

A Influência do posicionamento das fibras na resistência mecânica dos compósitos

The Influence of fiber position on the mechanical strength of composites

DOI:10.34117/bjdv6n11-142

Recebimento dos originais: 19/10/2020

Aceitação para publicação: 09/11/2020

Karen Furtado Timbó

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú

Instituição: Universidade Estadual Vale do Acaraú

Endereço: Travessa Maria Dolores Gomes Furtado, 150 - Centro, Guaraciaba do Norte – CE, Brasil

E-mail: karen.ft.12@gmail.com

Audelis de Oliveira Marcelo Júnior

Doutorando em Engenharia e ciência de materiais, Mestre em Engenharia e ciência de materiais e engenheiro civil, pela Universidade Federal do Ceará

Instituição: Universidade Estadual Vale do Acaraú

Endereço: Av. Francisco Sá, 2101, apto 704 – Jacarecanga, Fortaleza – CE, Brasil

E-mail: audelisjr@yahoo.com.br

Francisco Yuri Rios Osterno

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú

Instituição: Universidade Estadual Vale do Acaraú

Endereço: Rua Edgard Silveira, 75 – Centro, Morrinhos – CE, Brasil

E-mail: osterno.engcivil@gmail.com

Edivaldo Pereira de Carvalho Neto

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú

Instituição: Universidade Estadual Vale do Acaraú

Endereço: Rua Raimundo Nogueira, 215, Apto 103 – Coração de Jesus, Sobral – CE, Brasil

E-mail: nt.edivaldo@gmail.com

Stênio Mourão Lira da Silva

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú

Instituição: Universidade Estadual Vale do Acaraú

Endereço: Travessa Doutor Guarani, 481, apto 101 – Derby Clube, Sobral – CE, Brasil

E-mail: eng.steniolira@hotmail.com

Rodrigo Nunes de Souza

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú

Instituição: Universidade Estadual Vale do Acaraú

Endereço: Rua das Pedrinhas, 290 - Pedrinhas, Sobral – CE, Brasil

E-mail: rodrigons.1995@gmail.com

José Aurisnando Marques

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú

Instituição: Universidade Estadual Vale do Acaraú

Endereço: Rua Alagoas, 1272, apto 103 – Centro, Jijoca de Jericoacoara – CE, Brasil

E-mail: jnandomarques@gmail.com

RESUMO

Devido a constante necessidade de elementos construtivos com melhores funções de sustentação estrutural/complementares cada vez mais leves e com vida útil prolongados combinado a uma maior resistência mecânica, cada vez mais vem se utilizando compósitos e por consequente o mesmo vem sendo aprimorado. Onde a relação matriz-reforço traz benefícios para o composto, que quando separados não atingem tais comportamentos, gerando novas possibilidades na concepção e construção de estruturas bem como em reformas e reforços. A matriz é a parte onde se acomoda as fibras/partículas mantendo a coesão, absorve e distribui as deformações; e o reforço é o que confere a resistência mecânica ao material, na qual a direção de suas fibras e como estas estão organizadas entre si resultam em comportamentos diferentes no material compósito desta maneira o mesmo compósito terá suas propriedades físicas alteradas conforme o posicionamento de suas fibras assim a mesma matéria prima pode resultar em um componente distinto que poderá ser utilizado de diferentes maneiras. À vista disso, esse trabalho justifica-se com o tema de estudo da influência do posicionamento das fibras na resistência mecânica dos compósitos com sustentação em bases literárias, com a proposta de comparar o comportamento e resultado das combinações das organizações dos reforços de compósitos.

Palavras-Chave: posicionamento, resistência, fibras, compósitos.

ABSTRACT

Due to the constant need for construction elements with better structural and complementary support functions, increasingly lighter and with prolonged service life combined with greater mechanical resistance, composites are increasingly being used and, consequently, have been improved. The matrix-reinforcement relationship brings benefits to the compound, which when separated do not reach such behaviors, generating new possibilities in the design and construction of structures as well as in reforms and reinforcements. The matrix is the part where the fibers/particles are accommodated, maintaining cohesion, absorbing and distributing the deformations; and the filler is what gives the material mechanical resistance, in which the direction of its fibers and how they are organized with each other result in different behaviors in the composite material, thus the same composite will have its physical properties altered according to the positioning of its fibers, so the same raw material can result in a different component that can be used in different ways. Therefore, this paper aims to study the influence of the fiber position on the mechanical strength of composites based on the existing literature, with the purpose of comparing the behaviour and results of combinations of composite reinforcement organizations.

Keywords: positioning, resistance, fibers, composites.

1 INTRODUÇÃO

O termo material compósito é bastante usado nas mais diversas áreas do conhecimento, tendo por base o fato de ser constituído pela combinação matriz-reforço, apresentando aperfeiçoamento de suas propriedades em relação as características individuais de cada elemento.

“Muitos Materiais compósitos são constituídos por apenas duas fases: uma é denominada matriz, a qual é contínua e envolve a outra fase, chamada com frequência de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são função das propriedades das fases constituintes, de suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa[...]”. (CALLISTER, 2007, p.423).

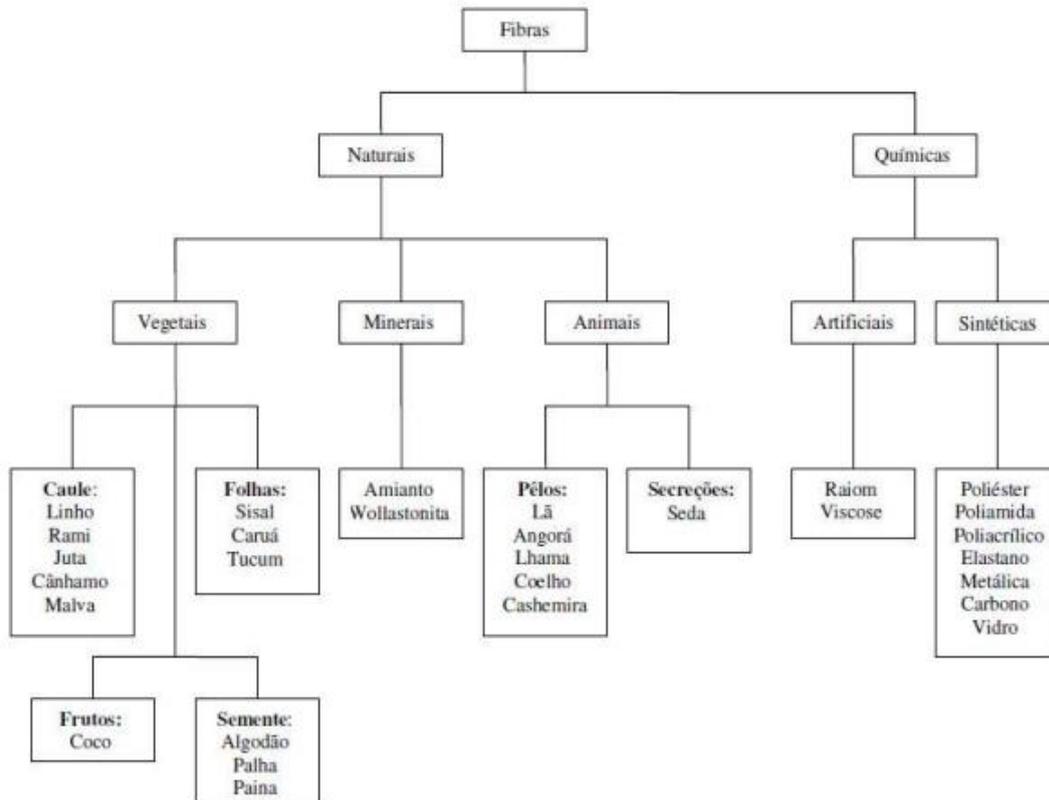
“O termo compósitos refere-se aos materiais fabricados a partir de dois ou mais constituintes, a nível macroscópico, normalmente uma matriz sintética reforçada com fibras industriais ou naturais.” (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

Assim, o material compósito tem sua estrutura formada por duas fases, a matriz e o reforço, sendo a primeira responsável por acomodar as fibras/partículas mantendo sua coesão, absorver e distribuir as deformações, enquanto o reforço confere a resistência mecânica ao material na direção em que se aplica o carregamento.

Os materiais compósitos podem ser encontrados naturalmente no meio ambiente ou produzidos artificialmente, com o intuito de melhorar suas características e atender a função a que se pretende destinar determinado material.

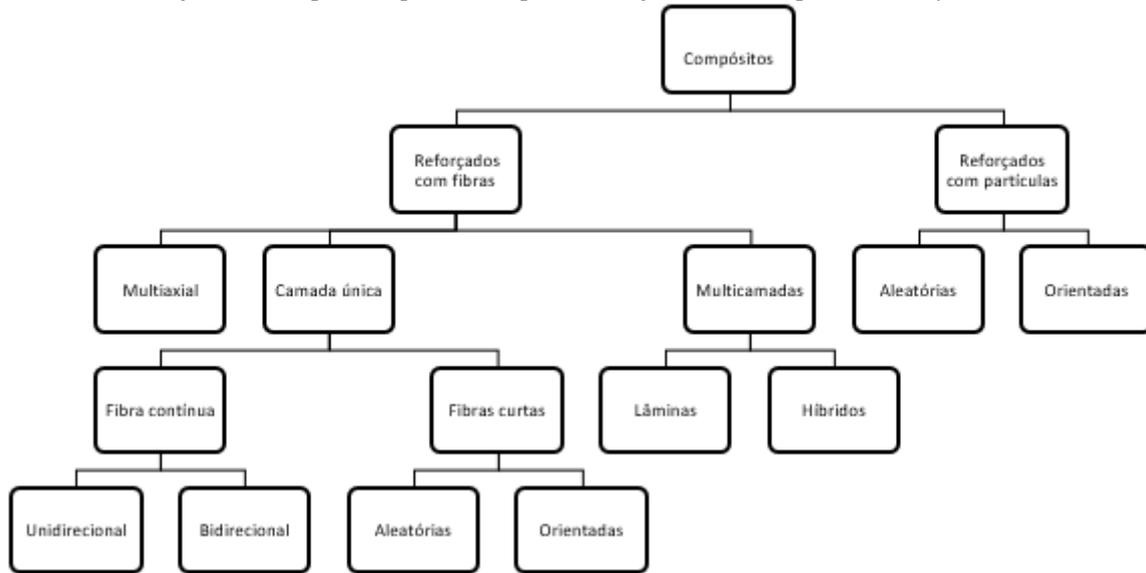
Conforme Milanese (2008), as fibras são classificadas segundo sua natureza de formação em naturais e químicas (Figura 1), as fibras naturais são aquelas de origem vegetal, mineral e animal, enquanto as fibras químicas têm origem artificial e sintética.

Figura 1: Classificação geral das fibras. Fonte: Milanese (2008).



Outra classificação aplicada aos compósitos é relacionada aos tipos de reforço que os compõem, Levy Neto e Pardini (2006) classifica os compósitos quanto ao tipo de reforço em reforçado com fibras e reforçado com partículas, considerando o posicionamento de suas fibras ou partículas conforme mostradas no esquema ilustrativo (Figura 2) abaixo.

Figura 2: Classificação dos compósitos quanto ao tipo de reforço. Fonte: Adaptado de Levy Neto e Pardini (2006).



1.1 OBJETIVO

Analisar o posicionamento e a disposição das fibras na matriz, relacionando as suas propriedades mecânicas e conseqüentemente a resistência apresentada pelo material compósito, através de informações e estudos disponibilizados nas plataformas científicas e livros que tratam do assunto.

2 METODOLOGIA

O estudo realizado teve por base dados científicos já conhecidos, disponibilizados em plataformas de pesquisa, periódicos e livros que abordam a composição e resistência de materiais compósitos, além de pesquisas já realizadas pelo grupo de estudos de estruturas e materiais da Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA. Para desenvolver esse trabalho, foi realizada inicialmente uma pesquisa a respeito da composição e estruturação de materiais compósitos, seguido de análises e comparações de estudos existentes, buscando associar a disposição das fibras com a resistência apresentada pelo material. Como forma de proporcionar um melhor entendimento do assunto abordado na pesquisa, foi realizada uma análise dos tecidos formados por diferentes arranjos das fibras nos compósitos.

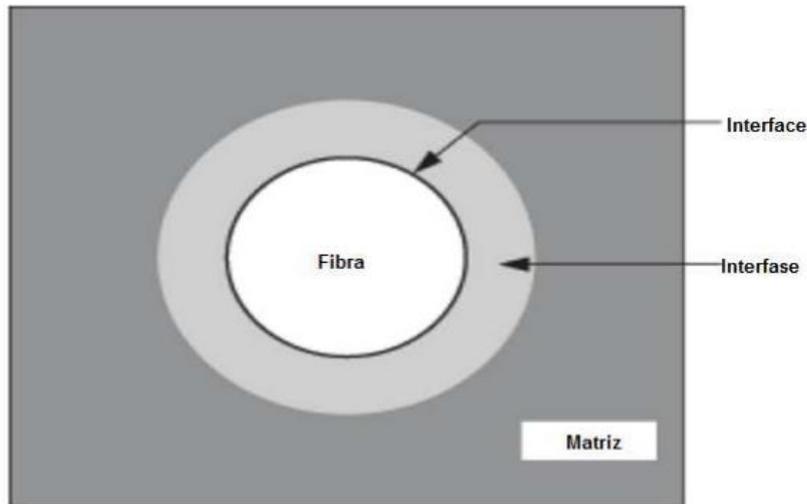
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os compósitos possuem sua resistência característica proveniente sobretudo das fibras que o compõem, podendo apresentar arranjos típicos para cada camada do material. A estrutura do compósito

é formada pela matriz, fase contínua, responsável por envolver a fase dispersa, reforço (fibras/partículas).

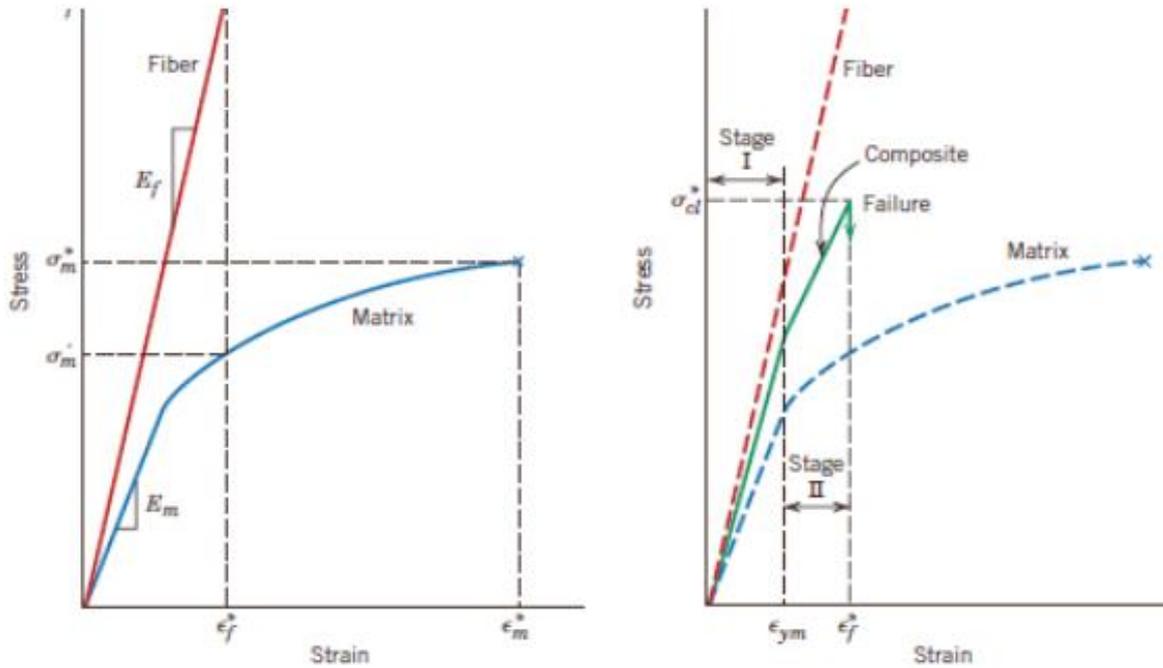
Segundo Plueddemann (1991) o modelo clássico da micromecânica de reforço em compósitos estipula que a interface matriz-reforço seja composta de uma camada restrita fina e rígida, de perfeita adesão interfacial ou com altas forças friccionalis entre fibra e matriz, para assegurar uma eficiente transferência de tensão.

Figura 3: Interfase e Interfase fibra/matriz. Fonte: Cahn et al (1993).



Para Buradowski, e Rezende (2001), a interface pode ser uma fase distinta produzida por uma reação entre a matriz e o reforço. No entanto, geralmente existe na interface uma descontinuidade de natureza química, cristalina e mecânica. As características da interface são determinadas pela descontinuidade nas propriedades e são específicas para cada tipo de combinação matriz-reforço, devendo sempre considerar rugosidade do reforço.

Figura 4: Gráfico Tensão x Deformação de um compósito. Fonte: Callister (2008).



Onde :

- ϵ_f^* : Deformação na fratura da fibra;
- ϵ_m^* : Deformação na fratura da matriz.

Conforme Callister (2008), durante o ESTÁGIO I o compósito sofre deformação elástica, como representado pelo trecho retilíneo da curva tanto para a matriz quanto para a fibra, ao atingir uma tensão admissível máxima a matriz escoava e entra no ESTÁGIO II, onde ocorre a deformação plástica apenas da matriz ou fase contínua, já que as fibras ou fase dispersa possuem resistência à tração superior a da matriz. A falha do compósito tem início com a crescente fratura das fibras e ocorre quando sua deformação atinge o valor correspondente a ϵ_f^* , causando o encurtamento das fibras, no entanto a matriz continua intacta, já que $\epsilon_f^* < \epsilon_m^*$, e, portanto, a matriz continua deformando plasticamente.

“A quantidade do reforço é uma das principais variáveis a ser considerada no desenvolvimento do compósito. A qualidade do compósito final é função, dentre outros requisitos, do comprimento e distribuição das fibras, do grau de dispersão destas na matriz polimérica e do grau de cristalinidade do compósito. No caso de compósitos reforçados por fibras longas ou contínuas, a qualidade do produto final também depende do método e condições de moldagem dos componentes.” (CAVALCANTI, 2006, p.7).

Daniel e Ishai (1994) classificam os compósitos constituídos de duas fases em três amplas categorias, dependendo do tipo, geometria e orientação da fase reforço, entre elas:

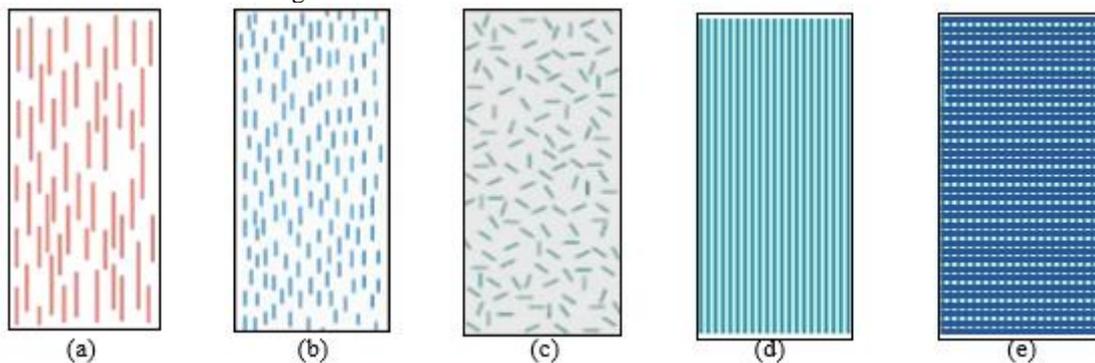
1) Compósitos particulados: Consiste de partículas de vários tamanhos e formatos inseridas aleatoriamente em uma matriz.

2) Compósitos com fibras descontínuas ou Whiskers: contém pequenas fibras, também chamadas whiskers, como fase reforçadora.

3) Compósitos com fibras contínuas: são reforçados por longas fibras e são mais eficientes do ponto de vista de rigidez e resistência. As fibras contínuas podem ser todas paralelas entre si (unidirecional), orientadas em certos ângulos umas com as outras (crossply) e podem ser orientadas em variadas direções (multidirecional).

Portanto, os reforços de compósitos possuem variada estruturação, os quais sofrem influência da orientação e posicionamento das fibras na matriz. A seguir são mostradas algumas imagens que ilustram possíveis formas de disposição das fibras na matriz do material compósito.

Figura 5: Disposição das fibras na matriz do compósito. (a) Fibras unidirecionais descontínuas longas; (b) Fibras unidirecionais descontínuas curtas; (c) Fibras descontínuas orientadas aleatoriamente; (d) Fibras unidirecionais contínuas; (e) Fibras unidirecionais tecidas ortogonalmente.

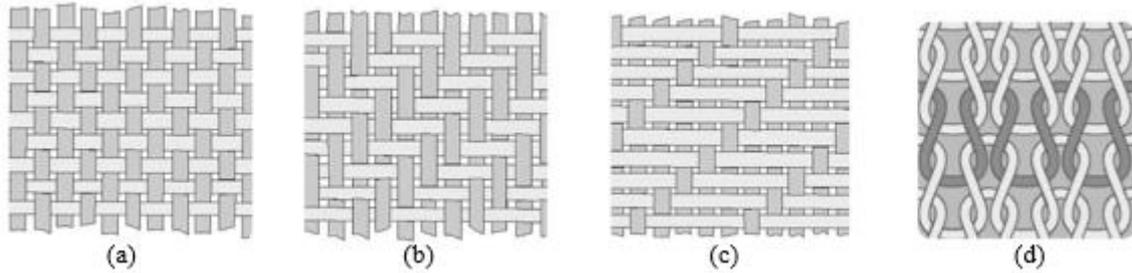


A união das fibras do material compósito segundo um posicionamento definido constitui os tecidos, os quais possuem variadas resistências decorrentes principalmente do arranjo que apresentam.

Segundo Zão (2018), o reforço pode ser constituído por fibras ou partículas, podendo ocupar entre 30 a 70% do volume do compósito. Ademais, o reforço tem a função de suportar as solicitações mecânicas dos elementos estruturais, sendo as fibras o tipo de reforço menos resistente e rígido que o compósito reforçado com partículas.

Os tecidos possuem características e propriedades inerentes ao tipo de fibra e forma de entrelaçamento utilizado para sua fabricação, sendo obtidos a partir do cruzamento dos fios conforme mostra a imagem abaixo.

Figura 6: Tipos de tecidos. (a) Tecido plano; (b) Tecido diagonal ou sarja; (c) Tecido cetim; (d) Tecido tricotado (multiaxial).

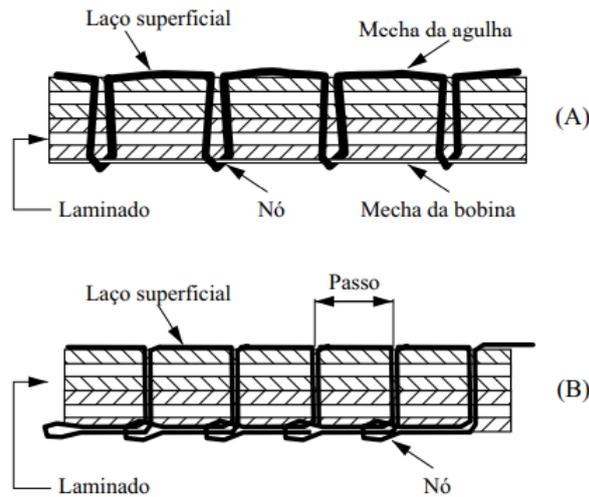


Conforme Pinheiro (2000), existem quatro principais tipos de tecidos, o tecido básico (plain weave), as sarjas (twills), os cetins (satins) e as lãs (woven rovings). O modelo mais simples é o tecido básico, sendo confeccionado pelo entrelaçamento fio a fio entre o urdume e a trama, as sarjas são feitas através da passagem de um ou mais fios do urdume sobre no mínimo dois fios consecutivos da trama, resultando num desenho diagonal (linhas de sarja) dos pontos, que é característico deste tipo de tecido. O cetim é feito se passando apenas um fio do urdume sobre três ou mais fios da trama e em seguida sob um único fio da trama e, por fim, as lãs ou rovings onde os fios do urdume e da trama são feitos por feixes de fibras não torcidas. Assim, as sarjas e os cetins são os tecidos mais eficientes, pois tomam forma de maneira relativamente fácil podendo constituir formas complexas além de serem mais estáveis que os tecidos básicos.

Para Pardini (2000), os tecidos de compósitos estruturados com fibras bidirecionais e os tecidos com camadas individuais compostos por fibras unidirecionais, apresentam uma região Interlaminar que possui baixa resistência ao cisalhamento (inferior a 100MPa).

Para conferir maior tenacidade a fratura e resistência ao cisalhamento Interlaminar, o tecido deve apresentar rugosidade superficial inerente. A rugosidade necessária ao tecido pode ser adquirida através do entrançado feito com os cabos das fibras soltas das regiões laminares que irão interligar as camadas adjacentes, gerando maior resistência ao reforço já que será necessária maior energia para que as ligações sejam rompidas durante a fratura. A imagem abaixo mostra formas de costura dos filamentos de fibras que proporciona o aumento da tenacidade à fratura dos materiais compósitos.

Figura 7: Tipos de costura utilizada para reforço em preformas. (A) costura tipo trava (lock) modificada; (B) costura tipo corrente (chain).



Fonte: COX E FLANAGAN (1997).

Para Naik (2002), dentre as vantagens específicas dos compósitos tecidos com intertravamento de ângulo 3D está a possibilidade de construir uma estrutura monolítica com maior resistência à delaminação, resistência ao impacto/fratura, tolerância a danos e estabilidade dimensional, enquanto atinge propriedades elásticas e de resistência maiores através da espessura.

Para Nasseh (2007) a forma balanceada para construção de tecidos permite uma equiparação de sua resistência e propriedades mecânicas, mas apesar de ser o tipo de manufatura mais usual, não garante isotropia ao material.

A forma balanceada do tecido consiste na sua produção utilizando a mesma quantidade de fios em todas as direções. Na tabela abaixo estão relacionados os tipos de trama usado na produção de diversos tecidos e alguns critérios qualitativos.

Figura 8: Tipos de trama.

	TIPOS DE TRAMA					
	Plano	Twill	Sarja	Basket	Leno	Mock Leno
Boa Estabilidade	B	C	D	D	A	C
Boa Conformabilidade	D	B	A	C	E	D
Baixa Porosidade	C	B	A	D	E	C
Planicidade	D	C	A	D	E	D
Equilíbrio	B	B	D	B	D	B
Simetria	A	C	E	C	E	B
Baixa Superposição	D	C	A	D	A	D

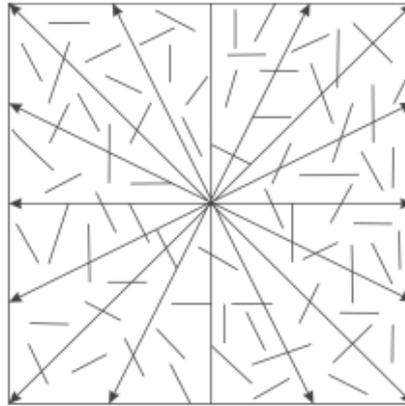
A = Excelente B = Bom C = Aceitável D = Baixa E = Muito Baixa

Fonte: Nasseh (2007).

Analisando a tabela nota-se que a sarja é o tipo de trama que confere melhor desempenho ao tecido, apresentando conceito excelente para os quesitos boa conformabilidade, baixa porosidade, planicidade e baixa superposição.

Além dos tecidos, existem também as mantas que são obtidas através da disposição aleatória das fibras.

Figura 9: Orientação das fibras em uma manta.



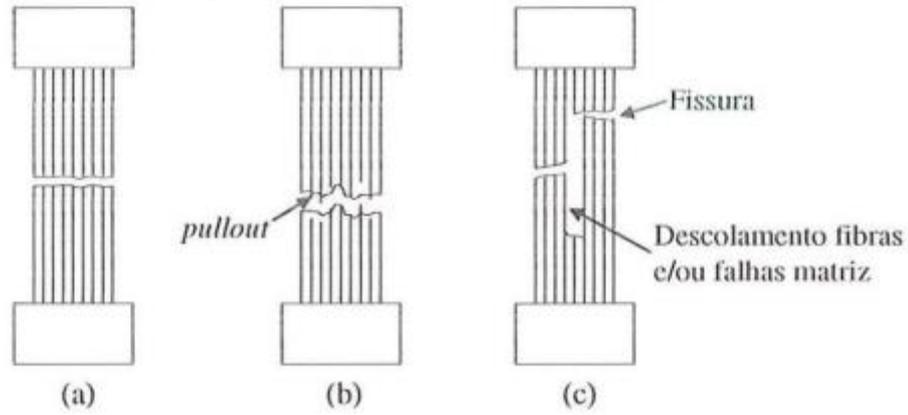
Fonte: Marinucci (2011).

Segundo (MARINUCCI, 2011, p.75) as mantas “apresentam uma distribuição relativamente uniforme da resistência em qualquer direção devido à distribuição ao acaso das fibras”

Ainda segundo Marinucci (2011), apesar dos tecidos serem mais caros em relação às mantas, apresentam maior resistência, rigidez e estabilidade dimensional ao compósito.

Conforme Agarwal e Broutman (1990), dentre os modos de falha para compósitos unidirecionais quando submetidos à tração longitudinal estão (a) fratura frágil, (b) fratura frágil com desprendimento de fibras ("pullout"), (c) fratura frágil com descolamento dos constituintes e/ou cisalhamento da matriz (Figura 10).

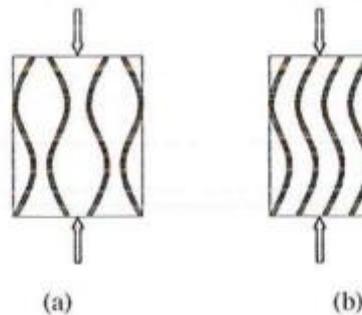
Figura 10: Modos de falha de compósitos unidirecionais submetidos a carregamento de tração longitudinal.



Fonte: Adaptado de Agarwal e Broutman (1990).

De acordo com Souza (2003) quando as fibras dos materiais compósitos unidirecionais são submetidas a carregamentos de compressão longitudinal, ou seja, na direção das fibras, estas podem sofrer microflambagens. Vale ressaltar que este modo de falha depende principalmente da porcentagem de fibras no compósito e das propriedades elásticas da matriz.

Figura 11: Micro flambagem em um compósito unidirecional sob compressão longitudinal. (a) modo extensível (fibras desalinhadas). (b) modo cisalhante (fibras alinhadas).

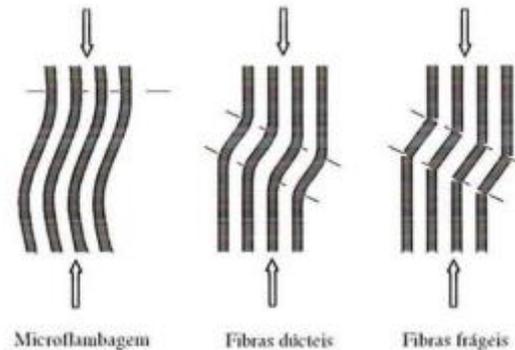


Fonte: Souza (2003).

Conforme Souza (2003), o modo extensível (Figura 11(a)) ocorre quando existem poucas fibras dispersas no material, estando, portanto, bastante afastadas umas das outras. Na figura 11(b) está ilustrado o modo cisalhante que é predominante sobre o modo extensível e acontece em materiais compósitos com maior fração volumétrica de fibras, com flambagem alinhada das fibras sendo precedida por escoamento e aparecimento de microfissuras na matriz. Ademais, pode ocorrer ou não descolamento entre os constituintes (fibras-matriz) provocando grandes deformações quando se trata de fibras dúcteis ou fratura em fibras mais frágeis. As kink zones, decorrentes das microflambagens

mostradas na Figura 12, são regiões deformadas das fibras que foram geradas pela flambagem alinhada devido as tensões de tração e compressão atuantes no compósito.

Figura 12: Microflambagem levando à formação de kink zones, com grandes deformações ou fraturas para fibras dúcteis ou frágeis, respectivamente.



Fonte: Souza (2003).

Para Mohamed (2003), os tecidos usados em compósitos podem ser agrupados quanto a sua estrutura em dois tipos: estruturas bidimensionais (2-D) e tridimensionais (3-D). Apesar da tecelagem 2D ser um processo econômico e de grande velocidade, os tecidos têm um enrugamento ou ondulação inerente aos fios entrelaçados, característica indesejável para o desempenho máximo do compósito.

Segundo Badawi (2008), os tecidos em 3D possuem maior espessura e propriedades interlaminares devido à sua estrutura integrada, além de propriedades mecânicas essenciais às diferentes condições de carregamento como rigidez e resistência; maior resistência ao impacto, resistência à fadiga, estabilidade dimensional, resistência à fratura, tolerância a danos e simplicidade do método de fabricação.

4 CONCLUSÕES

À vista do que foi exposto, o posicionamento das fibras em direções múltiplas permite aumento na tenacidade à fratura devido ao bloqueio da propagação de trincas, onde os tecidos em 3D têm maior resistência a impacto, fadiga, estabilidade dimensional, resistência à fratura, tolerância a danos e simplicidade do método de fabricação. Entretanto, as fibras organizadas unidirecionalmente quando sobrecarregadas longitudinalmente podem sofrer microflambagens, reduzindo a aderência na interface fibra/matriz.

Os tecidos de compósitos estruturados com fibras bidirecionais e os tecidos com camadas individuais compostos por fibras unidirecionais, apresentam uma região Interlaminar (interface fibra/matriz) com baixa resistência ao cisalhamento, onde a rugosidade superficial pode agregar maior

tenacidade a fratura e resistência ao cisalhamento Interlaminar, característica esta, importante na qualidade do compósito. Outro fator importante é a quantidade de reforço presente no compósito bem como a disposição final das fibras, se mostrando um aspecto de grande influência para a obtenção de um material compósito de qualidade.

Neste trabalho comprova-se que a disposição das fibras no compósito influencia diretamente em suas propriedades físicas, evidenciando que os tecidos constituídos pelo entrelaçamento de fibras multiaxiais conferem melhor resistência ao cisalhamento Interlaminar e a tenacidade a fratura devido a maior rugosidade superficial apresentada.

Portanto, pode-se concluir que a adesão interfacial entre as fibras e a matriz é de suma importância na obtenção de um material compósito de elevada qualidade.

REFERÊNCIAS

- MILANESE, A. C. (2008) Caracterização de compósitos de matrizes poliméricas reforçadas com fibra de sisal e de vidro. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Projetos e Materiais) - São Paulo-SP, Faculdade de Engenharia- Campus Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista- USP, 131p.
- LEVY NETO, F.; PARDINI, L.C. Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- PLUEDDEMANN, E. P. Silane Coupling Agents, Plenum Press, New York, p. 79-151 (1991).
- CAHN, R. W., HAASEN, P., KRAMER, E. J. (1993). Materials Science and Technology: Structure and Properties of Composites. Wienheim: VCH Publishers, 339p.
- BURADOWSKI, L., REZENDE, M.C. Modificação da rugosidade de fibras de carbono por método químico para aplicação em compósitos poliméricos, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v11. p.51-57,2001.
- CALLISTER, W.D. Engenharia e Ciência dos Materiais: Uma Introdução. 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- CAVALCANTI, W. S. Compósitos poliéster/tecidos tramados vegetal-vidro: caracterização mecânica e simulação da sorção de água. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.
- DANIEL, I.M.; ISHAI, O. Engineering Mechanics of Composite Materials. Oxford University Press, New York: 1994.
- ZÃO, T.N.B.A.B Desenvolvimento e caracterização de compósitos de polímeros bio-derivados reforçados com fibras para aplicações estruturais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Militar) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.
- PINHEIRO, M. A. S. Compósitos reforçados por tecidos. *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, Rio de Janeiro, v. XVII, n.1, p. 9-18, 2000.
- PARDINI, Luiz Claudio. Preformas para compósitos estruturais. *Polímeros*, São Carlos, v.10, n.2, p.100-109, June 2000. Available from.<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282000000200012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282000000200012&lng=en&nrm=iso)&lng=en&nrm=iso>.accesson 30 Aug. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282000000200012>
- VERPOEST, I. Textile material for composite construction. US Patent 5,271,982 (1993). Cox, B. N.& Flanagan, G. Handbook of Analytical Methods for Textile Composites, NASA Contractor Report 4750 (1997).
- N.K. Naik, N.M. Sk. Azad and P. Durga Prasad. Stress and failure analysis of 3D angle interlock woven composites, *Journal of Composite Materials*, 36, 93–123 (2002).

NASSEH, J. Barcos: Métodos Avançados de Construção em Compósitos. Rio de Janeiro: WMF Martins Fontes, 2007.

MARINUCCI, G. Materiais Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2011.

AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J. (1990). Analysis and performance of fiber composites. 2. ed. New York, John Wiley & Sons.

SOUZA, G.P. Avaliação de critérios de falhas de compósitos poliméricos reforçados aplicados a vigas sob carregamento de flexão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

MOHAMED, M. AND STOBBE D. 3D Woven Composites: Cost and Performance viability in Commercial. Proceedings of 48th International SAMPE Symposium, (May 2003).

Badawi, M. Development of the Weaving Machine and 3D Woven SpacerFabric Structures for Lightweight Composites Materials. (2008).