



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



DANIEL LOURENÇO PEIXOTO

TIPOS DE MATERIAIS COMPÓSITOS

**OURO PRETO - MG
2019**

DANIEL LOURENÇO PEIXOTO
danielpeixoto155@yahoo.com.br

TIPOS DE MATERIAIS COMPÓSITOS

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof^a DSc. Margarida Márcia Fernandes Lima

OURO PRETO – MG
2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

- P377t Peixoto, Daniel Lourenco .
Tipos de materiais compósitos. [manuscrito] / Daniel Lourenco Peixoto. - 2019.
44 f.: il.: , tab..
- Orientadora: Profa. Dra. Margarida Márcia Fernandes Lima.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.
1. Materiais compostos. 2. Metais - Propriedades mecânicas. 3. Nanocompósitos (Materiais). I. Lima, Margarida Márcia Fernandes. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB:1716



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA

Aos 04 dias do mês de dezembro de 2019, às 9h, na sala 21, localizada na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia do aluno **Daniel Lourenço Peixoto**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Profª DSc. Margarida Márcia Fernandes Lima, Prof. DSc. Ronilson Rocha e Prof. DSc. Diogo Antônio de Sousa. O candidato apresentou o trabalho intitulado: “**Tipos de Materiais Compósitos**”, sob orientação da Profª DSc. Margarida Márcia Fernandes Lima. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideraram o aluno aprovado.

Ouro Preto, 04 de dezembro de 2019.

Profª DSc. Margarida Márcia Fernandes Lima
Professora Orientadora

Prof. DSc. Ronilson Rocha
Professor Avaliador

Prof. DSc. Diogo Antônio de Sousa
Professor Avaliador

Daniel Lourenço Peixoto
Aluno

Dedico este trabalho a todos que
direta ou indiretamente contribuíram
para que o objetivo fosse alcançado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais pelo amor, dedicação e por sempre me incentivarem e acreditarem que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou;

A minha esposa por sempre estar do meu lado e me apoiar em tudo, sempre presente nos momentos difíceis com uma palavra de incentivo:

A minha orientadora Margarida, pela paciência, motivação e conhecimento passado a mim;

Aos professores e a todos que contribuíram ensinando e orientando durante a execução do trabalho;

A Universidade Federal de Ouro Preto por me proporcionar conhecimento, crescimento e desenvolvimento pessoal e profissional, novas amizades, durante a graduação;

A todas as pessoas que de uma alguma forma me ajudaram a acreditar em mim eu quero deixar um agradecimento eterno, porque sem elas não teria sido possível.

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância”.

John F. Kennedy

RESUMO

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre materiais compósitos, depois feita uma abordagem em suas propriedades, combinando vários metais, polímeros e cerâmicas. Os materiais compósitos normalmente são formados por duas fases, a matriz e o reforço. Os compósitos classificam-se em três grupos: compósitos fibrosos, compósitos laminados e compósitos particulados. Os compósitos tiveram ênfase na metade do século XX como solução técnica e tem uso restrito em alguns setores da indústria. Mas com o avanço tecnológico, eles vêm ganhando espaço principalmente na construção de veículos. A utilização de fibras em compósitos apresentam melhorias, como a resistência à tração e fratura. Afinal, a partir dos estudos realizados, conclui-se que é possível projetar novos materiais compósitos com propriedades jamais encontradas anteriormente em materiais monofásicos ou ligas.

Palavras-chave: tipos de compósitos, propriedades mecânicas, nanocompósitos.

ABSTRACT

In this work a study was made about composite materials, then an approach was made in their properties, combining various metals, polymers and ceramics. Composite materials usually consist of two phases, the matrix and the reinforcement. Composites fall into three groups: fibrous composites, laminated composites and particulate composites. Composites were emphasized in the mid-twentieth century as a technical solution and have restricted use in some industry sectors. But with technological advancement, they have been gaining ground mainly in vehicle building. The use of fibers in composites has improvements, such as tensile strength and fracture. After all, from the studies performed, it is concluded that it is possible to design new composite materials with properties never previously found in single-phase or alloy materials.

Key-words: types of composites, mechanical properties, nanocomposites

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Exemplo de materiais que compõem os compósitos.	5
Figura 2. Esquema para a classificação de vários tipos de compósitos.....	7
Figura 3. (a) compósitos com fibras curtas; (b) compósitos com fibras longas	9
Figura 4. Compósito estrutural do tipo laminado	13
Figura 5. Estrutura sanduíche simplificada	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exemplos de materiais compósitos com matriz metálica, cerâmica e polimérica..... 6

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Compósitos	4
2.2	Compósitos reforçados com partículas.....	7
2.2.1	Compósitos reforçados com partículas grandes	8
2.2.2	Compósitos reforçados por dispersão.....	9
2.3	Compósitos reforçados com fibras	9
2.3.1	Fibras contínuas.....	10
2.3.2	Fibras descontínuas	11
2.3.3	Compósitos reforçados com fibras vegetais	11
2.3.4	Compósitos reforçados com fibras sintéticas	12
2.4	Compósito estrutural.....	12
2.4.1	Compósito estrutural laminar	13
2.4.2	Compósito estrutural do tipo sanduíche	14
2.5	A fase matriz.....	15
2.6	Nanocompósitos	15
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	Tipos de pesquisa.....	17
3.2	Materiais e Métodos	17
3.3	Coleta de dados.....	18
3.4	Considerações finais do capítulo	19
4	DISCUSSÃO	20
4.1	Compósitos reforçados por fibras contínuas e alinhadas.....	20
4.2	Compósitos reforçados com partículas.....	21
4.3	Compósito estrutural laminado.....	23

4.4	Painéis em sanduíche.....	25
4.5	Compósitos reforçados por fibras curtas	26
5	CONCLUSÕES.....	28
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

No passado, os materiais desenvolvidos para o uso cotidiano marcaram as diferentes Eras e o progresso das civilizações. A fabricação manual de tecidos flexíveis e a fiação de fibras como o algodão, o linho e a juta foram um grande avanço quando comparado com as peles de animais também muito utilizadas por povos antigos (VENTURA 2009).

Os materiais sólidos são frequentemente classificados em três grupos principais: materiais metálicos, materiais cerâmicos e materiais poliméricos. Esta classificação é baseada na estrutura atômica e nas ligações químicas predominantes em cada grupo. Um quarto grupo, que foi incorporado nesta classificação nas últimas décadas, é o grupo dos materiais compósitos (PADILHA, 2007).

Os compósitos são originários das primeiras sociedades agrícolas e de certa forma foram esquecidos durante séculos. O verdadeiro reaparecimento destes materiais começou com o uso de estruturas compósitas leves para muitas soluções técnicas durante a segunda metade do século XX. Inicialmente, eram utilizados em aplicações elétricas como dielétricos e cúpulas de radar pelas suas propriedades eletromagnéticas. Nas décadas de 80 e 90, o uso de compósitos tornou-se muito comum para melhorar o desempenho de veículos espaciais e aviões militares (VENTURA 2009).

Callister (2008, p.423) define compósito como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de modo tal que é obtida uma melhor combinação de propriedades.

Conforme Callister (2008), pode-se obter combinações de propriedades melhores em materiais compósitos do que aquelas encontradas nas ligas metálicas, nos materiais poliméricos e cerâmicos, conhecendo os seus vários tipos, assim como uma compreensão da dependência de seus comportamentos em relação às características, as quantidades relativas, a geometria/distribuição e as propriedades das fases constituintes.

Vive-se em uma era de grandes avanços tecnológicos, em que há necessidade cada vez mais de desenvolvimentos relacionados à construção de projetos de materiais com características que tragam equilíbrio de propriedades, normalmente elevados valores de resistência mecânica e leveza. Desta forma vem a pergunta:

Quais são as características dos principais tipos de materiais compósitos?

1.2 Justificativa

A humanidade se desenvolveu muito nas últimas décadas, e dentre os diversos materiais desenvolvidos estão os materiais compósitos. Segundo Askeland e Phulé (2008), o objetivo principal ao se criarem materiais compósitos é a combinação das diferentes propriedades encontradas em certos materiais. Na maioria das vezes são feitos com a junção de dois ou mais materiais que propiciam o surgimento de um novo material com características únicas, que não são encontradas em nenhum desses materiais separadamente.

A cada dia o avanço tecnológico nos leva a desafios como, por exemplo, a construção de veículos mais leves, com menor consumo de combustível e mais seguros. Neste sentido, os materiais compósitos têm sido empregados atualmente em distintas aplicações nas quais a leveza aliada a um alto módulo de elasticidade são características importantes.

Os compósitos compreendem uma classe de materiais que a cada dia ganha mais importância tecnológica. De acordo com Callister (2008), muitas das tecnologias modernas exigem combinações não usuais de propriedades, as quais não podem ser atendidas pelas cerâmicas, ligas metálicas e polímeros convencionais. Isto é confirmado especialmente pelos materiais necessários em aplicações aeroespaciais, subaquáticas e de transporte.

Ventura (2009) diz que atualmente, os mercados de materiais compósitos estão cada vez mais difundidos. Estudos mostram que o maior mercado continua a ser o dos transportes (31%), seguido pela construção civil (19,7%), marinha (12,4%), equipamentos elétrico/eletrônico (9,9%), produtos de consumo (5,8%), aparelhos e equipamentos comerciais são também mercados em grande expansão.

O conhecimento das características dos compósitos se mostra essencial, uma vez que a variação de parâmetros como quantidade e geometria da fase dispersa, influencia diretamente em suas propriedades, podendo-se assim através de pesquisas e experimentos desenvolver certos tipos de materiais com qualidades específicas, visto que algumas aplicações, só são possíveis com a utilização de materiais com determinadas características.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Realizar um estudo teórico dos principais tipos de compósitos.

1.3.2 Específicos

- Fazer um estudo dos materiais compósitos na literatura básica sobre este assunto;
- Realizar o estudo de alguns materiais compósitos apresentados no CBECiMat de 2014 e 2016;
- Apresentar os diferentes tipos de materiais compósitos;
- Descrever experimentos práticos contidos em artigos científicos dos principais tipos de matérias compósitos.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho será dividido em quatro capítulos e apresenta-se, conforme a estrutura a seguir:

No primeiro capítulo será apresentada a formulação do problema, a justificativa para a realização do trabalho e os objetivos geral e específico.

O segundo capítulo tratará da fundamentação teórica dos conceitos e teorias a respeito dos materiais compósitos.

O terceiro capítulo apresentará o procedimento metodológico adotado para obtenção de referências bibliográficas para este estudo, bem como os critérios de escolha e leitura dos textos.

No quarto capítulo serão relatadas as discussões a respeito do estudo teórico realizado.

No quinto capítulo serão apresentadas as conclusões do trabalho.

As referências bibliográficas serão apresentadas no final do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Compósitos

Após décadas de uso restrito em alguns setores da indústria, como na área de mísseis, foguetes e aeronaves de geometrias complexas, os compósitos têm ampliado a sua utilização em diferentes setores da indústria moderna, com um crescimento de uso de 5 % ao ano. Atualmente, a utilização de estruturas de alto desempenho e com baixo peso tem sido feita nas indústrias automotiva, esportiva, de construção civil, entre outras (REZENDE, 2000).

Parafraseando Callister (2008), os compósitos são materiais multifásicos que apresentam propriedades diferentes em relação as propriedades de seus constituintes. As combinações e faixas de propriedades foram, e ainda estão sendo ampliadas pelo desenvolvimento desses materiais. Existem ainda diversos materiais compósitos que ocorrem na natureza, como por exemplo, a madeira que é constituída de fibra de celulose resistente e flexível, envolvida por um material mais rígido denominado lignina.

De acordo com Callister (2008), muitos materiais compósitos são formados por apenas duas fases: uma é denominada matriz, a qual é contínua e envolve outra fase, com frequência chamada de fase dispersa. A matriz possui várias funções, a saber: (a) interligar as fibras; (b) atuar como meio transmissor e distribuidor das tensões externas aplicadas para as fibras; (c) proteger as fibras individuais contra danos superficiais. A matriz pode ser polimérica, metálica ou cerâmica.

O mesmo vale para o reforço, que pode estar na forma de dispersão de partículas, fibras, bastonetes, lâminas ou plaquetas (PADILHA, 2000). O reforço é o componente descontínuo do material compósito, é, em regra, mais resistente do que a matriz e no caso de assumir a forma de fibras permite que o material tenha bem maior capacidade de resistência na direção do carregamento.

As propriedades dos compósitos são função das propriedades das fases constituintes, de suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa. Entende-se por “geometria da fase dispersa” como a forma, o tamanho, a distribuição e a orientação dessas partículas.

Na figura 1 está ilustrado como os materiais compósitos são resultados de combinações de outros materiais.

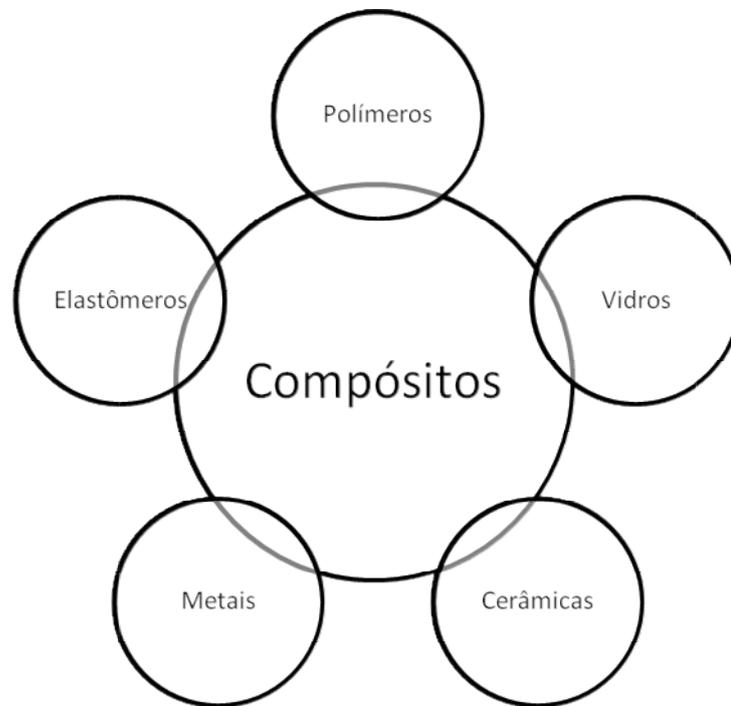


Figura 1 Exemplo de materiais que compõem os compósitos.
Fonte: adaptado de Gobbi (2013)

No projeto de materiais compósitos, cientistas e engenheiros combinam de maneira engenhosa vários metais, polímeros e cerâmicas para obtenção de uma nova geração de materiais com propriedades interessantes.

Na tabela 1 estão apresentados alguns tipos de materiais compósitos, com matriz metálica, cerâmica e polimérica.

<i>Matriz</i>		<i>Reforço</i>	
Orgânica	Polímeros termoplásticos Polímeros termoendurecíveis	Mineral	Fibra de vidro Fibra de carbono
		Orgânico	Aramida Poliamida
		Metálico	Boro Alumínio
Metálica	Ligas leves de alumínio, magnésio, titânio	Mineral	Carbono Carboneto de silício
		Metálico	Boro
		Misto	Boro revestido com carboneto de silício
Cerâmica		Mineral	Carbonetos
		Metálica	Boro ou tungstênio

Tabela 1. Exemplos de materiais compósitos com matriz metálica, cerâmica e polimérica
Fonte: adaptado de Moreira (2009).

A maioria dos materiais compósitos foi criada para que se combine determinadas características mecânicas, tais como a rigidez e a tenacidade (CALLISTER 2008).

Um esquema simples para a classificação dos materiais compósitos esta indicado na figura 2, que evidencia três divisões principais: os compósitos reforçados com partículas, reforçados com fibras e estruturais, e cada um com pelo menos duas subdivisões.

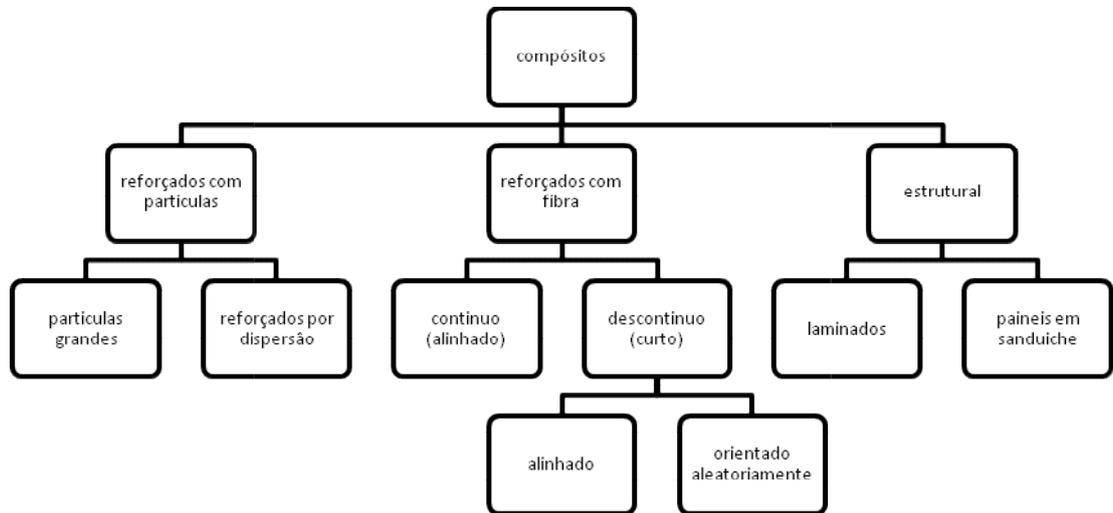


Figura 2. Esquema para a classificação de vários tipos de compósitos.
Fonte: adaptado de Callister (2008)

2.2 Compósitos reforçados com partículas

Conforme apresentado na figura 2, os compósitos reforçados com partículas possuem duas subdivisões, os compósitos reforçados com partículas grandes e os compósitos reforçados por dispersão. A distinção entre elas é baseada no mecanismo de reforço ou de aumento de resistência (CALLISTER, 2008).

Casari (2007) diz que a indústria de materiais de fricção tem nos compósitos (reforçados com partículas e fibras curtas) uma grande facilidade para reunir, em um material, uma gama enorme de propriedades como resistência mecânica, condutividade e estabilidade térmica, coeficiente de atrito, condições otimizadas de NVH (noise, vibration and harshness), dentre outras, as quais seriam difíceis de alcançar com algum outro material não compósito, a um custo viável.

Segundo pesquisa de Mendonça et al. (2003) que tratam da possível aplicação de materiais compósitos particulados em bases de máquinas ferramentas e em máquinas de medição por coordenadas, como tornos e retificadoras os compósitos têm substituído

gradativamente o ferro fundido, sendo que suas maiores vantagens são os baixos coeficientes de expansão térmica, menor peso, e suas excelentes características de amortecimento de vibrações. Mesmo apresentando algumas desvantagens em relação ao ferro fundido como absorção de umidade, dilatação térmica lenta e módulo de elasticidade menor, os compósitos estão sendo utilizados por alguns fabricantes de máquinas ferramentas.

2.2.1 Compósitos reforçados com partículas grandes

Segundo Natalia (2016), os compósitos reforçados com partículas grandes não podem ser tratados do ponto de vista atômico ou molecular, sendo que, para tais materiais, é empregada a teoria da mecânica do contínuo.

As partículas podem apresentar uma grande variedade de geometrias, mas devem possuir as mesmas dimensões em todas as direções (equiaxiais). Para que o reforço seja efetivo, as partículas devem ser pequenas e estarem distribuída homogeneamente por toda matriz.

Um exemplo de compósito com partículas grandes é o concreto que é composto por cimento (matriz), areia e brita (elementos particulados). No caso de um compósito bifásico, as propriedades estão entre um nível superior e um inferior, conforme apresentado nas equações (1) e (2).

$$E_c (s) = E_m V_m + E_p V_p \quad (\text{Limite superior}) \quad (1)$$

$$E_c (i) = \frac{E_m E_p}{V_m E_p + V_p E_m} \quad (\text{Limite inferior}) \quad (2)$$

Nessas expressões E e V representam o módulo de elasticidade e a fração volumétrica, respectivamente, enquanto os subscritos c, m e p representam as fases compósitos, matriz e particulado (CALLISTER, 2008).

2.2.2 Compósitos reforçados por dispersão

De acordo com Callister (2008), os metais e as ligas metálicas podem ser endurecidos pela dispersão uniforme de diversas porcentagens volumétricas de partículas finas de um material duro e inerte. A fase dispersa pode ser metálica ou não metálica. Neste caso, o mecanismo de aumento de resistência envolve a interação entre as partículas e as discordâncias da matriz.

Os metais reforçados por dispersão possuem concentrações muito pequenas (menos de 15% em volume) de partículas de óxidos com pequeno diâmetro. Como dito, partículas de óxidos fortalecem o metal atuando como obstáculo ao movimento das discordâncias (SHACKELFORD, 2008; CALLISTER, 2008).

2.3 Compósitos reforçados com fibras

As características mecânicas de um compósito reforçado com fibras não dependem somente das propriedades da fibra, mas também do arranjo ou orientação das mesmas umas em relação às outras, a concentração delas, e sua distribuição pela matriz (DIACENCO, 2010). Neste sentido, têm-se dois tipos de fibras: as fibras contínuas e as fibras descontínuas ou curtas, como ilustrado na figura 3.

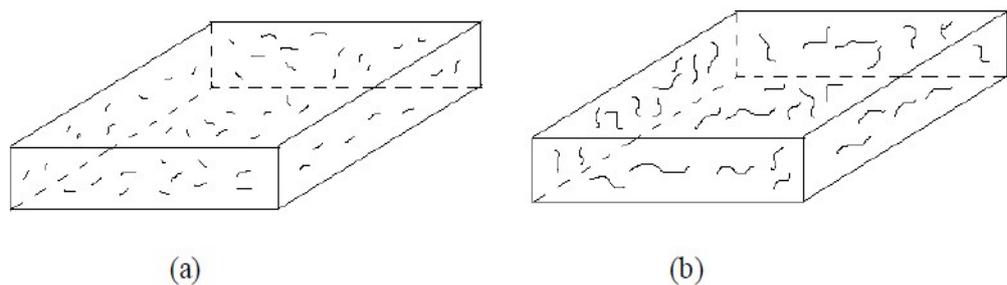


Figura 3. (a) compósitos com fibras curtas; (b) compósitos com fibras longas.
Fonte: Diacenco (2010)

A utilização de fibras em compósitos apresenta melhoria em diferentes propriedades do material, por exemplo, no desempenho quanto à resistência à tração e à fratura, além de vantagens como excelente integridade e conformabilidade. Dentre as diversas cargas que podem ser adicionadas à matriz polimérica para a obtenção de compósitos, as fibras estão

entre as mais utilizadas, desde as sintéticas (por exemplo, fibra de vidro e de carbono) às vegetais (por exemplo: fibra de juta, coco e sisal).

Uma das grandes áreas de aplicação de compósitos fibrosos é a construção civil onde são usados diversos tipos de fibras, desde as naturais como celulose, amianto, sisal e juta, como as artificiais: plástico (polipropileno, nylon, poliéster), vidro e aço (FARIA, 2006).

2.3.1 Fibras contínuas

A resposta mecânica desse tipo de compósito depende de fatores como comportamentos de tensão-deformação das fases fibra e matriz, das frações volumétricas das fases e ainda do direcionamento da tensão aplicada em relação ao posicionamento das fibras. Logo, é importante salientar que as propriedades deste tipo de material são de caráter anisotrópico, ou seja, se comportam de uma forma diferente de acordo com a direção sobre as quais são orientadas (CALLISTER, 2008).

Segundo Callister (2008), quando um compósito fibroso é submetido a um carregamento na direção em que as fibras estão alinhadas, a ligação interfacial fibra-matriz é muito boa. Assim, a deformação, tanto da matriz, como das fibras é a mesma, ou seja, ocorre isodeformação. Nestas condições, a carga suportada pelo compósito F_c é igual às cargas suportadas pela fase matriz (F_m) e pela fase fibra (F_f), conforme apresentado na equação (3).

$$F_c = F_m + F_f \quad (3)$$

Outra forma de carregamento é o transversal, um compósito com fibras contínuas e orientadas. Nesta forma de carregamento, a carga é aplicada em um ângulo de 90° em relação à orientação do alinhamento das fibras, nesta situação diz-se que se tem um estado de isotensão, conforme apresentado na equação (4).

$$\sigma_c = \sigma_m = \sigma_f = \sigma \quad (4)$$

Assim, a deformação total do compósito é dada por:

$$\epsilon_c = \epsilon_m V_m + \epsilon_f V_f \quad (5)$$

2.3.2 Fibras descontínuas

2.3.2.1 Fibras descontínuas alinhadas

Sabe-se que as fibras descontínuas apresentam um grau menor de eficiência que as fibras contínuas. Apesar desta desvantagem, as mesmas estão assumindo papel de destaque no mercado mundial.

Um dos exemplos é a fibra de vidro picada. Esta é usada com grande frequência, juntamente com as fibras descontínuas de carbono e aramida (CALLISTER, 2008).

2.3.2.2 Fibras descontínuas aleatórias

Quando a fibra apresenta orientação aleatória, as fibras curtas e descontínuas se encontram presentes na estrutura. Nesta condição, o módulo de elasticidade é dado, conforme apresentado na equação (6).

$$E_C = KE_f V_f + E_m V_m \quad (6)$$

Em que K é o parâmetro de eficiência da fibra. A magnitude deste parâmetro se encontra na faixa entre 0,1 e 0,6. Assim, para reforços que apresentam fibras aleatórias, o módulo aumenta de acordo com uma proporção da fração volumétrica da fibra (CALLISTER, 2008).

2.3.3 Compósitos reforçados com fibras vegetais

Nos últimos anos, nossa sociedade passou a preocupar-se em desenvolver tecnologias mais “verdes” com o intuito de reduzir impactos ao meio ambiente e suas consequências. O Brasil possui um grande potencial na produção de recursos renováveis, como produtos agrícolas, florestais e resíduos lignocelulósicos (são exemplos, o bagaço de cana-de-açúcar, as palhas de trigo e arroz, a casca de aveia e as aparas de madeira). Neste sentido, o emprego destes materiais como reforço de polímeros tem crescido substancialmente devido a alguns fatores importantes como baixo custo, baixa densidade, boa resistência térmica e mecânica, serem biodegradáveis e, principalmente, por serem provenientes de fontes renováveis (FURLAN, 2012).

Segundo Natália et. al. (2016), dentre as desvantagens, pode-se citar a baixa resistência térmica e degradação mecânica em processamentos com alto grau de cisalhamento,

por exemplo, extrusão e injeção. A principal aplicação das fibras vegetais é na indústria têxtil, na produção de papel e como combustível.

Outro aspecto a considerar é que apesar da sua atratividade, as fibras vegetais são muito sensíveis a influência de agentes ambientais externos. Fatores como a umidade e temperatura são prejudiciais devido à natureza polar e hidrofílica das fibras. A fibra vegetal proporciona um elevado nível de absorção de umidade, que por sua vez atua como um plastificante e torna a impregnação do polímero mais difícil, causando fraca adesão fibra-matriz, levando a tensões internas, porosidade e falhas prematuras do sistema (MELO, 2016).

O contato interfacial entre as fibras naturais e a matriz polimérica é determinante em certas aplicações e, portanto, muitas vezes é necessário realizar uma modificação superficial das fibras para garantir maior adesão. Além disso, estudos revelam que há redução da diferença de polaridade e melhora na compatibilidade entre fibra e matriz (PAULA, 2011).

2.3.4 Compósitos reforçados com fibras sintéticas

Fibras sintéticas, geralmente a base de sílica ou de resinas derivadas de petróleo foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar as propriedades proporcionadas pelas fibras vegetais e ampliar sua variedade de aplicação. Essas fibras possuem maior resistência mecânica e maior módulo, porém seu custo também é mais elevado. É importante ressaltar que, para terem utilidade estrutural, as fibras devem ser unidas por uma matriz.

A fibra de vidro é o material mais empregado na fabricação de compósitos, por apresentar propriedades de resistência mecânica, baixo custo, não inflamável e quimicamente estável, apresentar resistência à corrosão e à umidade (OTA, 2004).

A utilização do Kevlar vem crescendo, pois o mesmo possui propriedades interessantes, tais como: leveza, resistência à corrosão, manutenção de suas propriedades mesmo quando utilizado a baixas temperaturas, elevado módulo de elasticidade, grande resistência ao impacto, elevada resistência mecânica. Esses atributos permitem que o mesmo seja utilizado em diversas áreas e aplicações.

2.4 Compósito estrutural

Um compósito estrutural é composto tanto por materiais homogêneos, como por materiais compósitos cujas propriedades dependem não somente das propriedades dos

materiais constituintes, mas também do projeto geométrico dos vários elementos estruturais (CALLISTER, 2008).

Conforme afirma Diacenco (2010), existem dois tipos básicos de compósito estrutural: compósito estrutural laminar (também chamado de laminado) e compósito estrutural do tipo sanduíche. Como reforços, a maior parte dos compósitos estruturais produzidos faz uso de fibras de vidro, ou fibra de carbono.

2.4.1 Compósito estrutural laminar

Os compósitos estruturais laminados são constituídos por um empilhamento de camadas (lâminas) ligadas entre si, com as fibras orientadas em diferentes direções, como ilustrado na Figura 4. Um laminado típico é constituído por várias lâminas, frequentemente idênticas, variando suas orientações para melhor atender os requisitos de projeto ou fabricação.

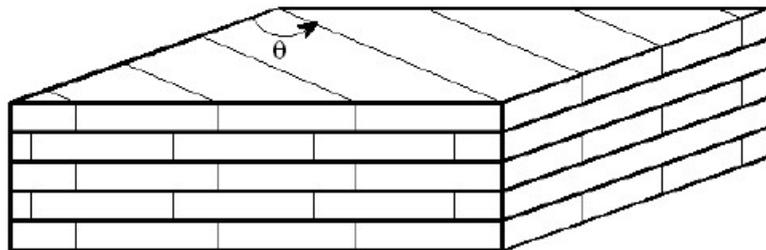


Figura 4. Compósito estrutural do tipo laminado (onde θ é a orientação das fibras)
Fonte: Diacenco (2010)

Uma boa região de interface é aquela onde toda a região da extensão superficial da fibra é devidamente “impregnada” ou “molhada” pela fase matriz, de maneira a garantir melhores desempenhos mecânicos do material fabricado (RATNA, 2009).

A região de interface pode sofrer mudanças dependendo da natureza da matriz, bem como da natureza da fibra ou partícula (RATNA, 2009). Fibras geralmente são usadas depois de submetidas a tratamentos físicos ou químicos superficiais adequados. Esses tratamentos são um artifício muito utilizado em fibras naturais para o aumento da sua “rugosidade superficial”, contribuindo por melhorar sua adesão com a fase matriz (KHANAM; KHALIL, 2011).

De acordo com Khanam e Khalil (2011), o tratamento alcalino em fibras de sisal produz uma superfície mais rugosa, influenciando na resistência mecânica à tração e à flexão em compósitos de matriz poliéster. Nas últimas décadas, estudos têm revelado que a inclusão de partículas em escalas nano e micro tem contribuído para melhorar as propriedades mecânicas de materiais poliméricos reforçados com fibras (CHOWDHURY et. al., 2007).

2.4.2 Compósito estrutural do tipo sanduíche

A estrutura sanduíche (Fig. 5) é uma classe especial de material compósito, sendo constituído por duas faces, um núcleo de baixa densidade responsável por manter um alto momento de inércia através do afastamento das faces e transmitir as solicitações de esforços de uma lâmina para outra e um adesivo responsável pela conexão da face com o núcleo e transmitir as solicitações de esforços cisalhantes. Esse tipo de estrutura pode ser comparado com vigas, onde a alma equivale ao núcleo e os flanges equivalentes às faces (Dias, 2016).

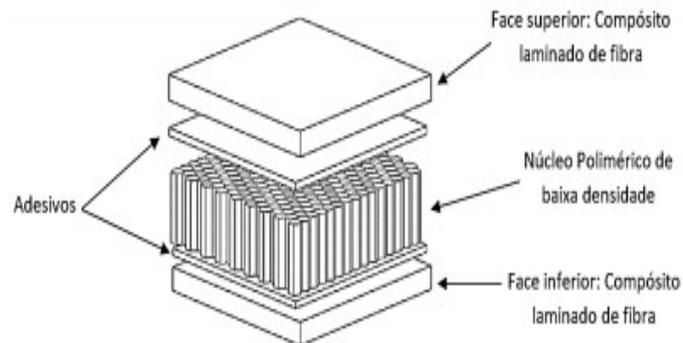


Figura 5. Estrutura sanduíche simplificada
Fonte: Dias (2016)

Os sanduíches são empregados preferencialmente nos setores náuticos e aeronáuticos devido suas tão requisitadas características que são leveza, resistência mecânica e química.

Estudos vêm sendo desenvolvidos para avaliar a performance dinâmica dos compósitos sanduíches, através de análises numéricas e experimentais, TSA (Análise de Tensão Termo Elástica) e EF (elementos Finitos), além de simulações computacionais e ensaios mecânicos com corpos de prova, para averiguar seu desempenho dinâmico e comportamento de fratura (WANG et. al., 2015) . O conhecimento das características de distintos núcleos pode ajudar na escolha do tipo e dimensão dos componentes dos sanduíches, conforme sua aplicação estrutural.

2.5 A fase matriz

A fase matriz tem por finalidades revestir, preencher espaços vazios que ficam entre o reforço, orientar e fixar os reforços em suas posições, proteger a fase reforçadora contra danos provindos do meio externo, como reações químicas e, principalmente, receber as solicitações mecânicas (CALLISTER, 2008). Dessa forma, as matrizes podem ser do tipo metálica, cerâmica ou polimérica.

As matrizes cerâmicas, devido às altas temperaturas envolvidas nos processos de fabricação, apresentam-se em um patamar diferente de utilização das demais. Os materiais compósitos que possuem uma matriz cerâmica são dotados de resistência à oxidação e à deterioração sob temperaturas elevadas (CALLISTER, 2008; VENTURA, 2009).

Os compósitos de matriz metálica são materiais que possuem excelentes propriedades, incluindo alta resistência mecânica e elevado módulo de elasticidade. Além de apresentar capacidade de amortecimento e boa resistência ao desgaste em comparação com os metais puros (PADMAVATHI, 2014). O níquel é um importante metal utilizado em vários segmentos da indústria, podendo ser utilizado como matriz para elaboração desses materiais compósitos, já que possui alta resistência à tração e boa tenacidade. Além disso, o mesmo tem atraído grande interesse nas últimas décadas devido suas excelentes propriedades, tais como: magnetismo, resistência mecânica associada à resistência à corrosão, tanto à temperatura ambiente quanto a temperaturas elevadas (DEVANEYAN; SENTHILVELAN, 2014).

Os polímeros são usados como matrizes por apresentar propriedades mecânicas vantajosas relativas à temperatura ambiente, baixo peso, facilidade no processo de fabricação e custo reduzido. Os polímeros podem ser processados a baixas temperaturas, evitando problemas associados com a degradação do reforço. O desenvolvimento deste grupo de materiais cresceu rapidamente, entretanto, as suas principais desvantagens residem na sua limitação ao trabalho em altas temperaturas, instabilidade dimensional devido aos coeficientes de expansão térmica elevados, grande sensibilidade à radiação e podendo algumas vezes absorver umidade do ambiente (VENTURA, 2009).

2.6 Nanocompósitos

A nanotecnologia tem como princípio elementar o manejo da matéria em escala atômica para a geração de estruturas com diferentes arranjos moleculares, incorporando inúmeras propriedades ao material já existente. Os materiais e compostos nanoestruturados

possuem propriedades químicas intensificadas ou até mesmo modificadas em consequência da redução de tamanho

Os nanomateriais são materiais com tamanho na escala nanométrica, variando de 1 a 100nm. O interesse em materiais em nanoescala decorre do fato de as suas propriedades (elétrica, mecânica, química, etc.) serem uma função do seu tamanho, composição e ordenação estrutural. Neste contexto, a nanotecnologia seria, então, “a aplicação destas nanoestruturas em dispositivos utilizáveis” (SANTIN et. al., 2016).

Nos últimos anos, nanocompósitos polímero/argila organofílica têm sido muito estudados, principalmente devido às inúmeras vantagens desses materiais quando comparados aos compósitos convencionais. Os nanocompósitos polímero/argila constituem uma classe de materiais nos quais a fase inorgânica está dispersa na matriz polimérica em nível nanométrico. Essa classe de materiais começou a ser estudada na década de 80 pelo laboratório de Pesquisa da Toyota com o desenvolvimento de nanocompósitos de poliamida e argila (ALEXANDRE, 2000).

3 METODOLOGIA

3.1 Tipos de pesquisa

Este capítulo apresenta de que maneira foi realizada a pesquisa.

A pesquisa, segundo Lakatos e Marconi (2006), é considerada um procedimento formal, de método pensativo reflexivo, que requer uma revisão científica de forma que abranja a realidade ou verdades parciais.

A presente pesquisa se configura como qualitativa, que de acordo com Braga (2004), envolve abordagens interpretativas e naturalísticas dos assuntos. Assim, foi possível estudar os fatos e analisar o comportamento dos diferentes tipos de materiais compósitos em suas áreas de aplicação, abrindo caminho para atribuição de sentido e interpretação de fenômenos, de acordo com o significado que as pessoas lhe atribuem.

A pesquisa qualitativa é mais abrangente, devido à interpretação de fatos e teorias, descrevendo a complexidade de determinada hipótese ou problema, sendo assim necessária a substituição de dados estatísticos por observações qualitativas (GIL, 1991).

No que se refere aos procedimentos técnicos, trata-se de pesquisa bibliográfica, pois segundo Marconi e Lakatos (2006), a pesquisa bibliográfica, abrange toda bibliografia já tornada pública, em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico, etc. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto.

3.2 Materiais e Métodos

Com o intuito de analisar as diversas características dos materiais compósitos, buscase através da pesquisa descrever essas propriedades. Para isso, utilizou-se técnicas de pesquisa de caráter documental, classificando-a como bibliográfica. Segundo Gil (1991), é fundamentada em conhecimentos teóricos alcançados em pesquisas, de diferentes tipos de livros, monografias, teses, artigos e internet sendo esses associados ao tema abordado.

Na pesquisa foram descritas as propriedades dos materiais compósitos, bem como foram analisadas as diversas características dos mesmos.

3.3 Coleta de dados

Para a construção da base teórica da pesquisa, os procedimentos para obter resultados científicos utilizados foram os métodos analíticos e sintético, dedutivo e indutivo, pois de acordo com Miranda Neto (2005), tais métodos são de importância fundamental para o amplo resultado. Os instrumentos utilizados para coleta de dados foram livros, artigos, revistas, jornais e endereços eletrônicos publicados em sites especializados.

Para a realização de uma pesquisa, é necessário o uso de técnicas adequadas capazes de coletar dados suficientes, de modo que deem conta dos objetivos traçados quando da sua projeção.

Aquilo que se produz numa pesquisa ou atividade acadêmica pode ser veiculado em textos de diferentes tipos, dependendo do seu objetivo. Assim, a partir do material supracitado, foi realizado um levantamento bibliográfico, a fim de responder a variados questionamentos. Os dados coletados foram organizados em pastas, devidamente nomeadas e arquivadas por temas, para facilitar a busca e acessar as informações de forma mais rápida. As obras consultadas foram organizadas por intermédio de citações, resumos e comentários.

A leitura foi a forma utilizada para aquisição de conhecimento. Por intermédio da leitura, pôde-se ampliar e aprofundar conhecimentos sobre os materiais compósitos, permitindo uma compreensão adequada de suas características.

Algumas etapas apresentadas por Cervo e Bervian (2002) foram elencadas para organizar, interpretar e analisar os instrumentos de coleta de dados.

No primeiro momento foi realizada uma pré-leitura de todo o material previamente coletado. Foram destacados como fonte inicial, a bibliografia, as citações ao pé de página, a introdução e as conclusões. Foi dada atenção ainda aos primeiros parágrafos no intuito de extrair os dados mais importantes.

Em seguida foi feita uma leitura seletiva para selecionar e eliminar o dispensável e captar o essencial dos materiais compósitos e que atendessem à resolução do problema da pesquisa.

O terceiro passo foi realizar a leitura crítica ou reflexiva, com o objetivo de destacar as ideias principais contadas nos textos, para uma reflexão baseada na análise, comparação, diferenciação, síntese e julgamento, o que garantiu uma apropriação adequada do estudo teórico dos materiais compósitos.

Ao final foi realizada a leitura interpretativa, que permitiu fazer uma revisão de toda informação registrada, para verificação se estava de acordo com as afirmações dos autores pesquisadores. Ainda nessa etapa os dados coletados foram integrados na redação do trabalho de pesquisa.

3.4 Considerações finais do capítulo

Este capítulo abordou os mecanismos empregados para a efetivação desta pesquisa, cujos métodos adotados, estão conforme objetivo proposto no estudo.

No próximo capítulo, serão expostos os resultados relativos às observações diretas e análise documental das vantagens da utilização dos materiais compósitos.

4 DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados relatos de diferentes tipos de materiais compósitos extraídos de artigos em anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat de 2014 e 2016.

4.1 Compósitos reforçados por fibras contínuas e alinhadas

Conforme visto no item 2.3, os compósitos reforçados por fibras constituem uma classe importante de reforço uma vez que proporcionam o aumento da força da matriz, e conseqüentemente influenciam e destacam as propriedades pretendidas nas duas fases. Os compósitos com fibras contínuas e alinhadas têm respostas mecânicas que dependem de vários fatores como o comportamento tensão-deformação das fases fibra e matriz, as frações volumétricas das fases e a direção na qual a tensão ou carga é aplicada.

A seguir, é apresentado por Alfaia et al. (2014) **as propriedades mecânicas em flexão de compósitos de matriz cimentícia reforçados com piaçava alinhada em uma e três camadas.**

Elaborou-se um estudo sobre esse comportamento mecânico em resposta a flexão de compósitos de matriz cimentícia fortalecidos com fibras contínuas e alinhadas de piaçava em uma e três camadas. As fibras vegetais apresentam um grande potencial em aplicações tecnológicas, uma vez que, são encontradas em abundância, são renováveis e biodegradáveis, possuem baixa densidade, baixo módulo de elasticidade, baixo custo e alta variedade morfológica, permitindo competitividade vantajosa com fibras sintéticas (ALFAIA et. al. 2014).

Para o desenvolvimento do estudo, obtiveram-se corpos de prova com fios da fibra de piaçava com 400 mm de comprimento, os quais foram fixados em camadas num molde. Na produção da argamassa foi utilizado cimento Portland, areia bruta e água potável, em que a proporção mássica de cimento/areia e água/cimento foi de 1:2. Em seguida, os materiais foram misturados até ficarem homogêneos e em estado pastoso, para serem despejados em moldes com fibras já fixadas. Foi usado um vibrador para auxiliar no adensamento da argamassa. Esse processo foi seguido de uma câmara úmida pelo período de 24h, desmontagem e imersão em água potável por 28 dias de cura.

Percebeu-se que com a introdução de fibras houve uma redução de tensão máxima na flexão de 42,4% para uma camada e 27,3% para três camadas em comparação à matriz pura.

Bem como, permitiu um decréscimo na deflexão do material, referente à perda de 11% nos que tem uma camada e 19,4% nos de três camadas. Conclui-se que as frações mássicas de piaçava em uma e três camadas da matriz de cimento foram insuficientes na atuação efetiva das fibras na tensão máxima, na flexão, na deflexão e na força máxima do material. Contudo, o método utilizado na fabricação das amostras mostrou-se satisfatório para realizar os ensaios mecânicos propostos.

Outro estudo, realizado por Branco et al. (2016), tratou de um **material compósito de matriz poliéster reforçado por fibras de algodão contínuas e alinhadas**.

Branco et al. (2016) fizeram um estudo sobre a obtenção de um compósito de matriz poliéster, feito a partir de fibra natural de algodão. Durante o processo utilizou-se resina poliéster teraftálica insaturada e peróxido de *methyl ethyl ketone* (Butanox M-50), como agente de cura na proporção de 0,33% (v/v). A matriz pura obtida foi pré-acelerada com neftenato de cobalto, na proporção de 0,15% em massa.

Foi realizado ensaio de tração das fibras, utilizando 60 corpos de prova, os quais usaram papel Kraft e *super bonder*, para colar as fibras de algodão ao papel. No ensaio de tração foram comparadas as resistências mecânicas das fibras de algodão, obtendo valores entre 226 MPa e 361 MPa, e do compósito, que apresentou resistência mecânica média de 34,276 MPa.

O barbante de algodão contribuiu significativamente para o desenvolvimento contínuo e prático no alinhamento das fibras, já que tem boa aderência na placa de vidro e apresentou resultado satisfatório ao ser comparado com outras fibras, permitindo produtos com melhor qualidade. Em relação às propriedades mecânicas, as fibras de algodão podem ser utilizadas como reforço nos materiais compósitos, com disponibilidade no comércio e baixo custo.

4.2 Compósitos reforçados com partículas

Conforme apresentado no item 2.2, o tamanho da fase dispersa dos compósitos particulados é da ordem de poucos micrometros e a concentração em volume é superior a 28%. São conhecidas várias formas de partículas entre elas, quadradas, triangulares e redondas. As dimensões observadas de todos os lados são mais ou menos iguais. Normalmente, a resistência do compósito depende do diâmetro das partículas, do espaço inter

partículas e da fração volumétrica do reforço. As propriedades da matriz também influenciam o comportamento do compósito.

Araujo Filho et al. (2014) abordaram a **síntese e caracterização de compósitos de matriz metálica da liga AA2124 com reforço particulado de nitreto de silício através de técnicas da metalurgia do pó.**

Os compósitos metálicos são amplamente utilizados em diversas áreas, apesar disso, muitas vezes seu uso passa despercebido. Esses são obtidos a partir de processos convencionais de produção de metais. A técnica da metalurgia do pó é muito empregada na produção de materiais compósitos (ARAUJO FILHO et al. 2014).

Utilizou-se uma liga de alumínio AA2124 que foi reforçada com partículas de nitreto de silício. Os pós foram homogeneizados para a formação de liga num moinho vibratório tipo SPEX. Em seguida, as misturas foram compactadas e sinterizados a vácuo. Os compósitos sinterizados foram caracterizados por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia de energia dispersiva (EDS) e ensaios de dureza Vickers (HV) para avaliar o comportamento mecânico.

As microestruturas das amostras mostraram uma inserção e distribuição eficiente da fase cerâmica do reforço na matriz sem aglomerações. Os resultados da avaliação de dureza mostraram linearidade crescente com o aumento da fração de reforço na matriz, podendo chegar a valores acima de 250 HV para uma concentração de 15% de particulado, destacando o efeito positivo da técnica da metalurgia do pó usando moagem de alta energia na produção de compósitos de liga de alumínio (ARAUJO FILHO et al. 2014).

Os estudos de Almeida et. al. (2014) abordaram o **efeito do teor de argila na síntese de nanocompósitos de pu/hdl empregando a combinação das técnicas de ultrassom de banho e ultraturrax como metodologia dispersiva.**

No presente estudo, foi avaliado o efeito da combinação do ultrassom de banho e ultraturrax, que são instrumentos de dispersão de partículas de alto desempenho, para a dissociação da argila do tipo hidrotalcita no monômero de isocianato, variando-se o teor de argila em 0,1%; 0,2% e 1%, com vistas à obtenção de nanocompósitos de poliuretano com elevado grau de esfoliação, obtidos pelo método de polimerização in situ. Neste processo, as nanopartículas, o iniciador de polimerização/catalisador e o monômero são colocados diretamente no reator de polimerização.

O nanocompósito contendo 0,1% de hidrotalcita apresentou os maiores valores de módulo de elasticidade e de temperatura de transição vítrea, com valores de 4,09MPa e -41,4°C, respectivamente, obtidos por análise termodinâmico-mecânico, apresentaram também maior viscosidade, apontando assim melhor interação argila/polímero.

O método empregado mostrou-se promissor para a síntese de nanocompósitos, principalmente no teor de 0,1%, para o qual foram obtidos os melhores resultados.

4.3 Compósito estrutural laminado

Os compósitos laminados, conforme citado em 2.4.1, são um grupo muito particular de um conjunto de materiais que se designam por compósitos, constituídos por uma matriz que aglomera um reforço. Distinguem-se diversos tipos, quanto à natureza do reforço (fibras longas, fibras curtas, partículas, etc.), matriz (polimérica, metálica, cerâmica, etc.), processo de fabricação. A matriz aglomerante permite a transmissão de carga para as fibras e confere a conformabilidade necessária a um material estrutural.

No estudo realizado por Targino et al. (2016), que trataram da **influência do tipo de resina em laminados compósitos a base de tecidos de mechas híbridas**, mostraram a importância do tipo de resina no desempenho mecânico (resistência, rigidez e fratura mecânica) desses laminados.

O campo industrial vem cada vez mais demonstrando necessidade de materiais com melhor desempenho, ou seja, com qualidades bem peculiares no que diz respeito às áreas de mecânica, térmica, química, entre outras. Perante as condições do mercado, análises acarretando novos materiais compósitos, principalmente os plásticos reforçados por fibras (PRF), tem ganhado maior destaque tecnológico.

Na elaboração do compósito laminado a base de tecido de mecha híbrida e impregnado com resina de poliéster foi aplicado como reforço quatro camadas de um tecido de mecha híbrida de fibras kevlar e fibras de vidro com tecelagem do tipo sarja (gramatura: 480g/m²). No processo de fabricação empregado foi o de laminação manual (*Hand Lay Up*), em que foi conseguida uma placa com uma área de (1,30 x 0,80)m² e espessura de aproximadamente 2,65mm, sendo empregada como matriz a resina poliéster.

Um estudo comparativo foi realizado baseado em dados de um laminado já publicado na literatura constituído pelo mesmo tipo de reforço e resina epóxi. As propriedades mecânicas, além das características da fratura final foram analisadas, obtendo pouca perda nas

propriedades do laminado desenvolvido em relação ao laminado com resina epóxi, principalmente com relação à tensão de ruptura, cerca de 15%, o que proporcionou melhoria na relação custo/benefício do material. Os resultados foram obtidos através de ensaios de tração e densidade volumétrica.

Almeida Jr. et al. (2016), fizeram um estudo sobre a **fluência e comportamento interfacial de laminados de carbono/epóxi processados por enrolamento filamentar**.

Os compósitos poliméricos reforçados com fibras de carbono são reconhecidos por sua alta razão de rigidez e resistência por massa, como também por possuírem elevada resistência à corrosão, os tornando muito atrativos entre diversas áreas, como por exemplo, a aeronáutica, aeroespacial e marítima, sendo usado como substituto para algumas partes estruturais metálicas.

Os laminados foram obtidos usando um mandril de aço inoxidável retangular com auxílio de um robô do tipo KUKA KR 140 L100. Após esse processo, os laminados foram submetidos à compressão a quente sob 6tf por 4 h a 130 °C. A fração volumétrica final das fibras foi de $\approx 72\%$ e com espessura de cada camada de 0,35mm. Os laminados finais foram obtidos por corte em uma máquina CNC.

Análises dinâmico-mecânico e comportamento em fluência foram investigados em um analisador dinâmico-mecânico DMA Q-800 da TA instruments utilizando o dispositivo de flexão de três pontos. Os ensaios de fluência foram realizados nas temperaturas de 30°C e 60°C. Uma tensão estática de 2MPa foi aplicada no ponto central da amostra por 10min. após o equilíbrio na temperatura desejada e a deformação foi medida em função do tempo. Para quantificar a interface fibra/matriz e avaliar o comportamento interlaminar foi utilizado o ensaio de resistência *short-beam*, que é um ensaio de cisalhamento interlaminar de três pontos, e em seguida, as amostras fraturadas foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A resistência ao cisalhamento interlaminar diminuiu de acordo com a orientação da fibra devido à fraca transferência de tensão fibra-matriz, como corroborado pelas análises de microscopia eletrônica de varredura. Foi observado um decréscimo de 66GPa para 11GPa no módulo de armazenamento, esse parâmetro é uma medida da energia mecânica que o material é capaz de armazenar, em determinadas condições experimentais, na forma de energia potencial ou elástica, quando a orientação da fibra muda. Para ângulos maiores de orientação das fibras, a diferença foi menos acentuada. O comportamento em fluência mostrou uma

maior deformação instantânea para os compósitos carregados transversalmente, estando de acordo com os demais resultados.

4.4 Painéis em sanduíche

Um painel em sanduíche, de acordo com o item 2.4.2 é um tipo de material compósito constituído por uma estrutura de três camadas: duas lâminas finas, rígidas e resistentes de material denso, separadas por uma camada de um material de baixa densidade e que pode ser muito menos rígido e resistente do que as lâminas. Os diferentes tipos e formas estruturais dos painéis sanduíche podem ser obtidos através da combinação das diferentes formas do material do núcleo. Apesar da grande diversidade de materiais e configurações já existentes, os painéis em sanduíche estão constantemente sendo inovados com novos materiais e novas combinações de materiais existentes.

O estudo de CAMPOS E FERREIRA (2014), tratou das **propriedades físico-mecânicas de painel de compensado produzido com adesivo alternativo**.

Recentemente, vem surgindo novos adesivos, como a resina poliuretana, que é um adesivo orgânico sintético, com alta dureza e elasticidade, capaz de resistir à ação da água fria e quente, além de possuir resistência notável nos ambientes externos, pois possui estabilidade em clima úmido. Além disso, ela possui grande potencial industrial, pois permite economia de energia durante o processo de prensagem do painel, já que se utiliza uma menor temperatura na cura do adesivo (60°C), enquanto o adesivo fenol-formaldeído 130°C à 160°.

Nesse estudo, lâminas de madeira do tipo *Pinus ssp* foram cortadas, esquadrejadas, seccionadas e secadas através de uma estufa durante 2h, para atingirem umidade equivalente a 4 e 6%. Em seguida foi aplicado e espalhado o adesivo de poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona nas lâminas, efetuando a montagem do painel com o auxílio de uma prensa hidráulica termomecânica com tensão de 15kgf/cm³, por 10 minutos. Ao finalizar a montagem, os painéis produzidos passaram por testes físicos, sendo eles massa específica, teor de umidade e a variação da espessura devido à umidade, além de testes mecânicos para determinar a resistência ao cisalhamento na linha de cola, o módulo de elasticidade, a flexão estática e o módulo de ruptura que significa o valor máximo da tensão de tração ou de compressão nas fibras externas.

Após analisar os dados obtidos, concluiu-se que as propriedades físicas obtidas foram menores ou semelhantes quando comparados a outros estudos que utilizaram lâminas de eucalipto, mas foram sempre superiores a estudos que utilizaram lâminas de pinus. Sendo

assim, observou-se que a resina poliuretana à base de óleo de mamona possui boa interação com lâminas de Pinus em relação aos adesivos tradicionais, pois apresenta valores superiores aos painéis feitos com ureia-formaldeído e próximos aos valores referenciais e de estudos para painéis de compensado produzidos com fenol-formaldeído. Concluindo-se assim que essa resina é compatível para a produção de painéis de madeira compensada.

Dias et. al. (2016), estudaram a **análise mecânica de estruturas sanduíche com diferentes núcleos**.

Realizou-se um estudo mecânico entre estruturas sanduíches, com lâminas de fibra de vidro e núcleos: de espuma de poli (cloreto de vinila) e de células fechadas (PVC), de colmeia de polipropileno e de compensado naval, um compensado que é amplamente utilizado na construção civil e também na indústria naval. O conhecimento de diferentes tipos de núcleos pode auxiliar na determinação das características dos componentes do sanduíche de acordo com a aplicação.

Os compósitos sanduíche utilizados eram compostos por uma lâmina superior, um núcleo e uma lâmina inferior. A lâmina superior possuía três mantas de fibra de vidro e uma camada de gel ortoftálico, enquanto a lâmina inferior possuía duas mantas de fibra e resina ortofílica.

Foram realizados os ensaios de tração, compressão, impacto, cisalhamento e flexão. Foram atendidas normas ASTM's correspondentes para cada tipo de ensaio e realizados sob a temperatura ambiente.

Os resultados dos ensaios de tração, mostram que o módulo de elasticidade médio das lâminas de fibra de vidro foi de 1042 MPa sob compressão. Enquanto que para os núcleos de compensado naval, de colmeia e espuma de PVC foram de 19,40MPa; 18,33MPa e 15,94MPa respectivamente. Sob flexão, os sanduíches com núcleos de compensado naval e colmeia de PP apresentaram módulos de elasticidade de 186,7 MPa e 70,75 MPa.

4.5 Compósitos reforçados por fibras curtas

Para os compósitos reforçados com fibras, conforme visto em 2.3.2, a fase dispersa tem geometria com uma razão alta entre comprimento-diâmetro. Esta relação, conhecida como coeficiente de forma é tomada para definir como fibras curtas aquelas cujo valor situa-se abaixo de 100. As fibras utilizadas em compósitos influem nas suas propriedades, basicamente resistência e dureza.

No estudo de Spinacé (2010), tratou das **Poliolefinas Reforçadas com Fibras Vegetais Curtas: Sisal × Curauá**.

Muitas fibras vegetais estão sendo utilizadas em compósitos com polímeros, como: fibra de coco, algodão, juta, sisal e curauá que é um tipo de bromélia amazônica, mais concentrada na região norte do Brasil, o qual se destaca pelo potencial de aplicação na área de polímeros reforçados, por possuir características mecânicas ideais para o reforço.

Foi utilizado polipropileno homopolímero e polietileno de alta densidade em pellets, agentes de acoplagem e fibras de curauá longas e secas. Para começar, as fibras foram moídas em moinho de facas que é formado por um conjunto de lâminas de facas que atuam dentro de uma câmara e atingem granulometrias menores, peneiradas, espalhadas em placas de vidro, observadas em uma lupa (Micronal) e fotografadas com uma câmera. Em seguida, através das imagens digitalizadas foi feito a contagem do número e do comprimento das fibras, seguidos de ensaios de densidade, ensaios de tração, microscopia eletrônica de varredura da superfície das fibras, mistura, secagem, resfriamento e picotagem.

Após todos os ensaios, ao comparar as fibras de sisal e as fibras de curauá, notou-se que os compósitos de polietileno de alta densidade e polipropileno reforçados com a fibra de curauá apresentaram características de resistência mecânica por tração e flexão maiores, em relação aos compósitos de sisal. Enquanto nos ensaios de impacto não foi verificado nenhuma disparidade significativa entre os compósitos. Além disso, constatou-se que a vulnerabilidade da fibra de sisal acarretou sua quebra no processo de moagem, diminuindo a sua razão entre altura e largura e influenciando a sua eficiência de reforço no compósito. Contudo, os resultados apontam que é possível obter compósitos com características e aplicações distintas, quando se seleciona o método de processamento, a poliolefina e a fibra adequada, o que permite maior excelência no que é produzido.

5 CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado, conclui-se que os compósitos apresentam características bem particulares, tais como uma alta resistência mecânica específica, tendo muita importância em nosso país em praticamente todas as indústrias, desenvolvendo materiais que suportam diversas condições de aplicação.

Os materiais compósitos são uma nova tendência importantíssima para o mercado e para as indústrias na fabricação de vários produtos.

Para que sejam utilizados cada vez mais em aplicações que requerem um alto desempenho mecânico, a metodologia de caracterização destes materiais deve ser amplamente estudada. Esta caracterização ganha ainda mais importância uma vez destacadas as particularidades destes materiais. As proporções de constituintes utilizadas interferem diretamente nas propriedades dos compósitos, bem como a gama de arranjos possíveis e o método de processamento escolhido.

Os materiais compósitos trouxeram avanços para diversas áreas, estão cada vez mais substituindo os materiais convencionais em função das suas inúmeras vantagens como: elevada rigidez e módulo específico, elevada resistência à corrosão e condutividade térmica, boa fluidez, estabilidade estrutural e fácil moldagem.

O uso de recursos vegetais para produção de materiais é uma alternativa renovável e de baixo custo.

O estudo dos compósitos à nível da nanotecnologia tem como princípio elementar o manejo da matéria em escala atômica para a geração de estruturas com diferentes arranjos moleculares, incorporando inúmeras propriedades ao material já existente.

Nos últimos anos, nanocompósitos têm sido muito estudados, principalmente devido às inúmeras vantagens desses materiais quando comparados aos compósitos convencionais. A nanotecnologia está associada a diversas áreas, médica, eletrônicas, ciências da computação, física, e é uma área promissora, mas que está dando seus primeiros passos.

Afinal, à partir dos estudos realizados, conclui-se que é possível projetar novos materiais compósitos com propriedades jamais encontradas anteriormente em materiais monofásicos ou ligas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE, 2000 – ALEXANDRE, M.; DUBOIS, P. **Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials**. Materials Science and Engineering, v. 28, p. 1-63, 2000.
- ALFAIA, 2014 – ALFAIA, M. A. et al., **propriedades mecânicas em flexão de compósitos de matriz cimentícia reforçados com piaçava alinhada em uma e três camadas**. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.
- ALMEIDA, 2016 – ALMEIDA, J. H. S et al. **Fluência e comportamento interfacial de laminados de carbono/epóxi processados por enrolamento filamentar**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.
- ALMEIDA, 2014 – ALMEIDA, L. S. et al. **Efeito do teor de argila na síntese de nanocompósitos de pu/hdl empregando a combinação das técnicas de ultrassom de banho e ultraturrax como metodologia dispersiva**. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRJ 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.
- ARAUJO FILHO, 2014 – ARAUJO FILHO, O. O. et al. **Síntese e caracterização de compósitos de matriz metálica da liga aa2124 com reforço particulado de nitreto de silício através de técnicas de metalurgia do pó**. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.
- ASKELAND, 2008 – ASKELAND, D. R; Pradeep Prabhakar. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage, 2008.
- BRAGA, 2004 – BRAGA, G. **Metodologia científica contemporânea**. Rio de Janeiro: Brasport, 2004.
- BRANCO, 2016 – BRANCO, C. T. N. M. et al. **Material compósito de matriz poliéster reforçado por fibras de algodão contínuas e alinhadas**. Universidade Federal do Pará Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.

- CALLISTER, 2008 – CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**/Willian D. Callister: tradução Sergio Murilo Stamile Soares, - Rio de Janeiro: LTC. 2008.
- CAMPOS, 2014 – CAMPOS, C. I. FERREIRA, B.S., **Propriedades físico-mecânicas de painel de compensado produzido com adesivo alternativo**. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus de Itapeva 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.
- CASARIL, 2007 – CASARIL, A. et al. Revista Matéria v. 12, n. 2, pp. 408 – 419, 2007.
- CERVO; BERVIAN, 2002 – CERVO, A. L; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- CHOWDHURY, 2007 – CHOWDHURY F. H. et al. **Investigations on the thermal and flexural properties of plain weave carbon/epoxy-nanoclay composites by hand-layup technique**. Journal of Materials Science, v. 42, n. 8, p. 2690-2700, 2007.
- PAULA, 2011 – PAULA, P.G. **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica**. 2011. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy RIBEIRO – UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2011.
- DEVANEYAN; SENTHILVELAN, 2014 – DEVANEYAN, S.; SENTHILVELAN, T. **Electro Co-deposition and Characterization of SiC in Nickel Metal Matrix Composite Coatings on Aluminium 7075**. Procedia Engineering, v.97, p.1496-1505, 2014.
- DIACENCO, 2010 – DIACENCO, A. A. **modelagem por elementos finitos de materiais compósitos estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.
- DIAS, 2016 – DIAS, C. G. B. T. et al. **Análise mecânica de estruturas sanduíche com diferentes núcleos**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.
- FARIA, 2006 – FARIA, A. W. **Modelagem por elementos finitos de placas compostas dotadas de sensores e atuadores piezelétricos: implementação computacional e avaliação numérica**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Uberlândia- MG, 2006.

- FERNANDES, 2011 – FERNANDES, J. E. A. **Uso da palha de carnaúba em revestimento de dutos**. 2011. 100f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- FURLAN, 2012 – FURLAN, L.G. **Avaliação das propriedades de compósitos de polipropileno reforçados com casca de aveia**. Química Nova, v.35, n.8, p.1499-1501, 2012.
- GIL, 2017 – GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.
- GOBBI, 2017 – GOBBI, M. C. **Materiais de Construção Mecânica – Seleção, Uso e Solução**, São Paulo, 2013. Disponível em < <https://carroceria.blogspot.com>>. acesso em 11 Julho de 2017.
- KHANAM; KHALIL, 2011 – KHANAM, P. N.; KHALIL, H. A. **Tensile, flexural and chemical resistance properties of sisal fibre reinforced polymer composites: Effect of fibre surface treatment**. Journal of Polymers, p. 115-119, 2011.
- LAKATOS; MARCONI, 2003 – LAKATOS, E. M., MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª ed. São Paulo, Editora Atlas S.A., 2003.
- MELO, 2016 – MELO, S. L. S. **Investigação das propriedades mecânicas e adesão interfacial dos compósitos de polipropileno virgem e reciclado reforçados com fibras e microfibras de bambu**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais)–Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- MENDONÇA, 2003 – MENDONÇA, R. M. L. et al. **Compósitos Particulados para Aplicações em Engenharia de Precisão: obtenção e propriedades mecânicas**. In: 2 Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2003, Uberlândia-MG. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2003.
- MIRANDA NETO, 2005 – MIRANDA NETO, M. J. **Pesquisa para o planejamento: métodos e técnicas**. Rio de Janeiro: FGV, 2005.
- MOREIRA, 2009 – MOREIRA, A. M. **Materiais de Construção I**. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Tomar. Tomar, 2009.
- NATÁLIA, 2016 – NATÁLIA P. et al. **Análise Dinâmico-Mecânica de Materiais Compósitos Poliméricos**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2016.

- OTA, 2004 – OTA, W.N. **Análise de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Vidro Utilizados pela Indústria Automotiva Nacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- PADILHA, 2007 – PADILHA, A. F., **Materiais de engenharia microestrutura e propriedades**. São Paulo: MCT produções gráficas. 2007.
- PADMAVATHI; RAMAKRISHNAN, 2014 – PADMAVATHI, K.R.; RAMAKRISHNAN, D.R. **Tribological behaviour of Aluminium Hybrid Metal Matrix Composite**. Procedia Engineering, v.97, p.660-667, 2014.
- RATNA, 2009 – RATNA, D. **Handbook of Thermoset Resins**. Smithers. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, United Kingdom. 2009.
- REZENDE; BOTELHO, 2017 – REZENDE, M. C.; BOTELHO, E. C.. **O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial**. *Polímeros*, São Carlos, v. 10, n. 2, p. e4-e10, 2000. Disponível em <<http://www.scielo.br>>. acesso em 10 Julho de 2017.
- SANTIN, 2016 – SANTIN, B.S. et al. **Síntese verde de nanopartículas de prata com polvilho azedo**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2016.
- SHACKELFORD, 2008 – SHACKELFORD, J.F. **Ciência dos Materiais**. Pearson Practice Hall, cap 1, 6ed, 2008.
- SPINACE, 2011 – SPINACE, M. A. S. et al. **Poliiolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal × curauá**. *Polímeros*, São Carlos, v. 21, n. 3, p. 168-174, 2011.
- TARGINO, 2016 – TARGINO, T. G et al. **Laminados compósitos a base de tecidos de mechas híbridas: influência do tipo de resina**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, Campus Universitário - Centro de Tecnologia, Lagoa Nova, Natal – RN/Brasil, 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.
- VENTURA, 2009 – VENTURA, A. M. **Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas**. *C.Tecn. Mat.*, Lisboa , v. 21, n. 3-4, p. 10-19, jul. 2009 . Disponível em <<http://www.scielo.mec.pt>>. acesso em 02 jun. 2017.
- WANG, 2015 – WANG, W. et al. **Fracture behaviour at tri-material junctions of crack stoppers in sandwich structures**. *Composite Structures*. 2015.