

## Comparison Polyester Composites Mechanical Properties with Natural Sisal and Surface Treated with Inverted Sucrose

### Comparação das Propriedades Mecânicas de Compósitos de Poliéster com Sisal Natural e Tratadas Superficialmente com Sacarose Invertida

Article Info:

Article history: Received 2022-07-20 / Accepted 2022-11-20 / Available online 2022-11-30

doi: 10.18540/jcecv18iss10pp15047-01i



**Celso Carlino Maria Fornari Junior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1849-0442>

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

E-mail: [celso@uesc.br](mailto:celso@uesc.br)

**Jorge Henrique Sales**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1992-3748>

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

E-mail: [jhosales@uesc.br](mailto:jhosales@uesc.br)

**Cláudio Soriano de S. Brandão**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-0153>

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

E-mail: [cssbrandao@uesc.br](mailto:cssbrandao@uesc.br)

#### Abstract

The growing demand for raw materials to meet the needs of consumer society has motivated numerous researchers in the search for new alternative materials. In addition, the extraction of non-renewable natural resources associated with the generation of waste has raised an eminent concern in the substitution of more renewable and environmentally friendly resources. In this context, plant fibers are presented as promising materials for the construction of new composites. Its physical and chemical properties, in addition to natural and renewable resources, make plant fibers promising materials for technological applications and replacement of materials used by the industrial sector. However, the chemical nature of plant fibers differs from most polymeric materials. This prevents a greater physical and chemical interaction between the fibers and the vast majority of polymeric resins. Due to this, many works used techniques that were studied to promote greater compatibilities between both materials. In this work, unsaturated polyester resin and sisal fibers were used for the construction of two types of composites. One using natural sisal fiber and the other with sisal fiber treated in inverted sucrose solution. The evaluation tests of the mechanical properties showed that the strength of the composite using treated sisal fibers was on average 60% higher.

**Keywords:** Composites, Vegetable Fibers, Mechanical Properties.

#### Resumo

A crescente demanda de matérias-primas para suprir as necessidades da sociedade de consumo, tem motivado inúmeros pesquisadores na busca de novos materiais alternativos. Além disso, a extra o de recursos naturais não renováveis associado com a gera o de resíduos despertou uma eminente preocupa o na substitui o de recursos mais renováveis e amigos do meio ambiente. Neste contexto, as fibras vegetais se apresentam como promissoras materiais para a constru o de novos compósitos. Suas propriedades físicas e químicas além de recursos naturais e renováveis fazem das fibras vegetais materiais promissoras para aplica es tecnológicas e substitui o de materiais utilizados pelo setor industrial. Entretanto, a natureza química das fibras vegetais, difere da maioria dos materiais poliméricos. Isso impede uma maior intera o físico e química entre as fibras e a

grande maioria das resinas poliméricas. Devido a isso, muitos trabalhos utilizaram técnicas que foram estudadas para promover maiores compatibilidades entre ambos os materiais. Nesse trabalho, foi utilizada resina poliéster insaturada e fibras de sisal para a construção de dois tipos de compósitos, um utilizando fibra de sisal natural e outro com fibra de sisal tratada em solução de sacarose invertida. Os testes de avaliação das propriedades mecânicas demonstraram que a resistência do compósito utilizando fibras de sisal tratadas foi em média 60% superior.

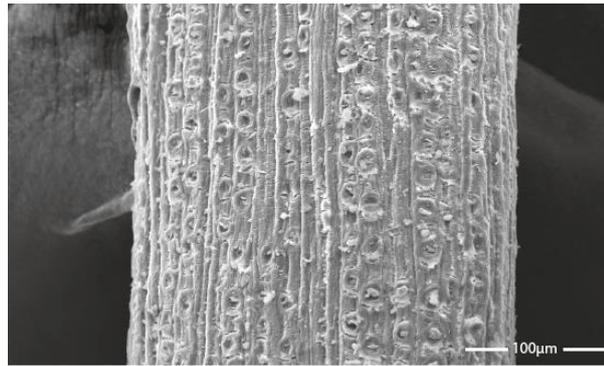
**Palavras-chave:** Compósitos, Fibras Vegetais, Propriedades Mecânicas.

## 1. Introdução

Desde tempos remotos a humanidade tem aperfeiçoado a manufatura de utensílios e objetos que possam trazer mais conforto e bem estar. Nessa trajetória, muitos materiais foram desenvolvidos para fins específicos, trazendo mais desenvolvimento e facilidades para toda a sociedade. Entretanto, o avanço do consumo promovido pelo crescente aumento populacional, que prevê para o ano de 2050 uma população de aproximadamente 10 bilhões de pessoas, traz consigo também como consequência a geração de resíduos e subprodutos oriundos dos sistemas de produção (FRIEDE, 2020). Medidas realizadas na baía de Maim na Índia, apontaram para uma descarga de resíduos domésticos e industriais de mais de 90.000 toneladas por ano de sólidos dissolvidos (VIKAS et al, 2015). Nessa situação em que caminha a sociedade, urge a necessidade de uma produção mais limpa e qualificada, na direção que possibilite a continuidade do sistema organizacional de produção e consumo (SHULUS et al, 2019). Nesse quadro atual em que se encontra a sociedade mundial, muitos pesquisadores tem se empenhado para buscar soluções modernas e promissoras e que permitam a continuidade do atual sistema de geração de tecnologia e conforto (YASHAS et al, 2019).

A busca por materiais alternativos para a produção de bens e serviços tecnológicos tem promovido uma corrida na comunidade científica de forma a se voltar também para matérias-primas mais econômicas, eficientes e mais amigas do meio ambiente. Nas condições globais de produção e consumo, o sistema produtivo busca apoiar-se por materiais alternativos e que preferencialmente sejam oriundos de fontes renováveis. As fibras vegetais constituem a classe de biopolímeros mais abundantes na terra (GU e SOMERVILLE, 2010), além disso, oferecem uma gama de propriedades interessantes entre produção mais limpa e mais amiga do meio ambiente. Muitos trabalhos têm salientado os benefícios de compósitos poliméricos com fibras vegetais em aplicações tecnológicas como a substituição das fibras de Kevlar em aplicações de balísticas (NAYAK et al, 2022), construção de helicópteros, aeronaves, satélites, lançadores de mísseis e cockpits (KEYA et al, 2019), suportes específicos ornamentais (JOTHIBASU et al, 2020), componentes automobilísticos com a indústria alemã despontando no uso de fibras vegetais (GHOLAMPOUR e OZBAKKALOGLU, 2020), embalagens industriais e indústria naval (KUMAR et al, 2021), aplicações médicas experimentais (MANN et al, 2020) e setor energético (SALES et al, 2020, 2021a, 2021b, 2022; BRITO et al, 2022).

Entretanto, as fibras vegetais apresentam características bastante específicas com relação a sua composição e morfologia. Fibras vegetais são basicamente compostas por celulose, hemicelulose e lignina, variando em percentual, arranjo físico e ângulo fibroso conforme o tipo de fibra. Além disso, pode apresentar outras substâncias, como pectina, óleos ou ceras em sua constituição (FORNARI, 2017). A Figura 1 mostra a superfície de uma fibra de coco natural sem nenhum tratamento.



**Figura 1 - Fibra de coco natural sem tratamento com 350 vezes de aumento**

A utilização das fibras vegetais na construção de compósitos para aplicações tecnológicas visa atingir ao máximo as propriedades do novo material. Desta forma, as propriedades da fibra assim como as propriedades da matriz devem se somar no esforço de atingir o melhor em relação as suas propriedades. Muitos fatores contribuem para formar compósitos com mais elevadas propriedades mecânicas, como: orientação das fibras, dispersão, relação de aspecto, resistência mecânica dos componentes entre outras. Um ponto importante nesse esforço está relacionado com as interações entre ambos os materiais que constituem o compósito. As propriedades dos dois materiais precisam ser transmitidas de um para o outro, somando assim suas forças interativas no novo material compósito. A transferência das tensões deve passar pelos constituintes sem interrupções ou desvios. Desse modo, as solicitações mecânicas poderão ser dissipadas de maneira mais igualitária entre os materiais constituintes. A união química entre os constituintes é a maior responsável para assegurar o contato e a transferência dos esforços entre a fibra e a matriz. Quanto maior a atração química, mais assegurada estará a transferência total de tensão e consequentemente a eficiência de reforço do compósito (ELSEIFY et al, 2019; YANG et al, 2019; LI et al, 2020; AZAMMI et al, 2019).

Ambos, fibra e poliéster insaturado apresentam propriedades químicas diferentes, variando desde a composição até a sua polaridade. Isso implica em diferença na afinidade e balanço energético de atração e por consequência direta na atração entre eles (CARMAGO et al, 2020; SOOD et al, 2018; NURAZZI et al, 2021; GHOLAMPOUR et al, 2020). Neste contexto, se faz importante a busca por alternativas tecnológicas que tragam ganhos as propriedades do novo material compósito. Muitos autores tem se dedicado a investigar tratamentos que melhorem a interação entre as fibras e as matrizes poliméricas, alcançando resultados positivos (KARTHI et al, 2020; KOOHESTANI et al, 2019; ALSUBARI et al, 2021). Neste trabalho, as fibras de sisal foram utilizadas para a construção de compósitos poliméricos utilizando poliéster insaturado. Dois tipos de compósitos foram construídos utilizando fibras na condição natural e fibras revestidas com sacarose invertida. A sacarose invertida foi produzida em meio aquoso ácido, o que facilitou o revestimento das fibras por imersão em solução (COSTA et al, 2018). Os resultados avaliados por meio de ensaios mecânicos demonstraram que o compósito construído com fibras revestidas tem propriedades superiores.

## 2. Metodologia

Os compósitos foram confeccionados em poliéster isoftálico insaturado e misturados manualmente com 2,5% (p/p) de Metil-etil cetona. Para isso foi utilizado balança analítica com duas casas decimais. Após a mistura o polímero foi derramado nas cavidades dos moldes e permaneceu á temperatura de 25 °C por 24 horas. Os compósitos foram pós curados por meio de tratamento térmico á 80 ± 5 °C por 60 minutos em estufa elétrica. Foi utilizado moldes de silicone para a confecção dos corpos de prova. Antes de preencher as cavidades dos moldes, as fibras de sisal foram alocadas manualmente com o auxílio de uma pinça. Em cada cavidade do molde foi alocada o número exato de 10 fibras de sisal. Segundo a norma ASTM D790 foram confeccionados cinco corpos de prova para cada espécie de compósito.

As fibras de sisal foram cortadas em comprimento igual ao comprimento dos corpos de prova, lavadas em água destilada a 100 °C por 60 minutos e deixadas em repouso por 48 horas e secas em estufa com circulação de ar a 115 ±5 °C por 180 minutos. As fibras assim condicionadas foram denominadas neste trabalho de fibras naturais. As fibras denominadas de sacarose foram banhadas em solução invertida de sacarose e alocadas sobre papel absorvente e submetidas em estufa com circulação de ar a 115 ±5 °C por 180 minutos. As fibras foram utilizadas para a confecção dos compósitos 120 minutos após o tratamento em estufa. A solução de sacarose foi preparada utilizando ácido cítrico na proporção de 1% (p/p) em água destilada. A mistura foi levada a 100 °C por 30 segundos.

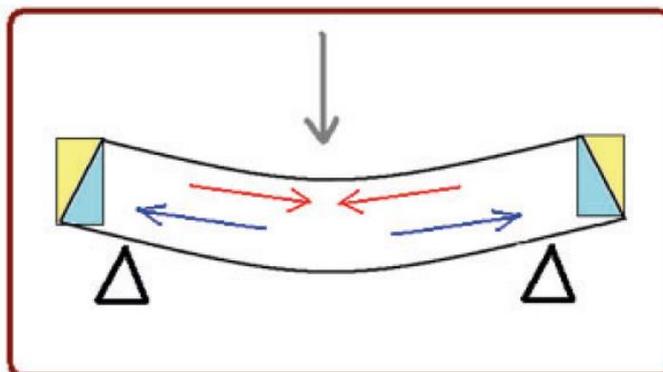
As avaliações das propriedades mecânicas de tração e tração na flexão dos compósitos foram realizadas em equipamento de ensaio universal da marca EMIC, modelo DL 500, com célula de carga de 500 N e devidamente calibrado pelo fabricante do equipamento. Os ensaios obedeceram a norma ASTM D790 método B e a tração na flexão foi realizada a três pontos. O software instalado pelo fabricante no equipamento calculou e forneceu os respectivos valores correspondentes. As propriedades de resistência ao impacto foram realizadas em equipamento tipo Izod. Balança com duas casas decimais foi utilizada para estabelecer as quantidades de ácido cítrico, água, poliéster insaturado e metil-etil cetona. Os ensaios de resistência ao impacto tipo Izod foram realizados segundo norma ASTM D-256 método A em equipamento EMIC específico para polímeros.

### 3. Resultados

Os ensaios mecânicos revelaram as propriedades dos compósitos construídos com fibra de sisal e polyester insaturado. As avaliações entre cada tipo de compósito, permite revelar a resistência comparativas entre os diferentes materiais. Os tratamentos realizados nas fibras de sisal permitiram obter um compósito com melhores propriedades mecânicas em relação ao compósito construído com fibras naturais sem modificação. Isso revela que o tratamento utilizado promoveu uma melhor interação entre a fibra e o polímero, fortalecendo a união entre eles, comparado com as fibras naturais sem tratamento.

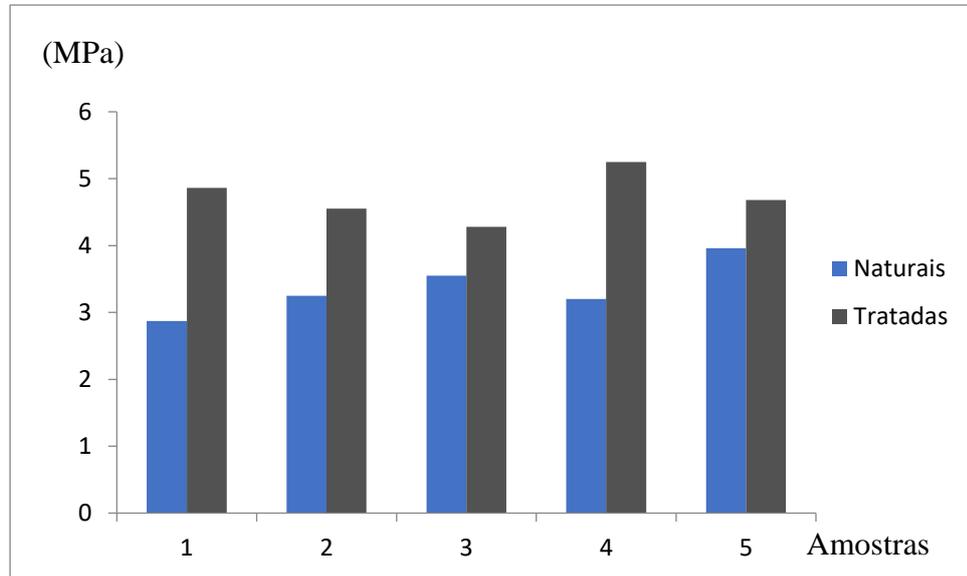
#### 3.1 Flexão

Foram ensaiados cinco amostras de cada tipo de compósito, conforme norma ASTM D790. Os ensaios de tração na flexão revelaram que os compósitos construídos com fibras tratadas com sacarose invertida possuem em média 60% maior resistência em relação aos compósitos com fibras naturais. O ensaio de tração na flexão submete a amostra a dois tipos de solicitações simultaneamente. Na metade inferior do compósito, a seção é tracionada enquanto na metade superior o compósito é submetido á forças de compressão, conforme apresentado na Figura 2.



**Figura 2 - Modelo das forças de compressão e tração no ensaio de flexão a três pontas**

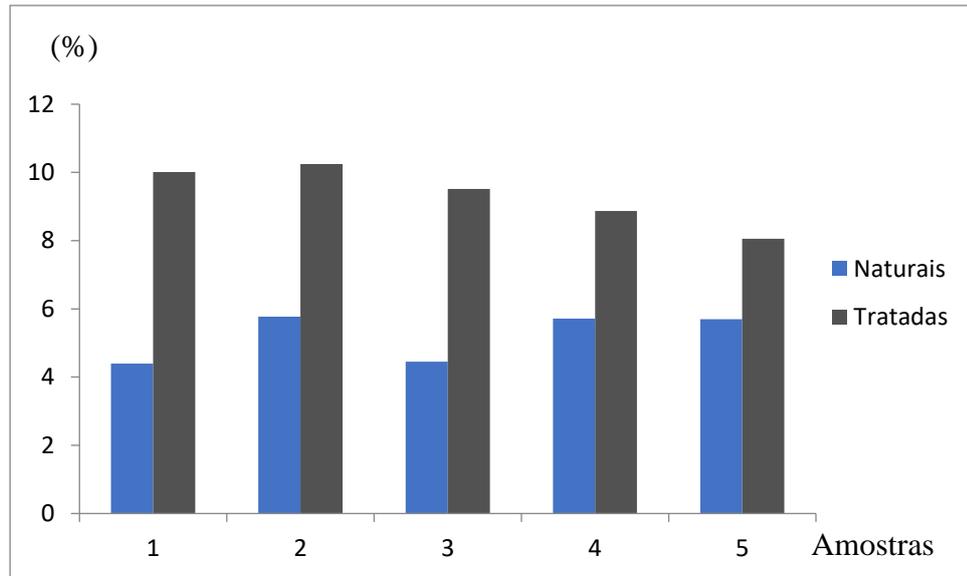
Entretanto, esse conjunto de forças atuando ao mesmo tempo sobre o material, permite avaliar a sua resistência mecânica quando submetido a essas forças. Nesse sistema de solicitações mecânicas o revestimento a base de sacarose invertida, permitiu que este tipo de compósito apresentasse maior resistência mecânica em relação ao compósito com fibra natural.



**Figura 3 - Resistência à tração por flexão na ruptura de compósitos poliéster com fibras de sisal naturais e tratadas com sacarose invertida**

O tratamento com sacarose invertida aplicado à fibra permitiu um ganho significativo nas propriedades mecânicas de tração na flexão, indicando que a afinidade da matriz polimérica e a fibra tratada é superior quando comparada a fibra pura. Os resultados dos ensaios de resistência de tração na flexão são apresentados na Figura 3 e o desvio padrão para os compósitos com fibras naturais e tratadas são respectivamente, 0,4104 e 0,3621. Os valores de deformação na flexão, obtidos no mesmo ensaio de tração na flexão, expressam a deformação até a ruptura dos compósitos ensaiados e são apresentados na Figura 4. Os valores de desvio padrão do ensaio de deformação para compósitos com fibras naturais e tratadas são respectivamente 0,7554 e 0,89. Os valores obtidos indicam que a deformação dos compósitos com fibras de sisal tratadas é superior quando comparado com os compósitos feitos com fibra natural. A interação que ocorre entre a fibra natural e a matriz polimérica é menos efetiva, o que promove uma ruptura mais cedo e conseqüentemente uma menor deformação durante a solicitação do ensaio.

A natureza química da fibra natural, juntamente com a sua polaridade específica, promovem uma interação com as cadeias moleculares da resina poliéster de forma menos positiva, comparando-se com as fibras revestidas com sacarose invertida. Além disso, a morfologia da fibra natural é alterada pelo revestimento com sacarose invertida, produzindo uma nova superfície de contato. Essas novas condições de tratamento, possibilitam que os esforços e solicitações mecânicas, sejam transferidos de maneira mais efetiva entre a matriz polimérica e as fibras revestidas, somando assim mais efetivamente as resistências de ambos os materiais constituintes. Desta forma a força de coesão que atua entre a fibra tratada com sacarose e a matriz polimérica possibilita um maior grau de deformação do compósito, devido a maior resistência mecânica que este apresenta. Isso prolonga a deformação do material e retarda a sua ruptura.



**Figura 4 - Deformação por flexão na ruptura de compósitos poliéster com fibras de sisal naturais e tratadas com sacarose invertida**

Os valores relacionados com o módulo de tração na flexão estão dispostos na Tabela 1. O módulo é a expressão em valores numéricos da resistência relativa da estrutura interna, que determinado material oferece ou apresenta quando deformado no regime elástico. Quando um material é submetido á uma pequena carga estática, as ligações atômicas sofrem uma deformação específica de condição elástica, isso é, sofrem um relativo afastamento ou aproximação entre os átomos, que é o resultado da acomodação da população de átomos/moléculas a nova situação de solicitação de tensão (BUDHE et al, 2019). Assim, uma quantidade significativa de outros elementos presentes no compósito ou materiais na matriz polimérica, podem alterar o módulo original do polímero, conforme observado [Karmarkar et all](#), em matriz de polietileno de alta densidade com fibras vegetais de (KARMARKAR, 2018). Ocorre uma variação nos valores dos módulos para cada tipo de corpo de prova e que pode ser atribuída a alguns fatores durante a confecção do compósito. O principal fator que conduz a essa diferença está relacionado com a distribuição especial das fibras de sisal. Durante o preenchimento da matriz, isso é, quando a resina foi derramada no molde para o preenchimento, as fibras de sisal que foram em número de dez, puderam se movimentar e se acomodar em níveis diferentes no volume do compósito, gerando posições diferenciadas entre as amostras. Provavelmente, essa posição das fibras produziu resultados variáveis de resistência ao modulo do compósito.

**Tabela 1 - Módulo de tração na flexão de compósitos poliéster e fibras de sisal naturais e tratadas com sacarose invertida**

Módulo de tração na flexão (Mpa)	
Natural	Sacarose
68	57
61	47
89	85
69	62
71	84
<b>Média 71,6</b>	<b>Média 67</b>
<b>Desv Padrão 10,43</b>	<b>Desv Padrão 16,86</b>

Nos ensaios de tração na flexão, a média dos módulos de elasticidade de ambos os compósitos, apresentou valores para os compósitos com fibra natural e tratadas respectivamente 71,6 e 67 com respectivos desvios padrões de 10,43 e 16,86. O revestimento da fibra de sisal com sacarose invertida mostrou uma alteração para menor na média dos valores do módulo do compósito, se comparado com as fibras de sisal naturais no seu respectivo compósito. Provavelmente, os diferentes posicionamentos das fibras de sisal que se acomodaram e formaram durante o derramamento da resina, influenciou na variação dos resultados obtidos no ensaio de flexão.

A força de oposição ao deslocamento molecular da matriz polimérica, provocada pela força de deformação no regime elástico que ocorre no momento de aplicação dos esforços durante o ensaio de flexão, resultou nos valores dos módulos de elasticidade obtidos. Esses módulos na sua média, demonstraram serem próximos para os compósitos com fibra de sisal natural e tratada. A presença de fibras de sisal apresentou um relativo e tênue efeito no módulo, não expressando comportamentos com significância distinta. A quantidade de dez fibras no compósito, demonstrou não ser capaz de alterar significativamente a média dos valores de módulo em função do tratamento aplicado a fibra. Conseqüentemente, o módulo de elasticidade, isso é, a rigidez com que o material se apresenta quando forçado a um deslocamento específico no regime elástico, parece ser função majoritária da matriz polimérica. A presença das fibras vegetais dispostas longitudinalmente no compósito não impediu significativamente o módulo da matriz quando deformada no regime elástico. A figura 5 apresenta os compósitos com fibras de sisal que foram ensaiados por ruptura.



**Figura 5 - Compósitos de poliéster com fibras de sisal, após a ruptura por flexão**

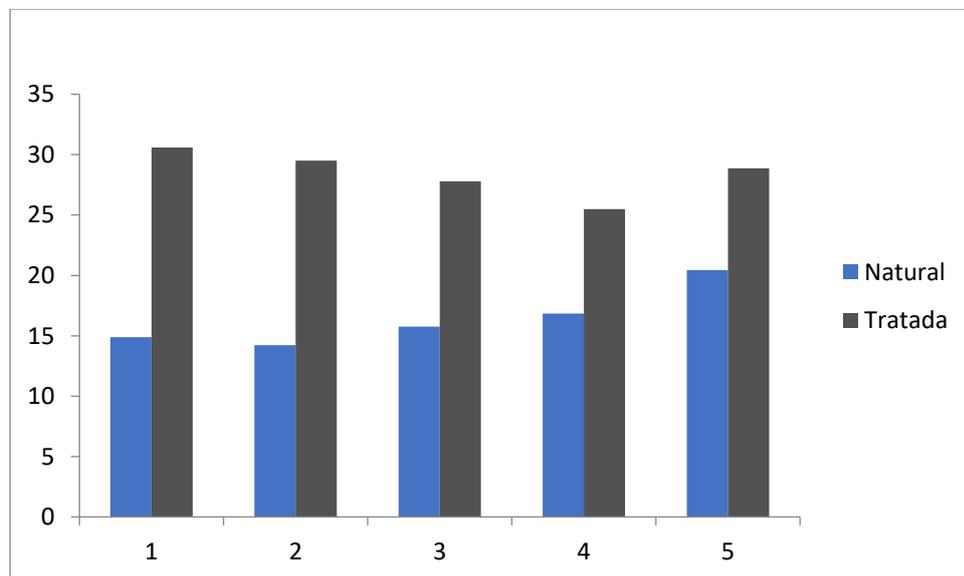
Segundo o teorema de Castigliano (WARD, 1997), a derivada parcial da energia de deformação de uma determinada estrutura é corresponde ao seu deslocamento. Desta forma, a capacidade de acomodação macromolecular ou a deformação do material compósito será tanto maior quanto mais energia o material puder absorver. A energia se acumula no material até a sua ruptura, distribuindo por todos os constituintes do compósito. Para o estudo comparativo entre os compósitos feitos com fibra natural e revestidas com sacarose, a Tabela 2 demonstra que os compósitos com fibras revestidas absorveram em média, maior quantidade de energia de deformação que os compósitos com fibras naturais. O recobrimento da sacarose invertida promoveu uma maior atração/interação com a matriz polimérica do poliéster, favorecendo a transferência e dissipação de carga aplicada na tração por flexão no material compósito. Trabalhos de (LI et al, 2019) encontraram resultados semelhantes na capacidade de absorção de energia em compósitos de epoxi reforçados com fibras vegetais.

**Tabela 2 - Energia (N.mm) de tração na flexão de compósitos poliéster e fibras de sisal naturais e tratadas com sacarose invertida**

Energia de tração na flexão (N.mm)	
Natural	Sacarose
922	1156
857	1338
682	1463
735	1193
718	998
<b>Média 782,8</b>	<b>Média 1229,6</b>
<b>Desv Padrão 101,89</b>	<b>Desv Padrão 177,91</b>

### 3.2 - Tração

Os valores de resistência á tração dos compósitos com fibras de sisal natural e tratadas são apresentados na Figura 6.



**Figura 6 - Resistência á tração na ruptura de compósitos poliéster com fibras de sisal naturais e tratadas com sacarose invertida**

Os compósitos com fibras de sisal tratadas apresentaram uma resistência á tração em média 70% superior aos compósitos feitos com fibras naturais. Esse resultado demonstra que o revestimento da fibra pela sacarose invertida promove uma interação entre a fibra e o poliéster mais efetiva. A afinidade química e física da sacarose invertida com a fibra e também com a matriz polimérica é voltada a uma mais forte atração de acoplamento, o que serve de ponte de ligação entre ambos os constituintes.

Esse conjunto de materiais acoplados com o auxílio da sacarose invertida permite dissipar uma maior quantidade de energia de tração entre o compósito, aumentando assim a resistência a tração. Por outro lado, a interação promovida pelo revestimento da sacarosa invertida, demonstra ser mais efetiva quando comparada com a fibra natural, de maneira que possivelmente possibilite menores quantidades de vazios ou defeitos, devido a uma mais forte aproximação entre os constituintes. Isso produz menos quantidades de vazios ou possíveis defeitos, o que se traduz em uma menor população de pontos frágeis que poderiam atuar como concentradores de tensão, o que isso levaria o compósito a uma ruptura mais prematura.

**Tabela 3 - Módulo de tração de compósitos poliéster e fibras de sisal naturais e tratadas com sacarose invertida**

Módulo de tração (Mpa)	
Natural	Sacarose
386	569
420,3	694,8
372,5	582,5
405	556,3
497	634,9
<b>Média 416,16</b>	<b>Média 607,5</b>
<b>Desvio Padrão, 48,71</b>	<b>Desvio Padrão 57,22</b>

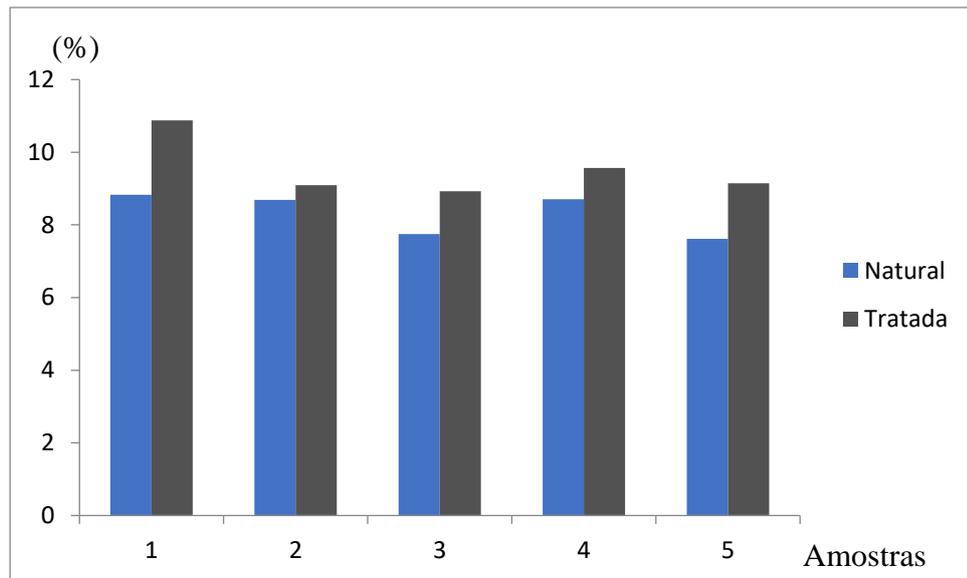
No ensaio de tração, as forças atuantes estão alinhadas na mesma direção das fibras dispostas no compósito. Isso difere ligeiramente do ensaio de tração na flexão, proporcionando que toda a sessão transversal do compósito receba a mesma solitação mecânica de tração.

O módulo de tração dos compósitos apresentou um maior resultado para os construídos com fibras revestidas. Provavelmente, a atuação da interação efetiva que a sacarose invertida proporcionou entre a fibra e a matriz polimérica, influenciou na resistência de tração do compósito. A ligação que ocorre quando a fibra é revestida, pode ter ligado mais significativamente a matriz á fibra e vice-versa, diminuindo ou minimizando as possibilidades de movimento das cadeias poliméricas. Desta forma, a fibras mais acopladas á matriz polimérica atuaram para enrijecer o compósito, aumentando o seu módulo. A variação nos resultados encontrados foi assumida pelas condições de formação do compósito tanto em relação a distribuição especial das fibras quando a manipulação na sua confecção.

**Tabela 4 - Energia (N.mm) de tração de compósitos poliéster e fibras de sisal naturais e tratadas com sacarose invertida**

Energia de tração (Mpa)	
Natural	Sacarose
898	1418
644	1222
679	1462
955	1410
904	1065
<b>Média 816</b>	<b>Média 1315,4</b>
<b>Desvio Padrão 143,30</b>	<b>Desvio Padrão 167,62</b>

A energia de resistência a tração é o valor que expressa a força que o material pode acumular até a ruptura. No ensaio de tração a energia relativa aos compósitos construídos com fibras de sisal revestidas superou em aproximadamente 60% a energia dos compósitos construídos com fibras de sisal naturais. As fibras de sisal contribuíram de maneira para aumentar a energia de tração do compósito devido as ligações e forças de interação atuantes entre a fibra e a matriz polimérica. De forma análoga, a deformação do compósito na tração foi superior quando as fibras foram revestidas com sacarose invertida, conforme apresentado na Figura 6.



**Figura 7 - Deformação por tração na ruptura de compósitos poliéster com fibras de sisal naturais e tratadas com sacarose invertida**

### 3.3 Impacto

O ensaio de impacto é um método para avaliar a resistência que determinado material possua quando altas taxas de deformação são instantaneamente transmitidas. Nessas condições, o comportamento dúctil-frágil do material fica evidenciado. A condição instantânea promovida pelo choque ou impacto da força adicionada, impede que o material tenha tempo para se ajustar a nova condição de sollicitação energética. Dessa forma, a energia transmitida ao material é dissipada quase que totalmente na condição original do material. Em outras palavras, a resistência do material em absorver a energia ou choque é avaliada na condição mais original em termos de estrutura atômica ou molecular do material. A velocidade da transferência de carga nos testes de avaliação de resistência mecânica é um fator relevante que deve ser levado em conta na investigação das propriedades dos materiais (SAFRI et al, 2018), (RICCIOA et al, 2018).

Os compósitos construídos com fibras de sisal natural e tratadas, foram avaliados quanto a resistência ao impacto tipo Izod e os resultados estão apresentados na Tabela 5. A resistência ao impacto dos compósitos com fibra tratada foi aproximadamente 80% maior que os compósitos com fibra natural. Isso demonstra que a interação entre a fibra tratada e o poliéster possui uma maior força de união que a fibra natural, pois exige uma maior quantidade de energia para romper a estrutura. Essa força de ligação entre a fibra tratada e o poliéster permite transmitir a energia de impacto por todo o material. A energia instantânea que será a responsável pela ruptura da estrutura é adicionada primeiramente à matriz polimérica e na sequência se propagará até a fibra. Nesse momento se houver alguma falha, defeito ou leve adesão, a energia levará a estrutura ao colapso, devido a falta de condição mínima de transferência de energia para o restante do material. Nesse caso a interface se torna um ponto frágil onde menor quantidade de tensão é suficiente para a ruptura ou destruição da estrutura. Para o caso dos compósitos com fibra tratada, a interação mais efetiva produz uma maior aproximação entre a fibra e a matriz, de forma que o número de defeitos, vazios ou imperfeições sejam menores. Com essa condição, a energia de impacto pode ser transmitida para a fibra vegetal de sisal, a qual irá contribuir para absorver a energia e conseqüentemente elevar a resistência ao impacto do novo material compósito.

**Tabela 5 - Resistência ao impacto de compósitos poliéster e fibras de sisal naturais e tratadas com sacarose invertida**

Resistência ao impacto Izod (J/m)			
Natural		Sacarose	
Largura (mm)	Energia (J/m)	Largura (mm)	Energia (J/m)
10,75	55,81	10,75	102,32
10,75	55,81	10,75	111,62
10,75	55,81	10,75	93,02
10,50	57,14	10,75	102,32
10,75	55,81	10,75	93,02
<b>Média 56,07</b>		<b>Média 100,46</b>	

#### 4. Conclusão

As avaliações com relação as propriedades mecânicas dos compósitos construídos com resina poliéster isoftálica e fibras de sisal natural e tratadas com solução de sacarose modificada foram realizadas por meio de ensaios mecânicos de flexão, tração e impacto. Os compósitos feitos com fibra de sisal tratadas apresentaram superiores propriedades comparando-os com os compósitos feitos com fibras naturais. A interação entre a fibra e a matriz polimérica mostrou ser mais efetiva e de forma mais eficiente, o que levou um aumento comparativo na resistência em torno de 60% a 80%.

#### Agradecimento

Os autores agradecem a UESC pelas condições de pesquisa.

#### Referências

- Alsubari, S., Zuhri, M. Y. M., S. M. Sapuan, M. R. Ishak, R. A. & Ilyas, M. R. M. (2021). Asyraf Potential of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites in Sandwich Structures: A Review on Its Mechanical Properties *Polymers*, 13(3), 423; <https://doi.org/10.3390/polym13030423>
- Azammi, A.M.N.; Ilyas, R.A.; Sapuan, S.M.; Ibrahim, R.; Atikah, M.S.N.; Asrofi, M.; Atiqah, A. (2019). Characterization studies of biopolymeric matrix and cellulose fibres based composites related to functionalized fibre-matrix interface. In *Interfaces in Particle and Fibre Reinforced Composites- From Macro to Nano Scales*; Woodhead Publishing: London, UK.
- Brito, R. C. F. & Sales, J. H. de O. (2022). Viabilidade Econômica do Biogenerator tipo Marinha na Fazenda de Cacau. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 8(2), 13949–01e. <https://doi.org/10.18540/jcecvl8iss2pp13949-01e>
- Budhe, S., de Barros, S. & Banea, M. D. (2019). Theoretical assessment of the elastic modulus of natural fiber based intra ply hybrid composites. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 41:263. <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1766-z>
- Camargo, M. M., Taye, E., A., Roether, J.A., Redda, T. D. & Boccaccini, A.R. (2020). A Review on Natural Fiber-Reinforced Geopolymer and Cement-Based Composites. *Materials*, 13, 4603. <https://doi.org/10.3390/ma13204603>
- Costa, A., Nascimento V., De Amorim, J.D.P., Gomes, E., Araujo, L. & Sarubbo, L. (2018). Residue From the Production of Sugar Cane: an Alternative Nutrient Used in Biocellulose Production by *Gluconacetobacter Hansenii*. *Chemical Engineering Transactions*. 64, p7 – 12. DOI: [10.3303/CET1864002](https://doi.org/10.3303/CET1864002)
- Elseify, L.A., Midani, M., Shihata, L.A. et al. (2019). Review on cellulosic fibers extracted from date palms (*Phoenix Dactylifera L.*) and their applications. *Cellulose* 26, 2209–2232. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02259-6>
- Fornari, J. C. C. M. (2017). Fibras vegetais para Compósitos Poliméricos. EDITUS – UESC.

- Friede, R. (2020). Population Increase and Environmental Degradation: the account you don't want to close. *Revista Augustus*, v. 25, n. 52 p. 82 – 93. <https://doi.org/10.15202/19811896.2020v25n52p82>
- Gholampour, A. & Ozbakkaloglu, T. (2020). A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications. *J Mater Sci* 55, 829–892. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03990-y>
- Girijappa, Y. G. T., Rangappa, S. M., Parameswaranpillai J. & Siengchin. S. (2019). Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review. *Frontiers in Materials* 6, article 226. <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00226>
- Gu Y. & Somerville C. (2010). Cellulose synthase interacting protein: a new factor in cellulose synthesis. *Plant Signal Behav.* 5 (12): 1571-1574. <https://doi.org/10.4161/psb.5.12.13621>
- Jothibas, S., Mohanamuruga, S., Vijay, R., Singaravelu, D. L. , Vinod, A. & Sanjay, MR. (2020). Investigation on the mechanical behavior of areca sheath fibers/jute fibers/glass fabrics reinforced hybrid composite for light weight applications. *Journal of Industrial Textiles* 49(8), Vol. 49(8) 1036–1060. <https://doi.org/10.1177/1528083718804207>
- Karmarkar, S., Shashidhar, G. M. & Chauhan, S. (2018). A comparative study of dynamic and static modulus of elasticity of natural fiber reinforced HDPE composites. *J Indian Acad Wood Sci.* 15(1):80–86. <https://doi.org/10.1007/s13196-018-0211-8>
- Karthi, N., Kumaresan, K., Sathish, S., Gokulkumar, S., Prabhu, L. & Vigneshkumar, N. (2020). An overview: Natural fiber reinforced hybrid composites, chemical treatments and application áreas *Materials Today Proceedings*, V. 27, Part 3, p 2828 – 2834. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.011>
- Keya, K. N., Kona, N. A., Koly, F. A., Maraz, K. M., Islam, M. N., & Khan, R. A. (2019). Natural fiber reinforced polymer composites: history, types, advantages and applications. *Materials Engineering Research*, 1(2), 69-85. <https://doi.org/10.25082/MER.2019.02.006>
- Koohestani, B., Darban, A. K., Mokhtari, P., Yilmaz, E. & Darezereshki, E. (2019). Comparison of diferent natural fber treatments: a literature review. *International Journal of Environmental Science and Technology* 16:629–642. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1890-9>
- Kumar, S. S., Raja, M. V., Chakravarthy, C.N. et al. (2021). Determination of Mechanical Properties and Characterization of Alkali Treated Sugarcane Bagasse, Pine Apple Leaf and Sisal Fibers Reinforced Hybrid Polyester Composites for Various Applications. *Fibers Polym* 22, 1675–1683. <https://doi.org/10.1007/s12221-021-0910-4>
- Li, M., Pu, Y., Thomas, V. M., Yoo, C. G., Ozcan, S., Deng, Y., Nelson, K., Ragauskas, A. J. (2020). Recent advancements of plant-based natural fiber – reinforced composites and their applications. *Composites Part B: Engineering*, V 200. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108254>
- Li, S., Zheng, T., Li, Q., Hu, Y. & Wang, B. (2019). Flexural and energy absorption properties of natural-fiber reinforced composites with a novel fabrication technique. *Composites Communications* Volume 16, Pages 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2019.09.005>
- Mann GS, Singh LP, Kumar P, Singh S. (2020). Green composites: A review of processing technologies and recent applications. *Journal of Thermoplastic Composite Materials.* 33 (8): 1145-1171. <https://doi.org/10.1177/0892705718816354>
- Nayak, S. Y., Sultan, M. T. H., Shenoy, S. B., Kini, C. R., Samant, R., Shah, A. U. Md & Amuthakkannan, P. (2022) Potential of Natural Fibers in Composites for Ballistic Applications – A Review, *Journal of Natural Fibers*, 19:5, 1648-1658. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1787919>
- Nurazzi, N. M., Harussani, M. M., Aisyah, H. A., Ilyas, R. A., Norrrahim, M. N. F., Khalina, A. & Abdullah, N. (2021). Treatments of natural fiber as reinforcement in polymer composites— a short review *Functional Composites and Structures*, Volume 3, Number 2. DOI: [10.1088/2631-6331/abff36](https://doi.org/10.1088/2631-6331/abff36)

- Riccio, A., Raimondo, A., Saputo, S., Sellitto, A., Battaglia, M. & Petrone, G. (2018). A numerical study on the impact behaviour of natural fibres made honeycomb cores Composite Structures Volume 202, 15. Pages 909-916. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.04.062>
- Safri, S. N. A., Sultan, M. T. H., Jawaid & M., Jayakrishna, K. (2018). Impact behaviour of hybrid composites for structural applications: A review Composites Part B: Engineering Volume 133, 15, Pages 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.008>
- Sales, J. H. O. & Lima, G. P. A. (2020). Procedimento didático para a modelagem computacional da amêndoa do cupuaçu em coordenadas cartesianas. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, Ponta Grossa, v.13, n. 3, p. 1-19. <http://dx.doi.org/10.3895/rbect.v13n3.8517>
- Sales, J. H.; Santos, K. D.; Fornari, C. C. M. Jr. & Amarante-segundo, G. S. (2021a). Coconut Fiber Sensor for Humidity. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 2, p. 17707-17720. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-423>
- Sales, J. H. & Suzuki, A. T. (2021b). Thermal Ellipsoidal model of Cocoa almond. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.3, p. 31618-31633. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-740>
- Sales, J. H. de O. & Brito, R. C. F. (2022). Biogenerator para uma Fazenda de Cacau. The Journal of Engineering and Exact Sciences, 8 (1),13736–01. <https://doi.org/10.18540/jcecvl8iss1pp13736-01-12e>
- Shulus, A. A., Akopova, E. S., Przhedetskaya, N. V. & Borzenko, K. V. (2020). Intellectual production and consumption: a new reality of the 21 st century. Institute of Scientific Communications Conference. Springer, Cham, 2019, 353-359. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32015-7\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32015-7_40)
- Sood, M. & Dwivedi, G. (2018). Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review Egyptian Journal of Petroleum 27, 775–783. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.11.005>
- Vikas, M. & Dwarakish, G. S. (2015). Coastal Pollution: A Review. International Conference on water resources, coastal and ocean engineering. Aquatic Procedia, 4, 381–388. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.051>
- Ward, JP. (1997). General Solutions Using the Castigliano Theorem. International Journal of Mechanical Engineering Education. 25 (3): 205-214. <https://doi.org/10.1177/030641909702500305>
- Yang, J., Ching, Y.C. & Chuah, C.H. (2019). Applications of Lignocellulosic Fibers and Lignin in Bioplastics: A Review. Polymers, 11, 751. <https://doi.org/10.3390/polym11050751>