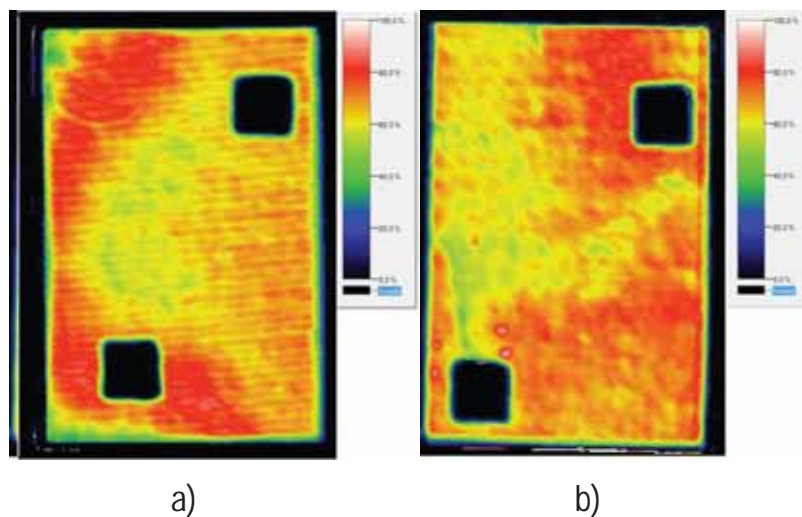


Figura 6: a) Mapa de impregnação FFB7-8; b) Mapa de impregnação FFB8-8

Tem-se primeiramente para a região com 8 camadas do laminado FFB7 Figura 6a, na qual o sinal de maior atenuação foi observado no centro do laminado, nas bordas e partes mais externas.

Para o segundo laminado nota-se que é semelhante na região central e uma menor atenuação nas regiões próximas à região de injeção.

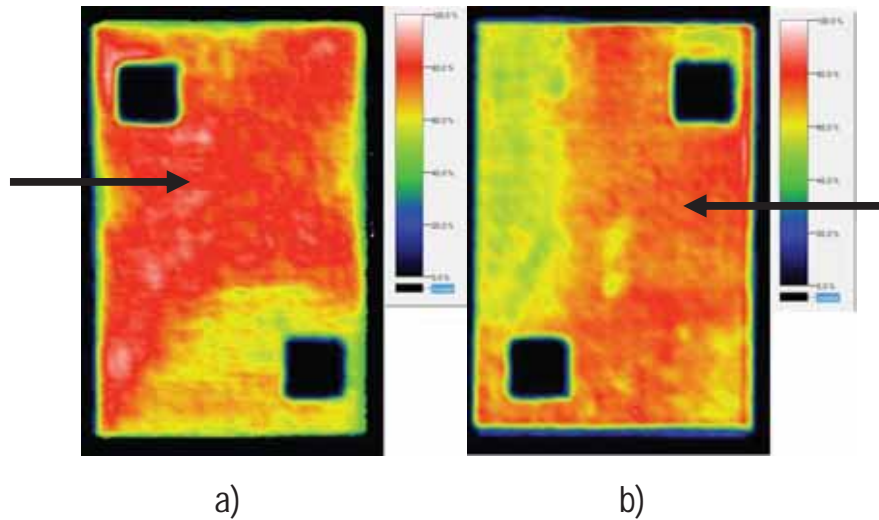


Figura 7: a) Mapa de impregnação FFB7-15; b) Mapa de impregnação FFB8-15

Para o laminado FFB7, foi constatada uma pequena atenuação do sinal, próximos aos 20%, regiões indicadas em vermelho.

A região de 15 camadas do laminado FFB8 teve atenuação próxima de 20%, regiões em Vermelho. E uma parcela da região lateral com maior atenuação, regiões do laminado em amarelo e verde. Pode-se dizer que em sua maior parte o laminado tem boa distribuição de resina, não sendo observados vazios.

As Figuras 8a e 8b apresentam os laminados produzidos com 20 camadas:

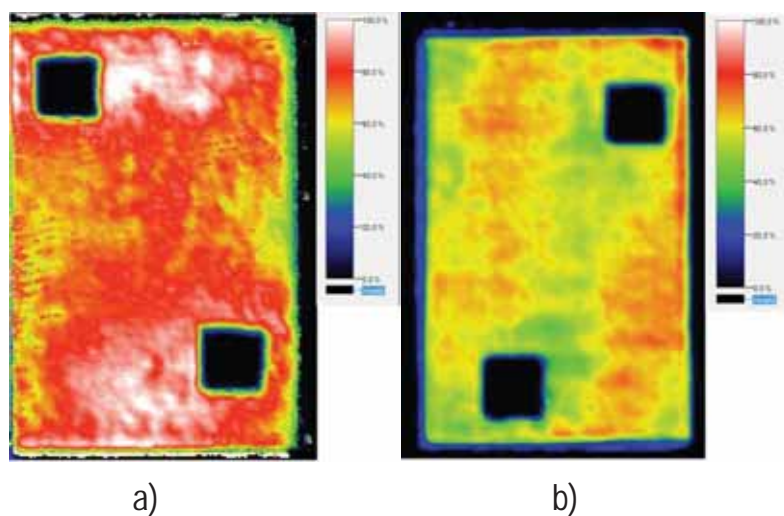


Figura 8: a) Mapa de impregnação FFB7-20; b) Mapa de impregnação FFB8-20

Pode ser observada imediatamente uma diferença entre essas duas imagens obtidas pelo mapa de impregnação. Para a Figura 8a em sua grande parte percebe-se que existe apenas uma atenuação do sinal por volta de 20% nas partes em vermelho. Indicando que ali existe uma distribuição maior e mais homogênea da resina. Ainda que a mesma apresente partes em branco onde praticamente não existiu perda de sinal, pequenas regiões com alto grau de homogeneidade.

Já para a segunda imagem o mesmo não ocorre, temos uma atenuação de sinal por volta de 40% nas regiões verdes e 60% nas regiões amarelas. Mas isso se deve ao fato de que no laminado FFB7, o lado de injeção de resina foi exatamente a lateral com 20 camadas, sendo que na região onde ocorreu tal evento foi encontrada uma melhor distribuição e concentração de resina e ainda com maior uniformidade. .

Para uma análise mais detalhada dos mapas de impregnação dos laminados em estudo, serão comparadas as imagens das Figuras 9 e 10:

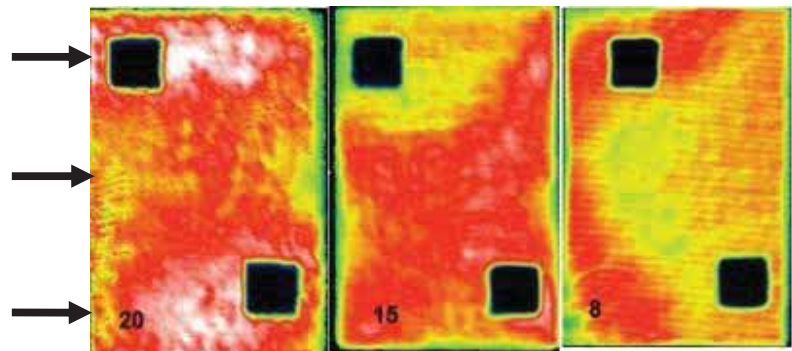


Figura 9: Mapa de impregnação do laminado FFB7 injeção de resina na lateral com vinte camadas.

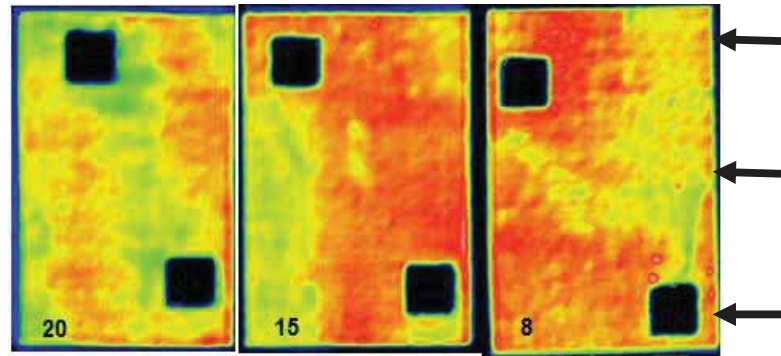


Figura 10: Mapa de impregnação do laminado FFB8, injeção de resina na lateral com oito camadas .

Considerando então as imagens dos mapas de impregnação, pode ser observado, de uma maneira geral, que o laminado FFB7 teve uma maior área em vermelho, indicando uma perda menor de sinal, em torno de 20%. Principalmente pela lateral de 20 camadas onde a resina foi injetada. Já para o laminado FFB8, houve uma redução do sinal na região em vermelho, porém para as regiões com 8 e 15 camadas não foi uma redução do sinal tão brusca em relação à região de vinte camadas. Embora isso tenha ocorrido para esses laminados, ainda assim se nota um padrão na distribuição das cores, que ficam entre amarelo, verde e vermelho. O sinal avermelhado mais intenso pode ser relacionado à região em que a resina é injetada, e tende para verde ou amarelo na região de vácuo.

4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO.

Os resultados encontrados do ensaio de tração para os dois laminados em estudo estão descritos nas Tabelas 1 e 2. Na Tabela 1 estão indicados os valores de tração obtidos no ensaio do laminado FFB7

Tabela 1: Resistência a tração do Laminado FFB 7.

Laminado FFB7	FFB7-8 (MPa)	FFB7-15 (MPa)	FFB7-20 (MPa)
Resistência Média	174,6	319,4	303,8

As Figuras de 11 a 12 indicam as curvas obtidas nos ensaio de tração.

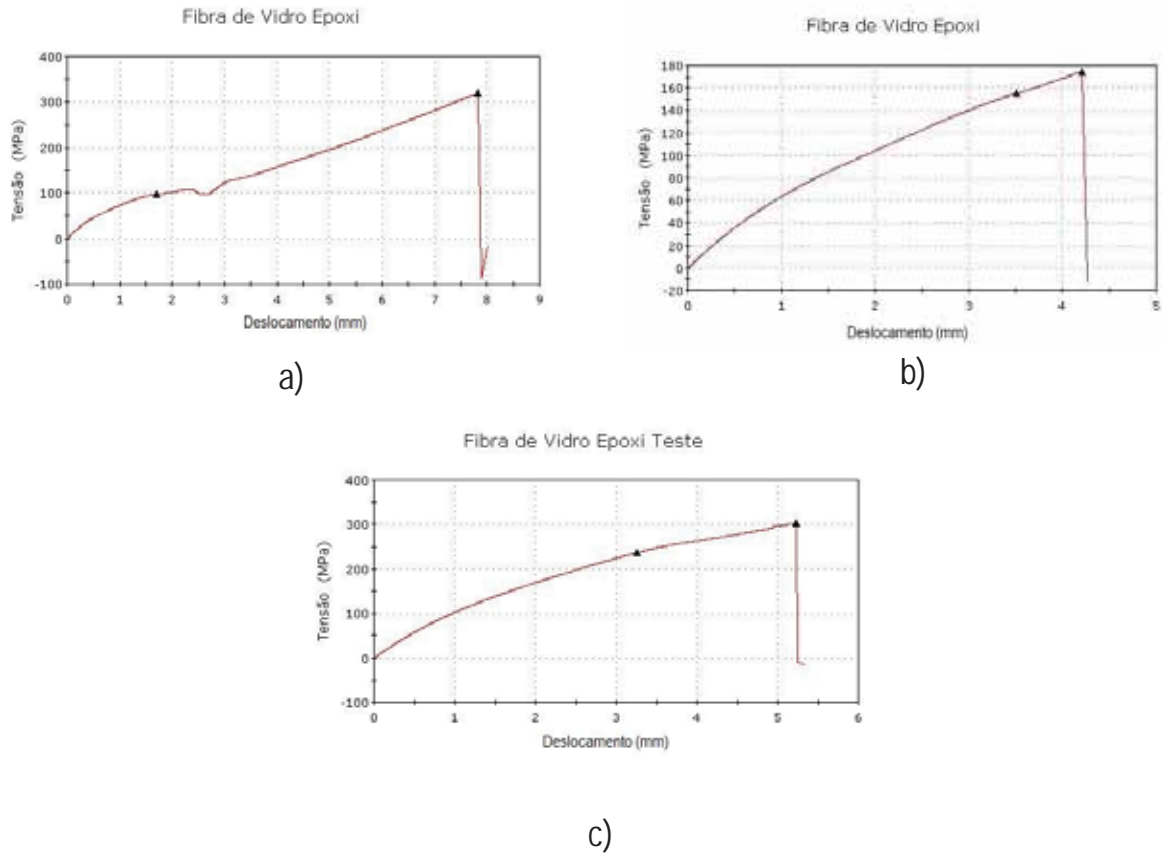


Figura 11: a) Gráfico de Resistência a tração laminado FFB7-15 (esse gráfico mostra um deslizamento do corpo de prova na garra).; b) Gráfico de Resistência a tração laminado FFB7-8 c) Gráfico de Resistência a tração laminado FFB7-20 .

A Figura 11 representa curvas de tensão *versus* alongamento. Os resultados dos ensaios para o laminado FFB7-8 (região do laminado com 8 camadas) mostram que essa região teve um resultado bem diferente das outras regiões, assim como também se difere dos resultados do laminado FFB8-8.

Recorrendo ao mapa de impregnação essa região apresenta uma atenuação maior do sinal, onde o corpo de prova para realizar o ensaio foi retirado. Esta parte conta com uma atenuação próxima de 40% do sinal emitido, tendo em vista que os resultados para as outras regiões da mesma peça tiveram uma atenuação por volta de 20% do sinal. Essa pequena diferença na distribuição pode ter afetado o resultado final.

A Figura 11 a apresenta um deslizamento do corpo de prova, esse ocorrido é devido a uma pressão ligeiramente abaixo da ideal para segurar o corpo de prova com total segurança, ainda que esse evento do escorregamento tenha acontecido ele não foi prejudicial ao ensaio.

E para o laminado FFB8 – 8 temos os seguintes resultados:

Tabela 2: Resistência a tração do laminado FFB8.

Laminado FFB 8	FFB8-8 (MPa)	FFB8-15 (MPa)	FFB8-20 (MPa)
Resistência Média	329,9	321,3	330,5

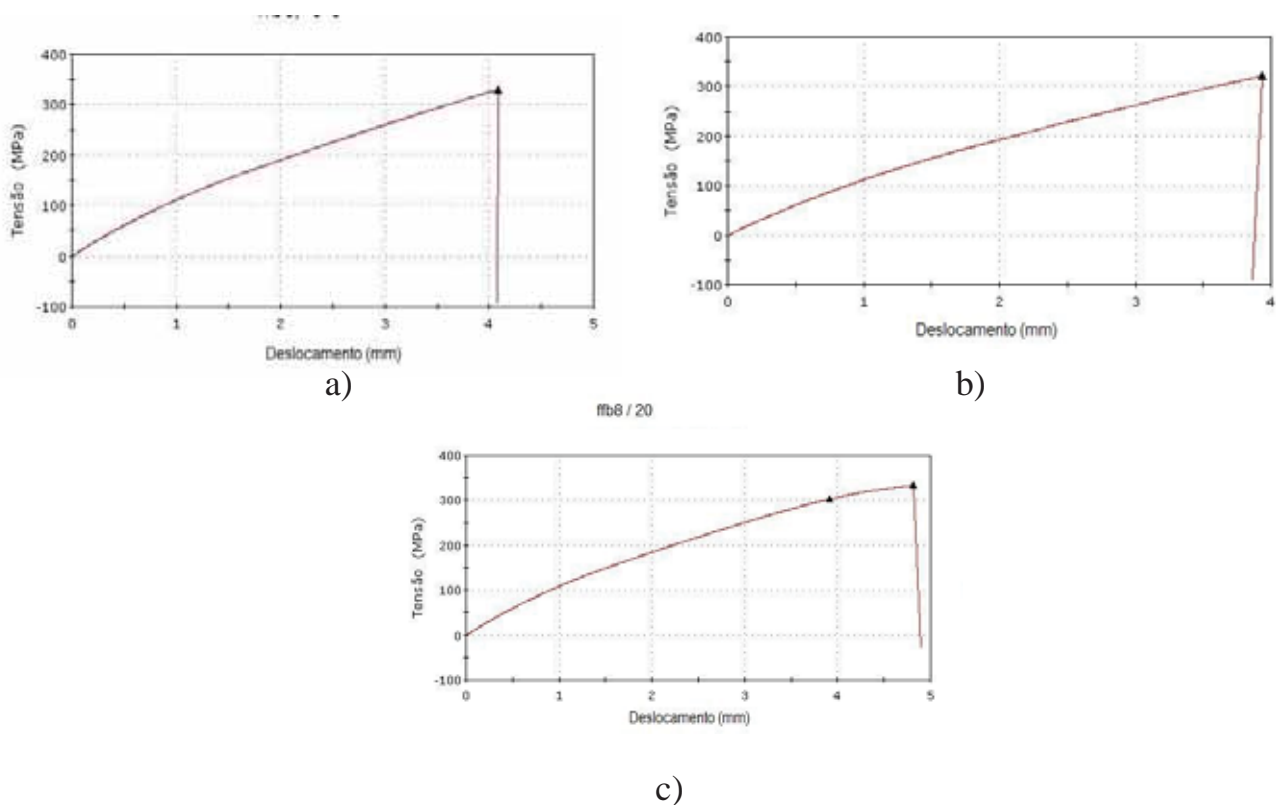


Figura 12: a) Gráfico de Resistência a tração laminado FFB8-8 b) Gráfico de Resistência a tração laminado FFB8-15; c) Gráfico de Resistência a tração do laminado FFB8-20

Observa-se que para os corpos de prova o laminado FFB8, para todas as três camadas que os resultados de resistência estão muito próximos.

Considerando que para o laminado FFB8, as distribuições nas devidas camadas estão com bom índice de distribuição de resina, é esperada uma resistência média próxima para os laminados FFB8-8, FFB-15 e FFB8-20 quando comparados aos respectivos dados de resistência a tração dos laminados FFB7 tabelados.

4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FADIGA.

4.3.1 LAMINADO FFB7

Os resultados encontrados no ensaio para os laminados em estudo estão indicados na Tabela 3 são referentes ao laminado FFB7-20, onde sua resistência a tração é de aproximadamente 303,85 MPa.

Inicialmente o ensaio de fadiga foi conduzido com 75% da resistência à tração, sendo encontrado um baixo ciclo. Ao realizar o ensaio com 50% da resistência a tração percebe-se um resultado bastante significativo, mostrando um milhão de ciclos o que indica uma vida infinita, valor utilizado como resistência à fadiga no ensaio. A região onde esses corpos se localizavam eram regiões de mesmo grau de distribuição e cura de resina, não tendo praticamente nenhuma diferença dessa característica limitante.

Tabela 3: Resultados do ensaio de Fadiga no laminado FFB7-20.

%	σ (MPa)	Smáx(KN)	Smín(KN)	A(KN)	Sméd(KN)	N° ciclos
0,75	227,9	34,3	3,4	15,4	18,8	2382
0,60	182,3	26,9	2,7	12,1	14,8	13128
0,55	167,1	25,2	2,5	11,3	13,8	23958
0,50	151,9	24,4	2,4	10,9	13,4	1000000

A Tabela 4 apresenta os dados do Laminado FFB7 com 15 camadas, a qual inicialmente apresentou uma resistência a tração de 319,40 MPa, similar à do laminado FFB8.

Na qual se percebe que 75% de resistência à tração forneceu um valor divergente do esperado, considerando que o tempo de ensaio foi muito curto.

Tabela 4: Resultados do ensaio de Fadiga no laminado FFB7-15.

%	σ (MPa)	Smáx (KN)	Smín (KN)	A (KN)	Sméd (KN)	N° ciclos
0,75	239,5	25,6	2,6	11,5	14,1	20
0,62	200,0	21,0	2,1	9,4	11,5	4134
0,55	175,7	19,6	1,9	8,8	10,8	6432
0,53	170	16,7	1,7	7,5	9,2	17685
0,50	159,7	17,7	1,8	7,9	9,7	24833
0,40	127,8	14,8	1,5	6,6	8,1	145319

Pode ser observado que, em virtude da utilização de um corpo de prova em uma região da peça onde havia uma diferença de homogeneidade na distribuição de resina, o resultado esperado se distância do obtido quando ensaiado com 75% do limite de resistência a tração.

A Tabela 5 mostra os resultados para o laminado FFB7-8 camadas. Pela análise das imagens do mapa de impregnação, a região onde esses corpos foram extraídos são regiões onde existe uma pequena diferença na distribuição de resina. Visto que esse laminado foi o que teve menor resistência a tração, uma resistência de 174,0 MPa. Porém se for levado em conta, as imagens fornecidas pelo Ultrassom é fácil verificar que a localização desses corpos é uma região onde não existe uma variação considerável na distribuição da resina, e também é uma parte da peça onde o sinal recebido está entre 60% e 75%, dados que logo adiante foram confirmados .

Tabela 5: Resultados ensaio de Fadiga no laminado FFB7-8.

%	σ (MPa)	Smáx (KN)	Smín (KN)	A (KN)	Sméd (KN)	N° ciclos
0,75	131,0	8,2	0,8	3,7	4,5	104716
0,60	104,8	6,1	0,6	2,7	3,3	409871
0,60	104,8	6,0	0,6	2,7	3,3	339276
0,55	96,0	5,5	0,5	2,5	3,0	1000000
0,50	87,3	5,1	0,5	2,3	2,8	1000000

4.3.2 LAMINADO FFB8

Para esse laminado, FFB8-20 foi encontrado um baixo número de ciclos quando comparado aos anteriores, analisando as causas e seguido pelas imagens obtidas no mapa de impregnação, foi observado que neste laminado uma distribuição heterogênea, o que explica o comportamento dos corpos de prova, ou seja, aqueles ensaiados em 35% e 30% apresentaram os valores de 340000 e 193000 ciclos, mesmo tendo sido retirado de regiões onde a distribuição obtida pelo mapa de impregnação foi mais uniforme.

Tabela 6: Resultados ensaio de Fadiga no laminado FFB8-20.

%	σ (MPa)	Smáx (KN)	Smín (KN)	A (KN)	Sméd (KN)	N° ciclos
0,75	247,9	36,5	3,6	16,4	20,1	1191
0,60	198,3	27,3	2,7	12,3	15,0	8366
0,35	115,7	16,5	1,6	7,4	9,1	193291
0,30	99,1	13,5	1,3	6,1	7,4	359982

Observando a Figura 8, o corpo de prova submetido a 75% do limite de resistência a tração, é uma região com índices diferentes de distribuição de resina, variando entre 40% e 60%. Podendo – se dizer que existe duas distribuições diferentes no mesmo laminado. Outro fato observado são os ensaios feitos a 170,0 e 150,0 MPa. Isso pode ser explicado pelo mesmo motivo anterior, levando em conta que o resultado obtido com

150,0 MPa, que era esperado uma vida útil maior, faz parte de uma localização da peça onde é visto uma grande perda de sinal do Ultrassom, fato que pode indicar.

Tabela 7: Resultados ensaio de Fadiga no laminado FFB8-15 .

%	σ (MPa)	Smáx (KN)	Smín (KN)	A (KN)	Sméd (KN)	N° ciclos
0,75	241,0	25,7	2,6	11,6	14,2	467
0,6	208,9	23,7	2,4	10,7	13,0	2448
0,53	170	18,1	1,8	8,2	9,9	22964
0,47	150	16,1	1,6	7,3	8,9	11998
0,4	128,5	14,1	1,4	6,3	7,7	145391

Aqui são apresentados resultados para o laminado FFB8-8 que foi encontrado uma resistência a fadiga de 99,0 MPa. Novamente o limite foi encontrado por volta de 30% da resistência a tração.

Tabela 8: Resultados ensaio de Fadiga no laminado FFB8-8.

%	σ (MPa)	Smáx (KN)	Smín (KN)	A (KN)	Sméd (KN)	N° ciclos
0,65	214,5	12,3	1,2	5,5	6,8	4368
0,55	181,5	10,3	1,0	4,6	5,7	20098
0,50	165,0	9,3	0,9	4,2	5,1	42703
0,45	148,5	8,4	0,8	3,8	4,6	71795
0,30	99,0	5,8	0,6	2,6	3,2	1000000

Os resultados são satisfatórios nos casos em que os corpos de prova são localizados em regiões do laminado, onde essas tiveram atenuação do sinal por volta de 60% (regiões de cores mais amareladas). Somando se a isso, uma baixa tensão também está correlacionada, sendo esta variando entre 55% e 30%. Como pode ser notado nas Tabelas acima.

Os demais corpos de prova, referentes aos laminados que não chegaram à resistência à fadiga para este ensaio, ou seja, (10^6), teve um resultado significativo da ordem de 10^5 ciclos, com aplicação de 30% e 40% do limite de resistência a tração.

A seguir foi feita uma análise dos referidos laminados em estudo, para apresentar a resistência à fadiga.

Tabela 9: Comparação entre os limites de fadiga dos laminados.

Laminado FFB7	FFB7-8	FFB7-15	FFB7-20
Limite (MPa)	96,0	-	151,0
%	55,0	-	50,0
Tração (MPa)	174,6	319,0	303,8

Laminado FFB8	FFB8-8	FFB8-15	FFB8-20
Limite (MPa)	99,0	96,0	-
%	30,0	30,0	-
Tração (MPa)	330,0	321,3	330,5

Se observarmos a Tabela 9, pode-se notar que para todas as diferentes regiões do laminado (tanto 8, 15 ou 20 camadas) foi obtido praticamente o mesmo valor de resistência à tração. Apenas uma delas diverge ligeiramente do valor das outras, porém ainda assim, está na mesma ordem de grandeza das demais.

Sendo assim, foi observado que por volta de 100,0 MPa, foi detectado a resistência à fadiga dos materiais, essa é uma tensão que está entre 50% e 30% da resistência a tração. Para os laminados FFB7-15 e FFB8-20 não se conseguiu achar a resistência, porém ambas tiveram baixa tensão e ciclos na ordem de 10^5 , com 40% de resistência a tração para a primeira e 30% para a segunda.

4.4 ANÁLISE TGA

4.4.1 ANÁLISE TGA DO LAMINADO FFB7.

A análise das curvas para o laminado FFB7, laminado com entrada de resina pela lateral com 20 camadas e vácuo na lateral com oito camadas, mostra que a temperatura de

degradação está num intervalo de $280^{\circ}\text{C} < T < 320^{\circ}\text{C}$, isto é, conforme o número de camadas do laminado.

Pela análise da DTG verifica-se um pico de perda de massa para uma temperatura em um intervalo de $335^{\circ}\text{C} < T < 370^{\circ}\text{C}$, também esta variando com o número de camadas da placa.

Na Tabela 10 ilustra os dados obtidos para melhor visualização e entendimento.

Tabela 10: Resultados da análise Térmica do laminado FFB7

Laminado FFB7	Massa Inicial	Massa Final	Varição de Massa	Temperatura de degradação	Pico de perda de massa	Temp. Estabiliza perda de massa.
FFB7-8	9,4 mg	5,0 mg	4,4 mg	280° C	370° C	Não alcançada
FFB7-15	7,4 mg	3,5 mg	3,9 mg	300° C	370° C	600° C
FFB7-20	6,7 mg	4,0 mg	2,7 mg	320° C	335 C	520° C

De modo geral o número de camadas não teve uma significativa influência no resultado final, visto que os resultados estão próximos para as diferentes camadas.

Esses dados da Tabela 10 foram retirados dos gráficos representados nas figuras 13 e 14.

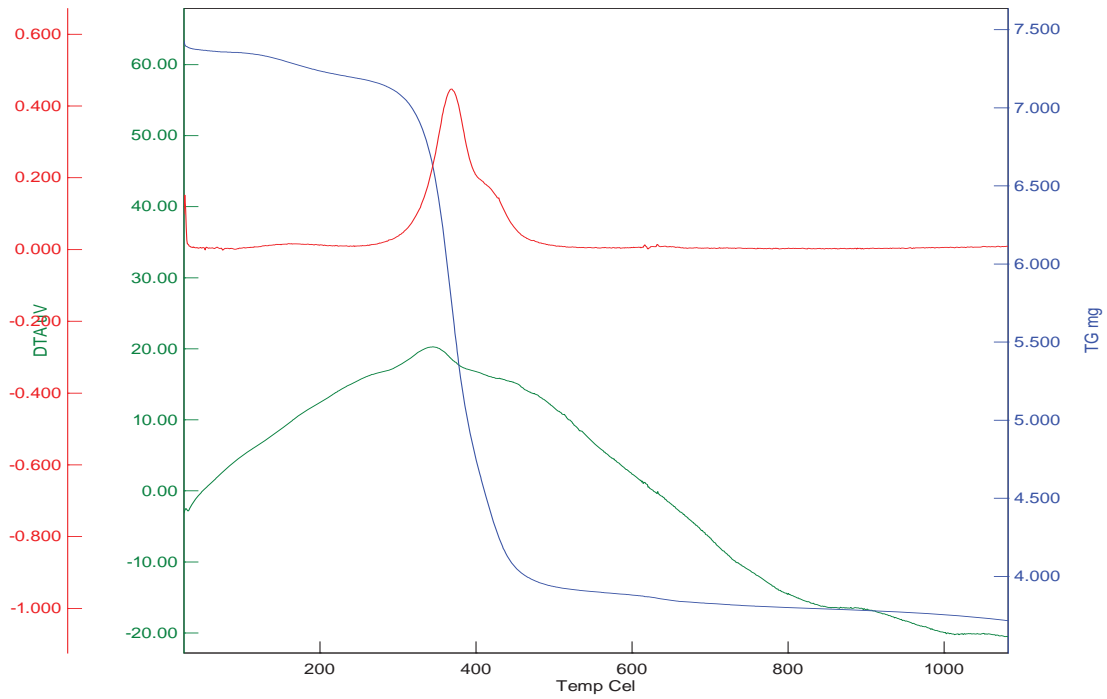


Figura 13: Curva Termogravimétrica do Laminado FFB7-8.

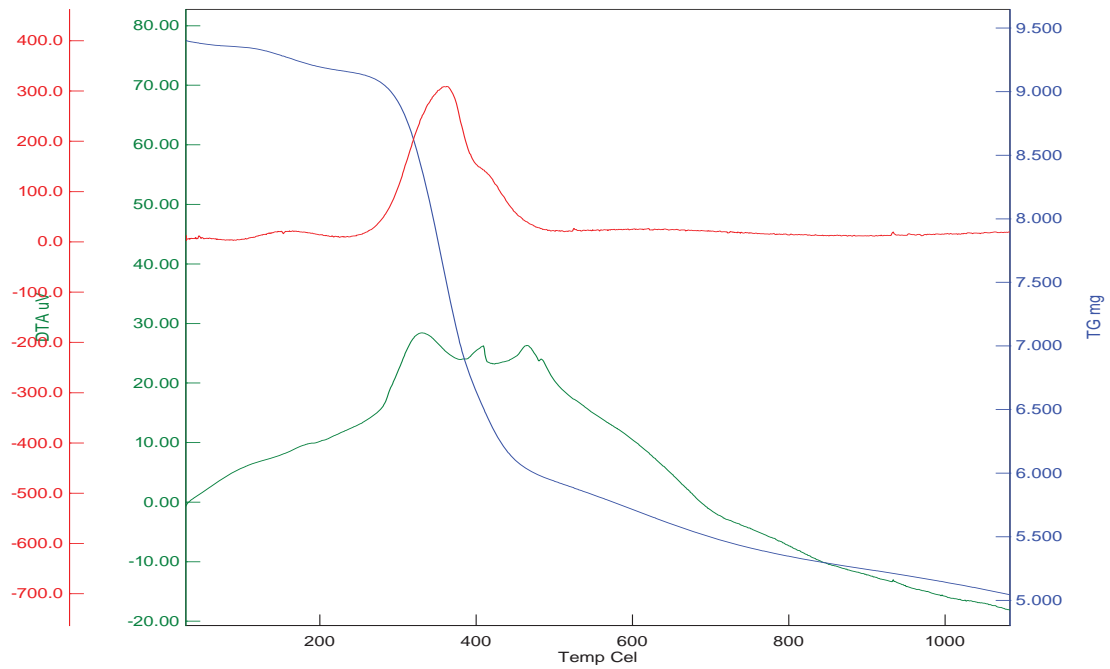


Figura 14: Curva Termogravimétrica do Laminado FFB7-15.

4.4.2 ANÁLISE TGA DO LAMINADO FFB8.

A análise das curvas termogravimétricas geradas para o laminado FFB8, laminado com entrada de resina pela lateral com 8 camadas e vácuo na lateral com 20 camadas, mostra uma temperatura de início de degradação no intervalo de $270^{\circ}\text{C} < T < 300^{\circ}\text{C}$, tendo em vista que esta variação está de acordo com o número de camadas do laminado.

Tendo este laminado um pico onde a variação da massa em relação a temperatura é maior entre $300^{\circ}\text{C} < T < 380^{\circ}\text{C}$.

Tabela 11: Resultados da análise Térmica laminado FFB8

Laminado FFB8	Massa Inicial	Massa Final	Varição de Massa	Temperatura de degradação	Pico de perda de massa	Temp. Estabiliza perda de massa.
FFB8-8	11,4mg.	6,6 mg	4,8mg	300° C	380° C	600°C
FFB8-15	7,6mg	4,5 mg	3,1mg	286° C	370° C	Não alcançada
FFB8-20	8,0mg	4,0 mg	4,0mg	270° C	300° C	860° C

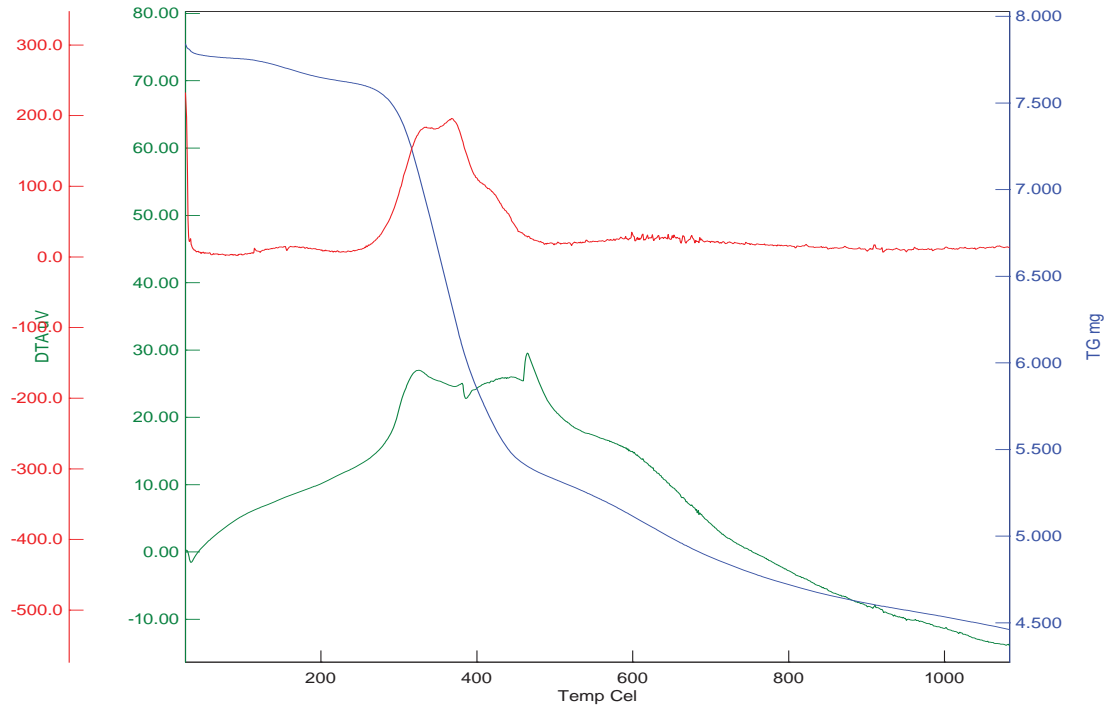


Figura 15: Curva Termogravimétrica do laminado FFB8-8.

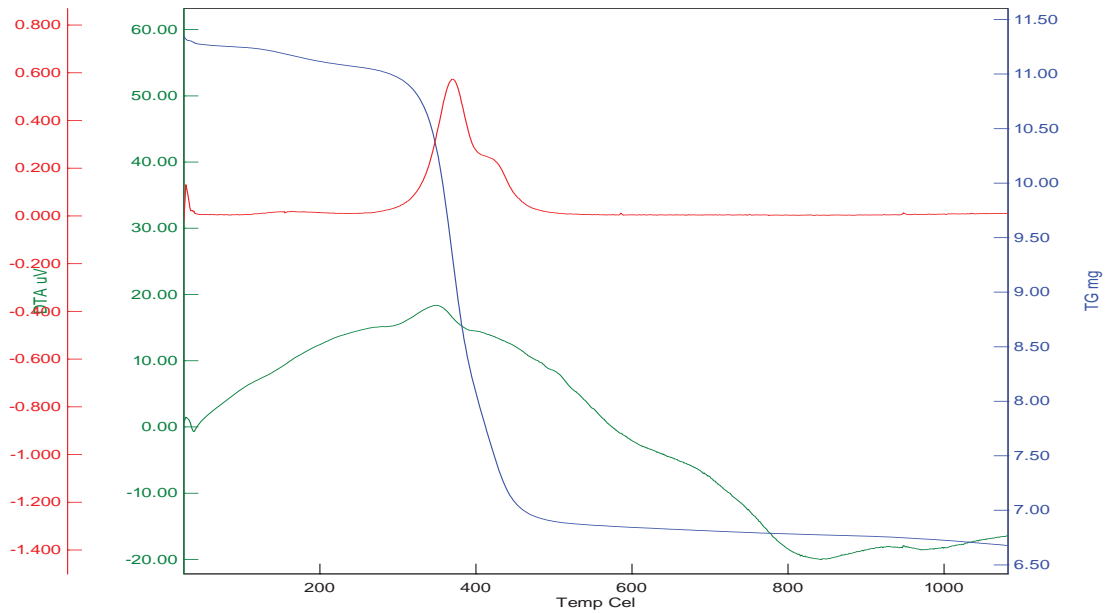


Figura 16: Curva Termogravimétrica do laminado FFB8-15.

5. CONCLUSÕES:

A análise geral para os laminados que foram submetidos ao ultrassom gerou resultados satisfatórios em relação à distribuição de resina, neles não foram encontradas falhas e nenhum tipo de falha como excesso ou ausência da resina.

Com relação aos ensaios mecânicos de tração, em média foram obtidos resultados próximos para os laminados, mesmo para os corpos do mesmo laminado, com diferentes camadas, de uma forma geral a resistência média foi próxima para os laminados estudados. Isso condiz com a realidade vista no ultrassom que não mostrou defeitos, ou falhas significativas em relação à distribuição de resina.

Em relação aos Ensaio de fadiga, pode-se observar que houve uma grande diversificação nos resultados, percebemos que a vida útil foi de acordo com o número de camadas, quanto menor o número de camadas maior foi sua resistência, e o contrário também é válido, quanto maior o número menor a vida útil.

Alguns dados apresentados nas Tabelas 3 à 8 divergem do esperado, pois se analisados individualmente são corpos de provas os quais fazem parte de uma região do laminado, onde existe uma pequena diferença na distribuição de resina, acontecendo com que o corpo não tenha em toda sua extensão, ou em partes uma distribuição homogênea do material. Sendo razoável dizer que esse pode ser um dos motivos para o qual o corpo apresente uma vida útil baixa a fadiga.

Se analisarmos individualmente cada camada das placas, pode-se observar que para os laminados (FFB7, FFB8) foram obtidos resultados próximos, tanto para temperaturas de início de degradação do material, como para o pico de perda de massa.

Este resultado era esperado, pois, independente do número de camadas ou posição da injeção de resina, os laminados são confeccionados do mesmo material e possuem propriedades idênticas ou similares.

Alguns fatores podem ter levado a essas pequenas variações que ocorreram nos resultados, dentre eles podemos citar os fatores instrumentais, que são: a razão de aquecimento, atmosfera do forno, forma, composição e tamanho do cadinho. E também podemos citar os fatores relacionados à amostra com a massa, o tamanho e volume, ou forma e a granulometria da amostra, ou alguma impureza junto com a amostra.

Esses resultados levaram a crer que, o sentido de injeção de resina nas placas, e também a variação no número de camadas não afetou significativamente nas suas propriedades térmicas e resultados finais.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM. D., MATTHEWS, S., McLLHAGGER, R. A comparison of physical of glass fibre epoxy produced by wet lay-up with autoclave consolidation and resin transfer moulding. Composites: part A. 29 (1998) 795-801.

AFAGHI-KHATIBI, A. MAI, Y. Cahracterisation of fibres/ matrix interfacial degradation under cyclic fatigue loading using dynamic mechanical analysis. Composites: part A 33 (2000)

BATHIAS, Clade., An engineering point of view about fatigue of polymer matrix composite materials.(2006)

B.Suresha; Kuningal, N Shiva Investigations on mechanical and two-body abrasive wear behaviour of glass/carbon fabric reinforced vinyl ester composites. (2008).

CALLISTER, W.D.Jr., Engenharia e Ciência dos Materiais.

CANAL, L.P, Segurado, C., Llorca, Javier., Failure surface of epoxy-modified fiber-reinforced composites under transverse tension and out-of-plane shear

CANEVAROLO, S. V. Jr., Técnicas de Caracterização de Polímeros. São Paulo (2003) Artliber Editora.

CHENG, S.Z.D., Hashimoto,T., Müller, A.H.E Polymer (2009).

Fibra de Vidro <http://www.fazfacil.com.br/materiais/fibra_vidro.html> Acesso em: 17 Abril 2009

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A.; Ensaios dos Materiais, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1ª ed., p.129-153, 2000.

GU, H., Behaviors of glass fibre/unsaturated polyester composites under seawater environment (2008)

H. Nouri , F. Meraghni,* , P. Lory., Fatigue damage model for injection-molded short glass fibre reinforced thermoplastics (2008)

HUANG, H., Anthony,M.W., Compressive response of Z-pinned woven glass fiber textile composite laminates: Experiments (2008)

HULL, D., CLYNE, T. W., An Introduction to Composite Materials. (Cambridge Solid State Science Series, 1996) 1-8

KIRK, G.E., "The composite aeroengine", in: Anais da 3a. Conferência Internacional sobre Compósitos Reforçados com Fibras, p. 1, Universidade de Liverpool, Inglaterra, mar (1998).

L.J. Dekaa, S.D. Bartus1, a and U.K. Vaidya, a, Department of Material Science and Engineering, The University of Alabama at Birmingham, Birmingham, AL 35294-4461, United States (2008).

LAWRENCE, J. M., ADVANI, S. G., Use of sensors and actuators to address flow disturbances during the resin transfer molding process. Polymer Composite (2000)

LUCAS, E. F., SOARES, B. G., MONTEIRO, E. E. C., Caracterização de Polímeros. Rio de Janeiro (2001) Editora e-papers

MAHMOOD M. Shokrieh *, Majid Jamal Omid, Tension behavior of unidirectional glass/epoxy composites under different strain rates (2008).

MALL, S., Katwyk, D.W., Bolick, R.L., Kelkar, A.D., Davis, D.C., Tension–compression fatigue behavior of a H-VARTM manufactured unnotched and notched carbon/epoxy composite .

MANO, E.B., Polímeros como matérias de engenharia 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999.

PANDITA, S. D., HUYSMANS, G., WEVERS, M., VERPOEST, I., Tensile fatigue behaviour of glass plain-weave fabric composites in on- and off-axis direction. Composites: Part A. 32(2001) 1533-1539.

Processo VARTM <<http://www.appliedpoleramic.com/VRESIN.htm>> Acesso em: 17 Abril 2009

R.A. Kishore, R. Tiwari, A. Dvivedi, I. Singh Taguchi analysis of the residual tensile strength after drilling in glass fiber reinforced epoxy composites (2008).

SCHULLER, T., BECKERT, W., LAUKE, B., AGEORGES, C., FRIEDRICH, K., Single Fibre Transverse Debonding: Stress Analysis of the Broutman Test. Composites: part A. 31(2) (2000)

SURI, C., PERREUX, D., The effects of mechanical damage in a glass fibre/epoxy composite on the absorption rate. *Composite Engineering*. Vol. 5, no 4, Elsevier Science, 1995

YASHIRO, S. TAKATSUBO, J., TOYAMA, N. An NDT technique for composite structures using visualized Lamb-wave propagation. *Composites Science and Technology* 67 (2007)

ZHANG, M.; MASON, S. E.; The effects of contamination on the mechanical properties of carbon fibre reinforced epoxy composite materials, *Journal of Composite Materials*, 33(14), p.1363-1374, 1999.

ZIHA, K. Fatigue yield, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lucica 5, 10000 Zagreb, Croatia (2008)