




## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE COMPÓSITOS REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PRODUZIDOS A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA EPOXIDADO COMERCIAL E ÓLEO DE SOJA PROVENIENTE DE FRITURAS

 <https://doi.org/10.56238/levv15n43-117>

Data de submissão: 24/11/2024

Data de publicação: 24/12/2024

**Juliana Silva**

Centro Universitário Newton Paiva- Belo Horizonte, MG, Brasil

E-mail: julianazille19@gmail.com

**Aline Faria**

Centro Universitário Newton Paiva- Belo Horizonte, MG, Brasil

E-mail: alinepaulasf@gmail.com

**Geraldo Oliveira**

Centro Universitário Newton Paiva- Belo Horizonte, MG, Brasil

E-mail: oliveira.newtonpaiva@gmail.com

**Fernando Lage**

Orientador.

Professor dr do Centro Universitário Newton Paiva.

E-mail: fernando.lage@newtonpaiva.br

### RESUMO

O epóxi comercial é produzido a partir derivados de petróleo e é amplamente utilizado como matriz na produção de compósitos devido ao seu processamento simples. O óleo de soja epoxidado possibilita a produção de uma matriz mais sustentável. Tendo em vista a sustentabilidade, o presente trabalho tem como objetivo a produção de materiais compósitos produzidos a partir do óleo de soja epoxidado comercial e do óleo de soja residual de frituras epoxidado. Foi realizada a caracterização dos óleos epoxidados por meio da determinação do teor de oxigênio oxirano (OOe), espectroscopia no infravermelho por Transformada de Fourier e ensaio de tração. Como os óleos de soja epoxidados são menos resistentes à tração que o epóxi comercial derivado de petróleo, faz-se necessário a adição de fibras para melhoria das características mecânicas do material. As fibras naturais de bagaço de cana-de-açúcar foram escolhidas como material de reforço. Os materiais foram produzidos com os dois tipos de óleo de soja epoxidado, a avaliação mecânica foi realizada por meio de ensaios de tração com a adição de fibras de 0%, 5% e 7%. O limite de resistência à tração foi significativamente melhorado para ambos materiais, principalmente com a adição de 5% de reforço no óleo de soja epoxidado comercial, chegando a 133% maior que a resina sem reforço. Quanto ao teor de oxigênio oxirano, o epóxi de óleo residual apresentou um percentual de 4,55% m/m e o comercial 6,53% m/m, o óleo residual apresenta menor número de insaturações, por isso menor teor de OOe.

**Palavras-chave:** Compósitos. Óleo de Soja Epoxidado. Bagaço de Cana-de-Açúcar.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o grande desafio da engenharia de materiais é o desenvolvimento de alternativas sustentáveis. Essa discussão se faz necessária pois existe uma preocupação em como se manter evoluindo tecnologicamente sem afetar a disponibilidade de recursos para gerações futuras. Neste sentido, o desenvolvimento de produtos eficientes e sustentáveis que não causem impacto ambiental desde a sua produção até o seu descarte é de importância cada vez maior (Graduação Engenharia de Materiais, 2023).

Os óleos vegetais se apresentam como matéria-prima renovável com uma grande diversidade de fontes e são utilizados na indústria alimentícia um volume elevado em frituras, e com isso surgiu a preocupação com o destino final dos mesmos. O descarte incorreto pode causar grandes impactos ambientais, tais como contaminação da água e do solo, e quando o óleo se degrada ocorre a formação de gás metano que é altamente poluente. Diante disso, foram desenvolvidas formas de reciclar esse óleo residual, sendo mais utilizado na produção de biodiesel e na saponificação, além de um pequeno percentual que é destinado na fabricação de tintas e massa de vidraceiro. A epoxidação é mais uma alternativa sustentável de ter o reaproveitamento desses óleos, com potencial de elevado valor agregado (SILVA, 2013).

Outro desafio é a busca no reaproveitamento de resíduos agrícolas, em que o Brasil atualmente lidera o ranking mundial na produção de cana-de-açúcar. Na indústria sucroalcooleira, o principal resíduo sólido gerado é o bagaço da cana-de-açúcar em virtude da sua quantidade, visto que é um subproduto fibroso resultante do processo de moagem da cana. A quantidade produzida desse subproduto varia de acordo com o teor de fibra da cana processada. De acordo com a EMBRAPA (2022) a cana contém em média 46% de fibra e 50% de umidade, o que resulta em aproximadamente em 280 quilos de bagaço por tonelada de cana processada. O principal uso do bagaço é na cogeração de energia, e estima-se que as usinas do setor utilizem de 60 a 90% como fonte de energia através da queima. Outra opção é a produção de etanol lignocelulósico, além dessa opção, existem outras finalidades de uso não energético, como na alimentação de bovinos, emprego em fertilizantes, como aglomerados industriais, na indústria de papel e celulose. Entretanto existe um excedente que não é utilizado, o que provoca problemas de estocagem e poluição ambiental. A parede celular do bagaço tem como principais componentes aproximadamente 40% de celulose, 35% de hemicelulose e 15% de lignina, tornando-o um excelente material lignocelulósico, o que confere uma melhoria nas propriedades mecânicas ao qual será empregado. (EMBRAPA, 2022).

Desta forma, surge a possibilidade de materiais com propriedades otimizadas que podem ser aplicados das mais diferentes maneiras e são denominados como compósitos. De modo geral, um compósito é definido como qualquer material multifásico que tem uma proporção significativa de propriedades de ambas as fases constituintes de forma a ter uma melhor combinação de propriedades.

Segundo Callister (2020), as fases constituintes devem ser de composições químicas diferentes e estarem separadas por uma interface distinta. Essa combinação resulta numa melhoria das propriedades mecânicas tais como rigidez, tenacidade e resistências em temperaturas elevadas. Geralmente materiais compósitos, são constituídos de duas fases, uma denominada como matriz e a outra como fase dispersa e tais fases irão definir as propriedades mecânicas desse material, outros fatores que irão influenciar nessas propriedades são a quantidade relativa de cada fase e a geometria da fase dispersa. A geometria da fase dispersa é entendida como distribuição, forma, tamanho e orientação. Os compósitos são classificados em compósitos estruturais, compósitos reforçados com fibras, compósitos reforçados com partículas e nanocompósitos (CALLISTER, 2020).

Em compósitos reforçados com fibras, a fase matriz desempenha inúmeras funções e deve apresentar característica dúctil. A princípio, ela tem a ação de unir as fibras umas às outras e funciona como meio para transmitir e distribuir tensões às fibras, sendo uma pequena parcela de tensão suportada pela matriz. Outra função da matriz é proteger as fibras contra danos externos, como abrasão mecânica ou reações químicas com o ambiente que podem provocar trincas e conseqüentemente comprometer a eficiência mecânica do material. Os compósitos com matriz polimérica consistem em uma resina polimérica como a fase matriz preenchida com fibras como meio de reforço. Esse tipo de compósito tem uma ampla aplicabilidade em virtude das suas propriedades, da facilidade de fabricação e custos. Existem diversas opções de resinas poliméricas que podem ser usadas como matriz, uma dessas opções são os epóxis, muito empregado em aplicações estruturais. Tem como vantagens serem de fácil manipulação, possuem boa resistência química e apresentam elevada resistência e módulo de elasticidade. Outra vantagem é ter baixa viscosidade no estado líquido o que facilita o preparo de compósito, são curadas em elevadas temperaturas e possuem boa resistência a ambientes corrosivos. Apresentam também melhores propriedades mecânicas e resistência a umidade que as resinas de poliéster e vinil. Esses fatores contribuem para a sua empregabilidade em inúmeras aplicações principalmente em compósitos de fibras. As fibras mais utilizadas em matrizes poliméricas são aramidas, carbono e fibras de vidro, porém essas fibras apresentam algumas desvantagens como alto custo e complexidade de produção, baixa resistência a ataques químicos e limitação quanto a temperatura de serviço (CALLISTER, 2020). A substituição de fibras sintéticas por fibras vegetais se torna um grande atrativo para serem utilizadas em diversas aplicações, pois são oriundas de fontes renováveis, biodegradáveis, possuem custo baixo, são menos abrasivas, têm baixo peso específico e grande disponibilidade. O Brasil dispõe de uma grande quantidade de resíduos agrícolas, desta forma o emprego de fibras naturais se torna bastante interessante na produção de compósitos lignocelulósicos (CAVALCANTI, 2022).

Deste modo, a possibilidade de desenvolver materiais compósitos lignocelulósicos se mostra como uma alternativa ambientalmente sustentável e aplicável à indústria, tornando possível o

desenvolvimento de novos materiais com características físico-mecânicas otimizadas. Neste contexto, o presente trabalho descreve o estudo sobre o desenvolvimento, produção e caracterização por ensaio de tração e espectroscopia no infravermelho de compósitos feitos a partir de resina de óleo de soja residual epoxidado reforçado com resíduos lignocelulósicos provenientes do bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado a fim de se comparar com compósito oriundo de óleo de soja epoxidado comercial. Segundo dados da literatura, compósitos lignocelulósicos apresentaram valores interessantes quanto ao módulo de elasticidade em tração, flexão, rigidez e redução da tenacidade sob impacto (CAVALCANTI, 2022). Os resultados obtidos dos materiais pesquisados mostraram que o processo desenvolvido é economicamente viável e sustentável para a manufatura dos novos compósitos feitos a partir óleo vegetal epoxidado reforçados com resíduos lignocelulósicos exibiram propriedades mecânicas superiores ou similares a diversos materiais usados em variáveis áreas.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 MATERIAIS**

Os materiais utilizados desde o processo de epoxidação do óleo de soja residual até a produção dos corpos de prova foram: óleo de soja residual de frituras adquirido em uma cozinha industrial de Belo Horizonte, óleo de soja epoxidado comercial (Inbra Indústrias Químicas), bagaço de cana-de-açúcar fornecido pelo estabelecimento Garapão (Belo Horizonte), sendo que o bagaço de cana seria descartado após a extração do caldo de cana. Foram usados também os reagentes: ácido acético glacial 99,7% m/m, biftalato de potássio, ácido bromídrico e violeta genciana todos da marca Synth, peróxido de hidrogênio 35% m/m da Química Moderna, clorofórmio 99,08% m/m da Neon e éter etílico 98% m/m da marca Qhemis, a resina de troca iônica Amberlite IR-

120 H (Sigma Aldrich), o endurecedor ARADUR HY 2918-1 BR da marca Huntsman, com composição química de anidrido metil-tetrahidroftálico (MTHPA, 166,176 g/mol) e o acelerador de cura AL2024 (Polipox).

### **2.2 MÉTODOS**

#### **2.2.1 processo de epoxidação**

Para produção do óleo de soja epoxidado, foi utilizado o óleo de soja de frituras. Além dos reagentes ácido acético glacial, peróxido de hidrogênio 35% m/m, resina de troca iônica Amberlite IR-120 H e éter etílico.

O preparo do óleo de soja proveniente de frituras epoxidado foi baseado no trabalho de ESPINOSA PÉREZ (2009) e LAGE (2015), com algumas mudanças. Duzentos gramas de óleo de soja usado, 29,2 mL de ácido acético glacial e 42,24 g de resina de troca iônica Amberlite IR-120 H foram adicionados a um béquer sobre uma chapa aquecedora (Fisaton), juntamente com um agitador

mecânico (Fisaton). Foram mantidos sob agitação (500 rpm) e aquecimento por aproximadamente 1 h, até que a temperatura de 70°C fosse atingida. Logo após, adicionou-se de forma gradual 224 mL de peróxido de hidrogênio 35% m/m, ao final da adição a reação prosseguiu por mais 5 h.

Posteriormente, o produto da reação passou por uma filtração à vácuo para remoção da resina de troca iônica. Em seguida, lavou-se o produto final com água destilada a 50°C até que o pH neutro fosse atingido. Após as lavagens, o óleo de soja epoxidado foi extraído com éter etílico (GOUD, 2006 apud LAGE, 2015), parte do solvente foi extraído com auxílio de um evaporador rotativo (Fisaton), para remoção do éter remanescente o óleo epoxidado foi colocado por 4 h em estufa a 50°C e por 48 h em dessecador.

### 2.2.2 determinação de teor mássico de oxigênio oxirano

O método AOCS Cd 9-57 (AOCS, 2009), foi utilizado para determinação do teor em massa de oxigênio oxirano do óleo de soja de frituras epoxidado e do óleo de soja epoxidado comercial. Foram pesados aproximadamente 0,4 g dos óleos epoxidados e dissolvidos em clorofórmio. As amostras foram tituladas com ácido bromídrico 0,1 mol/L, previamente padronizado, com solução indicadora de violeta de metila 0,1% em ácido acético. Sendo o indicador de viragem da titulação, violeta para verde-azulado.

### 2.2.3 reticulação de cura

Realizou-se a reticulação de cura para o óleo soja epoxidado comercial e para o óleo de soja de frituras epoxidado produzido anteriormente. O processo de cura foi realizado utilizando o anidrido metil tetrahidroftálico como endurecedor assim como Lage (2021), por se tratar de um potencial endurecedor para biocompósitos. Para a determinação do valor PHR (partes de endurecedor por 100 partes de resina), utilizou-se a equação 1, descrita por Mallick em 1997.

$$PHR = 100 \times \frac{AEW}{EEW} \quad (1)$$

Sendo AEW o peso equivalente do anidrido metil tetrahidroftálico (166,17g/eq) e o EEW o peso equivalente em epóxi, calculado pela equação 2, onde  $OO_e$  é o valor experimental de oxigênio oxirano.

$$EEW = \frac{1600}{OO_e} \quad (2)$$

**Tabela 1- Valores obtidos de EEW e PHR**

Tipo de óleo	EEW (g/eq)	PHR (g/100g)
Óleo de soja comercial epoxidado	245,02	67,82
Óleo de soja de frituras epoxidado	351,65	47,25

Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

#### 2.2.4 tratamento químico do bagaço

Realizou-se a limpeza do bagaço de cana-de-açúcar em água corrente para a remoção de impurezas. Baseado no trabalho SANCHEZ (2010) a amostragem foi seca em estufa por 8 horas na temperatura 100°C, realizou-se a desfragmentação com liquidificador e retornou à estufa por mais 2h30 na temperatura de 100°C. Após a secagem da amostragem realizou-se novamente outra desfragmentação utilizando um liquidificador. Submeteu-se a amostragem à classificação granulométrica utilizando uma peneira vibratória, separou-se 50g da granulometria do retido de 40 mesh.

Os extrativos foram removidos baseando-se no trabalho de LAGE (2021) utilizando-se etanol como solvente, adaptando um balão de fundo redondo com 3 saídas e um condensador de bolas. Adicionou-se um volume de 500 mL de etanol e 25g de bagaço cominuído a cada balão de vidro, programou-se a manta aquecedora para que a temperatura não ultrapassasse 70°C pelo tempo de 3h. Após a extração, realizou-se a filtragem à vácuo e lavagem com água destilada da amostragem até que o pH neutro fosse atingido, posteriormente direcionou a amostragem para a estufa para secagem na temperatura de 100°C pelo tempo de 6h.

Após a secagem realizou-se o pré tratamento alcalino baseado no trabalho de SANCHEZ (2010), a amostragem foi imersa em uma solução de hidróxido de sódio a 10% massa/massa por 24h (1 fibra/5 solução m/m). Após essa imersão, realizou-se a lavagem das fibras com água destilada e filtragem à vácuo até que a água residual atingisse o pH neutro. Posteriormente, realizou-se a secagem da amostragem em estufa na temperatura de 100°C por 6h.

#### 2.2.5 preparação dos corpos de prova para ensaio de tração

Para produção dos corpos de prova, utilizou-se o bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado como material de reforço juntamente com os óleos epoxidados. Baseado em Lage (2021) com algumas modificações, utilizou-se o material de reforço com granulometria passante de 200 mesh, afim de conseguir uma maior homogeneidade do material. Foram feitos corpos de prova para o óleo de soja

de frituras epoxidado e para o óleo de soja comercial, ambos com 0, 5 e 7% de reforço. Utilizou-se o endurecedor Aradur HY 2918, os óleos epoxidados, conforme proporções descritas na tabela 1, que juntamente com o reforço foram mantidos sob agitação mecânica vigorosa (500 rpm) por 30 minutos, posteriormente fez-se a adição de 5g de acelerador AL2024 para cada 100g de óleo de soja epoxidado. Para realização do tratamento térmico, os materiais foram dispostos em moldes para ensaio de tração feitos de silicone para altas temperaturas, em seguida mantidos em estufa a 100°C por cerca de 2 horas e no dia seguinte 5 horas a 150°C. Sendo removidos da estufa após resfriamento, para evitar formação de trincas no compósito.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 MEDIDA DO TEOR MÁSSICO DE OXIGÊNIO OXIRANO

Na tabela 2 estão descritos os resultados obtidos nas titulações com ácido bromídrico para determinação do teor mássico de oxigênio oxirano dos óleos epoxidados.

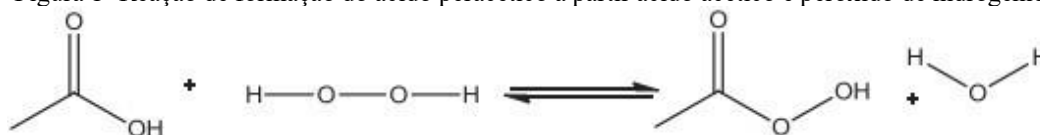
**Tabela 2- Resultados para determinação do teor mássico de oxigênio oxirano**

Tipo de óleo	OO <sub>e</sub> (%)	EEW (g/eq)	PHR (g/100g)
Óleo de soja comercial epoxidado	6,53	245,02	67,82
Óleo de soja de frituras epoxidado	4,55	351,65	47,25

Fonte: elaborado pelos autores. 2023.

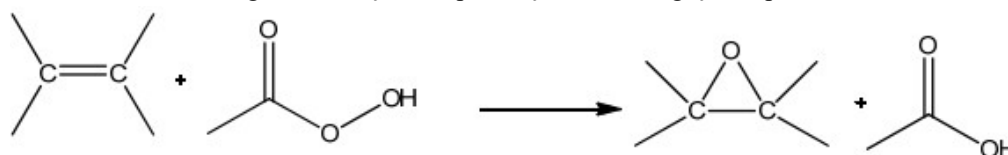
O óleo de soja epoxidado comercial apresentou um teor mássico de oxigênio oxirano de 6,53%, se aproximando do descrito por Lage (2015), onde o óleo de soja epoxidado com ácido acético (figura 1) apresentou um teor de oxigênio oxirano de 7,0%. Já o óleo de soja oriundo de frituras apresentou um teor de 4,55%, o que era esperado, uma vez que o óleo de soja em altas temperaturas sofre alterações oxidativas e químicas, diminuindo o número de insaturações (RIOS,2013), que são responsáveis pela formação do anel oxirano (figura 2).

Figura 1- Reação de formação do ácido peracético a partir ácido acético e peróxido de hidrogênio.



Fonte: SWERN, 1970 apud LAGE, 2021.

Figura 2- Reação de epoxidação de uma ligação dupla.

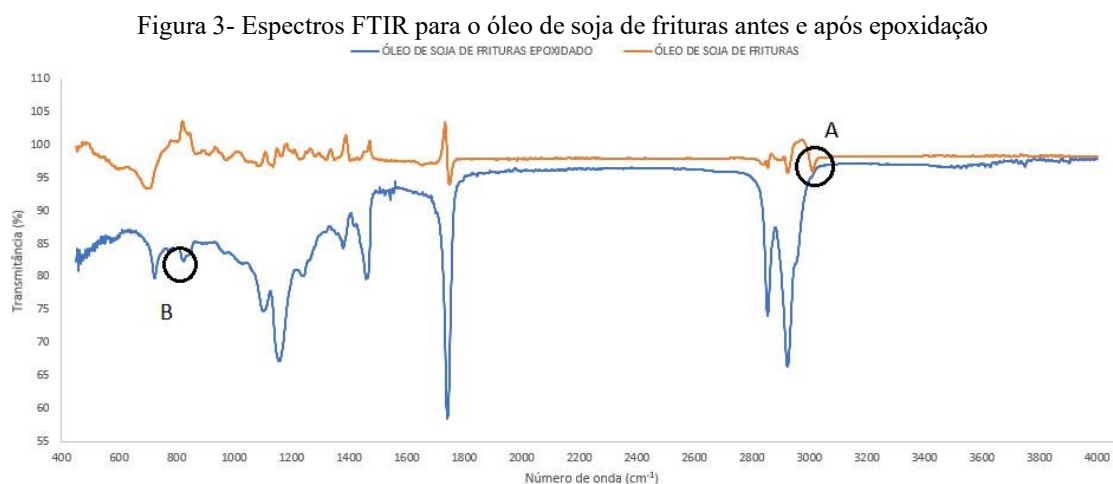


Fonte: LAGE, 2021.



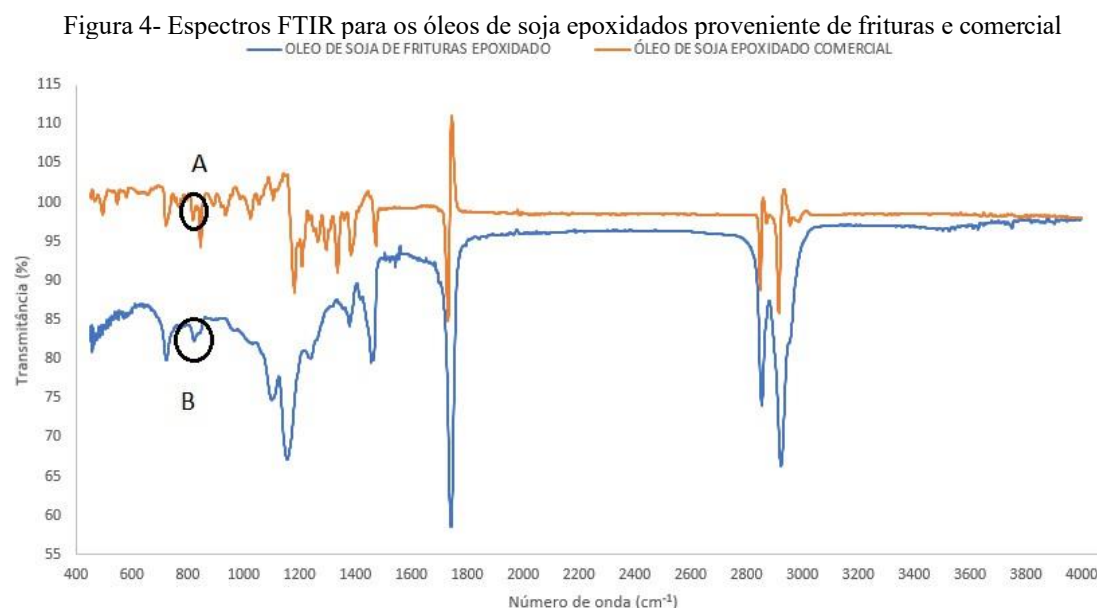
### 3.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER

A caracterização das amostras por espectroscopia no infravermelho foi realizada utilizando o espectrômetro Spectrum Two da PerkinElmer, com resolução de  $0,5\text{ cm}^{-1}$  na faixa de spectral de  $350\text{--}8300\text{ cm}^{-1}$ . Caracterizou-se o óleo de soja residual antes e após os processos de epoxidação e cura, assim como o óleo de soja epoxidado comercial antes e após cura.



Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

Uma das principais características para evidenciar a epoxidação do óleo de soja é o desaparecimento da banda próxima a  $3010\text{ cm}^{-1}$  ( $=\text{C-H}$ ) e a formação do grupo epóxi ( $\text{C-O-C}$ ), com bandas na faixa de  $823\text{ cm}^{-1}$  (Leite, 2017). Na figura 3, temos os espectros do óleo de residual antes e depois da epoxidação, onde o ponta A indica a insaturação do óleo e o B a formação do grupo epóxi, confirmando a presença do oxigênio oxirano (4,55%), calculado anteriormente por meio da titulação com ácido bromídrico.

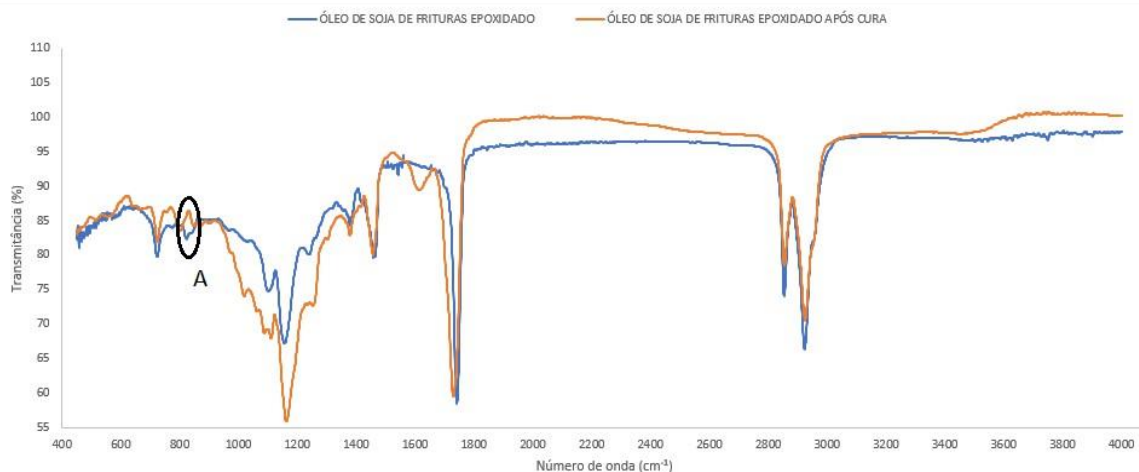


Fonte: elaborado pelos autores, 2023.



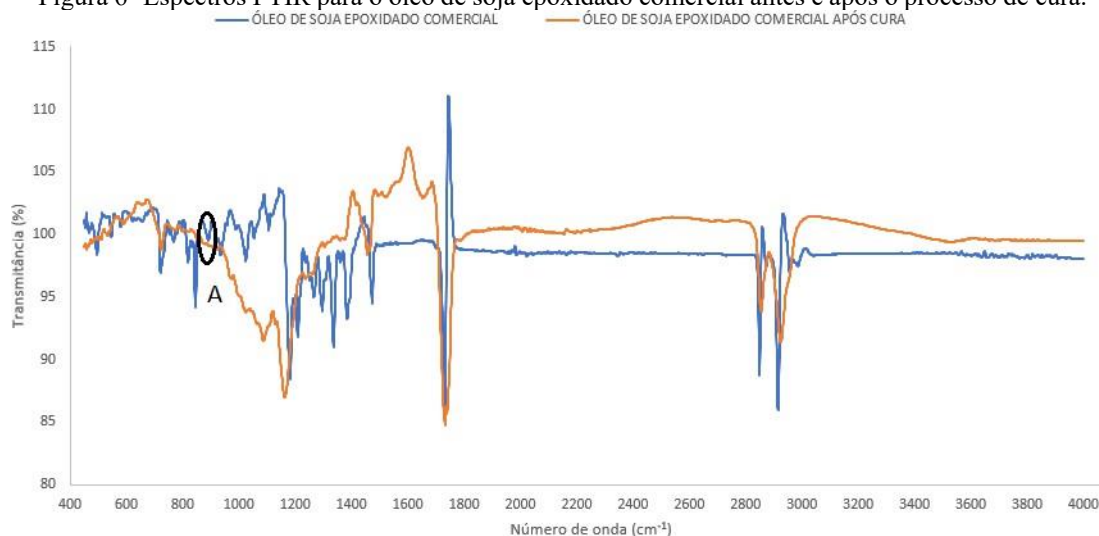
Na figura 4, podemos observar a similaridade entre óleo de soja epoxidado produzido a partir do óleo de frituras e o óleo de soja epoxidado comercial. Os pontos A e B evidenciam o grupo epóxi em  $823\text{cm}^{-1}$  em ambos óleos epoxidados.

Figura 5- Espectros FTIR para o óleo de soja epoxidado proveniente de frituras antes e após o processo de cura



Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

Figura 6- Espectros FTIR para o óleo de soja epoxidado comercial antes e após o processo de cura.



Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

A reticulação de cura foi realizada utilizando um anidrido como agente de cura, os anidridos necessitam de temperaturas mais elevadas em relação a aminas, e formam resinas termofixas com boas propriedades químicas, mecânicas e elétricas (THEREE BOND, 1990 apud LAGE, 2015). Nas figuras 5 e 6, podemos observar que após a reticulação de cura não é mais possível observar o pico em  $823\text{cm}^{-1}$  (A), o que indica a eficiência da cura, uma vez que o grupo epóxi não está mais presente, como era esperado.

### 3.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração foram realizados com corpos de prova próprios para os ensaios. Foram usados os dois óleos epoxidados com os percentuais de reforço de 0, 5 e 7%. Com os dados obtidos nos ensaios, foram calculados o módulo de elasticidade (MPa), por meio da inclinação da reta elástica; o limite de resistência à tração (MPa) e o percentual de alongamento.

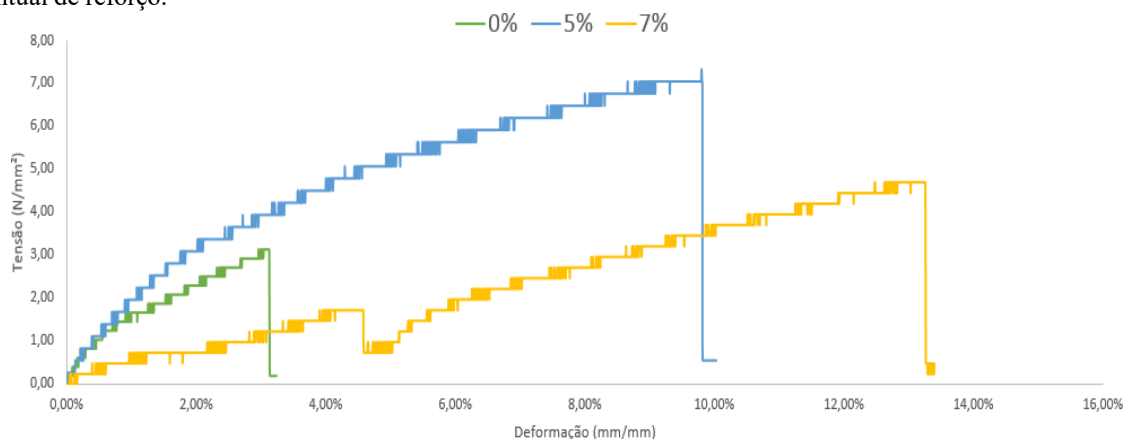
São apresentados na tabela 3, os dados do ensaio de tração para o óleo de soja comercial epoxidado com diferentes percentuais de reforço natural de bagaço de cana-de-açúcar tratado.

Tabela 3- Resultado dos ensaios de tração para o óleo de soja epoxidado comercial variando o percentual de reforço.

Material	% de Reforço	Módulo de Elasticidade (MPa)	Limite de Resistência à Tração (MPa)	% de Alongamento (Ductilidade)
Óleo de	0	187,27	3,15	3,23
soja epoxidado comercial	5	269,77	7,34	10,03
	7	49,127	4,71	13,36

Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

Figura 7- Curvas de Tensão x Deformação para compósitos preparados com o óleo de soja epoxidado comercial variando o percentual de reforço.



A partir da análise dos dados da tabela 3 e da figura 7, é possível observar que a adição do bagaço de cana como material de reforço fez com que o material aumentasse sua ductilidade, ou seja, sua ruptura é retardada.

O limite de resistência à tração aumenta significativamente com a adição de 5% de reforço, esperava-se que esse comportamento fosse linear, uma vez que o reforço atuante na matriz resulta na transferência da tensão aplicada da matriz para as fibras. Mas com 7% de reforço o limite de resistência à tração diminui, de acordo com Barbosa (2014) devido aos microvazios que surgem no compósito durante a interação do óleo epoxidado com o endurecedor, quanto maior a porcentagem de reforço, maior a tendência de criar microvazios e fragilizar o material.

O módulo de elasticidade está relacionado à capacidade do material de não se romper à medida que é submetido a deformações, por isso também era previsto que ela aumentasse com o aumento da adição de reforço. É possível observar que com 5% de reforço teve um aumento significativo de aproximadamente 44% do módulo de elasticidade em relação ao material sem reforço, enquanto com 7% de reforço houve uma redução em torno de 26%, o que se explica também pela formação dos microvazios, que aumentam a concentração de tensão.

Quanto aos ensaios para os materiais produzidos com o óleo de soja residual epoxidado, os testes resultaram em materiais com alta ductilidade. Os percentuais de alongamento (ductilidade) foram de 76,35; 50,18 e 69,63% para as adições de reforço de 0, 5 e 7%, respectivamente. Como a resina produzida apresentou alta ductilidade, é compreensível que a adição de fibras vá reduzir essa ductilidade, deixando o material um pouco mais frágil. Com a adição de 7% de reforço o material se aproxima mais das características do material sem reforço, isso se deve à natureza do óleo epoxidado produzido, que apresenta alta flexibilidade. O limite de resistência à tração manteve o padrão do ensaio com o óleo epoxidado comercial, com o maior valor para a adição de 5% de reforço. Por se tratar de um material muito dúctil, a força exercida durante os ensaios não era elevada e se mantinha constante por muito tempo, resultando em limites de resistência à tração baixos e aproximados, 3,36; 3,67 e 3,54 (Mpa) para as adições de reforço de 0, 5 e 7%, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÕES

O bagaço de cana-de-açúcar tratado apresentou-se como uma potencial fibra de reforço de compósitos produzidos com resinas de origem vegetal, por ter uma significativa melhora da resistência à tração dos materiais, que é a principal deficiência dos óleos epoxidados vegetais, em relação ao epóxi comercial de derivados do petróleo.

A produção do epóxi de óleo residual de frituras mostrou-se viável, pelas análises feitas pela espectroscopia de infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), uma vez que se observa as mesmas características presentes para o óleo de soja epoxidado comercial. Como a presença do grupo epóxi e sua total remoção com o processo de cura. Sendo o óleo de soja residual de frituras uma potencial matéria-prima para produção de materiais compósitos.

Analisando os percentuais de alongamento de cada material, obtidos pelo ensaio de tração, observa-se que esses valores chegam a ser aproximadamente 6 vezes maior para a resina de óleo residual em relação ao percentual máximo obtido para a resina de óleo comercial epoxidado. Porém o limite de resistência à tração mostra-se mais eficiente para a resina do óleo comercial epoxidado.

Para trabalhos futuros, seria possível fazer uma mistura de diferentes percentuais dos óleos epoxidados e material de reforço, afim de obter um material que possua tanto boa resistência à tração quanto uma boa ductilidade.



## REFERÊNCIAS

AOCS- The American Oil Chemists' Society. *AOCS Official Method Cd 9-57*. Oxirane Oxygen. 2009.

BARBOSA, F. M. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E TÉRMICA DE COMPÓSITOS NATURAIS MODIFICADOS COM CICLODESTRINA E FRIBRAS VEGETAIS UTILIZANDO COM O MATRIZ UMA RESINA

TERMOFICA DGEBA/TETA. 2014. 134 p. Universidade estadual paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, 2014.

CAVALCANTI, W. M. Produção e caracterização de painéis compósitos constituídos de resíduos lignocelulósicos e misturas de resinas epóxi sintética e de óleo vegetal residual epoxidado. Orientador: Leandro Soares de Oliveira. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/52457>. Acesso em: 22 jun. 2023.

JR., William D C. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução. [Rio de Janeiro]: Grupo GEN, 2020. E-book. ISBN 9788521637325. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637325/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

LAGE, F. C. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, TÉRMICA E MECÂNICA DE RESINAS EPÓXI A BASE DE ÓLEOS VEGETAIS PARA APLICAÇÃO EM SOLDAGEM A ARCO EM ELETRODOS REVESTIDOS. 2015. 120 f. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

LAGE, F. C. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, TÉRMICAS E MECÂNICAS DE MATERIAIS COMPÓSITOS CONSTITUÍDOS DE ÓLEO VEGETAL EPOXIDADO E REFORÇADOS COM PARTÍCULAS DE CAPIM ELEFANTE (PENNISETUM SCHUM) E CELULOSE MICRO-CRISTALINA. 2021. 205 p. Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

LEITE, A. M. Materiais baseados em óxido de grafeno como catalisadores na reação de abertura do anel de epóxido de biodiesel. 2017. 43 p. Universidade de Brasília, Instituto de Química, 2017.

MALLIK, P. K. *Composites Engineering Handbook*. 1 st. Ed. New York: CRC PRESS, 1997.

MATERIAIS Sustentáveis. [S. l.], 2023. Disponível em: [http://www.engmateriais.deg.ufla.br/index.php/materiais\\_sustentaveis/](http://www.engmateriais.deg.ufla.br/index.php/materiais_sustentaveis/). Acesso em: 12 jun. 2023.

OUTROS produtos. [S. l.], 23 fev. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/outros-produtos>. Acesso em: 13 jun. 2023.

PAOLIELLO, J. M. M. ASPECTOS AMBIENTAIS E POTENCIAL ENERGÉTICO NO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA. Orientador: Celso Luiz da Silva. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Faculdade de Engenharia da UNESP, Bauru - SP, 2006. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/3/2014/01/paoliello.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.



PROPRIEDADES do bagaço da cana-de-açúcar. [S. l.], 30 abr. 1998. Disponível em: <https://revista.pesquisa.fapesp.br/propriedades-do-bagaco-da-cana-de-acucar/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

RIOS, H. C. S. Avaliação da oxidação de óleos, gorduras e azeites comestíveis em processo de fritura. *Revista Ciência & Saúde*, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 118-126, mai./ago. 2013. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/18434/1/2017\\_AmandaMonteiroLeite\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/18434/1/2017_AmandaMonteiroLeite_tcc.pdf). Acesso em: 30 mai. 2023.

SANCHEZ, E. M. S.; CAVANI, C. S.; LEAL, C. V.; SANCHEZ, C. G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. *Polímeros*, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 194 - 200, 1 out. 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S0104-14282010005000034>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/4f3PvkRNmBdZFwrVJcB38Zt/?lang=pt#ModalHowcite>. Acesso em: 22 abr. 2023.

SILVA, A. S.; SILVA, S. M.; PINO, G. G. D. CONFECÇÃO DE COMPÓSITO EM MATRIZ DE RESINA EPÓXI REFORÇADO COM FIBRA DE CURAUÁ. *Revista Científica Semana Acadêmica*, [S. l.], ano 2018, v. 01, n. 000148, p. 1-14, 26 nov. 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/confeccao-de-composito-em-matriz-de-resina-epoxi-reforcado-com-fibra-de-curaua>. Acesso em: 21 jun. 2023

SILVA, A. M. N. da. Gestão do óleo vegetal residual de fritura visando a sustentabilidade. Orientador: Roberto Rodrigues de Souza. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Dissertação, [S. l.], 2013. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/4069>. Acesso em: 22 jun. 2023.