



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO
CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO PAULO SERPA VIRINO

MATERIAIS COMPÓSITOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL –
CENÁRIO, DESAFIOS E OPORTUNIDADES

FORTALEZA

2018

FRANCISCO PAULO SERPA VIRINO

MATERIAIS COMPÓSITOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Orientador: Profa. Marisete Dantas de Aquino

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C341p Virino, Francisco Paulo Serpa.
Materiais compósitos na indústria da construção civil / Francisco Paulo Serpa Virino. – 2018.
60 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino.
1. Compósitos. 2. Engenharia de materiais. 3. Construção civil. I. Título.

CDD 620

FRANCISCO PAULO SERPA VIRINO

MATERIAIS COMPÓSITOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Orientador: Profa. Marisete Dantas de Aquino

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Marisete Dantas de Aquino (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Msc. Aldo de Almeida Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Milene Eloy Muniz da Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

O meu mais sincero agradecimento a todos os amigos que estiveram ao meu lado nessa jornada, nos bons e maus momentos, nas comemorações e nas angústias, vocês tiveram parte fundamental na minha caminhada.

Aos meus familiares pela educação e apoio aos meus estudos, em especial minha mãe Alda Maria, por todo o suporte dado nesses anos de faculdade.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo mostrar como materiais compósitos são incluídos na indústria da construção e quais são as suas perspectivas para o futuro e os obstáculos que os impedem de expandir seu mercado. Além disso, falaremos sobre seu uso na construção civil, sobre os famosos projetos que foram realizados com o uso de compostos em suas propriedades físicas, mecânicas e químicas, e sobre o que ele difere dos outros materiais mais tradicionais, facilmente encontrados em várias obras. Pôde-se concluir que a indústria da construção civil exerce um papel fundamental para o mercado dos compósitos, sendo o setor que mais consome do material no Brasil, não diferindo muito das outras partes do mundo, além disso, várias pesquisas e inovações que podem favorecer ainda mais essa relação estão surgindo e ganhando força no mercado. Este estudo consistiu em diversas referências bibliográficas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Palavras-chave: Construção civil. Compósitos. Engenharia de Materiais.

ABSTRACT

This paper aims to show how composite materials are embedded in the construction industry and what are their prospects for the future, and the barriers that prevent them from increasing their market. In addition, we will talk about their use in civil construction, on the famous projects that were carried out with the use of composites, on their physical, mechanical and chemical properties, and on what differs them from the traditional materials, which we find easily in the majorities Of the works. It could be concluded that the construction industry plays a fundamental role in the composites market, being the sector that consumes most of the material in Brazil, not differing much from other parts of the world, in addition, several researches and innovations that may favor even more this relationship are emerging and gaining strength in the market. This study was composed by several bibliographical references that helped in the development of this work.

Keywords: Civil construction. Composites. Materials Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico tensão x deformação de um compósito.....	16
Figura 2 - Concreto, um compósito particulado.....	17
Figura 3 - Rolos de fibra de carbono.....	18
Figura 4 - Esquema de compósitos laminados.....	19
Figura 5 - Esquema de painel sanduíche.....	20
Figura 6 – Consumo brasileiro de compósitos em 2009.....	26
Figura 7 - Faturamento do mercado de compósitos por setor em 2009.....	26
Figura 8 - Composição dos processos de fabricação de compósitos em 2009.....	27
Figura 9 – Caixas d’água feitas de PRFV.....	28
Figura 10 - Fibra de carbono aplicada como reforço em viga.....	30
Figura 11 - Aplicação na lã de vidro em alvenaria Drywall.....	30
Figura 12 – Concreto reforçado com fibras de vidro.....	32
Figura 13 - Ensaio de resistência ao cisalhamento com diferentes teores de FV.....	32
Figura 14 – Telha de PRFV.....	33
Figura 15 - Compósito impresso em 3D para função estrutural.....	36
Figura 16 - Montagem de casa impressa em 3D.....	37
Figura 17 – Telha em fibra de coco.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compósitos nas mais diversas indústrias	23
Tabela 2 - Consumo mundial de compósitos por setor	25
Tabela 3 - Propriedades térmicas da lã de vidro vendida pela empresa Metalica.....	31
Tabela 4 - Propriedades mecânicas de compósitos com fibras naturais.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo Geral	12
1.2	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Aspectos históricos dos materiais compósitos.....	14
2.2	Definição de compósitos	15
2.3	Classificação dos compósitos	16
2.3.1	Compósitos particulados	17
2.3.2	Compósitos fibrosos	18
2.3.3	Compósitos estruturais.....	19
2.4	Tipos de matriz	20
2.4.1	Matriz polimérica.....	21
2.4.2	Matriz metálica	21
2.4.3	Matriz cerâmica	21
2.5	As aplicações dos compósitos.....	22
2.5.1	Indústria Aeroespacial	22
2.5.2	Indústria de Transportes.....	23
2.5.3	Outras aplicações	23
3	METODOLOGIA	24
4	RESULTADOS	25
4.1	Os compósitos no mercado da construção	25
4.2	Aplicações dos compósitos nas construções.....	28
4.2.1	Reservatórios e caixas d'água	28
4.2.2	Reforço estrutural.....	29
4.2.3	Isolante térmico e acústico	30
4.2.4	Concreto	31
4.2.5	Cobertas.....	33
4.2.6	Outras aplicações na construção	33

4.3	Desafios na indústria dos compósitos	34
4.3.1	Dificuldades de reciclagem.....	34
4.3.2	Ausência de legislação regulamentadora.....	35
4.3.3	Elementos nocivos na produção	35
4.4	Oportunidades de expansão do mercado	36
4.4.1	Compósitos na impressão 3D	36
4.4.2	Compósitos no ramo das energias renováveis.....	37
4.4.3	Compósitos de fibra vegetal	38
5	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O material compósito é um dos materiais mais antigos trabalhados pelo homem, tendo sido diversas as suas utilizações desde os períodos pré-históricos. Com o passar do tempo, a técnica de utilização do compósito foi sendo aprimorada e introduzida a construção civil, sendo hoje presente em grande número de edificações e em diversos sistemas.

Em uma edificação, o material compósito pode servir para diversas funções, o mesmo é mais comumente usado na parte estrutural ou reforço de peças estruturais, mas também é bastante utilizado como isolador termo acústico, combate à corrosão, entre outras funcionalidades. Segundo a ALMACO (Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos), em 2013, somente o segmento de construção civil representou quase metade das 210.000 toneladas pte de compósitos fabricadas no Brasil, sendo o setor que mais consumiu compósitos no referido período, o que permanece igual nos dias de hoje.

Contudo, o alto preço de produção, e conseqüentemente de venda desse material, acaba por tornar os projetistas receosos quanto à sua utilização. Além disso, na maioria das vezes, a reciclagem dos compósitos tende a ser muito complexa, pela questão de ser difícil separar os dois ou mais materiais que o constituem, levando a maiores custos.

Assim, esse trabalho discorrerá sobre os principais conceitos relacionados aos compósitos (definição e caracterização), os desafios encontrados na sua utilização e expansão no mercado, além das possíveis inovações que podem fornecer benefícios e notoriedade ao ramo dos materiais compósitos.

1.1 Objetivo Geral

Baseando-se na revisão preliminar da literatura, percebeu-se que o ramo da construção da engenharia civil tem importante participação do mercado de compósitos nacional e internacional. Além disso, constatou-se que os compósitos têm excelentes propriedades físicas e químicas que podem ser muito úteis nos vários sistemas de uma edificação.

Logo, definiu-se o objetivo geral da pesquisa como sendo [apresentar o cenário dos materiais compósitos e suas diversas funcionalidades, focando no segmento da construção civil, além de mostrar as oportunidades de crescimento da participação no setor da construção, e por fim, mostrar os desafios que a indústria tem que contornar se quiser expandir].

1.2 Objetivos Específicos

Para detalhar a forma de atingir este objetivo geral, foram então definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar as propriedades e características dos materiais compósitos em geral.
- b) Levantar suas áreas de aplicação dando um enfoque maior na construção civil, além das aplicações mais usuais deste material nos diversos sistemas de uma edificação.
- c) Levantar os principais desafios encontrados pela indústria dos compósitos para expandir o seu mercado na construção.
- d) Levantar as principais inovações e oportunidades que podem alavancar o uso de compósitos no segmento da construção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente, caracterizaremos o material compósito por meio do seu histórico de uso no mundo e no Brasil, das características e parâmetros de caracterização desse material. Serão também citadas as classificações dos materiais e as aplicações desse material nos cenários industriais.

2.1 Aspectos históricos dos materiais compósitos

Acredita-se que início do uso dos materiais compósitos surgiu na Antiguidade, quando os egípcios e israelitas já utilizavam feixes de palha para aumentar a integridade estrutural das alvenarias em adobe, bem como a produção manual de tecidos moles e fibras de fiação, como o algodão, foi um grande avanço sobre as peles de animais, amplamente utilizadas pelos povos antigos como vestes. Estas invenções antigas marcaram o início dos compósitos. (VENTURA, 2009)

O desenvolvimento de materiais compósitos passou muito sem dar grandes avanços, somente após a metade do século XIX com as primeiras experiências com concreto armado, ele voltou a ser um enfoque maior e muitos compósitos começaram a surgir com o objetivo de atender as necessidades do mercado, que contavam com materiais muito robustos e pesados. (VENTURA, 2009)

A partir da década de 60, os compósitos de alto desempenho entraram definitivamente no mercado aeroespacial, onde se busca criar aeronaves cada vez mais leves, e conseqüentemente, utilizando menos combustível para operar. O desenvolvimento de novas fibras deu uma maior flexibilidade aos projetistas estruturais, podendo criar novas geometrias mais complexas para as aeronaves. (RESENDE, 2000)

Nos últimos anos, com a crescente preocupação com a sustentabilidade e com o impacto ambiental causado pelas indústrias, compósitos de fibras naturais vegetal vêm voltando a ganhar espaço no mercado, pois essas fibras eram usadas na maioria dos compósitos na Antiguidade, como madeira, ossos e plantas. (VENTURA, 2009)

Nos dias atuais, os materiais compósitos estão difundidos nos mais diversos mercados graças aos seus elevados índices de resistência. O Brasil possui a sede da ALMACO (Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos), criada em 1981 para representar, promover e fortalecer o desenvolvimento sustentável do mercado de compósito no continente, o que mostra que há um interesse nacional na pesquisa e desenvolvimento nesse setor.

2.2 Definição de compósitos

Materiais compósitos não têm uma definição clara. Eles são feitos de uma mistura de dois ou mais materiais, para se tornar um novo material com melhor desempenho para determinada solicitação. Por via de regra, compõem-se de duas fases: a matriz e o reforço.

“Um material composto é um conjunto de dois ou mais materiais diferentes, combinados em escala macroscópica, para funcionarem como uma unidade, visando obter um conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresenta.” (MENDONÇA, 2005)

A matriz é geralmente o material mais predominante e aparente no compósito, serve para proteger o reforço contra abrasões mecânicas e reações químicas do meio externo, além disso, transmitir as tensões solicitadas para o reforço, que tem maior papel estrutural. O papel do reforço é primeiramente resistir aos esforços mecânicos e melhorar as propriedades da matriz. Ambas as partes têm um relacionamento mútuo. Às vezes é necessário colocar também alguns aditivos, necessários para garantir uma conexão suficiente forte entre o reforço e a matriz. (FELIPE, 2008)

Diferentemente das ligas, os componentes dos compósitos estão visíveis em escala macroscópica e formando uma mistura heterogênea, ou seja, matriz e reforço possuem propriedades químicas diferentes. A inserção do reforço na matriz tem que ser feita de forma controlada, enfatizando umas características enquanto minimiza outras mais indesejáveis, fazendo com que o compósito tenha um ganho das propriedades mecânicas, comparando aos seus constituintes isolados. (FELIPE, 2008)

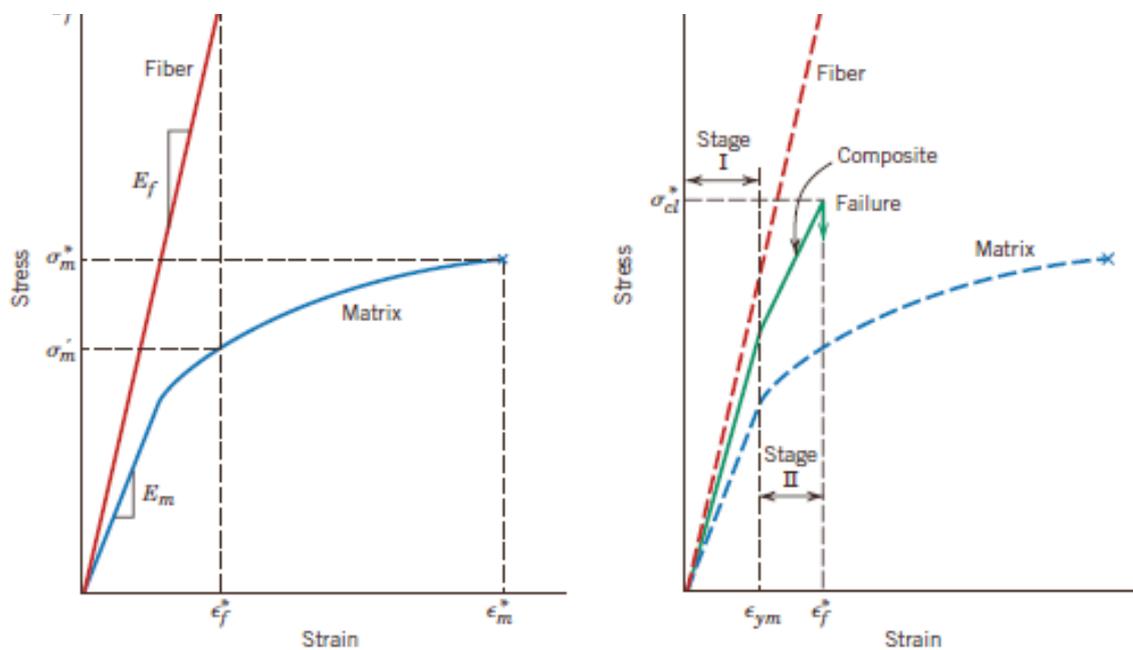
Assim, o projetista pode alterar uma gama de aspectos comportamentais do compósito, como:

- a) resistência à corrosão/abrasão;
- b) rigidez;
- c) dureza/ductilidade;
- d) condutividade elétrica;
- e) resistência à fadiga;
- f) peso.

Um exemplo simples do comportamento de um compósito é o ensaio de tensão versus deformação, onde é aplicada uma carga crescente na sua direção axial até a ruptura do material. Na figura à esquerda abaixo, temos um comportamento do ensaio tensão versus deformação para uma fibra quebradiça e uma matriz razoavelmente dúctil com suas tensões de rupturas indicadas.

Na figura à direita abaixo, foi adicionado o gráfico do comportamento do compósito formado por esses dois elementos, e vimos que o início da falha do compósito se inicia logo quando a fibras começam a se romper, o que corresponde à deformação. Essa falha não é catastrófica por alguns motivos. Primeiro, nem todas as fibras fraturam ao mesmo tempo, uma vez que sempre haverá variações consideráveis na resistência à fratura de materiais de fibra quebradiça. Além disso, mesmo após a falha da fibra, a matriz ainda está intacta. Assim, essas fibras fraturadas, que são mais curtas que as originais, ainda estão embutidas na matriz intacta, e capazes de resistir aos esforços. (CALLISTER, 2002)

Figura 1 - Gráfico tensão x deformação de um compósito



Fonte: Ciência e Engenharia de Materiais – Callister, 2002.

Os materiais que compõem as matrizes geralmente são menos sofisticados e onerosos que as fibras, os compósitos podem ter propriedades mais fracas que seu reforço, porém, comercialmente são mais favoráveis, pois a viabilidade econômica ou produtiva de utiliza-lo é bem mais favorável que utilizar somente os reforços, sem nenhuma matriz. (CALLISTER, 2002)

2.3 Classificação dos compósitos

A maneira mais comum de classificar materiais compósitos é baseada na designação de reforço, e como o reforço é introduzido na matriz. A geometria da fase de reforço é um dos principais parâmetros para determinar a eficácia do material, isto é, as propriedades mecânicas dos compósitos são uma função da forma e das dimensões do material que foi adicionado para dar uma melhoria nas propriedades da matriz. (CALLISTER, 2002)

Como regra geral, há três classificações para reforços, conseqüentemente, os materiais compósitos levam essas mesmas classificações: particulado, fibroso ou estrutural. O reforço para materiais compósitos particulados apresenta para todas as direções, dimensões muito semelhantes, ou seja, eles estão imersos na matriz de maneira uniforme. Para os compósitos fibrosos, o reforço está presente em basicamente uma direção (fibras apresentam um grande comprimento comparado aos seus diâmetros). Por fim, os compósitos estruturais são aqueles que possuem combinações de dois ou mais materiais homogêneos, geralmente são formados por sobreposição de camadas. (CALLISTER, 2002)

Dentro dessa classificação geral para os compósitos, existem subclassificações que correspondem à orientação ou tamanho dos reforços imersos na matriz, pois isso influenciará no resultado final das propriedades do material. (CALLISTER, 2002)

2.3.1 Compósitos particulados

O compósito particulado é dividido em duas subcategorias: partículas grandes e reforçados por dispersão. O primeiro apresenta particulados tão grandes que a interação entre matriz e reforço não pode ser tratada a nível atômico ou molecular, analisa-se o compósito de forma contínua. Já os compósitos particulados reforçados por dispersão possuem partículas entre 10 e 100 nanômetros e a interação entre matriz e reforço é tratada de forma atômica/molecular. A diferença entre essas duas subclassificações, é que nos compósitos de partículas grandes, o reforço é responsável por suportar os esforços, enquanto nos compósitos reforçados por dispersão é a matriz que suporta os esforços, o reforço atua impedindo que a matriz não se deforme exageradamente. (CALLISTER, 2002)

O concreto é um compósito comum de partícula grande onde as fases matriz e reforço são materiais cerâmicos. Trata-se de um material compósito formado por partículas agregadas que são interligadas num corpo sólido por algum tipo de meio ligante, no caso, cimento. (CALLISTER, 2002)

Figura 2 – Concreto, um compósito particulado.



Fonte: Google, 2008.

2.3.2 Compósitos fibrosos

Os compósitos fibrosos são os favoritos no mercado, são eles que apresentam as maiores rigidezes e módulos de elasticidade, têm-se conseguido cada vez mais inserir fibras mais leves, e conseqüentemente, dar menos pesos às estruturas. (CALLISTER, 2002)

Esse tipo de compósito se subdivide basicamente de acordo com o comprimento de suas fibras, podendo ser: contínuas ou descontínuas. Em outras palavras, se as fibras estão presentes durante grande parte do comprimento da matriz, elas são tratadas como fibras contínuas ou alinhadas. Se as fibras são curtas e possuem intervalos entre umas as outras no mesmo eixo, são tratadas como descontínuas ou curtas. (CALLISTER, 2002)

Quanto mais longa e contínua for a fibra, mais fácil fica de atingir bons valores de resistência mecânica. Porém, o fator mais determinante para os bons resultados para os parâmetros do compósito é a interação entre fibra e matriz, quanto mais forte for essa interação, melhores serão as propriedades do compósito, pois as fibras que serão responsáveis por suportar os esforços, logo, se a matriz não transmitir de forma ótima essas cargas, ela estará também atuando como suporte, mesmo não sendo a fase mais resistente do material. (CALLISTER, 2002)

Figura 3 – Rolos de fibra de carbono.



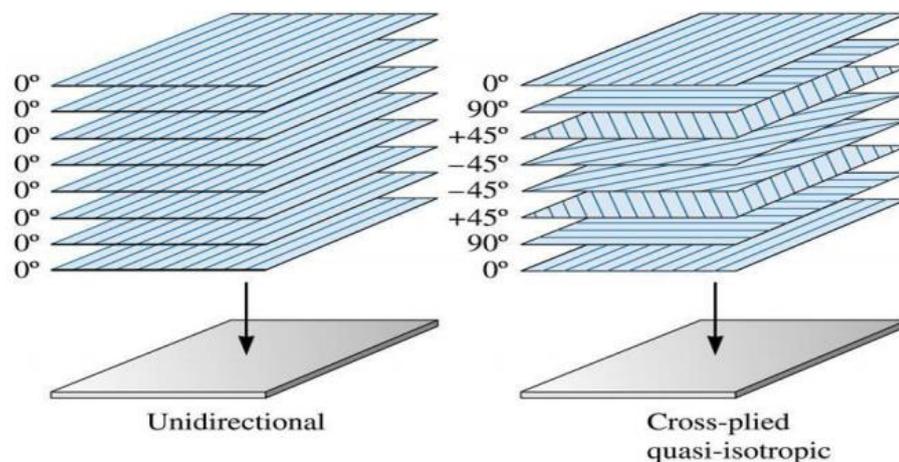
Fonte: Ciência e Engenharia de Materiais – Callister, 2002.

2.3.3 Compósitos estruturais

São compósitos formados por materiais homogêneos ou até mesmo outros compósitos que são combinados através de camadas superpostas, em que a combinação do arranjo desse empilhamento vai determinar as propriedades do compósito. Os compósitos estruturais se dividem em dois subgrupos: laminares e painéis sanduíches. (CALLISTER, 2002)

Compósitos laminares são compostos por folhas bidimensionais que geralmente possuem anisotropia, ou seja, têm em um eixo, valores de resistência bem acima que nos outros eixos. As folhas são empilhadas e cimentadas, tendo uma variação angular entre cada uma das camadas, isso faz com que o material não tenha um eixo mais desfavorável aos esforços, em todas as direções, ele terá um comportamento semelhante, gerando um material quase isotrópico. Porém, os limites de resistências não serão tão altos caso elas fossem empilhadas todas voltadas para a direção de maior resistência. (CALLISTER, 2002)

Figura 4 – Esquema de compósitos laminados.



Fonte: Ciência e Engenharia de Materiais – Callister, 2002.

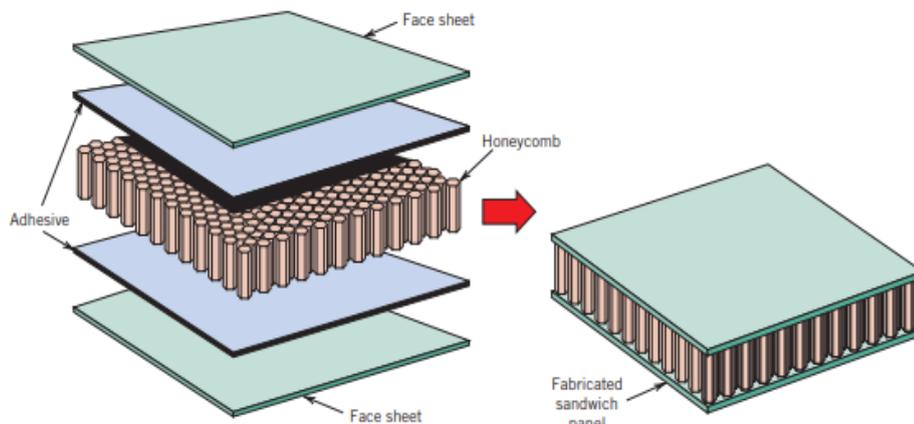
Os painéis de sanduíches consistem em duas faces de folha rígidas e fortes que são separadas por um material ou estrutura central, que é adesivada nas faces externas. Essas estruturas combinam forças e rigidez relativamente altas com baixas densidades. (CALLISTER, 2002)

Os núcleos centrais possuem maiores espessuras que as folhas externas, e os materiais que o constituem são leves com um baixo módulo de elasticidade, como polímeros rígidos, espumas ou madeira. Já as folhas externas são constituídas de materiais mais rígidos como plásticos reforçados com fibras, aço, ligas de alumínio, entre outros. (CALLISTER, 2002)

É importante salientar que o núcleo não tem um papel estrutural, mas ele deve suportar os esforços que surgirão naturalmente na sua estrutura, como o cisalhamento transversal causado pelas placas externas. (CALLISTER, 2002)

Um modelo de painel sanduíche bem comum é o com núcleo em forma de colméia, geralmente feito de polímeros aramidas ou ligas de alumínio. As propriedades do modelo estão diretamente ligadas às dimensões da célula da colméia. (CALLISTER, 2002)

Figura 5 – Esquema de painel sanduíche.



Fonte: Ciência e Engenharia de Materiais – Callister, 2002.

2.4 Tipos de matriz

Segundo Almeida (2012), a matriz é a fase contínua do compósito, e também sua fase mais fraca, apesar disso, ela possui diversas funções de grande importância para a aplicação do material, entre elas podemos citar:

- a) Distribuir o carregamento à fase dispersa (reforço);
- b) Proteger o reforço dos intemperes externos.
- c) Manter a coesão da fase dispersa;
- d) Proteger o reforço durante o manuseio.

A matriz usualmente pode ser de três tipos: polimérica, cerâmica e metálica. Todos esses tipos possuem suas vantagens e desvantagens, cabendo ao projetista estabelecer qual é o melhor para cada cenário. (ALMEIDA, 2012)

2.4.1 Matriz polimérica

Os polímeros estão presentes em diversas matrizes, sendo ele o material mais comumente encontrado, muito graças ao seu preço baixo e produção não tão sofisticada. Matrizes poliméricas não possuem grandes valores de resistência mecânica, muitas vezes sendo impossibilitadas de serem usadas para funções estruturais (sem um reforço adequado). Matrizes cerâmicas e/ou metálicas são preferíveis nesse caso. (PANZERA, 2007)

A produção dos polímeros não envolve grandes temperaturas, pois os mesmos não conseguem suportar bem o calor e acabam fundindo e perdendo suas propriedades. Por outro lado, isso é benéfico quando visto pelo lado do reforço do compósito, que acaba por ser mais preservado pela ausência de temperaturas elevadas. (PANZERA, 2007)

A fabricação dos compósitos poliméricos envolvem altas pressões, pois como o polímero é um material sensível à temperatura, grandes pressões são exigidas para atingir uma boa imersão do reforço na matriz. A fibra de vidro é o material mais comum nas matrizes poliméricas. (ALMEIDA e MONTEIRO, 2008)

2.4.2 Matriz metálica

Esse tipo de matriz tem uma boa resistência à temperatura elevadas e ao receber os reforços (geralmente são fibras de metais leves como cobre, alumínio, magnésio, etc.) adquire características muito boas, por isso é um tipo de matriz muito presente nas indústrias que exigem alto desempenho, como aeronáutica e automobilística. Porém, alguns compósitos de matriz metálica podem apresentar sensibilidade devido a altas temperaturas, o que é ocasionado por uma reação entre matriz e reforço que origina esse tipo de falha, exigindo que se faça um revestido especial de proteção ao calor. (HERAKOVICH, 1998)

A fabricação das matrizes metálicas envolvem duas etapas. A primeira chamada de consolidação, que é a inserção do reforço na matriz, isso geralmente ocorre em temperaturas elevadas com a matriz em um estado bem plástico. Em seguida, ocorre a etapa de modelagem do compósito, onde o material ainda em estado plástico é moldado na forma geométrica desejada, após o conjunto resfriar e enrijecer, o compósito está formado e pronto para aplicação. (CALLISTER, 2002)

2.4.3 Matriz cerâmica

Os materiais cerâmicos são resistentes à oxidação e temperaturas elevadas, fazendo com que sua vida útil seja bem longa, pois sua deterioração ao meio externo é muito baixa. Por outro lado, por ser um material duro, sua fratura é frágil e repentina, o que se torna uma preocupação ao ser aplicado em funções estruturais. (HERAKOVICH, 1998)

A tenacidade à fratura das cerâmicas foi melhorada significativamente com o desenvolvimento de uma nova geração de compósitos de matriz cerâmica, partículas, fibras ou filamentos de um material cerâmico que foram incorporados em outra matriz cerâmica. Essa melhoria se deve ao fato que as fissuras que aparecem na matriz (devido à baixa tenacidade) são impedidas de evoluir devido ao reforço. (CALLISTER, 2002)

A matriz cimentícia é a principal matriz cerâmica empregada na construção civil, sendo ela formada por aglomerantes hidráulicos que, em contato com a água, produzem reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim boa resistência à compressão, mas pequena resistência à tração. Concretos e argamassas são exemplos dos compósitos de matriz cimentícia mais comuns no mundo. (SILVA FILHO e GARCEZ, 2010)

2.5 As aplicações dos compósitos

Segundo (Silva Filho; Garcez, 2010), os materiais compósitos estão sendo cada vez mais utilizados, o seu grau de utilização vem crescendo em praticamente todas as grandes economias, sendo aplicado nas mais diversas áreas, desde na indústria aeroespacial, até em soluções médicas. Alguns exemplos são citados a seguir.

2.5.1 Indústria Aeroespacial

Desde a década de 60, os compósitos estão fortemente presentes na indústria aeroespacial, graças à evolução de novas fibras que permitiram uma maior flexibilidade na fabricação de peças para as aeronaves. (RESENDE, 2000)

“O crescente uso de polímeros reforçados com fibras de carbono no setor aeronáutico deve-se, principalmente, ao constante desafio de obter componentes que exibam os maiores valores de resistência mecânica e de rigidez específicas entre os materiais disponíveis. A substituição do alumínio por compósitos poliméricos estruturais, por exemplo, permite uma redução de peso de 20 a 30%, além de 25% na redução do custo final de obtenção das peças.” (RESENDE, 2000)

O uso de fibras longas em materiais compósitos para aeronaves está entrando em desuso, pois a fabricação desses materiais é muito complexa e onerosa. As fibras picadas são agora preferíveis devido a sua simplicidade e flexibilidade de projeto, além de bons valores de resistência que não diferem muito aos das fibras longas. Empresas fornecedoras de compósitos para fabricantes de aeronaves já movimentam mais de um bilhão de dólares ao ano, (RESENDE, 2000)

2.5.2 Indústria de Transportes

Os compósitos com matriz e reforço carboníferos já são utilizados em larga escala em sistemas de frenagens seja de trens ou até mesmos carros de corrida. O material que era usado anteriormente nesse sistema era o asbesto, um material tóxico que é considerado cancerígeno pela OMS (Organização Mundial da Saúde). (RESENDE, 2000)

Carrocerias de veículos para transporte públicos também é outra aplicação comum dos compósitos que está aliado a leveza desse material, que ao deixar o veículo mais leve, acaba diminuindo também, o consumo de combustível, melhorando a desempenho do carro e diminuindo o impacto ambiental causado pela emissão de gases estufa. (GOSS, 2010)

2.5.3 Outras aplicações

Pela leveza e boa resistência, os materiais compósitos podem ser aplicados em diversos setores da indústria. Segundo Goss (2010), as principais aplicações podem ser encontradas na Tabela 1, abaixo:

Tabela 1 – Compósitos nas mais diversas indústrias

Indústria	Exemplos	Vantagens
Automotiva e Transportes	Carroceria, chassis, componentes de motor, etc.	Elevada firmeza, boa superfície, baixo peso (maior eficiência energética)
Civil	Peças estruturais, tanques, banheiras, móveis.	Elevada resistência mecânica e baixo peso
Esportes e Lazer	Raquetes de tênis, tacos de golfe, estruturas de bicicletas, carros de corrida, etc.	Flexibilidade de design, redução nas vibrações
Mecânica e Química	Tubulações, tanques, vasos de pressão.	Resistência à corrosão
Aeroespacial	Portas, partes da fuselagem, cauda, flap.	Redução de peso da ordem de 20 a 35%; estabilidade dimensional e térmica.
Elétrica	Circuitos impressos, isolantes, componentes de baterias, etc.	Propriedades específicas
Energia eólica	Pás dos rotores	Baixo peso e excelentes propriedades mecânicas
Marinha	Mastros, velas, deques e cascos.	Redução do peso representa possibilidade de maiores velocidades e aceleração

Fonte: RESENDE, 2000

3 METODOLOGIA

Primeiramente se desenvolveu uma revisão bibliográfica apresentando um breve histórico do material compósito e seu surgimento, juntamente também com uma definição do material, caracterização, suas propriedades principais, e suas áreas de aplicação em geral.

Foram estudadas aplicações dos materiais compósitos voltados exclusivamente na indústria da construção civil, sendo essas aplicações, divididas nos sistemas construtivos gerais de uma edificação. Foi analisado também o método de escolha para estes materiais, assim como as vantagens que eles possuem sobre os materiais mais tradicionalmente usados para os mesmos fins. Será feito uma rápida comparação do uso dos materiais tradicionais em relação aos materiais compósitos.

Foram levantados também, por meio de revisão bibliográfica, os problemas mais recorrentes com relação ao uso dos compósitos, seja na produção, aplicação, ou até mesmo descarto do material.

E por fim, apresentar as mais recentes inovações que envolvem a utilização de materiais compósitos, e que podem também sanar alguns dos problemas citados no capítulo anterior, fazendo crescer o mercado do produto.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos após uma extensa pesquisa bibliográfica da aplicação do material compósito especificamente no setor da construção civil, a qual teve por fim, colher dados da participação do setor da construção no mercado de compósitos, as aplicações mais usuais dos compósitos nas edificações, além de desafios e oportunidades para a expansão deste material no setor construtivo.

4.1 Os compósitos no mercado da construção civil

No Brasil, no ano de 2012, os setores que mais consumiram compósitos foram praticamente o automobilístico, a construção industrial e a construção civil. Na tabela abaixo, podemos analisar o consumo brasileiro de compósitos por setor naquele ano, além de poder compara-lo com outros países referências no uso do material.

Tabela 2 – Consumo mundial de compósitos por setor

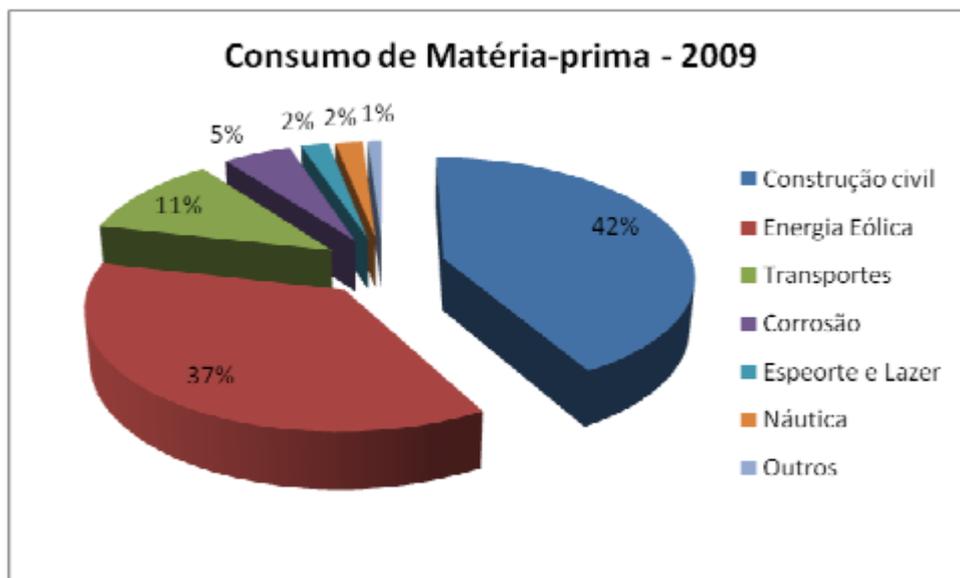
Aplicação	França	Europa	Japão	EUA	Brasil	Mundo
Automobilística	36%	32%	13%	30%	22%	25%
Ferroviária	2%	2%	2%	1%	0%	1%
Aeronáutica	4%	1%	1%	1%	3%	3%
Náutica	5%	4%	3%	12%	4%	6%
Construção civil	20%	33%	35%	23%	26%	30%
Construção industrial	8%	10%	14%	13%	32%	10%
Elétrica/Eletrônica	15%	8%	23%	10%	8%	15%
Esportes e lazer	8%	8%	7%	8%	4%	8%
Material médico	1%	1%	1%	1%	0%	1%
Diversos	1%	1%	1%	1%	1%	1%

Fonte: Nodal Consultantes, L'industrie française des matériaux composites – 2012.

Como se pôde perceber, o setor da construção civil está em segundo lugar no consumo de compósitos nacional, ficando atrás apenas do setor industrial. Além disso, o Brasil utiliza mais compósitos na construção civil que os Estados Unidos e França, o que mostra que este material tem uma boa participação nas construções brasileiras, mesmo o Brasil não sendo um grande produtor de compósito.

Analisando a figura abaixo, alguns anos mais atrás, o setor que teve a maior demanda por compósitos foi o da construção civil, em 2009, mais especificamente, época em que o Brasil teve grande crescimento do PIB e havia vários grandes projetos aquecendo o setor construtivo. Isso mostra que a construção civil se consolida como um setor de extrema importância para o mercado de compósitos, ou seja, um bom momento da construção no país é acompanhado também de um bom momento para o mercado de materiais compósitos.

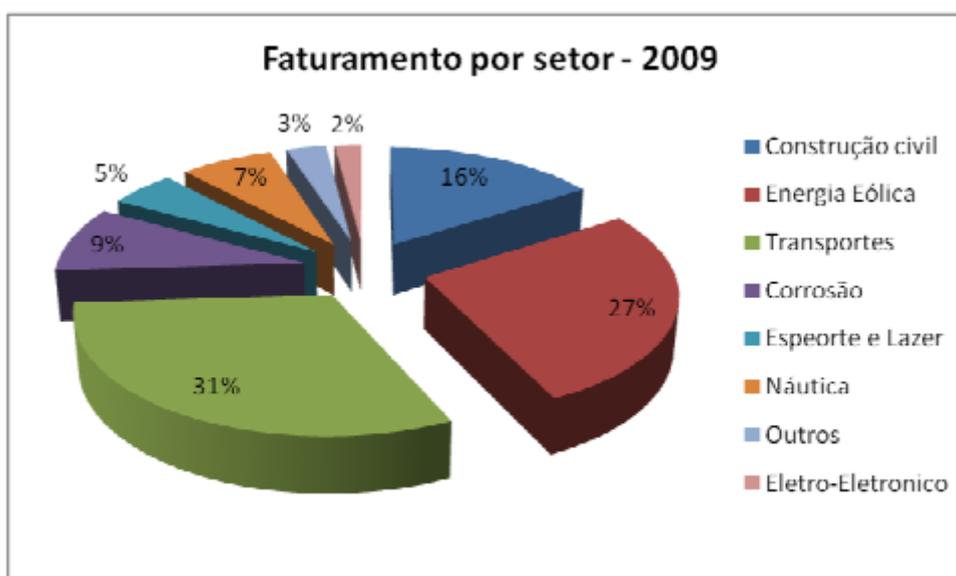
Figura 6 – Consumo brasileiro de compósitos em 2009.



Fonte: GOSS, 2010

Apesar da grande participação do consumo de compósitos pela construção civil, o faturamento que esse setor gera é relativamente pequeno, se analisarmos a figura abaixo. O motivo por trás disso é que as técnicas de produção dos compósitos voltados para a construção civil são basicamente o spray-up e o hand lay-up, processos que não são muito eficientes e com muita participação do operário, ou seja, manuais. Outros setores que possuem compósitos de uma origem de produção mais eficiente, correspondem bem melhor ao faturamento mesmo respondendo por um menor consumo. A seguir podemos o faturamento por setor no ano de 2009, e constatar que apesar da construção civil consumir 42% de matéria-prima de origem compósita, ele responde apenas por 16% do faturamento da indústria de compósitos, sendo o terceiro menor. (GOSS, 2010)

Figura 7 – Faturamento do mercado de compósitos por setor em 2009.

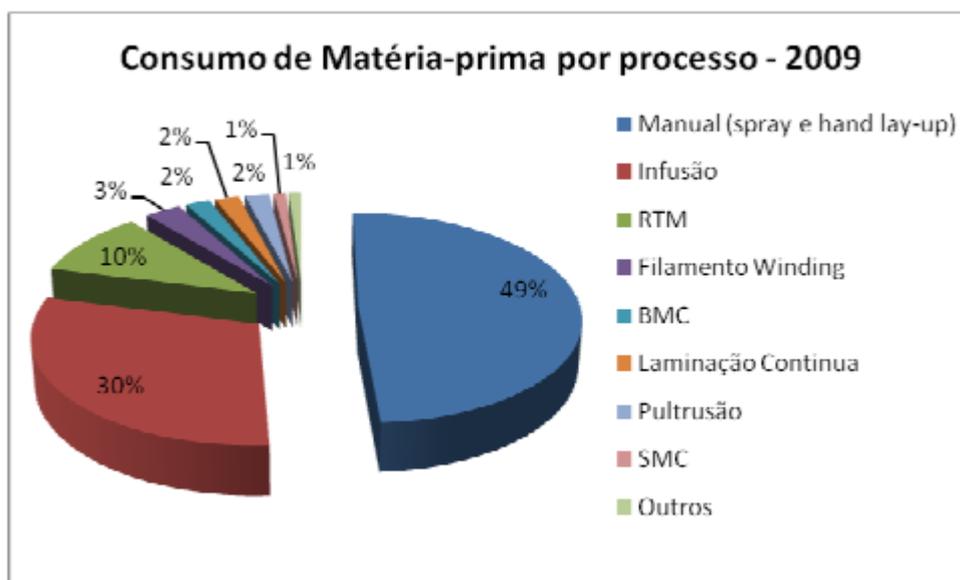


Fonte: GOSS, 2010

Os processos de spray-up e hand lay-up ocorrem de maneira exposta, as fibras são inseridas nas resinas a céu aberto, o que muito prejudicial ao operador, pois essa mistura libera voláteis que são tóxicos, e por isso essa tecnologia é bem contestada no mercado internacional. Outro problema, é que esse processo gera muitas rebarbas e resíduos de produção, o que acaba sendo não muito produtivo e oneroso, uma vez que se deve dar uma destinação adequada aos resíduos. (GOSS, 2010)

O processo majoritariamente utilizado, por exemplo, pelo setor automobilístico é o RTM, neste processo, a pressão de injeção utilizada é inferior a aplicada na moldagem por compressão, o que reduz os custos de moldes e equipamentos, conseqüentemente, esse processo tem melhor retorno no faturamento, pois é bem mais produtivo, porém, é um investimento de alto custo, nem todas as empresas acabam tendo capital suficiente para a adoção do mesmo. A figura abaixo nos mostra a proporção dos métodos de produção dos compósitos no Brasil. (GOSS, 2010)

Figura 8 – Composição dos processos de fabricação de compósitos em 2009.



Fonte: GOSS, 2010

4.2 Aplicações dos compósitos nas construções

Nesta seção vamos apresentar as aplicações mais usuais dos materiais compósitos dentro de uma construção e suas propriedades. Os compósitos são versáteis e podem ser projetados para diversas finalidades. Alguns materiais já se tornaram tradicionais nas obras, o foco da seção é tentar mostrar materiais de diferentes sistemas de um edifício, para dar ênfase na multi utilidade dos compósitos.

4.2.1 Reservatórios e caixas d'água

O resultado da mistura de um reforço (fibra de vidro) a uma matriz polimérica (resina poliéster ou outro tipo de resina) e a uma substância catalisadora de polimerização forma um compósito denominado Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), cuja técnica permite a produção de peças com grande variedade de formatos e tamanhos: piscinas, caixas d'água, etc. (KEMERICK et al, 2013)

Grande parte das caixas d'água presente nas edificações é feitas de PRFV, material usualmente escolhido pelos projetistas, devido ao seu baixo peso específico, facilitando nos momentos de transporte e instalação no local adequado. Costuma-se encontrar piscinas do mesmo material, pré-fabricadas e nos mais diversos tamanhos, o que comprova a versatilidade do material. (KEMERICK et al, 2013)

Figura 9 – Caixas d'água feitas de PRFV



Fonte: Google, 2011.

Segundo Barcellos (2009), os materiais de PRFV apresentam propriedades que o fazem ser competitivos no mercado, entre elas pode-se destacar:

- a) Elevado quociente entre resistência e peso;
- b) Boa resistência ao calor, umidade e corrosão;
- c) Facilidade de fabricação;
- d) Custo relativamente baixo.

4.2.2 Reforço estrutural

As estruturas de edifícios são geralmente formadas por lajes, vigas e pilares, os mesmos se deformam com o objetivo de manter o equilíbrio e resistirem aos esforços solicitados, essas deformações de maneira instantânea, mas também ao longo do tempo. Essas deformações são limitadas pela NBR 6118 com o intuito de dar conforto ao usuário e assegurar a estabilidade da peça estrutural. Porém, por erros de projetos ou imprevistos, reforços na estrutura poderão ser

feitos para controlar fissuras ou deformações que se propagam nas peças, neste momento, os compósitos de fibra de carbono são extremamente úteis para sanar esse tipo de problema.

As fibras de carbono são oriundas do tratamento térmico de fibras precursoras orgânicas ou com base no alcatrão derivado do petróleo ou do carvão. O processo de produção consiste na oxidação dessas fibras precursoras seguido do processamento a elevadas temperaturas. As fibras resultantes desse processo térmico apresentam os átomos de carbono bem alinhados ao longo da fibra precursora, o que confere elevada resistência mecânica ao produto final. Quanto maior a temperatura em que o processo industrial se realiza maior será o módulo de elasticidade do material resultante, que varia desde 100 GPa a 300 GPa para as fibras de carbono até 650 GPa para as fibras de grafite. (MACHADO, 2002)

Segundo Machado (2002), para uma boa aplicação da lâmina de fibra de carbono que irá dar mais rigidez e estabilidade da peça, os passos necessários são os seguintes:

- a) Imprimir a peça de modo a eliminar qualquer oxidação da mesma;
- b) Tratar todas as fissuras e trincas maiores que 0,25mm da peça;
- c) Aplicação do imprimador metálico para garantir a aderência;
- d) Aplicar massa reguladora para desempenar e sem irregularidades;
- e) Saturação da peça seja antes de ser levada para a peça, ou então in loco;
- f) Corte e aplicação da lâmina de fibra de carbono (deve-se acontecer de maneira imediata, entre 25 e 30 minutos);
- g) Revestimento estético da fibra de carbono, que também serve de proteção contra abrasivos.

A lâmina de fibra de carbono é aplicada geralmente embaixo de lajes e vigas, de modo a atuar onde os esforços de tração são mais presentes, de modo a absorver essas tensões, garantido que o concreto não fissure, já que é um material que tem baixa resistência à tração. Além disso, ela pode ser aplicada ao redor da seção transversal de vigas ou pilares, combatendo a flambagem e os esforços cortantes. Na figura a seguir podemos ver uma aplicação da fibra de carbono em um reforço estrutural.

Figura 10 – Fibra de carbono aplicada como reforço em viga



Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado da Vipol

4.2.3 *Isolante térmico e acústico*

O Brasil, com exceção da região Sul, é um país predominantemente de temperaturas quentes, em que várias pessoas têm necessidade de um ar-condicionado para melhorar o conforto dentro de suas residências. Porém, isso acaba sendo uma alternativa onerosa, tanto na aquisição do equipamento, quanto no consumo de energia do mesmo, que é geralmente bem alto. Por isso, é de interesse geral, alternativas mais baratas e simples para esse problema, é nesse ponto que entra a importante de um bom isolamento térmico nas construções.

Segundo Gasparini (2006), com o intuito de se reduzir o consumo de energia elétrica devido à climatização artificial de ambientes e de se melhorar as condições de conforto térmico de ambientes não climatizados, o uso de materiais isolantes, como a lã de vidro, vem ganhando destaque na indústria da construção civil. Na figura abaixo, podemos ver uma aplicação do material em alvenaria.

Figura 11 – Aplicação na lã de vidro em alvenaria Drywall



Fonte: Google, 2018

A lã de vidro é muito utilizada devido a seu ótimo desempenho em relação a absorção sonora, por causa da porosidade da lã. É um componente obtido através da sílica e sódio juntados por resinas sintéticas em alto forno. É basicamente fibras de vidro picadas imersas em uma resina, que por sua porosidade e bom coeficiente térmico, vem sendo usada em larga escala nas alvenarias em Drywall, ou até em forros, formando uma espécie de painel sanduíche. A figura abaixo exhibe as propriedades térmicas da lã de vidro. (FERRARI, 2015)

Tabela 3 – Propriedades térmicas da lã de vidro vendida pela empresa Metalica

Resistência Térmica da Lã de Vidro				
Material	Densidade Kg/m³	Espessura	Condutividade térmica - K (W / m^oC) Temp. méd. = 24^oC	Resistência térmica - R (m² ° C / W)
Lã de vidro	12	50 mm	0,045	1,11
	20	50 mm	0,038	1,32
	35	50 mm	0,034	1,47
	12	75 mm	0,045	1,67

Fonte: catálogo da empresa Metálica

Uma onda sonora, ao entrar em contato com a lã de vidro, é facilmente absorvida, por causa da porosidade da lã. Além disso, ocorre uma fricção entre a onda e a superfície das fibras. Essa fricção converte parte da energia sonora em calor, ou seja, a lã de vidro faz com que a energia sonora perca intensidade, o que resulta em um aumento de absorção ou da isolação sonora, tal fenômeno de absorção e fricção em conjunto não ocorre com outros materiais não fibrosos. (FERNANDES, 2017)

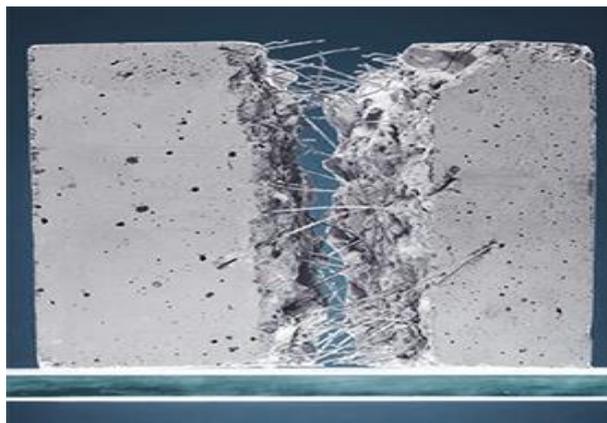
4.2.4 Concreto

O concreto é o material compósito mais encontrado nas construções pelo mundo agora, ele é um compósito particulado em que a fase matriz é o cimento, e o reforço é formado pelos agregados miúdo e graúdo. (CALLISTER, 2002)

A resistência do concreto à tração é consideravelmente menor do que a sua resistência à compressão. Para sanar este problema, introduz-se barras de aço nas regiões com esforços de tração mais elevados, pois o aço é bem mais resistente à tração que o concreto. Logo, temos o chamado concreto armado. (NBR 6118/2014)

Se analisarmos uma edificação qualquer no território cearense, veremos que o concreto está presente em todos os sistemas (alvenarias, piso, estrutura, acabamento, etc.), por isso ficaria muito extenso falar de maneira específica das aplicações do concreto, porém, será feita uma abordagem mais aproximada no CRFA (Concreto Reforçado com Fibra de Aço), que apresenta a junção de dois compósitos, representado na figura abaixo.

Figura 12 – Concreto reforçado com fibras de vidro



Fonte: VITOR, 2018.

Nos últimos anos, pesquisas demonstram o concreto reforçado com fibras de aço como um compósito promissor que pode substituir parte das armaduras convencionais como estribos em vigas, uma vez que as fibras de aço aumentam a resistência ao cisalhamento e tenacidade, o que reduz a possibilidade de ruptura súbita. A grande diferença para o concreto armado tradicional é o aumento da sua resistência ao cisalhamento, e consequentemente uma ruptura mais desacelerada. A figura abaixo exemplifica isso, a viga mais acima, que não tem fibra de aço no interior, demonstra poucos sinais de fissura e deformação, enquanto as outras duas que possuem taxas de fibra de aço, sendo a viga do meio com um teor de fibras de 0,64%, e a de baixo com 0,77% de teor de fibra de aço, já demonstram sinais bem mais visíveis. (VITOR, 2018)

Figura 13 – Ensaio de resistência ao cisalhamento com diferentes teores de FV



Fonte: VITOR, 2018

4.2.5 Cobertas

Existe no mercado telhas feita de PRFV (Poliéster Reforçado com Fibras de Vidro), que fazem o mesmo papel das telhas coloniais convencionais, porém, com uma montagem bem mais rápida devido ao seu baixo peso, comparado com o peso de telhas cerâmicas. Outro fator primordial para a sua fácil execução, é que esse tipo de cobertura vem geralmente em painéis com área em torno de 5m², diferentemente das telhas cerâmicas, que devem ser colocadas uma por uma. A figura abaixo mostra um painel de telha PRFV.

Figura 14 – Telha de PRFV



Fonte: Catálogo da empresa Precon

Rosso et al. (2014) propôs a formação de um compósito utilizando resquícios de materiais cerâmicos (tijolos, telhas, blocos, etc.) misturados com polímeros, formando um outro tipo de telha compósita. O que têm um viés ambiental muito importante, já que reaproveita material cerâmico já descartado, além de produzir telhas sem a necessidade do processo de queima, e assim, não emite gases tóxicos na atmosfera.

4.2.6 Outras aplicações na construção

Como dito anteriormente, os compósitos não muitos versáteis, visto que são materiais projetados para cada tipo de situação, logo ele pode existir em qualquer sistema construtivo. Abaixo encontra-se brevemente explanadas algumas aplicações dos compósitos que são também muito comuns na construção:

- a) Fachadas: painéis compósitos resistentes À corrosão e raios ultravioletas;
- b) Decoração: mármore sintéticos feitos de compósitos;
- c) Alvenarias: utilizando o mesmo principio do Drywall, mas com painéis compósitos.

A ALMACO expôs em 2010 na FEICON (Feira da Construção) uma casa inteiramente feita de materiais compósitos, com o patrocínio de grandes empresas do ramo, mostrando que o compósito sempre será uma opção para os projetistas da área construtiva.

4.3 Desafios para a indústria de compósitos

Nesta seção, abordou-se sobre as dificuldades e desvantagens da indústria dos compósitos em relação aos materiais mais tradicionalmente usados na construção civil. Foram discutidos os pontos negativos mais constantemente abordados na pesquisa bibliográfica realizada.

4.3.1 Dificuldade de reciclagem

Segundo Kersting (2016), todo processo de reciclagem está dividido em quatro cadeias de operações, as quais são interdependentes, ou seja, um problema em alguma das etapas compromete todo o resultado final. São elas:

- I. Disponibilidade de resíduos: é necessária uma oferta considerável de detritos de um material específico para ser viável o seu processo de reciclagem;
- II. Coleta e transporte dos resíduos: a logística de recolher e transportar o material a ser reciclado;
- III. Reprocessamento (reciclagem): etapa chave da cadeia, onde se busca reformular o material e torna-lo novamente apto para o mercado, por meio de processos físicos, químicos ou térmicos;
- IV. Mercado para produtos reciclados: o produto depois de reciclado deve atender as demandas de algum mercado, não faz sentido recicla-lo sem um fim estabelecido.

Como dito anteriormente, o compósito é formado por uma forte ligação entre uma matriz com um reforço inserido, onde a interação entre eles deve ser bem forte, e cancelar essa união é muito complicado. Logo, os compósitos acabam sendo bastante estudados, devido a sua não biodegradabilidade e a dificuldade de reciclagem, o que acaba gerando um grande acúmulo do material em depósitos, lixões e na natureza. (MARINELLI, 2008)

Grande parte dos compósitos presentes na construção é feita de resinas termofixas formadas por macromoléculas fortemente ligadas entre si, formando um polímero infusível e insolúvel a solventes comuns. O processo de reciclagem desta classe de material é basicamente térmico, em que o material é submetido a temperaturas acima de 400°C, quando a matriz polimérica é derretida, separando-se do reforço que é geralmente fibroso. Porém, as fibras saem desse processo com perdas em torno de 50% a menos de suas propriedades mecânicas, dificultando a utilização do material novamente para outros fins. (KERSTING, 2016)

4.3.2 Ausência de legislação regulamentadora

Tanto no exterior como no Brasil, não existe uma legislação específica para a gestão de resíduos dos compósitos na maioria dos países. Os materiais compósitos, em face de sua inércia química e estabilidade dimensional, acabam sendo classificados como resíduos industriais, e conseqüentemente encaminhados para aterros industriais, quando existe espaço para este tipo de destinação, ou para sistemas de incineração, quando se é permitido a queima do material, pois existem alguns mais específicos que liberam toxinas. A Lei nº 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos é a que rege o tratamento dos resíduos sólidos no país, e nela não consta nada a cerca dos materiais compósitos. (KERSTING, 2016)

4.3.3 Elementos nocivos na produção

Na fabricação de PRFV, trabalhadores podem entrar em contato direto com o material ou com seus fragmentos, causando irritações em olhos, pele e nariz, e se expostos em alto nível, agravar asma e bronquites. Pesquisas afirmam que cerca de 80% das dermatoses ocupacionais são ocasionadas por agentes químicos como solventes e resinas que são utilizados na indústria de compósitos. Isso se deve ao “pó de fibra”, proveniente do corte e manuseio da fibra de vidro. (JOSHI, 2003).

Outro processo nocivo ao usuário é na fabricação de resinas de poliéster, muito usada em compósitos fibrosos, pois elas são produzidas a base de estireno, substância muito volátil que libera vapores tóxicos prejudiciais à saúde. “As vias de entrada no organismo podem ser: inalação, olhos e pele. Na pele, pode causar irritações futuras. Se inalado, a superexposição pode causar irritação do sistema respiratório e outras membranas mucosas. Quando em contato com os olhos, pode causar irritação moderada, incluindo sensação de queima, lágrimas, vermelhidão ou inchaço. A exposição contínua ao estireno causa náuseas, perda de apetite, depressão do Sistema Nervoso Central e debilidade geral”. (ORTH, 2012).

4.4 Oportunidades de expansão do mercado

Nesta seção, abordou-se sobre as oportunidades de expansão da indústria dos compósitos conjuntamente com novas tecnologias e inovações que estão surgindo e ganhando espaço no mercado. Foram abordados os pontos mais relevantes na opinião do autor, com base na pesquisa bibliográfica realizada.

4.4.1 *Compósitos na impressão 3D*

A impressão 3D baseia-se em dois pontos: o primeiro é a produção de um objeto através da sobreposição de camadas, que ao final formam uma peça com a geometria completa da peça, e o segundo é a representação dessa geometria em um modelo computacional tridimensional, que transfere as informações para a impressora. Essa tecnologia foi desenvolvida pelo inglês Chuck Hull, em 1984. (MONTEIRO, 2015)

No ramo da construção civil, as impressoras 3D podem ser usadas para montar maquetes, e até mesmo fabricar paredes, tubos e peças estruturais. As peças que são formadas podem ser todas de um só material, ou de vários materiais juntos, dando origem a um compósito formado por várias pequenas camadas. Na figura abaixo, pode-se observar uma parede preenchida internamente por uma estrutura de plástico ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno em inglês) produzida por impressão 3D, essa estrutura tem função basicamente estrutural, a vantagem é que ele pesa menos que blocos de tijolo cerâmico ou concreto, e ela pode ser projetada para deixar espaço para as tubulações que passarão internamente na parede. (LOPES, 2016)

Figura 15 – Compósito impresso em 3D para função estrutural



Fonte: LOPES, 2016.

Na China, uma empresa chamada Winsun tem avançado bastante nas maneiras de aplicação da impressora 3D no ramo da construção, já tendo imprimido casas e mansões, e até um prédio de cinco andares, isso tudo com um auxílio de um braço robótico de 6,6m de comprimento. O material de impressão é diverso, mas em geral varia entre cimento, fibras de vidro e um compósito desenvolvido pela própria, que é uma mistura de sílica ou silicatos com uma fibra e um aditivo ecológico manométrico. (LOPES, 2016)

Figura 16 – Montagem de casa impressa em 3D.



Fonte: LOPES, 2016.

4.4.2 Compósitos no ramo das energias renováveis

O Brasil é um dos países que possuem o maior potencial para utilização da energia solar, porém, esse potencial todo é pouco aproveitado, pois a maior parte da energia que utilizamos é de origem termoeletrica. Porém, a demanda de energia limpa vem crescendo ano após ano, e a utilização de compósitos poliméricos reciclados para a composição de partes de coletor solar já é possível, no lugar dos materiais mais tradicionais como alumínio. O compósito em questão tem como sua matriz o polipropileno reciclado, e como fase dispersa pó de alumínio, pó de fumo e negro de fumo. (RUTSATZ, 2014)

A empresa americana SRS Energy desenvolveu uma de compósito polimérico altamente resistente que armazena energia solar, o grande diferencial desse produto é que ele possui um formato de telha convencional e pode se camuflar na cobertura, ao contrário das grandes placas solares que ficam bem visíveis em cima dos telhados.

4.4.3 Compósitos de fibra vegetal

Os compósitos de fibra vegetal ganham importância na medida em que a preocupação com a sustentabilidade vem crescendo cada vez mais. Fibras vegetais que surgiram com mais frequência foram madeira, bagaço de cana, fibras de coco, algodão, cascas de arroz e bambu. Essas fibras possuem densidade menor do que as fibras sintéticas, porém, possuem valores de propriedades mecânicas ligeiramente menores. (CESTARI, 2010)

Na construção civil, os compósitos de fibras vegetais podem ser usados como revestimentos, forros, divisórias, argamassas e cimentos reforçados, isolantes acústicos, e formas para concretagem de lajes. Embora sejam sensíveis a biodegradabilidade e ao fogo, elas permitem um descarte mais sustentável dos produtos pós-consumidos, ou seja, resíduos sólidos cuja carga de fibras são vegetais, se degrada mais facilmente em contato com o ambiente do que fibras sintéticas (CESTARI, 2010). Na figura abaixo podemos ver uma telha formada por fibras de coco e embalagens Tetra Pak.

Figura 17 – Telha em fibra de coco.



Fonte: Google, 2016.

Em geral, as principais vantagens dos fibrosos vegetais são: material renovável e de ampla disponibilidade, menor custo de produção, biodegradáveis, e possuem baixa densidade. Na figura abaixo, podemos analisar algumas propriedades mecânicas dos compósitos de fibras vegetais. (MARINELLI et al., 2010)

Tabela 4 – Propriedades mecânicas de compósitos com fibras naturais

Fibra	Densidade (g/cm ³)	Alongamento (%)	Tensão na ruptura (MPa)	Modulo de Young (GPa)
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Sisal	1,5	2,0-2,5	5511-635	9,4-22
Fibra de côco	1,2	3,0	175	4,0-6,0
Vidro-E	2,5	2,5	2000-3500	70,0
Vidro-S	2,5	2,8	4750	86,0
Aramida (normal)	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0
Carbono (padrão)	1,4	1,4-1,8	4000	230,0-240,0
Curauá	1,4	4,2	890-4.200	50,4

Fonte: MARINELLI et al., 2010

5 CONCLUSÃO

Este projeto de graduação procurou descrever de forma sucinta, os diversos tipos de materiais compósitos, a participação e contribuição destes materiais no setor da construção civil, os desafios que a indústria encontra. O conteúdo que foi apresentado é fruto de uma ampla pesquisa bibliográfica sobre o assunto.

Foram caracterizados os diversos materiais compósitos e suas principais propriedades e aplicações na construção civil, mostrando como eles podem ser empregados e suas vantagens de utilização.

Percebeu-se que a indústria da construção tem extrema importância para o mercado de compósitos, visto que ela é o setor que mais se utiliza desse produto, logo, se a indústria construção civil não estiver aquecida, a demanda de compósitos pode cair drasticamente.

Já quantos os desafios encontrados pelas empresas de compósitos, pode-se dizer que por ser um material artificial, e de definição complexa, a falta de uma legislação que englobe o seu descarte pode demorar um bom tempo ainda para ser feita, porém, é de extrema importância pois é um material que em geral, não se degrada facilmente, podendo causar grande poluição.

As oportunidades de crescimento do uso desse material são imensas, visto que ele está diretamente atrelado às impressoras 3D, tecnologia que vem revolucionando não apenas a construção civil, mas como várias outras indústrias. E com as pesquisas e empresas cada vez mais engajadas em soluções sustentáveis, novos bons compósitos naturais podem vir a surgir, diminuindo o impacto ambiental do ramo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JR, J. H. S.; ORNAGHI JR, H. L.; AMICO, S. C.; AMADO, F. D. R. Study of hybrid interlaminar curaua/glass composites. In: Materials and Design. Elsevier, 2012.

ALMEIDA, N. M. B. G. Estudo estrutural de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de juta. Relatório de Dissertação do MIEM. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT.NBR6118:2014: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro. 2014.

BARCELLOS, I. O.; SOUZA, A. C.; SELKE, A. E.; Incorporação de Lodo Industrial em Compósitos de Resina Poliéster. Departamento de Química, Universidade Regional de Blumenau, SC, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v19n2/v19n2a14.pdf>> Acesso em: 6 de novembro de 2018

CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5ed. LTC, São Paulo, 2002.

FELIPE, R. N. B. – Moldagem a Vácuo de Plástico Reforçado. Parâmetros de Controle e Propriedades dos Moldados em PRFV- Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do RN, Natal, 1997.

FERNANDES, D. Eficiência acústica: lã de vidro e de lã de rocha como isolantes para o sistema Drywall. Trabalho de conclusão de curso. Chapecó: UCEFF, 2017.

FERRARI, F. H. Comparativo acústico entre o sistema construtivo Drywall e alvenaria convencional. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Comunitária da Região de Chapecó. 2015. Disponível em: <<http://fleming.unochapeco.edu.br:8080/pergamumweb/vinculos/0000db/0000dbb5.pdf>>. Acesso em 4 de novembro 2018.

GASPARINI, R. R.; MOURA, L. M.; ANÁLISE DO USO DA LÃ DE VIDRO COMO ISOLANTE TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES. ENTAC, SC, 2006. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_0410_417.pdf> Acesso em: 10 de novembro de 2018

GOSS, T. M. Panoramas e perspectivas da indústria brasileira de compósitos. Trabalho de conclusão de curso. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

HERAKOVICH, C.T. (1998) *Mechanics of Fibrous Composites*. John Wiley and Sons Inc., New York..

KEMERICH, P. D. C. *Fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais causados*. Departamento de Engenharia Ambiental. Santa Maria, 2013.

KERSTING, D. F.; WIEBECKL H.; ESPER F. J. Estudo sobre o tratamento de resíduos de compósitos estruturais produzidas com fibra de vidro e fibra de carbono. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.

LOPES, G. T. F. *Exploração das possibilidades da impressão 3D na construção*. Dissertação de mestrado. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.

MACHADO, A. de P. – *Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono – Pini – 2002*.

MARINELLI, A. L; MONTEIRO, M. R; AMBRÓSIO, J. D., BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MENDONÇA, P. T. R. – *Materiais Compostos & Estruturas-Sanduíches – Barueri, SP: Manoele, 2005*.

MONTEIRO, M. T. F. *A impressão 3D no meio produtivo e o design: um estudo na fabricação de joias*. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais, 2015.

ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T.; *Implicações do processo de fabricação do compósito plástico reforçado com fibra de vidro sobre o meio ambiente e a saúde do trabalhador: o caso da indústria automobilística*. *Revista Produção Online*, Florianópolis, SC, v.12, n. 2, p. 537-556, abr./jun. 2012.

PANZERA, T. H.. *Introdução aos materiais compósitos*. 2007. (Curso de curta duração ministrado/Extensão).

REZENDE, M. C. *O Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial*. Artigo científico. São Paulo: Centro Técnico Aeroespacial, 2000.

VENTURA, A. M. F.M. *Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas*. Dissertação de doutorado. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2009.

VITOR, P. de C. P.; SANTOS, A. C. dos; TRAUTWEIN, L. M. Resistência ao cisalhamento em vigas de concreto armado sem armadura transversal reforçadas com fibras de aço.