

UTILIZAÇÃO DO D-LIMONENO COMO UM SOLVENTE NATURAL PARA A CONFECÇÃO DE UM COMPÓSITO DE MDF

Lara Vasconcellos Ponsoni¹

Débora De Pellegrin Campos²

Resumo: O resíduo de MDF (*Medium Density Fiberboard*), proveniente da fresadora router CNC do Centro Universitário UniSatc é geralmente descartado em aterros sanitários. Nesse trabalho o resíduo serviu como matéria-prima para a elaboração de um compósito de MDF. O material compósito usualmente é desenvolvido com solventes orgânicos sintéticos e que de alguma forma podem vir a ser prejudiciais ao meio ambiente e a saúde humana. Sendo assim, apontou-se a ideia de substituir os solventes orgânicos por um solvente natural, o d-limoneno, presente no óleo essencial da casca de laranja. Fez-se a extração desse óleo da casca da laranja, acompanhado da etapa de dissolução do poliestireno expandido e a confecção do compósito. Por fim, a melhor amostra obtida teve seu comportamento comparado com corpos de prova de MDF e do compósito com o solvente *thinner*, através de um ensaio de tração em uma Máquina Universal de Ensaaios. Foi constatado que quando se comparado aos corpos de prova do MDF, que suportaram uma tensão de até 992,9 N, as amostras com o solvente d-limoneno apresentaram uma tensão de até 95,06 N, e curvas de tensão por deformação melhor que as obtidas com os corpos de prova elaborados com o solvente *thinner*, os quais rapidamente sofreram fraturas, devido a tensão máxima de 73,94 N.

Palavras-chave: Resíduo de MDF. Confecção de compósito. Óleo essencial da casca da laranja. Solvente d-limoneno.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos materiais visando a redução do impacto ambiental de resíduos sólidos tem ganhado destaque não apenas na comunidade científica, como também nas indústrias. Isso se dá, pela necessidade de viabilizar destinos sustentáveis e pelas imposições legislativas, como é o caso do Brasil com a Lei n.12305 (2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual define objetivos e diretrizes em busca da redução na geração de resíduos.

¹ Graduanda em Engenharia Química, ano:2022. E-mail: ponsonilara@gmail.com

² Professora do Centro Universitário UniSATC E-mail: debora.campos@satc.edu.br



O consumo de MDF (*Medium Density Fiberboard*), produz o pó como um resíduo imediato e que tende a ser descartado em aterros sanitários. O maior empecilho desse descarte é com relação a composição das chapas desse material, em que além das fibras da madeira, se tem o formaldeído como o solvente que mantém a estrutura unida. O formaldeído é um composto orgânico volátil, produzido a partir do metanol, e que além de danificar o meio ambiente pode ser tóxico a saúde humana (MISUCOCHI, 2020).

O resíduo de MDF proveniente de máquinas como a de fresadora reuter CNC, é usualmente descartado, sem receber outras atribuições. Com isso, surge a alternativa de elaborar um compósito, que compreenda o resíduo unido com poliestireno expandido dissolvido em um solvente orgânico sintético. Os solventes orgânicos normalmente empregados na dissolução do poliestireno expandido são o *thinner*, a acetona, gasolina e ureia-formaldeído. Uma possibilidade de substituição destes, seria o emprego de solventes naturais, como é o caso do d-limoneno.

O d-limoneno é um componente natural que se encontra na casca das frutas cítricas, e após ser extraído atua como um solvente orgânico. Para Pinedo (2021), o d-limoneno é classificado como um hidrocarboneto terpênico, sendo que dentre todos os terpenos que a casca da laranja possui, ele constitui cerca de 90%. Quando este entra em contato com o poliestireno expandido apresenta a capacidade de dissolução desse material.

No Centro Universitário UNISATC, a fresadora router CNC gera uma certa quantidade do pó de MDF usinado que são separados e usualmente destinados para aterros. A ideia de reaproveitar, propicia um propósito maior a esse conteúdo e evita descartes excessivos. Assim, com base em estudos já realizados no Centro Universitário, é proposto avaliar a eficiência do uso de d-limoneno como um solvente orgânico natural na dissolução do poliestireno expandido, e sua atuação como resina aglutinante para a elaboração de um compósito de MDF.

A partir disso, objetiva-se evidenciar a capacidade de dissolução do solvente d-limoneno quando em contato com o poliestireno expandido (isopor), e a possibilidade de viabilizar o desenvolvimento de um compósito de MDF por testes das frações necessárias de d-limoneno e resíduo. Por fim, com a melhor amostra foram efetuados ensaios de tração, para que se concretizem comparações entre os corpos de prova de MDF, *thinner* e o d-limoneno.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo o relatório de 2021 do Industria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2021), o consumo de painéis de madeira atingiu 8,256 milhões de m³, diminuindo consideravelmente a importação. Refletindo um efeito da pandemia, em que o brasileiro passou a querer modificar os seus ambientes, o que atinge diretamente a produção dos painéis de madeira que tende a se manter aquecida ao longo dos próximos anos.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Na definição de resíduos sólidos, estão inclusos os resíduos industriais, os hospitalares, os agrícolas, das atividades minerárias e ainda os coletados pelo serviço de limpeza pública. Sendo que, de acordo com a PNRS (BRASIL, 2010), se estabelece que os resíduos devem ser primeiramente gerenciados para fontes de renda, e somente em caso de inviabilidade econômica ser descartado como um rejeito.

Aos resíduos sólidos cabe classificar, e gerenciar para que receba um destino ideal que não seja prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente. As fiscalizações ambientais pressionam as empresas privadas e os municípios a tomarem medidas de enfrentamento e minimização de rejeitos. Em vista de que, quando surgem novas iniciativas e projetos que favorecem esse tema, se tem como um dos benefícios além do ambiental, o retorno econômico (PEREIRA, 2019).

2.1.1 Resíduos de MDF

Os painéis de MDF são constituídos por fibra de madeira, usualmente advinda de Eucáliptos e Pinos. As fibras são aglutinadas pela resina ureia formaldeído. O pó resultante do corte se queimado, libera gases nocivos, mesmo que feita sob ambientes controlados de caldeiras e fornos. Alguns estudos para o reaproveitamento desse resíduo já vêm sido aplicados, como a queima controlada para gerar energia elétrica a vapor. A elaboração de novos materiais, tais como tijolos, massas cerâmicas e novos painéis (MACHADO, 2021).

2.2 SOLVENTES ORGÂNICOS

Os solventes orgânicos são usualmente substâncias líquidas empregadas na diluição ou remoção de outras substâncias. Além disso, são amplamente utilizados como desengordurantes e redutores de viscosidade, sendo aplicados em mistura com tintas, adesivos e produtos agrícolas. Os solventes são classificados conforme a sua função, características físico-químicas e função química, sendo subdivididos em grupos (MEDEIROS; SANTOS, 2020).

2.2.1 Solventes verdes e solventes sintéticos

Os solventes orgânicos mais implementados são provenientes do petróleo, como é o caso do benzeno, tolueno, acetona, gasolina e entre outros. Estes, necessitam de descarte específico para que sofra um tratamento adequado e não danifique o meio ambiente (LÓPEZ et al., 2014). Para os solventes sintéticos, características como volatilidade e valores elevados de toxicidade e inflamabilidade geram a procura por novos solventes naturais, os ditos solventes verdes (SANTANA et al., 2021).

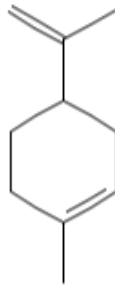
Com a iniciativa da química verde, a necessidade da implementação de alternativas que visam reduzir danos ambientais e a saúde dos seres vivos. A preocupação com a inserção dos chamados solventes verdes, os quais devem apresentar características biodegradáveis e de fonte renovável. O aspecto renovável surge devido ao fato de que a maioria dos solventes orgânicos são derivados do petróleo, sendo assim, os solventes verdes devem ser advindos de fontes renováveis (BORGES, 2019).

2.2.2. Solvente d-limoneno

A molécula d-limoneno (Fig. 1), com o nome definida pela IUPAC como *1-metil-4-isopropenilciclohex-1-eno*, é um hidrocarboneto cíclico insaturado que pertence a família dos terpenos. Os terpenos são definidos como alcenos naturais, por isso apresentam ligações duplas entre carbonos, classificado de acordo com tamanho de sua cadeia carbônica. São amplamente aplicados na indústria de

cosméticos e perfumaria, justamente por ser um composto majoritário dos óleos essenciais (OLIVEIRA; BICAS, 2016).

Figura1: Estrutura molecular do d-limoneno.



Fonte: PubChem.

De forma molecular $C_{10}H_{16}$, é o componente com maior presença na casca da laranja e nos óleos essenciais extraídos de frutas cítricas. Na análise de Gomes et al. (2020), para identificação dos 15 componentes presentes no óleo extraído da casca de um tipo de laranja (*Citrus sinensis* (L) Osbeck). O d-limoneno representa 81,5% de todos os componentes presentes nesse tipo de laranja. Estes valores se assemelham a porcentagens da substância encontradas em outras frutas cítricas, tais o limão, a lima, e a tangerina.

As aplicações do solvente d-limoneno incluem, resinas, síntese de outros compostos químicos, uso em borracha, tintas, agentes dispersantes para óleo. A sua ampla gama de utilização se dá pela sua baixa solubilidade em água, e a tendência a polimerização e auto oxidação (MARÓSTICA; PASTORE, 2007).

2.3 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO

Segundo os estudos de Silveira et al. (2012), os componentes voláteis das plantas, denominados de óleos essenciais, podem ser isolados ou extraídos por alguns métodos principais. No caso do d-limoneno em escala tanto industrial quanto laboratorial é indicada a sua extração pelo método do arraste a vapor justamente por se tratar de um solvente com volatilidade considerável. Podendo ainda ser extraído pelo método de hidrodestilação, em que também é possível obter o óleo, porém é empregado usualmente em escala laboratorial.

A destilação por arraste a vapor é uma operação unitária em que a extração se baseia na diferença de volatilidade dos componentes da planta no vapor d'água. A extração se inicia em um recipiente extrator, onde o material vegetal é inserido, sendo que o vapor d'água atravessa os tecidos das plantas, vaporizando os óleos essenciais contidos nas glândulas destes e levando para o topo do vaso extrator. Após o condensador se forma uma mistura de água com óleo essencial que serão encaminhados a um vaso separador, chamado de vaso florentino, resultando na separação da fase oleosa da fase aquosa pelas diferenças de densidade e polaridade. (RIBEIRO, 2016).

De acordo com Ribeiro (2016), a hidrodestilação, é um método antigo e comum, em que o material vegetal permanece em contato com a água em ebulição, o vapor proporciona a abertura das paredes celulares e ocorre a evaporação do óleo que está presente nas células da planta. O vapor, que consiste na mistura de óleo e água, passa por um condensador, onde ocorre seu resfriamento e, ocorre a formação de duas fases líquidas que podem ser separadas, como a água e o óleo são imiscíveis.

2.4. DISSOLUÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

Uma das maneiras de reciclar o poliestireno expandido (EPS), é por meio da sua dissolução com solventes orgânicos. É um processo físico, que não altera a estrutura química do polímero, e envolve a difusão do solvente e o desemaranhamento da cadeia polimérica. Quando o poliestireno expandido (EPS) entra em contato com o solvente, acontece o inchamento pela difusão das moléculas do solvente em direção ao polímero, produzindo um gel em estado de borracha. Com a entrada de mais solvente, o gel inchado se desintegra formando uma solução em que as moléculas do polímero se encontram solvatadas (CELLA, 2017).

2.4.1 Dissolução de poliestireno expandido com *thinner*

O *thinner* é uma mistura concebida para execução de limpezas, que apresenta quatro diferentes materiais em sua composição, sendo que a maior parte do produto é composto pelo álcool etílico (10-37%) e pelo tolueno (10-30%), seguido por uma quantidade de hidrocarbonetos (10-18%) e o acetato de etila (10-15%)



(FISPQ GOLDEN COR, 2015). Para Lacombe (2015), o *thinner* apresenta uma boa condição de dissolução para o poliestireno expandido. Como uma cola de fácil trabalhabilidade, de volatilização rápida e odor reduzido quando comparada ao emprego da gasolina como solvente.

2.4.2 Dissolução de poliestireno expandido com d-limoneno

Como visto anteriormente, o EPS é dissolvido com solventes orgânicos, e o d-limoneno é classificado como um solvente orgânico verde. Assim, após entrar em contato com o solvente, o polímero se transforma em uma espécie de gel semelhante a uma borracha (CELLA, 2017).

A dissolução do poliestireno expandido com d-limoneno é objeto de estudos de diversos projetos ao redor do mundo. Sendo um dos mais conhecidos, o “*Orange R-net*” da Empresa Sony, que desde 1994 desenvolve o método ecologicamente correto de reciclagem do EPS, a partir da coleta do material do consumidor. Esse método está implementado em uma planta de reciclagem em larga escala na Empresa (SONY, 2003).

2.5. CONFECÇÃO DE COMPÓSITOS

Um compósito é um material multifásico, formado pela combinação de propriedades dos materiais constituintes. Sendo que para ser caracterizado como um compósito, deve ser formado por dois ou mais materiais insolúveis e que mantém sua identidade no final (POLETTI, 2017).

De acordo com os estudos de Barket (2018), na elaboração de um compósito, é necessário ter os resíduos previamente selecionados, com a granulometria desejada. O resíduo é anexado a uma resina aglutinante e prensado para obter a sua compactação. Sendo que dependendo do material empregado e da resina aglutinante escolhida, haverá variações nas propriedades físicas e mecânicas do material, algo que será o fator determinante para a aplicação prática do compósito.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

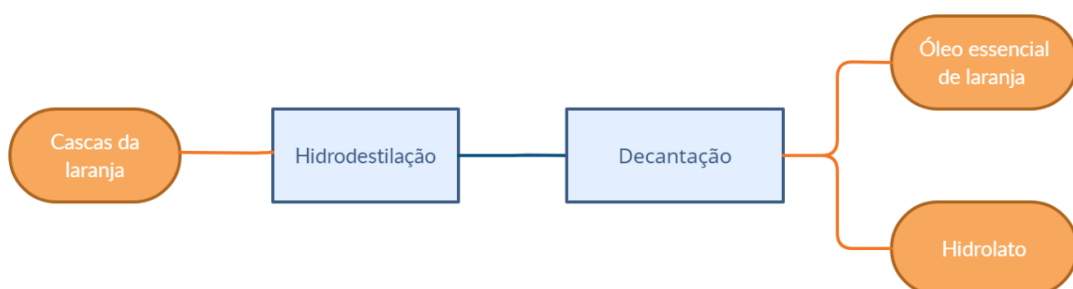
Neste capítulo serão apresentados os métodos e as quantidades necessárias para a execução do procedimento. O desenvolvimento da metodologia se deu com base nos estudos de Tavares et al. (2018) para a extração, e Lacombe (2015) para a formação do compósito. A realização do procedimento de hidrodestilação e confecção do compósito se deu no Laboratório de Química II, do Curso de Engenharia Química do Centro Universitário UNISATC. E os ensaios mecânicos se procederam no Laboratório de Caracterização Microestrutural (LACAMI) da UNISATC.

3.1 EXTRAÇÃO DE D-LIMONENO DA CASCA DA LARANJA

A metodologia para a extração do óleo essencial da casca da laranja, segue os estudos de Tavares et al. (2018). A espécie de laranja escolhida devido a maior concentração de d-limoneno, quando se comparada as outras frutas cítricas, foi a *Citrus Sinensis*, popularmente conhecida como laranja de umbigo ou laranja-bahia (GOMES et al., 2020).

O fluxograma da Fig. 2, contém um esquema que demonstra as etapas necessárias para a extração por hidrodestilação. Em que a casca de três laranjas (equivalente a 100 gramas) foi pesada e liquidificada com 200 ml de água destilada. Essa solução liquidificada foi transferida para um balão de destilação de 500 ml e posicionada no equipamento composto pelo conjunto de vidrarias responsáveis pela hidrodestilação.

Figura 2 – Fluxograma para a extração do óleo essencial da laranja.



Fonte: Da autora (2022)

O equipamento de hidrodestilação montado para a extração do óleo essencial da laranja pode ser visualizado na Fig. 3. A aparelhagem é constituída pela manta de aquecimento, condensador, balão de fundo redondo de 500 ml, encaixe, rolha, termômetro, mangueiras e suporte universal.

Figura 3 – Equipamento para a hidrodestilação em laboratório.



Fonte: Da autora (2022)

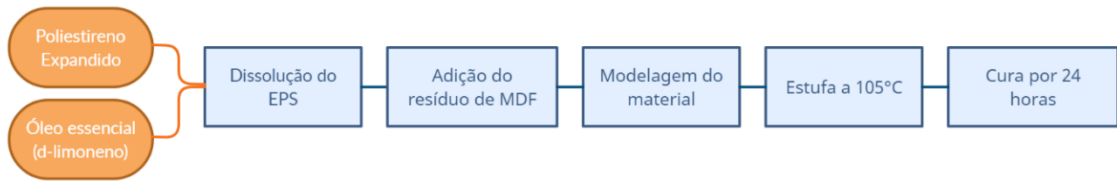
Após 2 horas de extração, a mistura obtida foi submetida a decantação em uma ampola de decantação para que o óleo fosse separado. No momento que o óleo estava visualmente separado da água mediu-se a quantidade obtida no processo que deverá ser cerca de 5 ml do óleo essencial. O óleo obtido pelo processo de hidrodestilação contém o solvente d-limoneno em sua composição, que pode ser identificado pelo aroma característico de frutas cítricas e que é responsável pelas etapas subsequentes.

3.2 CONFECÇÃO DO COMPÓSITO DE MDF

A confecção do compósito teve como base os estudos de Lacombe (2015). Em que, inicialmente, o resíduo advindo da fresadora router CNC foi peneirado com uma peneira de malha 16, a fim de manter apenas a granulometria desejada, já que o resíduo inicial apresenta algumas lascas e cavacos de MDF que não foram utilizados para o procedimento.

O fluxograma presente na Fig. 4 demonstra o procedimento que foi dado sequência para a elaboração do compósito. Em que, inicialmente são separados 20 ml de óleo essencial em uma proveta graduada para que se possa adicionar ao EPS.

Figura 4 – Fluxograma para a confecção do compósito.



Fonte: Da autora (2022)

O poliestireno expandido foi reduzido a pedaços menores, sem tamanho ou forma definida, com uma quantidade de 8 g e inserido em um béquer de 2 L para que fosse efetuada a pesagem do conjunto. Em seguida, o solvente orgânico d-limoneno foi despejado sob o EPS para que a dissolução pudesse ter início. Conforme o EPS se dissolvia, o material começou a adquirir uma propriedade aglutinante, que permitiu a adição de 6 g do resíduo de MDF.

Após a moldagem do novo material com um bastão de vidro sob uma placa de vidro, este foi inserido na estufa em uma temperatura de 105 °C, por cerca de 2 horas. Logo, foi retirado da estufa e posicionado em um desumidificador por onde permaneceu de um dia para o outro para que se tornasse possível desagregar as placas de vidro do compósito de MDF já formado.

3.3 COMPARAÇÃO COM UMA AMOSTRA DE *THINNER* E MDF ATRAVÉS DE UM ENSAIO DE TRAÇÃO

Em vista de que o *thinner* foi definido como um solvente eficaz para a dissolução de EPS por Lacombe (2015), este foi usado como base para o procedimento de comparação. A amostra de *thinner* é composta de 30 ml de *thinner* com 30 ml de água para dissolver 10 g de isopor com 8 g do resíduo de MDF. Após a mistura a amostra foi inserida na estufa em uma temperatura de 105°C por 1 hora e posicionada em um desumidificador por 24 horas.

Assim, a partir das melhores amostras obtidas para cada um dos solventes, e de quatro amostras de MDF, foi realizado um ensaio de tração. Em que, todos os corpos de prova cortados na máquina de corte a laser foram submetidos a uma Máquina Universal de Ensaio para tração do material, gerando gráficos que possibilitam a comparação de força por deformação específica. Na Tab. 1, os corpos de prova foram nomeados, contendo suas respectivas composições.

Tabela 1 – Corpos de prova e suas composições.

Amostras	THINNER	D-Limoneno	Água	Isopor	Resíduo de MDF	MDF
CP1	-	-	-	-	-	6,15 g
CP2	-	-	-	-	-	6,29 g
CP3	-	-	-	-	-	6,25 g
CP4	-	-	-	-	-	6,17 g
CP5	-	-	-	-	-	6,34 g
CP6	30 ml	-	30 ml	10 g	8 g	-
CP7	30 ml	-	30 ml	10 g	8 g	-
CP8	30 ml	-	30 ml	10 g	8 g	-
CP9	30 ml	-	30 ml	10 g	8 g	-
CP10	30 ml	-	30 ml	10 g	8 g	-
CP11	30 ml	-	30 ml	10 g	8 g	-
CP12	30 ml	-	30 ml	10 g	8 g	-
CP13	30 ml	-	30 ml	10 g	8 g	-
CP14	30 ml	-	30 ml	10 g	8 g	-
CP15	-	20 ml	-	8 g	6 g	-
CP16	-	20 ml	-	8 g	6 g	-

Fonte: Da autora (2022)

Com as amostras finalizadas, o material foi encaminhado a máquina de corte a laser da instituição para desenvolver os corpos de prova. Os corpos de prova com MDF e com d-limoneno apresentaram dimensões de 140 mm de comprimento e 3 mm de espessura. Enquanto os corpos de prova com *thinner* ficaram com 120 mm de comprimento para 3 mm de espessura. A Fig. 5, apresenta os corpos de prova das amostras de *thinner*, d-limoneno e MDF.

Figura 5 – Corpos de prova.



Fonte: Da autora (2022)

A partir dos corpos de prova, o material foi posicionado em uma máquina universal de ensaios mecânicos. A Fig. 6 apresenta o posicionamento da amostra na

máquina de tração, neste caso de um corpo de prova de MDF, já rompido em um ponto inferior da amostra.

Figura 6 – Corpo de prova posicionado na máquina de tração.



Fonte: Da autora (2022)

O ensaio objetiva gerar valores para fins de construção dos gráficos e comparação dos comportamentos de cada material quanto a tensão e deformação. Como resultado, foram gerados valores de força (N) por deformação específica (mm) para cada uma das amostras. A partir dos valores obtidos, tornou-se possível calcular a tensão ou pressão (Mpa), através da Eq. (1), relacionando força (N) e da área (mm²).

$$P = \frac{F}{A}$$

(1)

Onde:

P = pressão ou tensão (Mpa);

F = força aplicada (N);

A = área (mm²).

Para encontrar o valor de deformação específica (mm/mm) com a Eq. (2), se fez uso dos dados do comprimento inicial (mm) da amostra, e da deformação atingida nos testes.



$$\epsilon = \frac{\varepsilon}{l_0}$$

(2)

Onde:

ϵ = deformação específica (mm/mm);

ε = deformação (mm);

l_0 = comprimento inicial (mm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no procedimento experimental, os testes foram desenvolvidos de acordo com os resultados que foram se apresentando ao longo dos ensaios.

4.1 EXTRAÇÃO POR HIDRODESTILAÇÃO

A realização do processo de hidrodestilação ocorreu de forma mais lenta do que o esperado. Em que, para a obtenção dos 30 ml estabelecidos como o necessário para o primeiro teste, tomou cerca de 3 semanas. Assim, foram efetuadas de 2 a 3 extrações diárias para que houvesse um maior rendimento que permitisse a alternância entre as extrações e os ensaios de confecção do compósito. Sendo que para cada extração se obteve uma média de 2 ml do óleo para 100 ml de hidrolato, conforme consta na Fig. 7.

Figura 7 – Extrato de uma hidrodestilação da casca da laranja.



Fonte: Da autora (2022)

O óleo essencial permaneceu conservado em geladeira durante os dias de extração, para evitar possíveis evaporações. Até que se atingisse os 20 ml do óleo essencial previstos para o processo de dissolução do poliestireno expandido (EPS).

4.2 CONFECÇÃO DO COMPÓSITO COM SOLVENTE D-LIMONENO

Para o desenvolvimento do compósito de MDF, houve uma redução da quantidade do óleo essencial de 30 para 20 ml. Em que, foi constatado que com 20 ml de volume, ocorreria a dissolução completa do poliestireno expandido, sem excessos de reagente após o processo. As Fig. 8 apresenta o EPS sendo dissolvido pelo óleo essencial em um béquer com o auxílio de um bastão de vidro.

Figura 8 – Dissolução do EPS com o d-limoneno.



Fonte: Da autora (2022)

O material que se formou após a dissolução apresentava forte características aglutinantes, que facilitaram a união com o resíduo, mas tornaram a modelagem mais dificultosa. A Fig. 9 demonstra a modelagem da amostra, já com o resíduo de MDF inserido.

Figura 9 – Modelagem da amostra.



Fonte: Da autora (2022)

Com o compósito já modelado, a amostra foi encaminhada a estufa na temperatura de 105 °C. Em que se observou a necessidade de inserir algum material que soltasse a amostra sem que essa fosse danificada durante a descolagem da forma. O procedimento foi repetido usando, papel alumínio, papel filme e papel manteiga, como ilustra a Fig.10.

Figura 10 – Testes com amostras sob diferentes superfícies.



Fonte: Da autora (2022)

Com base nos testes contidos na Fig.10, foi possível determinar que o melhor comportamento foi a amostra que foi posicionada para secagem com o papel manteiga. A definição do melhor comportamento se deu com a facilidade para descolagem após a cura do compósito. Assim, se deu sequência as amostras com a proporção padronizada, como na Fig.11, agora fazendo uso do papel manteiga para facilitar a descolagem do material após a secagem e a cura.

Figura 11 – Amostra finalizada do compósito.



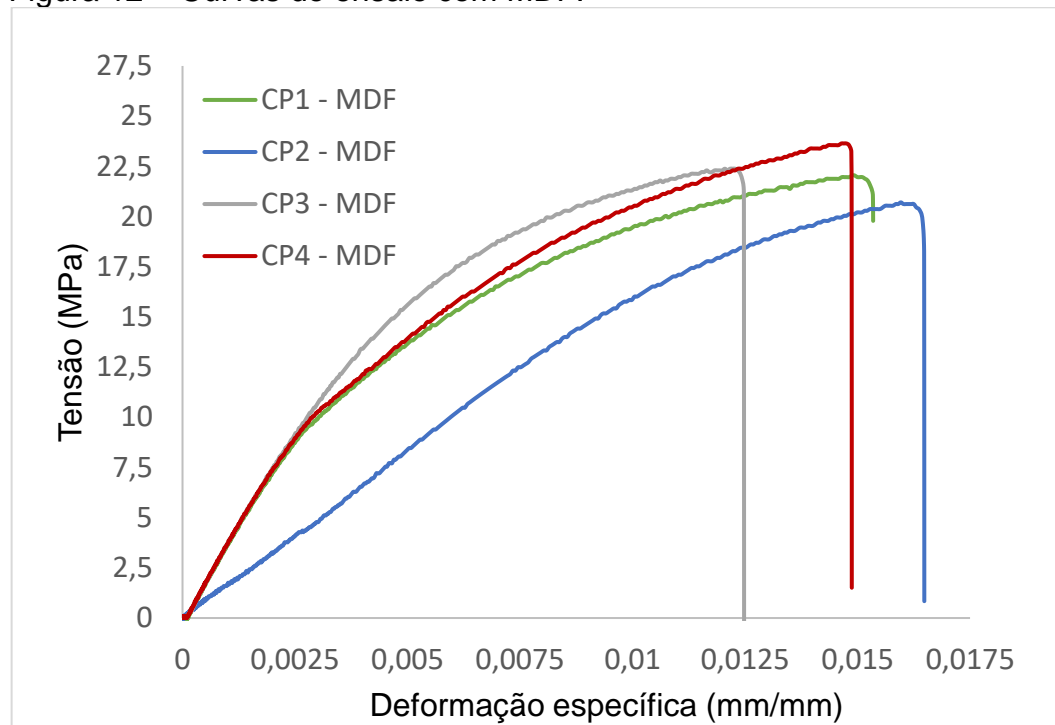
Fonte: Da autora (2022)

As duas melhores amostras confeccionadas com o reagente d-limoneno, foram encaminhadas ao corte a laser, cortando para a forma de seção retangular, possibilitando a efetuação dos ensaios mecânicos em cada um dos corpos de prova cortados para tal.

4.3 ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS COMPORTAMENTOS DAS AMOSTRAS

Na máquina universal de ensaios, os testes de tração se sucederam, sendo que algumas amostras de *thinner* racharam no ato de posicionar o corpo de prova no equipamento. Com os valores calculados para a tensão e para a deformação específica, os gráficos foram plotados. Na Fig. 12, tem-se as curvas ilustrando os quatro corpos de prova do MDF que foram submetidos ao ensaio.

Figura 12 – Curvas do ensaio com MDF.

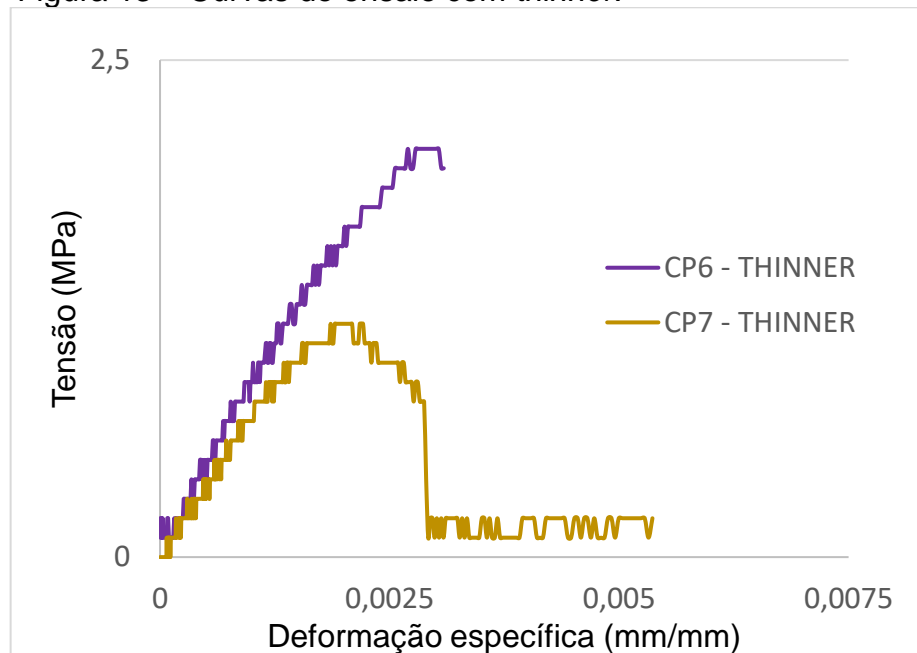


Fonte: Da autora (2022)

O ensaio com MDF, o qual foi realizado com o intuito de servir como parâmetro de curvas para os outros compósitos, apresentou comportamentos distintos. O corpo de prova 5 (CP5) não gerou curva, pois não suportou o posicionamento no aparelho de ensaio, por isso não foi apresentado no gráfico. O corpo de prova 2 (CP2), apresentou a maior deformação específica, chegando a 0,0145 (mm/mm).

No corpo de prova 1 (CP1), a tensão máxima alcançada foi de 869,6 N, enquanto o corpo de prova 3 (CP3), atingiu 940,1 N. Sendo que o corpo de prova 4 (CP4), teve o seu rompimento sob uma força de 992,9 N, e foi a amostra que suportou a maior tensão. Portanto, é possível constatar que o próprio MDF apresenta variações entre suas amostras. Em seguida, foram efetuados os testes com os corpos de prova do *thinner*, conforme a Fig. 13.

Figura 13 – Curvas do ensaio com *thinner*.

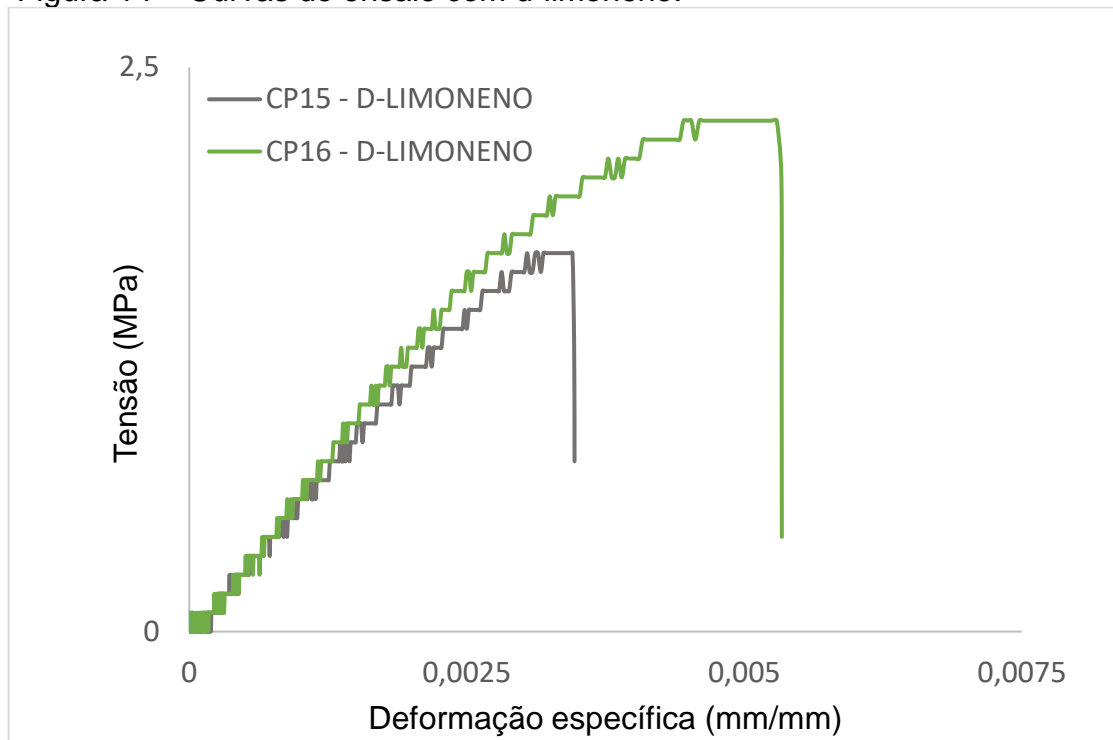


Fonte: Da autora (2022)

O comportamento obtido nas amostras com o reagente *thinner*, foi inferior ao do MDF e ao do d-limoneno, em que o máximo de força que o corpo de prova 6 (CP6) suportou foi de 73,94 N. Enquanto o corpo de prova 7 (CP7) suportou apenas 42,25 N de força. O restante das amostras, CP8 à CP14, sofreram fraturas ao serem posicionadas, impossibilitando a geração de resultados.

De acordo com os estudos de Oliveira (2015), pode-se constatar que a fragilidade de compósitos com matriz polimérica se dá pela ausência de homogeneização completa do material. Ou seja, a porosidade que os compósitos apresentam entre a sua constituição polimérica, neste caso o EPS, se justifica pela ausência dessa resina aglutinante em alguns pontos do material. A Fig. 14, traz as curvas do ensaio realizado com o reagente d-limoneno.

Figura 14 – Curvas do ensaio com d-limoneno.



Fonte: Da autora (2022)

As curvas resultantes dos ensaios realizados com os corpos de prova do solvente d-limoneno, demonstraram uma resistência maior a tração do que as amostras com o solvente *thinner*. Sendo que a força máxima que os corpos de prova com d-limoneno suportaram foi de 95,06 N (CP16), com a capacidade de suportar 21,12 N a mais de tensão do que o *thinner*. Entretanto, quando se comparado ao comportamento do MDF, que suportou uma força máxima de 992,9 N, a resistência é visivelmente inferior.

A análise gráfica demonstrou que nenhum dos materiais apresentaram deformação plástica, apenas deformação elástica e escoamento. Essa propriedade de deformação elástica e ausência da deformação plástica é comum a madeira e seus derivados, como apontaram os estudos de Melo e Menezzi (2010). A classificação como frágil, é devido ao rompimento rápido e a fratura dos corpos de provas terem uma superfície áspera e inclinada.

Quanto a matriz polimérica com falta de homogeneização, que está associada a fragilidade do material, conforme os estudos de Oliveira (2015). A Fig. 15-A com o solvente *thinner* e a Fig.15-B com o solvente d-limoneno, ilustram essa porosidade em leitura macroscópica de 50 vezes.

Figura 15-A – Captura microscópica de amostra com *thinner*.

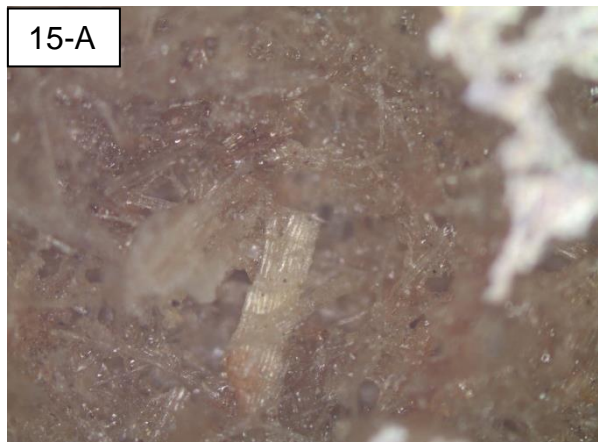
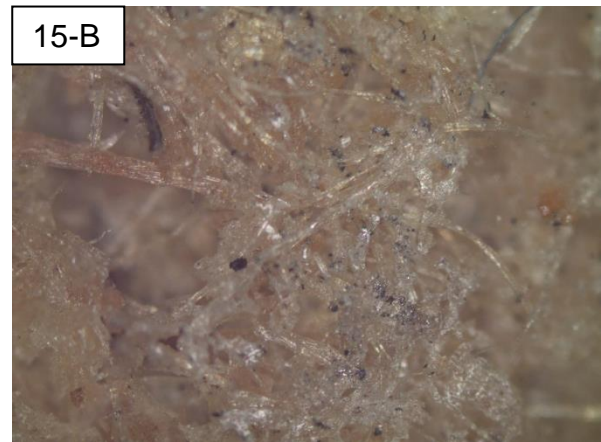


Figura 15-B – Captura microscópica de amostra com d-limoneno.



Fonte: Da autora (2022)

As amostras de MDF cortadas para servir de parâmetro, sustentaram uma força máxima entre 869,6 e 992,9 N. Para efeitos comparativos, os corpos de prova do *thinner* e do d-limoneno, sustentaram entre 42,25 e 95,06 N. Demonstrando que tanto a amostra com solvente *thinner*, quanto a com solvente d-limoneno sustentam, aproximadamente, um peso dez vezes menor que o MDF.

5 CONCLUSÃO

Com a realização da hidrodestilação, constatou-se que para extrair o óleo da casca da laranja, o rendimento por extração é pequeno. Fato que colaborou para a demora na realização do procedimento experimental, porém os resultados foram positivos com relação a eficácia da dissolução do poliestireno expandido, comprovando a presença das moléculas de d-limoneno no óleo essencial extraído.

Evidenciou-se a utilidade do óleo da casca de laranja para confecção de um compósito com resíduo de MDF. O material final apresentou características aparentes semelhantes as amostras com o solvente *thinner*, com um aspecto de maior aglutinação durante a modelagem. A avaliação comparativa através dos ensaios de tração, demonstrou que o comportamento do corpo de prova com d-limoneno suporta uma força superior as amostras com solvente *thinner*, aspecto atribuído a quantidade dos poros nos dois materiais.

Entretanto, quando se comparado ao MDF, o desempenho dos dois compósitos foi bastante inferior. Então para situações que exigissem este aspecto de



resistência, ambos os compósitos não possuiriam viabilidade. Todavia, com o aprimoramento das técnicas de confecção, como através do uso de uma prensa mecânica, poderão produzir comportamentos de maior semelhança com o as placas de MDF. Com o compósito devidamente prensado, poderá ser realizados ensaios de compressão sob os corpos de prova, possibilitando a análise de quanto o material suportaria sob a sua superfície.

Em vista disso, existe a necessidade da continuação da pesquisa, para que sejam constatadas maiores aplicações do compósito. Com o aprimoramento de técnicas e realização de mais testes, será possível revelar aplicações, sejam estas semelhantes ao MDF de fato, ou com valores mais decorativos.

REFERÊNCIAS

BARKERT, Edinho Eduardo. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de eucalipto e de bagaço do malte.

2018. 78 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) –

Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2018. Disponível em:

<<https://www.maratona.univates.br/bdu/handle>> Acesso em: 14 abr. 22.

BRASIL; Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília. 2 ago. 2010.

BORGES, Rodrigo Silva Córdula. Novos solventes verdes baseados no cloreto de benzalcônio: síntese e avaliação do potencial plastificante. 2019, 52 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em:

<<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15605/1/RSCB23052019.pdf>> Acesso em: 14 abr. 2022.

CELLA, Avaliação da viabilidade técnica de processos de reciclagem de espuma semirrígida de poliestireno por meio da dissolução. 2017. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina. 2017.

Golden Indústria Catarinense de Tintas LTDA. Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ THINNER 2000 LIMPEZA. 2015.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Cenários, Edição 68 – 3º trimestre 2021.

Disponível em: <<https://www.iba.org/dados-estatisticos>> Acesso em: 21 mar. 2022.

LACOMBE, Jane Eliza de Almeida. Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil. 2015. 217 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) –

Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em:



<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde08032016100536/publico/Jan eElizadeAlmeidaLacombe_versaocorrigida.pdf> Acesso em: 06 abr. 2022.

LÓPEZ R., Daniela; RHENALS M., Paula; TANGARIFE Z., María A.; VEGA O., Katherine; RENDÓN C., Leidy; **Tratamiento de residuos de poliestireno expandido utilizando solventes verdes**. Revista Investigaciones Aplicadas, ISSN 2011-0413, Medellín – Colombia. Vol. 8, n. 1 (2014) jan/jun, p. 1-9. Disponível em: <<http://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas>> Acesso em: 06 abr. 2022.

MACHADO, Eduardo Correa. **Reutilização do pó de MDF como agregado na produção de blocos maciços para alvenaria**. 2021. 13 f. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas – FEPESMIG. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/2258>> Acesso em: 25 mar. 2022.

MARÓSTICA Júnior Mário Roberto; PASTORE, Gláucia Maria. **Biotransformação de limoneno: uma revisão das principais rotas metabólicas**. Química Nova [online]. 2007, v. 30, n. 2, pp. 382-387. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200027>>. 13 Mar 2007. ISSN 1678-7064. Acesso em: 30 mar. 2022.

MEDEIROS, Gabriela Sabino; Santos, Gleyce Teixeira Correia. **Estudo do solvente orgânico etilbenzeno**. Revista científica, v.1, n.1, 2020.

MISUCOCHI, Luciana Kurack da Silva. **Análise da viabilidade da produção de compósito constituído de resíduo de MDF e resina vegetal**. 2020. 100 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

MELO, Rafael Rodolfo de; MENEZZI, Cláudio Henrique Soares Del. **Comportamento reológico da madeira e derivados**. Ciência da Madeira, Pelotas, v. 01, n. 01, p. 25-40, 2010.

OLIVEIRA, Lorena; BICAS, Juliano. **TERPENOS, AROMAS, E A QUÍMICA DOS COMPOSTOS NATURAIS**. São Paulo - SP.: Publicações Sbjq, v. 39, n. 2, 01 maio 2016. Trimestral. p. 120-130. Disponível em: <http://qnesc.sbjq.org.br/online/qnesc39_2/04-QS-09-16.pdf> Acesso em: 28 mar. 2022.

OLIVEIRA, Mariana Lima de. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos vegetal proveniente do sabugo de milho**. 2015. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/21043/1/MarianaLimaDeOliveira_DISSERT.pdf> Acesso em: 24 out. 2022.

PEREIRA, Eduardo Vinicius. **Resíduos sólidos**. Editora Senac São Paulo. eBook, 2019.



PINEDO, Jhonatan Junior Pacaya. **Aprovechamiento de residuos de poliestireno expandido y cáscara de naranja para elaborar un barniz ecológico para madera em iquitos.** 2021. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Ambiental) – Universidad Científica del Perú, San Juan Bautista, 2021.

POLETTO, M. Compósitos termoplásticos com madeira - uma breve revisão. **Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 42–48, 2017. Disponível em: <<https://sou.uces.br/revistas/index.php/ricaucs/article/view/46>>. Acesso em: 14 abr. 2022.

GOMES; P.R. Barros, Leite Da Costa Júnior, D.A. de Sousa, G. Oliveira-Everton, J. Batista-Reis, H. Costa-Louzeiro, M. Alves-Fontenele, M.d.L. de Paula, A.C. de Freitas, V.K. Lima-Hunaldo, V.E. Mouchrek- Filho, **Estudo da composição química, toxicidade e atividade moluscicida do óleo essencial Citrus sinensis (L.) Osbeck**, Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm., 49(1), 28-43 (2020).

PUBCHEM. Limonene, (+)-. Open Chemistry Database. Disponível em:<<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/440917> >. Acesso em: 28 mar. 2022.

RIBEIRO, Edilene Carvalho Gomes. **Atividade moluscicida de óleos essenciais de plantas aromáticas da região Amazônica maranhense.** 2016. 89 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambietne) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016. Disponível em: <<https://tedebc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/1393/2/EdileneRibeiro.pdf>> Acesso em: 05 abr. 2022.

Santana, Ana P. R. et al. **Solventes eutéticos naturais profundos (NADES) no preparo de amostras de rocha fosfática e suplemento mineral para determinação elementar por técnicas de plasma.** Química Nova [online]. 2021, v. 44, n. 6, p. 689-695. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170723>>. ISSN 1678-7064. Acesso em: 06 abr. 2022.

SILVEIRA, Jeniffer Cristina;BUSATO, Nathália Viégas; COSTA, Andréa Oliveira; JUNIOR, Esly Ferreira. **Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais.** ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 2012.

SONY. Orange R-net: Sony High-quality Foamed Polystyrene Recycling System. Tokyo, Japan, 2003.

TAVARES, Nathália Stefane Gomes; SILVA, Letícia de Melo Ferreira; SILVA, Emilia Juliana Ferreira da; NEVES, Henrique John Pereira. **Produção de repelente líquido, difusor e sabonete com óleo da casca de laranja: extração de óleo d-limoneno visando o aproveitamento e redução do resíduo.** Livro: Resíduos sólidos: Tecnologias e Boas Práticas de Economia Circular. Cáp. 2; p. 176-183. Ed. 1. Ano: 2018. Disponível em:<https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/2415/1/livro_tecnologiasboaspraticas.pdf#page=178> Acesso em: 26 de abr. 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Marcos e Giana, e ao meu irmão Dimitri, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Gratidão a minha orientadora Débora, por todo o suporte, dedicação e carinho que me inspiraram muito. Aos amigos do laboratório Ana Paula, Otávio e João Luís que estiveram comigo e me apoiaram durante todas as etapas. Um agradecimento, as minhas amigas Laíse, Raiane e Nicole, por toda a paciência, compreensão e incentivos.

LISTA DE SÍMBOLOS

P	[Mpa]	Tensão ou pressão
F	[N]	Força aplicada
A	[mm ²]	Área
ϵ	[mm/mm]	Deformação específica
ε	[mm]	Deformação
l_0	[mm]	Comprimento inicial