

Compósitos e nanocompósitos de polipropileno ou poli (acetato de vinila) reforçados por fibras lignocelulósicas: uma revisão sistemática

Composites and nanocomposites of polypropylene or polyvinyl acetate reinforced by lignocellulosic fibers: a systematic review

Marina Borsuk Fogaça¹, Heloise Sasso Teixeira², Fábio Furtado³, Thais Helena Sydenstricker Flores-Sahagun⁴, Talita Szlapak Franco⁵

¹Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná, campus Politécnico, Curitiba, Paraná. E-mail: marinaborsuk@hotmail.com;

²Graduação em Engenharia Química pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná e Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Paraná, campus Politécnico, Curitiba, Paraná. E-mail: teixeira.hes@gmail.com;

³Graduação em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná, campus Curitiba, Paraná e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná, campus Politécnico, Curitiba. E-mail: fabio.furtado@ufpr.br;

⁴Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Fundão, Cidade Universitária, Rio de Janeiro e Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Macromoléculas, Cidade Universitária, Rio de Janeiro. E-mail: tsydenstricker@gmail.com;

⁵Graduação em Tecnologia em Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba e Doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Paraná, campus Politécnico, Curitiba. E-mail:talitaszlapak@gmail.com.

Resumo-Este artigo apresenta uma revisão sistemática sobre compósitos e nanocompósitos de matriz de polipropileno ou poli(acetato de vinila), reforçados por diferentes tipos de fibras lignocelulósicas, comparando suas propriedades com as das matrizes poliméricas. A seleção das publicações trabalhos foi realizada por meio de critérios PICO (População, Intervenção e Comparação) e de um protocolo de revisão sistemática na área de Ciência e Engenharia de Materiais. Conforme critérios de exclusão, após a triagem dos dados, foram selecionados das bases de dados Google Scholar, Scopus e Web of Science, 4, 6 e 24 trabalhos, respectivamente. Além disso, foram acrescentadas outras publicações relacionadas ao tema. Esta revisão levanta indagações para novas pesquisas, com novos aspectos, inclusive com o uso de outros agentes compatibilizantes concorrentes ao polipropileno maleatado - PPMA.

Palavras-chave: Adesão fibra e matriz; Propriedades termomecânicas; Escala nanométrica; Revisão Sistemática.

Abstract-This paper presents a systematic review of polypropylene or poly(vinyl acetate) matrix composites and nanocomposites, reinforced with different types of lignocellulosic fibers, comparing their properties with those of their polymeric matrices. The selection of publications was carried out using PICO criteria (Population, Intervention and Comparison) and a systematic review protocol in the area of Materials Science and Engineering. According to exclusion criteria, after screening the data, 4, 6 and 24 studies were selected from the Google Scholar, Scopus and Web of Science databases, respectively. In addition, other publications related to the topic were added. This review raises questions for further research, with new aspects, including the use of other compatibilizing agents competing with maleated polypropylene - MAPP.

Keywords: Fiber and matrix adhesion; Thermomechanical properties; Nanometric scale; Systematic review.

1 INTRODUÇÃO

Compósitos e nanocompósitos poliméricos reforçados por fibras de origem vegetal têm se apresentado como uma alternativa viável diante das demandas referentes à sustentabilidade (Rodrigues; Souza, 2015; Poletto, 2016). Além disso, esses materiais, em geral, têm como vantagens menores custos de produção, facilidade de preparação, disponibilidade dos insumos necessários à sua fabricação e reciclabilidade, sendo atrativos para diversas aplicações de engenharia (Asrafuzzaman; Amin; Hoque, 2021).

Compósitos resultam da combinação de um meio contínuo (matriz), responsável pela transmissão dos esforços sofridos pelo material, além da manutenção da orientação das cargas de reforço; e de um meio descontínuo (reforço), cuja função é melhorar as propriedades do material (Masuelli, 2013).

Nanocompósitos representam outra classe de compósitos por conterem cargas de reforço em escala nanométrica. Melhorias no desempenho mecânico de nanocompósitos, comparados à de compósitos, são explicadas por maiores áreas superficiais de contato entre as nanocargas e a matriz, resultando em interações mais fortes na interface entre ambas (Thakur; Thakur; Kessler, 2017; SEM, 2020).

Fibras de origem vegetal são, geralmente lignocelulósicas, sendo categorizadas de acordo com a parte da planta de onde foram retiradas, como por exemplo, de suas folhas, líber, sementes, grama, talo (floema), fruto ou madeira (lenho). Fibras lignocelulósicas são compostas por microfibrilas de celulose em formato helicoidal com centro oco, envoltas por uma matriz de lignina e hemicelulose, sendo o percentual de cada um desses

Aceito para publicação em: 07/10/2022 e publicado em 21/03/2023.

componentes variável, de acordo com a espécie, inclusive em alguns casos contendo cera em sua composição química (Asrafuzzaman; Amin; Hoque, 2021). A composição da fibra para a mesma planta depende também de outras variáveis, como área de crescimento, condições climáticas, idade da planta e o processo de extração da fibra, bem como o seu processamento (Rosa; Santulli; Sarasini, 2010).

Fibras lignocelulósicas são frequentemente aplicadas como reforço em compósitos e nanocompósitos de matrizes poliméricas termoplásticas (polietilenos, polipropileno, poli(cloreto de vinila), policarbonato, poliestireno, náilon, etc.), e termorrígidas (resinas epóxi, poliéster, poliamida, ésteres de vinil, poliuretano, etc.) (Asrafuzzaman; Amin; Hoque, 2021; Kumar; Al, 2021). Nesta revisão, o polipropileno (PP) e o poli(acetato de vinila) – PVA serão destacados devido ao fato do primeiro ser um polímero de baixo custo e alta resistência química cujo consumo mundial é menor apenas do que o dos polietilenos e o segundo, o PVA, tem tido o seu consumo muito aumentado, principalmente na Ásia.

O PP é um polímero versátil usado em embalagens, móveis de jardim, brinquedos, eletrodomésticos, seringas, autopeças, artigos para o lar e na forma de fibras (ráfia), em embalagens para grãos e fertilizantes (Maddah, 2016). O polipropileno isotático, usado nesta pesquisa, é uma *commodity* amplamente negociada no mercado internacional que pode ter diferentes graus associados ao seu índice de fluidez, cristalinidade e aplicações. É um material de resistência mecânica e rigidez baixa quando comparado a metais e cerâmicas, tende a exibir fluência sob uma força aplicada e tem limites de temperatura para usos como sólidos (a maioria se funde entre 100 e 250 °C) (Vlachopoulos; Strutt, 2003).

A adesividade é a característica mais importante do PVA, que é usado na fabricação de tintas, colas, adesivos, gomas de mascar, na indústria têxtil e na de papel (Mark, 2003). O poli(acetato de vinila) pode ser homopolímero ou copolímero, além disso, pode ser obtido na forma de resina ou emulsão, o que influencia o seu custo e a sua aplicação (Mesquita, 2002). Esta pesquisa visa a fazer uma revisão sistemática dos trabalhos existentes na literatura sobre compósitos e nanocompósitos de polipropileno e poli(acetato de vinila) reforçados por fibras lignocelulósicas, de modo a comparar as propriedades termomecânicas encontradas e os métodos de preparo de cada um, principalmente no que diz respeito a tratamentos para melhorar a adesividade entre fibra e matriz.

2 METODOLOGIA

No presente trabalho foi adotada como metodologia a revisão sistemática da literatura, que possibilita a identificação, seleção, avaliação, interpretação e sumarização de informações a respeito de um tópico de interesse. A revisão sistemática difere de revisões tradicionais (não sistemáticas) por apresentar um planejamento, que por sua vez, proporciona uma pesquisa rigorosa, de maior abrangência, confiável e passível de repetição (Felizardo *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2020).

Uma ferramenta que auxilia na realização deste tipo de revisão é a aplicação de critérios PICO (População, Intervenção e Comparação), uma abordagem oriunda da área médica, e que tem sido amplamente empregada em outros campos de estudo, devido ao seu potencial de síntese no delineamento da pesquisa quanto às informações a serem coletadas (Felizardo *et al.*, 2017). O Quadro 1 apresenta os critérios PICO referentes ao presente trabalho.

Quadro 1: Critérios PICO na área de Ciência e Engenharia de Materiais

Critérios PICO	Descrição
População	Pesquisadores de compósitos e nanocompósitos poliméricos
Intervenção	Compósitos e nanocompósitos de polipropileno ou poli(acetato de vinila), reforçados por fibras lignocelulósicas, seus métodos de produção, suas finalidades de aplicação e propriedades mecânicas e térmicas
Comparação	Não se aplica
Resultado	Visão geral dos estudos disponíveis na literatura a respeito de compósitos e nanocompósitos de polipropileno ou poli(acetato de vinila), reforçados com fibras lignocelulósicas

Fonte: Adaptado de Felizardo *et al.* (2017).

Após o delineamento inicial da pesquisa, foi criado um protocolo de revisão sistemática, de forma a se detalhar as variáveis envolvidas no presente estudo.

Quadro 2: Protocolo de revisão sistemática na área de Ciência e Engenharia de Materiais

Objetivo	Pesquisa sobre compósitos e nanocompósitos de polipropileno ou poli(acetato de vinila), reforçados por fibras lignocelulósicas quanto às seguintes informações: - método de produção dos compósitos e nanocompósitos; - polímero utilizado; - descrição da fibra; - avaliação das propriedades mecânicas e/ou térmicas.
Identificação, seleção e avaliação de estudos	
Estratégia de busca	Artigos publicados em congressos ou periódicos, dissertações e teses

Fontes de busca	Bases de dados <i>Google scholar</i> (filtrando resultados a partir de 2021 – busca realizada em 16/02/2021), <i>Scopus</i> (sem filtrar por data) e <i>Web of Science</i> (sem filtrar por data).
Strings de busca	"composite" AND "lignocellulosic fibers" AND "polypropylene" OR "poly (vinyl acetate)" AND "mechanical properties" AND "thermal properties"
Crítérios de seleção (exclusão)	A. O texto completo nos idiomas inglês, português, espanhol ou francês não está disponível, ou faltam dados referentes ao meio de publicação; B. O texto é uma revisão da literatura ou similar; C. O estudo trata de outros tipos de matrizes ou reforços, ou apenas das fibras.
Crítérios de qualidade	O trabalho possui evidências confiáveis
Síntese dos dados e apresentação dos resultados	
Estratégia de extração dos dados	Formulário de extração de dados com os campos descritos no objetivo.
Estratégia de sumarização dos dados	Resultados agrupados por tipo de matriz polimérica, e em subitens por método de produção. Apresentação resumida em uma tabela contendo informações do formulário de extração de dados, para cada tipo de matriz polimérica.

Fonte: Adaptado de Felizardo *et al.* (2017)

Os resultados da triagem realizada por meio dos critérios de seleção (exclusão) são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Triagem dos resultados

Base de dados	Total	Restante após critério de exclusão		
		A	B	C
Google scholar	84	70	44	4
Scopus	7	6	6	6
Web of Science	75	70	61	24

Fonte: Adaptado de Souza *et al.* (2020)

Portanto, 34 publicações foram estudadas (4 da base de dados *Google Scholar*, 6 da *Scopus* e 24 da *Web of Science*), sendo seus resultados apresentados na seção a seguir. Optou-se por não excluir publicações de anos anteriores a 2021, por estarem em conformidade ao objetivo descrito no Quadro 2. Além disso, outras 3 publicações relacionadas ao objetivo foram acrescentadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão abordados os resultados referentes a materiais compósitos e nanocompósitos reforçados por matrizes poliméricas de polipropileno ou de poli(acetato de vinila) de modo a contemplar discussões a respeito do

método de preparação, características de cada compósito e nanocompósito produzidos, algumas observações ou aspectos relevantes desses materiais e referências da literatura que mencionam o assunto.

3.1 Matriz de polipropileno

Os resultados da busca referente a compósitos e nanocompósitos de polipropileno são apresentados no Quadro 4, com a abordagem de aspectos importantes no preparo de cada um deles, com suas principais propriedades físicas (mecânicas e térmicas) e alguns aspectos relevantes de avaliação das propriedades.

Quadro 4: Resultados com matriz de polipropileno

Fibra	Método de preparação	Propriedades	Observações	Referências
Pó de casca de noz de pinheiro, obtido em moinho micronizador (80 mesh, 60% em massa)	Acoplamento químico das fibras com PP reciclado	Resistência à tração: aumentou de 19,4 para 25,44 MPa, com o compatibilizante. Resistência à flexão: aumentou de 36,8 para 47,84 MPa, com o compatibilizante. Estabilidade térmica melhorada, e diminuição de absorção de água	Propriedades avaliadas de acordo com a dosagem de compatibilizante interfacial de polióis de poliéster. Maiores valores das propriedades com 5% em massa de compatibilizante	Wang, Mei e Zhang (2021)

Fibra	Método de preparação	Propriedades	Observações	Referências
Pó de palha de milho, obtido em moinho micronizador (80 mesh, 60% em massa)	Acoplamento químico das fibras com PP reciclado	Resistência à tração: aumentou de 19,91 para 22,60 MPa, com o compatibilizante. Resistência à flexão: aumentou de 34,83 para 43,06 MPa, com o compatibilizante. Estabilidade térmica melhorada, e diminuição de absorção de água	Propriedades avaliadas de acordo com a dosagem de compatibilizante interfacial de polióis de poliéster. Maiores valores das propriedades com 5% em massa de compatibilizante	Wang, Mei e Zhang (2021)
Fibras de coco (10% em massa)	Extrusão	Módulo de armazenamento teve o maior aumento (89,2%) para o compósito com fibras não tratadas em relação ao PP puro.	Fibras tratadas com diferentes concentrações de NaOH (3%, 5% e 7% em massa) e diferentes tempos de reação (1h e 4h)	Angel-Monroy et al. (2021)
Kenaf (30% em massa)	Extrusão seguida de moldagem por compressão	Resistência à tração: + 27,7%. Módulo de elasticidade: + 160%. Alongamento à fratura: - 70,7%. Resistência à flexão: + 55,1%. Módulo de flexão: +127,3%. Resistência ao impacto: +31,2%. Densidade: +0,3%. Dureza (Shore D): +2,9%. Condutividade térmica: +15,2%. Temperatura de fusão: -0,6%.	Uso de agente compatibilizante de 3% p/p de PPMA* licoceno 6452 *Polipropileno maleatado	John et al. (2021)
Juta (30% em massa)	Extrusão seguida de moldagem por compressão	Resistência à tração: +14,5%. Módulo de elasticidade: +121,3%. Alongamento à fratura: -73,4%. Resistência à flexão: +42,6%. Módulo de flexão: +99,4%. Resistência ao impacto: +29,4%. Densidade: +23,9%. Dureza (Shore D): +7,2%. Condutividade térmica: +8,6%. Temperatura de fusão: -0,5%.	Uso de agente compatibilizante de 3% p/p de PPMA licoceno 6452	John et al. (2021)
Arroz (30% em massa)	Extrusão seguida de moldagem por compressão	Resistência à tração: +1,5%. Módulo de elasticidade: +81,1%. Alongamento à fratura: -74,1%. Resistência à flexão: +34,3%. Módulo de flexão: +70,1%. Resistência ao impacto: +3,4%. Densidade: +6,5%. Dureza (Shore D): +10,1%. Condutividade térmica: +3,8%. Temperatura de fusão: +0,4%.	Uso de agente compatibilizante de 3% p/p de PPMA licoceno 6452	John et al. (2021)
Resíduos de Madeira de abeto (<i>Abis alba</i>) e Pinus (<i>Pinus insignis</i>) (20% em massa)	Extrusão seguida de moldagem a compressão	Para matriz com PP o Módulo de Young permaneceu constante, e houve redução nas resistências mecânicas do material. Já na matriz funcionalizadas com PMMA houve aumento da Resistência à Tração e do Módulo de Young.	Fibras foram tratadas com explosão de vapor (<i>Steam Explosion</i>) e com Anidrido Maleico 0,3% em massa.	Anglés, Salvadó e Dufresne (1999)
Serragem de Madeira de <i>E. benthamii</i> (20, 28, 36 e 40% em massa)	Moldagem por compressão a quente	Resistência à flexão: 30, 38, 42 e 44 MPa. Resistência à tração: 14, 16, 19 e 17 MPa. Resistência à água melhorada após 2 e 24h com adição de lignina.	Foram adicionados 4, 12 e 20% em massa de lignina nas matrizes com 20, 28 e 36% em massa de serragem	Lourençon et al. (2018)

Compósitos e nanocompósitos de polipropileno ou poli (acetato de vinila) reforçados por fibras lignocelulósicas: uma revisão sistemática

Fibra	Método de preparação	Propriedades	Observações	Referências
Resíduos de Madeira de abeto (<i>Picea abis</i>) e abeto branco (<i>Abis alba</i>) (40% em massa)	Moldagem por compressão a quente	Resistência máxima à flexão: 45 MPa. Módulo de Flexão: 3.000 MPa. Melhorada a resistência térmica.	Fibras tratadas com agente compatibilizante PPMA	Meri <i>et al.</i> (1981)
Cascas de aveia (40% em massa)	Moldagem por compressão a quente	Resistência máxima à flexão: ~ 35 MPa. Módulo de Flexão: ~2.000 MPa. Melhorada a Resistência térmica.	Realizado pré-moagem das fibras em moinho de facas, com 700 e 3.000 rpm.	Meri <i>et al.</i> (1981)
Resíduos de palha de milho (40% em massa)	Mistura a quente seguido de moldagem por injeção	Módulo de Young: 3,36; 3,75; 4,30; 3,70 GPa. Deformação máxima: 2,07; 2,60; 2,10; 2,00%.	Foram 4 tratamentos diferentes para comparação: 1)Apenas tratamento mecânico; 2)Tratamento termo-mecânico; 3) 12,5% de NaOH + 0,1% de Androquinona; 4) 20% de NaOH + 0,1% de Androquinona.	Serra-Parareda <i>et al.</i> (2020)
Cânhamo (<i>Cannabis sativa</i> L.) (30% em massa)	Extrusão seguido de moldagem por injeção	Resistência à Tração: 46 e 4072 MPa (até 5 semanas) e 42,9 e 3627 MPa (após 5 semanas). Temperatura de Decomposição: +16 e +25°C.	Foi adicionado Anidrido Maleico 1% em massa para produção do compósito	Mazian <i>et al.</i> (2020)
Resíduo de madeira e agroindustrial (10, 20 e 30% em massa)	<i>Casting</i> e/ou mistura a quente e extrusão	Resistência à Tração foi melhorada em relação ao PP, porém os resultados permanecem aproximadamente constante para fibras não tratadas independentemente da quantidade e aumentada significativamente para os compósitos com tratamento.	Foram observados dois grupos, com fibras sem tratamento e com tratamento químico	Haque (2017)
Fibra de Pupunha (5, 10 e 15% em massa)	Extrusão	Tensão de Ruptura: 20,7 MPa; 20,2 MPa; 20 MPa. Deformação na Ruptura: 325, 359 e 350%. Módulo Elástico: 396,6 MPa; 397,3 MPa; 401,1 MPa.	Uso de agente compatibilizante de 3,3% p/p de PPMA licoceno 6452	De Tatagiba e d'Almeida (2016)
Lâminas de Álamo amarelo (<i>Liriodendron tulipifera</i>) (25% em massa)	Compressão a quente	Resistência à tensão: 21,92 MPa. Resistência à flexão: 41,3 MPa. Estabilidade térmica: Redução 2,7°C. Absorção de água: < 0,5%.	Fibras foram tratadas com explosão de vapor (<i>Steam Explosion</i>) e carga positiva de poli(dialildimetilamonía) clorídrico (PDDA) em solução aquosa	Lin e Rennekar (2011)
Resíduos de Madeira de Pinheiro (60% em massa)	Mistura à quente seguido de moldagem a compressão	Módulo de Young: 2.924,6 MPa; 2.180,6 MPa; 1.887,3 MPa. Resistência à tensão: 33,4 MPa; 30,9 MPa; 27,1 MPa. Deformação na ruptura: 1,7%; 2,2%; 0,7%.	As fibras foram divididas entre não tratadas e tratadas com Dióxido de Carbono supercrítico e cossolvente a 300 bar e 65 °C/2h e com 150 bar e 200 °C/1h	Darie <i>et al.</i> (2014)
Cânhamo (<i>Cannabis</i>)	Fusão a quente	Resistência à tensão: 30,1 MPa; 49,6 MPa.	Tratamento químico com dímero ceteno	Mutjé <i>et al.</i> (2006)

Fibra	Método de preparação	Propriedades	Observações	Referências
<i>sativa</i> (30% em massa)	seguida de moldagem por injeção	Resistência à flexão: 45,6 MPa; 63,6 MPa. Módulo de Young: 1.466 MPa; 2.328 MPa.	alcalino. Também foi adicionado fibra de vidro na matriz polimérica	
Curauá (10 a 40% em massa)	Extrusão seguido de moldagem por injeção	Aumento linear no módulo de elasticidade; apresentou aumento 70% em 40% de carga. A Resistência à tensão aumentou 11% em até 20% de carga.	Fibras longas tratadas com NaOH 5% em massa	Spinacé, Feroseli e Paeli (2009)
Kenaf (<i>Hibiscus cannabibus</i>) (40 e 50% em massa)	Mistura a quente seguido de moldagem por injeção	Resistência à tração: 33, 56 e 62 MPa. Resistência à flexão: 41, 82 e 91 MPa. Deformação na ruptura: >>10, 1,9 e 2,2%	Uso de 6% p/p de agente compatibilizante PPMA Epolene G3002	Sanadi <i>et al.</i> (1995)
Fibra de resíduo de jornal reciclado (40% em massa)	Mistura a quente seguido de moldagem por injeção	Resistência à tração: 33 e 53 MPa. Resistência à flexão: 41 e 80 MPa. Deformação na Ruptura: >>10 e 3%.	Uso de 6% p/p de agente compatibilizante PPMA Epolene G3002	Sanadi <i>et al.</i> (1995)
Curauá (20% em massa)	Extrusão seguido de moldagem por injeção	Resistência à tensão: 27 MPa e 28 MPa. Resistência à flexão: 38,3 MPa e 45,4 MPa. Módulo de elasticidade: 1,8 e 2,0 GPa. Deformação na ruptura: >100% e 5,7%.	Uso de agente compatibilizante PPMA	Mano <i>et al.</i> (2013)
Fibra de Coco Verde (20, 25 e 30% em massa)	Mistura realizada em Reometro Haake equipado com misturador Reomix	Resistência à tração: 11,6 MPa; 11,3 MPa; 10,8 MPa; 22,7 MPa; 20,6 MPa e 18,7 MPa. Deformação na ruptura: 3,3%; 13,8%; 14,9%; 1,3%; 2,7% e 2,5%. Aumento da estabilidade térmica.	Foi adicionado nas misturas 0, 5 e 10% em massa de lignina, caracterizando aumento na estabilidade térmica, porém mantendo constante a estabilidade mecânica.	Morandim-Giannetti <i>et al.</i> (2012)
Resíduos de serragem de madeira (0 a 80% em massa)	Mistura realizada a quente seguida de moldagem por compressão a quente	Não houve alterações significativas nas propriedades mecânicas com diferentes tamanhos de partícula; porém percebe-se menor desbaste e menor fratura de fibras nos compósitos com partículas de menor tamanho.	Uso de agente compatibilizante PPMA	Renner, Móczó e Pukánszky (2009)
Resíduo de serragem de madeira (15% em massa)	Extrusão seguida de moldagem por injeção	Resistência à flexão: +7,6 MPa. Resistência à tensão: -2,1 MPa. Resistência ao impacto: -2,51 J.m ⁻¹ . Melhoria na estabilidade térmica.	Uso de 2,5% p/p de agente compatibilizante ácido esteriático	Wu <i>et al.</i> (2016)
Caule de Algodão (2,5, 5, 10, 15 e 30% em massa)	Extrusão seguida de moldagem por injeção	Resistência à flexão: +2,8 MPa; 4,0 MPa; +6,4 MPa; +8,2 MPa e +11,1 MPa. Resistência à tensão: -2,1 MPa; -1,7 MPa; -2,4 MPa; -2,6 MPa; -2,8 MPa e -3,6 MPa. Resistência ao impacto: -0,36 J.m ⁻¹ ; -0,84 J.m ⁻¹ ; -1,47 J.m ⁻¹ ; -	Uso de 2,5% p/p de agente compatibilizante ácido esteriático.	Wu <i>et al.</i> (2016)

Fibra	Método de preparação	Propriedades	Observações	Referências
		3,03 J.m ⁻¹ e -4,66 J.m ⁻¹ . Melhoria da estabilidade térmica		
Curauá (20 a 60% em massa)	Mistura cinética seguido de moldagem por injeção	Resistência à tração: +31%, +50%, +72%, +95% e +121%. Módulo de elasticidade: +106%, +173%, +240%, +313% e +393%.	Uso de 6% p/p de agente compatibilizante PPMA Epolene 3015	Delgado-Aguilar <i>et al.</i> (2019)
Fibras provenientes de jornais reciclado (20 a 50% em massa)	Mistura a quente seguido de moldagem por injeção	Absorção de água (após 46 dias): 0,22%; 0,32%; 0,50% e 0,64%.	O resíduo de jornais contém 85% de polpa lignocelulósica e 15% de carbonato de cálcio. Uso de 6% p/p de agente compatibilizante PPMA Epolene 3015	Hernández-Díaz <i>et al.</i> (2020)
Caule de bananeira (<i>Musa acuminata</i> Colla var. <i>Dwarf Cavendish</i>) (0 a 50% em massa)	Mistura a quente seguido de moldagem por compressão	Resistência à tração: - Sem tratamento 7,6 MPa, 5,8 MPa, 6,4 MPa e 3,8 MPa. - Com tratamento 9,8 MPa e 9,1 MPa. Módulo de elasticidade: - Sem tratamento 469 MPa, 425 MPa, 482 MPa e 374 MPa. - Com tratamento 634 MPa e 739 MPa.	As fibras foram divididas em tratadas, respectivamente, com acetona, etanol/tolueno (1:1 v/v) e água e sem tratamento.	Faria <i>et al.</i> (2006)
Serragem de madeira (20% em massa)	Extrusão seguida de moldagem por injeção	Resistência à tração: 32,34 MPa. Resistência à flexão: 2,22 GPa. Resistência ao impacto: 24,22 J.m ⁻¹ . Módulo de elasticidade: 2,34 GPa. Alta estabilidade térmica.	Uso de agente compatibilizante de PMMA	Kellersztein <i>et al.</i> (2017)
Resíduos de palha de Trigo (20% em massa)	Extrusão seguida de moldagem por injeção	Resistência à tração: 39,23 MPa; 33,12 MPa; 30,40 MPa e 33,32 MPa. Resistência à flexão: 2,09 GPa; 2,24 GPa; 1,79 GPa e 2,13 GPa. Resistência ao impacto: 53,40 J.m ⁻¹ ; 48,67 J.m ⁻¹ ; 41,26 J.m ⁻¹ e 46,30 J.m ⁻¹ . Módulo de elasticidade: 2,43 GPa; 2,47 GPa; 2,25 GPa e 2,56 GPa. Aumento na estabilidade térmica.	Fibras foram tratadas com explosão de vapor (Steam Explosion) para remoção natural de ceras, lipídeos e lignina. Também foi realizado tratamento químico com HDS e AEAPS	Kellersztein <i>et al.</i> (2017)
Fibras de Kenaf (30% em massa)	Extrusão seguido de moldagem por compressão a quente	Resistência à flexão: -43% e +56%. Temperatura de cristalização: 119,2 °C para ambos os compósitos. Temperatura de Fusão: 162,2 °C e 161,4 °C. Absorção de água: 17,82% e 11,13%.	Fibras foram incorporadas em matrizes de PP e PPMA	Lee <i>et al.</i> (2013)
Casca de aveia	Mistura em câmara	Módulo de elasticidade:	Utilizado resíduo de forma bruta e com	Furlan, Duarte e

Fibra	Método de preparação	Propriedades	Observações	Referências
(0 a 50% em massa)	fechada equipada com reômetro de torque seguido de moldagem por compressão a quente	-Sem classificação granulométrica 945 MPa; 1.049 MPa; 1.123 MPa; 1.188 MPa e 1.059 MPa. - Com classificação granulométrica 1.075 MPa; 1.391 MPa; 1.151 MPa, 1.083 MPa e 1.051 MPa. Módulo de armazenamento: -Sem classificação granulométrica: 1.512 MPa; 1.611 MPa; 485 MPa; 558 MPa e 613 MPa. - Com classificação granulométrica: 1.809 MPa; 1.787 MPa; 651 MPa, 763 MPa e 678 MPa. Temperatura de fusão: -Sem classificação granulométrica: 167 – 169 °C. - Com classificação granulométrica: 165 – 166 °C. Temperatura de cristalização: -Sem classificação granulométrica: 111 -114 °C. - Com classificação granulométrica: 114 – 116 °C.	classificação granulométrica (mesh 35). As fibras foram ainda tratadas com NaOH 5%	Mauler (2012)
Fibra de pupunha	Extrusão seguido de moldagem por injeção	Estabilidade no comportamento viscoelástico do material após adição das fibras. Módulo de fluência: 323,4 MPa. Módulo de elasticidade: 447,5 MPa.	Uso sem tratamento químico ou físico e sem agente compatibilizante.	d’Almeida e da Silva (2013)
Fibras de bagaço de cana-de-açúcar (25% em massa)	Extrusão	Fibras com tratamento alcalino obtiveram melhor estabilidade térmica que as fibras sem tratamento.	Fibras foram divididas em dois grupos: sem tratamento e tratadas com NaOH (10% em massa)	Gomes de Paula <i>et al.</i> (2014)

Pode ser verificado no Quadro 4 que quando o polipropileno maleatado – PPMA – é usado como compatibilizante em compósitos reforçados por fibras lignocelulósicas, os resultados são melhores do que quando somente o PP é usado, pois o PMMA é parcialmente hidrofílico, favorecendo a adesão entre a fibra e a matriz de PP. Os compósitos e nanocompósitos na presença do PPMA apresentam melhores resultados do que aqueles somente com o PP devido à interface fibra-matriz se tornar mais forte. É visível também que diferentes tipos de fibras apresentam diferentes resultados de propriedades mecânicas, estabilidade térmica e absorção de água, o que pode ser explicado pelas características das diferentes fibras tais como morfologia, composição, em especial o teor de celulose que varia de fibra para fibra e traz implicações sobre as propriedades químicas e mecânicas e que, por sua vez, envolve variáveis tais como influências geográficas e climáticas que influenciam na composição química dessas fibras (Komuraiah; Kumar; Prasad, 2014).

Diferentes tratamentos apresentam diferentes resultados, por exemplo, um tratamento mecânico e/ou químico melhoram na maioria das vezes as propriedades mecânicas do material, já um tratamento térmico nem

sempre é eficaz, em geral é necessário realizar outros tratamentos concomitantemente (Meri, 1981; Langhorst *et al.*, 2021). Apesar disso, tratamentos térmicos podem melhorar odor, estabilidade térmica, absorção de umidade, e estabilidade dimensional da biomassa impactando no compósito (Langhorst *et al.*, 2021). A maioria das fibras listadas no Quadro 4 foram modificadas química ou fisicamente com a intenção de melhorar a qualidade da interface entre a fibra e a matriz, pois se a interação entre elas for fraca, também as propriedades mecânicas dos compósitos serão comprometidas.

Uma fraca interação entre a fibra e a matriz se deve ao caráter hidrofílico das fibras que as torna incompatíveis com o caráter hidrofóbico da matriz polimérica de PP. A maioria dos experimentos relatados no Quadro 4 que usaram compatibilizantes, utilizou o PPMA, somente um experimento utilizou o ácido esteárico, o que torna o PPMA o compatibilizante mais reportado na literatura. No entanto, devido ao fato do PPMA ser proveniente de recurso petroquímico, fonte não renovável, alguns pesquisadores estão preocupados em testar outros agentes compatibilizantes, tais como ácidos orgânicos, ácidos

esteáricos, ácidos mirístico, ácidos caprílico e ácidos carboxílicos (Lima; Santana; Rodríguez, 2020).

Há vários métodos de preparo de compósitos de PP/Fibra como: extrusão, mistura a quente, *casting*, compressão a quente e moldagem por injeção. A maioria dos compósitos reportados no quadro anterior é produzida por meio de extrusão e/ou moldagem por compressão e em seguida injeção. Juntos, o processamento de termoplásticos, como o polipropileno, por meio da extrusão e da injeção são os principais meios de moldagem (Vlachopoulos; Strutt, 2003). Em laboratórios de pesquisa, geralmente a extrusão é combinada com a moldagem por compressão ou injeção para a realização dos corpos de prova que são submetidos a ensaios mecânicos. A compressão serve para moldar o formato padrão das amostras que são ensaiadas, enquanto a extrusão possui dois propósitos: primeiro a produção contínua de polímeros sob formas simples e regulares e o segundo o de funcionar como um misturador eficiente entre os aditivos, no caso as fibras que são usadas para compor o compósito, e o polímero (Askeland; Phulé, 2003). Os parâmetros de processamento dos compósitos e nanocompósitos também interferem nas propriedades mecânicas, sendo que para a extrusão, os mais importantes são o perfil de temperatura da rosca e a velocidade de rotação do parafuso, enquanto que para a injeção, além disso, o tempo de retardo e a temperatura do molde e de seu resfriamento são muito importantes para o processo de moldagem (Kastner *et al.*, 2020). As propriedades mecânicas dos compósitos processados por extrusão também dependem da temperatura de moldagem, ciclo de processamento e reproprocessamento, tempo de exposição das fibras às relativamente elevadas temperaturas e da umidade retida nelas (Furtado, 2020). Também são resultantes do processo de extrusão características como a coloração e odor liberado do material processado em decorrência dos parâmetros de processamento, assim como a temperatura, velocidade de fuso e o tempo do processamento. Além disso, o reproprocessamento pode interferir na redução da viscosidade dos compósitos, no aumento do índice de fluidez e na tendência de redução da massa molecular dos compósitos devido à cisão de cadeias de polipropileno (Jedyn, 2017).

O quadro 4 mostra também que a quantidade de fibra adicionada nas matrizes varia de 0 a 60% em massa, dependendo das características da fibra e do objetivo de cada estudo. Em geral, a maior parte dos experimentos foi feito com um teor médio de fibras entre 20 a 40%, com poucos casos de compósitos preparados com teor menor ou maior que essa faixa. Normalmente isso acontece porque o aumento da fração mássica de fibras até esse limite implica no aumento das interfaces entre matriz e reforço, o que favorece as propriedades mecânicas, tais como resistência mecânica à tração e módulo de elasticidade. O aumento da fração mássica das fibras acima de uma faixa entre 20 e 50% de fibras impacta negativamente tanto na resistência mecânica quanto como na dureza e na rigidez do material (Joseph; Medeiros; Carvalho, 1999). Em geral as fibras naturais são boas opções para reforço em matrizes de PP dentro de limites aceitáveis de resistência mecânica. Em alguns experimentos foi relatado o aumento das propriedades mecânicas do PP com o reforço das fibras

naturais, como nos experimentos conduzidos por John e colaboradores (2021) e Delgado-Aguilar e colaboradores (2019), e outros redução, como nos experimentos de Anglès, Salvadó e Dufresne (1999) e Lourençon e colaboradores (2018). Os experimentos mostraram uma resistência à flexão entre 30 a 45 MPa e como a resistência à flexão do PP fica em torno dos 40 MPa de acordo com a literatura, nota-se que na maioria dos casos não houve significativa mudança dessa propriedade mecânica nos compósitos, como percebido por Renner, Móczó e Pukánszky (2009). Ainda assim foi relatado melhora na resistência à flexão dos compósitos em relação ao PP nos experimentos de Wu e colaboradores (2016) e Sanadi e colaboradores (1995).

A nanotecnologia vem desenvolvendo nanomateriais tais como nanocompósitos e nanocelulose, cujas dimensões são analisadas na escala nano, isto é, na bilionésima parte do metro (1 nm). Os nanomateriais de celulose são divididos em nanoobjetos de celulose e materiais nanoestruturados de celulose (Shen *et al.*, 2020). A principal vantagem atribuída aos nanocompósitos está vinculada à capacidade de pequenas quantidades de nanopartículas (entre 1 a 5%) resultar em melhorias significativas em propriedades mecânicas, térmicas, condutivas e elétricas.

Diferentes parâmetros, tais como nível de dispersão, efeito do tamanho das partículas, razão de aspecto, localização das nanopartículas na resina polimérica e o efeito da morfologia da resina afetam as propriedades estabelecidas do material. O grau de dispersão das nanopartículas e nanofibras é suficiente para gerar a agregação delas na matriz de PP, na forma de redes (Sangroniz *et al.*, 2020). Um exemplo da influência desses parâmetros são as plaquetas de nanoargilas que reforçam a matriz polimérica de PP, pois possuem alta razão de aspecto e propensão para acelerar a cristalização do polímero de modo a apresentar melhoras nas propriedades mecânicas dos compósitos, redução da permeabilidade de gases, melhoria na resistência à ação de solvente e alta estabilidade térmica (Sharma; Nayak, 2009).

Em suma, os nanocompósitos são definidos como materiais híbridos com um dos componentes em escala nanoscópica, sendo que as cargas possuem escalas nanoscópicas (1 – 500 nm) que apresentam uma área de superfície elevada, promovendo melhor dispersão na matriz polimérica. Assim, ocorre uma melhoria nas propriedades físicas do compósito que dependem da homogeneidade do material. Outras melhorias se dão nas propriedades de transporte e magnéticas. Os nanocompósitos de matriz polimérica podem encontrar uma vantagem no compromisso entre um baixo custo, devido à menor fração mássica de reforço (nanofibras) e um elevado nível de desempenho, que resulta em melhor aproveitamento da interação entre o reforço e a matriz (Esteves; Barros-Timmons; Trindade, 2004), ao passo que para compósitos a fração mássica de reforço para alcançar as propriedades ótimas (melhores propriedades) tende a ser muito maior.

Sempre que compósitos com agente compatibilizante ou de fibras tratadas química ou fisicamente foram comparados com compósitos sem compatibilizantes ou fibras tratadas, notou-se o aumento nas propriedades

avaliadas dos primeiros em relação aos últimos, o que indica que tanto os compatibilizantes quanto os tratamentos físicos e químicos das fibras melhoraram a adesão interfacial entre fibra e matriz. A maioria dos experimentos foi feito com o uso do compatibilizante PPMA, que foi usado em 15 dos 34 estudos, ou seja, quase na metade deles. O principal tratamento químico de modificação das fibras foi por tratamento alcalino com o uso do hidróxido de sódio (NaOH), que é o mais convencional por ser de baixo custo e eficiente. Como 20 dos 34 experimentos foram feitos com agentes compatibilizantes, nota-se que é mais comum nos estudos o uso da fibra com compatibilizantes do que sua modificação por intermédio de tratamentos químicos ou físicos. A preferência pelo PPMA está atrelada ao seu desempenho, possibilidade de ser produzido por extrusão reativa e menor custo (Santos; Flores-Sahagun; Satyanarayana, 2015; Trombetta; Flores-Sahagun; Satyanarayana, 2010).

Com relação aos tratamentos de modificação das fibras, destaca-se a pesquisa de Serra-Parareda e colaboradores (2020) por comparar, para a mesma fibra natural, diferentes tratamentos de modificação de fibras e encontrar maior módulo de elasticidade em fibras tratadas com 12,5% de NaOH + 0,1% de andra quinona, enquanto que as fibras com tratamento termo-mecânico foram as que apresentaram maior deformação, o que demonstra que diferentes tratamentos podem atuar para otimizar diferentes características e propriedades.

O estudo de Haque (2017) explica que os agentes compatibilizantes e os tratamentos químicos e físicos contribuem para imprimir um caráter hidrofóbico na superfície da celulose ou de fibras lignocelulósicas para facilitar a dispersão homogênea de fibras celulósicas sobre a matriz de PP, melhorando a adesão interfacial entre

ambos. Em sua pesquisa, Haque (2017) encontrou um leve aumento na temperatura de fusão em compósitos com agente compatibilizante, no entanto o mesmo não ocorre com nanocompósitos, que segundo ele é conseguido com tratamento com surfactante. Ele notou também que a degradação do PPMA acontece a uma temperatura ligeiramente superior a do PP (apenas 2°C de diferença). Com isso, também é possível notar que diferentes mecanismos podem atuar diferentemente em compósitos e nanocompósitos, em micro e nano escala, de modo que também é possível observar diferentes tratamentos para obter diferentes propriedades em diferentes materiais (compósitos e nanocompósitos).

Dos estudos de compósitos com PP reforçados por fibras naturais levantados, aproximadamente um quarto foi realizado nos anos 2020 e 2021, sendo encontradas melhorias nas propriedades observadas para os compósitos tratados química ou fisicamente ou com agente compatibilizante em relação aos não tratados e também em alguns casos em relação ao PP puro. De modo geral, todos os estudos, desde o de Sanadi e colaboradores (1995) que é o mais antigo, há a tendência de mostrar eficiências no tratamento das fibras ou adição de compatibilizante, mas nem sempre há uma melhora das propriedades em relação à matriz de PP.

3.2 Matriz de poli (acetato de vinila)

Os resultados da busca referente a compósitos e nanocompósitos de poli (acetato de vinila) são apresentados no Quadro 5, com a abordagem de aspectos importantes no preparo de cada um deles, nas principais propriedades físicas (mecânicas e térmicas) e alguns aspectos relevantes de avaliação das propriedades.

Quadro 5: Resultados com matriz de poli(acetato de vinila)

Fibra	Método de preparação	Propriedades	Observações	Referências
Pseudocaule de banana (3% em massa)	<i> Casting </i>	Melhoria de 14,3% na resistência à tração dos filmes. Redução do alongamento na ruptura em 9,1%. Melhoria da permeabilidade ao vapor de água em 29,7%. Teste de intumescimento com água após 24h apresentou 16,8% de ganho de massa pelo filme contendo nanocelulose, enquanto para o filme sem nanocelulose esse ganho de massa foi de 67,4%.	Melhorias nas propriedades mecânicas e de barreira à água. Aplicações pretendidas: filmes para embalagens.	Srivastava <i>et al.</i> (2020)
Madeira de Faia (0 a 10% em massa)	<i> Casting </i>	Viscosidade: < 3% de CNF apresenta comportamento quase newtoniano, < 4% há forte cisalhamento e <5% observou baixa fluidez do compósito. Absorção de água: 155%, 140%, 125%, 120%, 115% e 90%.	Fibras foram oxidadas mediante TEMPO para desintegração e produção de CNF	Chaabouni e Boufi (2017)

Fibra	Método de preparação	Propriedades	Observações	Referências
		Observou crescimento linear nas propriedades mecânicas com aumento da quantidade de fibra na matriz.		
Resíduo de madeira (0 a 4% em massa)	<i> Casting </i>	Resistência à tração: 2,2 MPa; 2,1 MPa; 1,8 MPa; 1,1 MPa e 0,83 MPa. Tensão de fratura: 150%, 119%, 50%, 71% e 27%. Módulo de Young: 1,2 GPa; 12,05 GPa; 5,8 GPa; 3,4 GPa e 10,03 GPa. Compósitos com 4% de fibras tiveram aumento no coeficiente de absorção de som.	Compósito contém fibra de celulose e partículas de óxido de alumínio.	Abbasi et al. (2018)
Sisal, fibra de coco e bagaço de cana-de-açúcar	Compressão	Resistividade do fluxo de ar aumentada para cada uma das fibras em estudo foi de, respectivamente: 4.180 Pa.s.m ⁻² ; 4.559 Pa.s.m ⁻² e 6.480 Pa.s.m ⁻² . Além disso, houve aumento no coeficiente de absorção de som do material produzido.	Compósito obtidos a partir de fibra natural utilizando o PVAc como adesivo para unir as fibras com o objetivo de produzir uma barreira de som.	Silva et al. (2019)
Fibra de Palma (0 a 10% em massa)	<i> Casting </i>	A fragilidade do material para um determinado relaxamento aumenta em função da taxa de reforço. Apresenta condutividade elétrica igual para as duas tensões aplicadas (comportamento ôhmico). Energia de ativação calculada: -2,09; -0,12; -0,76; -1,01 e -1,24 eV.	Foi realizado tratamento químico para obtenção de Celulose Nanocristalina (CNC)	Hammami et al. (2019)
Paina (<i>Ceiba speciosa</i> sp) (0,5; 0,75 e 1,0% em massa)	<i> Casting </i>	Resistência à tração: 58,46 MPa; 58,38 MPa; 53,05 MPa; 54,5 MPa; 78,27 MPa e 52,17 MPa. Para o tratamento P7 com 0,75% houve aumento de 518% na resistência mecânica do material, e também máxima degradação em 340 °C enquanto outras composições degradaram em 325 °C.	Foram incorporadas nanofibras de celulose obtidas a partir de dois diferentes tratamentos para deslignificação	Leal et al. (2020)
Fibra de madeira de <i>Acer saccharum</i> e <i>Picea mariana</i> (1, 2 e 4% em massa)	<i> Casting </i>	Adicionando CNC na matriz, o valor da ruptura do material aumentou de 59% para 84% (1% de CNC) e para 97% (3% de CNC). Houve um aumento da estabilidade térmica de 4,4 – 6,7°C. Filmes com 3% de CNC apresentaram aumento		Kaboorani e Riedl (2015)

Fibra	Método de preparação	Propriedades	Observações	Referências
		significativo do módulo elástico.		
Sisal (0 a 10% em massa)	<i>Casting</i>	Coefficiente de difusão da água: 1,34 cm ² .s ⁻¹ ; 1,35 cm ² .s ⁻¹ ; 0,50 cm ² .s ⁻¹ ; 0,70 cm ² .s ⁻¹ e 1,54 cm ² .s ⁻¹ . Temperatura de transição vítrea manteve-se constante.	Matriz reforçada com nanowhiskers de celulose.	Garcia de Rodriguez, Thielemans e Dufresne (2006)
Palm tree (<i>Phoenix dactylifera</i> L.) (1 a 10% em massa)	<i>Casting</i>	Resistência à tração: 18,5 MPa; 17,4 MPa; 18,7 MPa; 22 MPa; 32,6 MPa e 37,4 MPa. Módulo de Young: 89 MPa; 406 MPa; 426 MPa; 446 MPa; 576 MPa e 800 MPa. Tensão na ruptura: 27,9%; 15,8%; 13%; 5,3%; 6,6% e 0,89%. Redução da estabilidade térmica do material Coeficiente de difusão: +4; +8; +10; +28; +36.	Matriz reforçada com nanofibras de celulose	Hamou et al. (2018)
Cascas de abacaxi (<i>Anana comosus</i>) (0,5 e 1% em massa)	Mistura <i>in situ</i>	Redução da estabilidade térmica do material. A viscosidade foi reduzida em 90%. Aumento da taxa de cisalhamento do adesivo em 35%.	Matriz reforçada com micro- e nanocristais de celulose na forma de hidrogel	Rigg-Aguilar et al. (2020)

Como pode ser observado no Quadro 5 o método mais usado na preparação de compósitos para PVAc foi o da evaporação de solvente (*casting*), uma vez que esse é o método tradicional de moldagem do poli (acetato de vinila) (Mark, 2002). As quantidades de fibra adicionada à matriz são pequenas quando comparadas com as quantidades necessárias para a produção de compósitos de PP, pois se trata de nanofibras utilizadas na produção de nanocompósitos. Os resultados apontam para melhorias no PVAc quando reforçados por nanofibras em suas propriedades mecânicas em seis estudos (Srivastava *et al.*, 2020; Chaabounie; Boufi, 2017; Leal *et al.*, 2020; Kaboorani; Riedl, 2015; Hamou *et al.*, 2018; Rigg-Aguilar *et al.*, 2020), entretanto o estudo do nanocompósito com o resíduo de madeira apresentou redução tanto na resistência à tração quanto na resistência ao impacto com o aumento da fração de nanofibras, enquanto que os valores do módulo de Young se comportaram de modo aleatório com relação ao acréscimo de nanofibras, sendo todos os nanocompósitos mais rígidos (maior módulo de elasticidade) se comparado ao PVAc puro (Rodrigues; Souza, 2015). O comportamento mais frágil dos nanocompósitos com o acréscimo de nanofibras foi constatado por dois estudos (Abbasi *et al.*, 2018; Hammami *et al.*, 2019).

No estudo dos nanocompósitos reforçados por nanofibras produzidas com a paina, a melhora na

resistência mecânica mais significativa foi obtida nos nanocompósitos produzidos a partir das nanofibras, com a fração de 0,75% p/p, que passaram pelo tratamento químico por intermédio de solventes e dez processos de recirculação (Leal *et al.*, 2020). Embora o processo para aquisição de nanofibras seja mais caro e complexo, envolvendo tratamentos mecânicos, químicos e/ou enzimáticos, com maior consumo energético e de recursos (Pagliaro *et al.*, 2021), como visto anteriormente, a área superficial das nanofibras é muito maior do que de fibras, o que permite menor fração mássica delas no reforço e que compensa o custo benefício (Esteves; Barros-Timmons; Trindade, 2004). Ademais, a nanocelulose traz vantagem em relação à celulose por apresentar uma estrutura química intrínseca com grupos hidroxílicos amplos e uma quantidade específica de aldeído junto com grupos carboxílicos que propiciam melhor desempenho (Pagliaro *et al.*, 2021).

Com as nanofibras de palmeira o estudo foi conduzido com reforço de até 10% de nanofibras. Os nanocompósitos reforçados com 10% de nanofibras foram os que apresentaram maior resistência mecânica. Porém é possível constatar um maior aumento na resistência mecânica entre os nanocompósitos reforçados com 7% de nanofibras em relação aos reforçados com 5% de nanofibras (10,6 MPa de aumento), que entre os compósitos reforçados com 10% de nanofibras em relação

àqueles reforçados com 7% de nanofibras (4,8 MPa) (Hamon *et al.*, 2020). Isto pode indicar possível valor para se atingir as propriedades mecânicas ótimas nos nanocompósitos com menor fração de nanofibras do que a da fração de fibras em compósitos, conforme a literatura (Joseph; Medeiros; Carvalho, 1999). Entretanto, mudanças em propriedades físicas em nanocompósitos devem ser avaliadas particularmente para cada nanopartícula e matriz (Balazs; Emrick; Russel, 2006). No caso dos resíduos de madeira houve uma pequena redução na resistência mecânica do nanocompósito, com o acréscimo de nanofibras (Abbasi *et al.*, 2018), enquanto que na palmeira houve um aumento da resistência à tração com o aumento de nanofibras (Hamon *et al.*, 2018) e para a paina a resistência maior foi obtida com 0,75% de nanofibras, reduzindo a resistência à tração com o acréscimo de 1% de nanofibras (Leal *et al.*, 2020). Também se observa nos estudos que as matrizes de PVAc podem ser reforçadas com diferentes tipos de fibras (nanocristais, micro ou nanofibras, *nanowhiskers*).

Os estudos também indicaram maior absorção de água por parte dos nanocompósitos quanto maior for a fração de nanofibras (Srivastava *et al.*, 2020; Chaabounie; Boufi, 2017; Garcia de Rodriguez; Thielemans; Dufresne, 2006). A explicação para isso se deve à característica hidrofílica das fibras comparada à característica hidrofóbica do polímero (Garcia de Rodriguez; Thielemans; Dufresne, 2006). Isso indica que membranas de nanocelulose podem ser aplicadas para retenção de umidade, sistemas de drenagem e para sistemas de filtração de água. A redução da viscosidade, que é a capacidade do fluido resistir ao seu movimento, está ligada aos caminhos criados pelas nanofibras que se tornam pontos de acúmulo de umidade e oferecem resistência ao fluxo da água que aumenta à medida que aumenta a presença de nanofibras (Rigg-Aguilar *et al.*, 2020). Assim, nanofibras em sistemas de drenagem também poderiam contribuir para aliviar efeitos de enxurradas e erosões.

Outra aplicação possível para os nanocompósitos, conforme observado pela literatura levantada, é em sistemas que exigem absorção de ruídos, pois estudos apontaram para a absorção do som por parte da fração mássica maior de nanofibras em relação à matriz polimérica (Abbasi *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2019). Nanocompósitos podem funcionar como ressonadores acústicos, isto é, permitem a conversão de energia sonora em energia térmica em uma frequência específica do som. Dos usos apontados para os nanocompósitos com relação às suas propriedades acústicas é que eles podem ser aplicados como sistemas de absorção de som (Abbasi *et al.*, 2018).

A estabilidade térmica foi apontada como melhorada por duas pesquisas, de modo que a decomposição dos nanocompósitos acontece a temperaturas maiores que a da matriz polimérica de PVAc (Leal *et al.*, 2020; Kaboorani; Riedl, 2015). No entanto, duas pesquisas apontaram para a redução da estabilidade térmica dos nanocompósitos com relação do PVAc. Uma das explicações para a redução da estabilidade térmica envolve a presença de ácidos hidrolisados (Rigg-Aguilar *et al.*, 2020) e devido à estabilidade térmica da nanofibra ser menor que a do PVAc e a degradação da nanofibra poder acelerar a degradação

do acetato vinílico. Essa diferença nos estudos pode estar associada às características próprias de cada fibra vegetal ou mesmo aos tratamentos realizados em cada fibra estudada, pois a metodologia empregada para aquisição de cada nanofibra é distinta.

Para os nanocompósitos de PVAc reforçados por fibras vegetais foram expostos menos estudos, dez ao todo, e oito deles publicados a partir de 2017, o que mostra que é um tema menos explorado e mais recentemente. Assim, muitas das aplicações tecnológicas de nanocompósitos de PVAc ainda podem ser melhor abordadas e esperadas, com o alcance em aplicações na eletroeletrônica (Hammami *et al.*, 2019), na construção civil, em isolamentos acústicos, em sistemas de drenagem e filtração, em reforço de membranas poliméricas e adesivos e outras, cujas características venham a ser exploradas em futuras pesquisas.

4 CONCLUSÃO

Embora a aquisição de nanocompósitos e nanofibras dependa de um processo mais caro e complexo, esses nanomateriais possuem vantagens que os favorecem em relação aos compósitos e ao uso de fibras, pois, como visto, a área superficial de contato das nanofibras é muito maior, se comparado à das fibras, o que favorece o alcance das propriedades ótimas dos nanocompósitos com frações mássicas menores de reforço, compensando a relação custo-benefício.

A avaliação das propriedades físicas, químicas e mecânicas se mostrou dependente do tipo das fibras ou nanofibras usadas como reforço, das suas frações mássicas e também da matriz selecionada. Outro fator importante é a metodologia empregada em cada estudo tanto para a confecção dos compósitos e nanocompósitos quanto para os tratamentos superficiais a que cada fibra foi submetida; as características próprias de cada fibra, tais como sua área de cultivo e colheita, as condições climáticas do local em que foram cultivadas, a técnica de cultivo e a idade da planta em que foram adquiridas as fibras.

Também foi possível analisar propriedades diversas de compósitos e nanocompósitos, tais como propriedades hidrodinâmicas, aerodinâmicas, acústicas, mecânicas, de densidade, térmicas e elétricas. Em compósitos tratados química ou fisicamente ou com agente compatibilizante foram encontradas melhorias nas propriedades em relação aos não tratados e, em alguns casos, em relação ao PP puro. O compatibilizante mais empregado nos estudos levantados foi o PPMA. Por fim, pelas pesquisas levantadas foi possível perceber que mais da metade delas é recente, 19 em 35 estudos foram realizados nos últimos cinco anos (de 2017 a 2021), o que demonstra ser um assunto bem atual e que ainda pode ser explorado em muitos aspectos, como o uso de outros agentes compatibilizantes que não o PPMA.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, concedida à quinta autora, e à Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelas bolsas concedidas aos três primeiros autores.

6 REFERÊNCIAS

- Abbasi, A.; Barkhordari, A.; Hekmatimoghaddam, S.; Jebali, A. Reduction in environmental noise by a novel nanocomposite, containing cellulose, polyvinyl acetate, and aluminum oxide nanoparticles, *International Journal of Environmental Science Technology*, vol. 15, no. 7, pp. 1423–1428, 2018, doi: 10.1007/s13762-017-1472-2.
- Angel-Monroy, M. et al. Effect of silicon dots into coconut fibers on the nucleating capacity of β -crystals of polypropylene, *Revista Mexicana Ingeniería Química*, vol. 20, no. 1, pp. 479–492, 2021, doi: 10.24275/rmiq/Poly2118.
- Anglès, M. N.; Salvadó, J.; Dufresne, A. Steam-Exploded Residual Softwood-Filled Polypropylene Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 74, pp. 1962–1977, 1999.
- Askeland, D. R.; Phulé, P. P. *Ciência e Engenharia dos Materiais*. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2003, ISBN 139788522105984
- Asrafuzzaman, A.; Amin, K. F.; Hoque, M. E. Introduction of fiber-reinforced polymers, in *Fiber-reinforced polymers: processes and applications*, C. I. Pruncu, S. Gürgen, and M. E. Hoque, Eds. New York: Nova Science Publishers, 2021, p. 470.
- Balazs, A. C.; Emrick, T.; Russel, T. P. Nanoparticle polymer composite: where two small words meet. *Science* 2006, 314, 1107-1110, <https://doi.org/10.1126/science1130557>.
- Chaabouni, O.; Boufi, S. Cellulose nanofibrils/polyvinyl acetate nanocomposite adhesives with improved mechanical properties, *Carbohydrate Polymers*, vol. 156, pp. 64–70, 2017, doi: 10.1016/j.carbpol.2016.09.016.
- D’Almeida, J. R. M.; Silva, A. L. L. da Creep behavior of lignocellulosic-fiber/polypropylene matrix composites, *Material Science Forum*, vol. 730–732, 295–300, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.730-732.295.
- Darie, R. N.; Lack, E.; Lang, F.; Sova, M.; Nistor, A.; Spiridon, I. Wastes from Wood Extraction Used in Composite Materials: Behavior after Accelerated Weathering, *International Journal of Polymer Analytics Characterization*, vol. 19, pp. 453–467, 2014, doi: 10.1080/1023666X.2014.920134.
- Delgado-Aguilar, M. et al., Explorative study on the use of Curauá reinforced polypropylene composites for the automotive industry, *Materials (Basel)*, vol. 12, pp. 1–14, 2019, doi: 10.3390/ma1224185.
- Esteves, A. C. C.; Barros-Timmons, A.; Trindade, T. Nanocompósitos de matriz polimérica: estratégias de síntese de materiais híbridos. *Química Nova* 2004, 5, 798-806, <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000500020>.
- Faria, H.; Cordeim, N.; Belgacem, M. N.; Dufresne, A. Dwarf Cavendish as a source of natural fibers in poly(propylene)-based composites,” *Macromolecular Material Engineering*, vol. 291, no. 1, pp. 16–26, 2006, doi: 10.1002/mame.200500212.
- Felizardo, K. R.; Nakagawa, E. Y.; Fabbri, S.; Ferrari, F. *Revisão sistemática da literatura em engenharia de software: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- Furlan, L. G.; Duarte, U. L.; Mauler, R. S. Avaliação das propriedades de compósitos de polipropileno reforçados com casca de aveia, vol. 35, no. 8, pp. 1499–1501, 2012.
- Furtado, F. *Compósitos de Polipropileno Reforçados com Fibras de Phormium tenax*: avaliações do compósito de polipropileno, polipropileno maleatado, alumínio e fibras de *Phormium tenax*. Riga: Novas Edições Acadêmicas, 2020, ISBN 9786202803847.
- Garcia de Rodriguez, N. L.; Thielemans, W.; Dufresne, A. Sisal cellulose whiskers reinforced polyvinyl acetate nanocomposites, *Cellulose*, vol. 13, no. 3, pp. 261–270, 2006, doi: 10.1007/s10570-005-9039-7.
- Gomes de Paula, P.; Rodríguez, R. J. S.; Rangel Duarte, L. P.; Candido, V. S.; Monteiro, S. N. Formulation and characterization of polypropylene composites alkali treated bagasse fiber, *Material Science Forum*, vol. 775–776, pp. 319–324, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.775-776.319.
- Hammami, I. et al. Electrical, morphology and structural properties of biodegradable nanocomposite polyvinyl-acetate/ cellulose nanocrystals, *Material Chemical Physics*, vol. 240, p. 122182, 2020, doi: 10.1016/j.matchemphys.2019.122182.
- Hamou, K. Ben; Kaddami, H.; Dufresne, A.; Boufi, S.; Magnin, A.; Erchiqui, F. Impact of TEMPO-oxidization strength on the properties of cellulose nanofibril reinforced polyvinyl acetate nanocomposites, *Carbohydrate Polymers*, vol. 181, pp. 1061–1070, 2018, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.11.043.
- Haque, M. M. -U. Polypropylene (PP)/Cellulose-Based Biocomposites and Bionanocomposites, in *Polypropylene Based Biocomposites and Bionanocomposites*, P. M. Visakh and M. Poletto, Eds. Scrivener Publishing LLC, 2017, pp. 23–53, <https://doi.org/10.1002/9781119283621.ch2>.
- Hernández-Díaz, D.; Villar-Ribera, R.; Espinach, F. X.; Julián, F.; Hernández-Abad, V.; Delgado-Aguilar, M. Impact properties and water uptake behavior of old newspaper recycled fibers-reinforced polypropylene composites, *Materials (Basel)*, vol. 13, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/ma13051079.
- Jedyn, F. G. Preparação e Caracterização de Compósitos Reprocessados de Matriz de Polipropileno Reforçados por Serragem. Master's Thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, Brazil, 30th October, 2017, <http://hdl.handle.net/1884/26536>.
- John, R.; Lin, R.; Jayaraman, K.; Bhattacharyya, D. Modified Taylor’s equation including the effects of fiber characteristics on tool wear when machining natural fiber composites, *Wear*, vol. 468–469, no. December 2020, p. 203606, 2021, doi: 10.1016/j.wear.2020.203606.

- Joseph, K.; Medeiros, E. S.; Carvalho, L. H. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal, *Polímeros* 1999, 9, 136-141, <https://doi.org/10.1590/s0104-14281999000400023>.
- Kaboorani, A.; Riedl, B. Mechanical performance of polyvinyl acetate (PVA)-based biocomposites, in *Biocomposites: Design and Mechanical Performance*, Fourteenth., Elsevier Ltd., 2015, pp. 347–364.
- Kastner, C.; Steinbichler, G.; Kahlen, S.; Jerabek, M.; Lummerstorfer, T. Nonlinear influences of parameters on mechanical properties of physical foamed, fiber reinforced polypropylene parts. *Journal of Applied Polymer Science* 2020, 49569, 1-15, <https://doi.org/10.1002/app.49569>.
- Kellersztein, I.; Shani, U.; Zilber, I.; Dotan, A. Sustainable Composites from Agricultural Waste: The Use of Steam Explosion and Surface Modification to Potentialize the Use of Wheat Straw Fibers for Wood Plastic Composite Industry, *Polymer Composite*, pp. 1–9, 2017, doi: 10.1002/pc.
- Komuraiah, A.; Kumar, N. S.; Prasad, B. D. Chemical composition of natural fibers and its influence on their mechanical properties. *Mechanics of Composite Materials* 2014, 50, 359-376, <https://doi.org/10.1007/s11029-024-9422-2>.
- Kumar, R.; Al, E. Mechanical properties of fiber-reinforced polymers, in *Fiber-Reinforced Polymers: Processes and Applications*, C. I. Pruncu, S. Gürgen, and M. E. Hoque, Eds. New York: Nova Science Publishers, 2021, p. 470.
- Langhorst, A.; Ravandi, M.; Mielewski, D.; Banu, M. Technical agave fiber tensile performance: the effects of fiber heat-treatment. *Industrial Crops & Production* 2021, 171, 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113832>.
- Leal, M. R.; Flores-Sahagun, T. H. S.; Franco, T. S.; Muniz, G. I. B. Ceiba speciosa St. Hill fruit fiber as a potential source for nanocellulose production and reinforcement of polyvinyl acetate composites, *Polymer Composites* 2020, 42, 1–15, <https://doi.org/10.1002/pc.25833>.
- Lee, J. M.; Mohd Ishak, Z. A.; Mat Taib, R.; Law, T. T.; Ahmad Thirmizir, M. Z. Mechanical, Thermal and Water Absorption Properties of Kenaf-Fiber-Based Polypropylene and Poly(Butylene Succinate) Composites, *Journal of Polymer Environment*, vol. 21, pp. 293–302, 2013, doi: 10.1007/s10924-012-0516-4.
- Lima, L. P. F. C.; Santana, R. M. C.; Rodríguez, C. D. C. Influence of coupling agent in mechanical, physical and thermal properties of polypropylene/bamboo fiber composites: under natural outdoor aging. *Polímeros* 2020, 12, 1-17, <http://doi.org/10.3390/polym12040929>.
- Lin, Z.; Rennekar, S. Nanocomposite-based lignocellulosic fibers 2: Layer-by-layer modification of wood fibers for reinforcement in thermoplastic composites, *Composites Part A*, vol. 42, no. 1, pp. 84–91, 2011, doi: 10.1016/j.compositesa.2010.10.011.
- Lourençon, T. V.; Santilli, B. V.; Magalhães, W. L. E.; Muniz, G. I. B. Thermal Stabilization of Wood/Polypropylene Composites Through Addition of Unmodified, Low-Cost Kraft Lignin. *Waste and Biomass Valorization* 2018, 1, 1–9, doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0484-6>.
- Maddah, H. Polypropylene as a promising plastic: a review, *American Journal of Polymer Science*, vol. 6, no. 1, pp. 1-11, 2016, doi:10.5923/j.ajps.20160601.01.
- Mano, B.; Araujo, J. R.; Paoli, M. A. de; Waldman, W. R.; Spinace, M. A. Mechanical properties, morphology and thermal degradation of a biocomposite of polypropylene and curaua fibers: Coupling agent effect, *Polimeros*, vol. 23, no. 2, pp. 161–168, 2013, doi: 10.1590/S0104-14282013005000025.
- Mark, H. F. Encyclopedia of Polymers Science and Technology, 3rd ed. New York: Wiley-Interscience, vol. 8 and 11, 2003.
- Masuelli, M. A. Introduction of Fibre-Reinforced Polymers – Polymers and Composites: Concepts, Properties and Processes, in *Fiber Reinforced Polymers: The Technology Applied for Concrete Repair*, M. A. Masuelli, Ed. IntechOpen, 2013, pp. 1–39.
- Mazian, B.; Bergeret, A.; Benezet, J. C.; Malhautier, L. Impact of field retting and accelerated retting performed in a lab-scale pilot unit on the properties of hemp fibres/polypropylene biocomposites, *Industrial Crops & Production*, vol. 143, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111912.
- Meri, R. M. *et al.* Some aspects of the development of oat husks containing polypropylene composites, *AIP Conference Proceedings*, vol. 1981, 2018, doi: 10.1063/1.5045990.
- Mesquita, A. Estudo Da Polimerização Do Acetato De Vinila Utilizando a Radiação Ionizante, Universidade de São Paulo, 2002.
- Morandim-Giannetti, A. A.; Agnelli, J. A. M.; Lanças, B. Z.; Magnabosco, R.; Casarin, S. A.; Bettini, S. H. P. Lignin as additive in polypropylene/coir composites: Thermal, mechanical and morphological properties, *Carbohydrate Polymers*, vol. 87, pp. 2563–2568, 2012, doi: 10.1016/j.carbpol.2011.11.041.
- Mutjé, P.; Gironès, J.; Lòpez, A.; Llop, M. F.; Vilaseca, F. Hemp strands: PP composites by injection molding: Effect of low cost physico-chemical treatments, *Journal of Reinforced Plastic Composite*, vol. 25, no. 3, pp. 313–327, 2006, doi: 10.1177/0731684406059784.
- Pagliari, M.; Ciriminna, R.; Yusuf, M.; Eskandarinezhad, S.; Wani, I. A. Application of nanocellulose composites in the environmental engineering as a catalyst, flocculants, and energy storages: a review. *Journal of Composites and Compounds* 2021, 3, 114-128, <https://doi.org/10.52547/jcc.3.2.5>.
- Poletto, M. Polystyrene cellulose fiber composites: Effect of the processing conditions on mechanical and dynamic mechanical properties, *Revista Materia*, vol. 21, no. 3, pp.

- 552–559, 2016, doi: 10.1590/S1517-707620160003.0053.
- Renner, K.; Móczó, J.; Pukánszky, B. Deformation and failure of PP composites reinforced with lignocellulosic fibers: Effect of inherent strength of the particles, *Composite Science Technology*, vol. 69, pp. 1653–1659, 2009, doi: 10.1016/j.compscitech.2009.03.015.
- Rigg-Aguilar, P. *et al.*, Micro- And Nanofibrillated Cellulose (MNFC) from Pineapple (*Ananas comosus*) Stems and Their Application on Polyvinyl Acetate (PVAc) and Urea-Formaldehyde (UF) Wood Adhesives, *Journal of Nanomaterials*, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1155/2020/1393160.
- Rodrigues, J.; Souza, J. A. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão, *Revista Materia*, vol. 20, pp. 946–960, 2015.
- Rosa, I. M. de; Santulli, C.; Sarasini, F. Mechanical and thermal characterization of epoxy composites reinforced with random and quasi-unidirectional untreated *Phormium tenax* leaf fibers, *Material & Design*, vol. 5, no. 31, pp. 2397–2405, 2010, doi:10.1016/j.matdes.2009.11.059.
- Sanadi, A. R.; Caulfield, D. F.; Jacobson, R. E.; Rowell, R. M. Renewable Agricultural Fibers as Reinforcing Fillers in Plastics: Mechanical Properties of Kenaf Fiber-Polypropylene Composites, *Industrial Engineering Chemical Resource*, vol. 34, no. 5, pp. 1889–1896, 1995, doi: 10.1021/ie00044a041.
- Sangroniz, L.; Drongelen, M.; Cardinaels, R.; Santamaria, A.; Peters, G. W. M.; Müller, A. J. Effect of shear rate and pressure on the crystallization of PP nanocomposites and PP/PET polymer blend nanocomposites. *Polymer Journal* 2020, 186, 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121950>.
- Santos, L. P.; Flores-Sahagun, T. H. S.; Satyanarayana, K. G. Effect of processing parameters on the properties of polypropylene-sawdust composites. *Journal of Composite Material* 2015, 0, 1-14, <https://doi.org/10.1177/0021998314568331>.
- Sen, M. Nanocomposite Materials, in *Nanotechnology and the Environment*, M. Sen, Ed. IntechOpen, 2020, pp. 1–12.
- Serra-Parareda, F.; Tarrés, Q.; Espinach, F. X.; Vilaseca, F.; Mutjé, P.; Delgado-Aguilar, M. Influence of lignin content on the intrinsic modulus of natural fibers and on the stiffness of composite materials, *International Journal of Biology Macromolecular*, vol. 155, pp. 81–90, 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.03.160.
- Sharma, S. K.; Nayak, S. K. Surface modified clay/polypropylene (PP) nanocomposites: effect on phisico-mechanical, thermal and morphological properties. *Polymer Degradation and Stabilization* 2009, 94, 132-138, <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2008.09.004>.
- Shen, R.; Xue, S.; Xu, Y.; Liu, Q.; Feng, Z.; Ren, H.; Zhai, H. Research progress and development demand of nanocelulose reinforced polymer composites. *Polymer Journal* 2020, 12, 1-19, <https://doi.org/10.3390/polym12092113>.
- Silva, C. C. B. da; Terashima, F. J. H.; Barbieri, N.; Lima, K. F. de. Sound absorption coefficient assessment of sisal, coconut husk and sugar cane fibers for low frequencies based on three different methods, *Applied Acoustics*, vol. 156, pp. 92–100, 2019, doi: 10.1016/j.apacoust.2019.07.001.
- Souza, M. M. de; Anjos, M. A. S. dos; Araújo, A. L. C.; Soares, A. V. de O.; Souza, P. C. A. de. Uso do lodo de esgoto na produção de agregados leves: uma revisão sistemática de literatura, *Matéria (Rio Janeiro)*, vol. 25, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1590/s1517-707620200001.0922.
- Spinacé, M. A. S.; Femoseli, K. K. G.; Paoli, M. A. Recycled Polypropylene Reinforced with Curaua Fibers by Extrusion, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 112, pp. 3686–3694, 2009, doi: 10.1002/app.29683.
- Srivastava, K. R. *et al.* Environmental Technology & Innovation, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1016/j.eti.2020.101312.
- Tatagiba, M. K. V. de; d'Almeida, J. R. M. Pejibaye fiber-reinforced polypropylene matrix composites, *Polymer from Renewable Resources*, vol. 7, no. 3, pp. 67–80, 2016, doi: 10.1177/204124791600700301.
- Thakur, V. K.; Thakur, M. K.; Kessler, M. R. *Handbook of composites from renewable materials*, vol. 1–8. Hoboken: Scrivener Publishing LLC, 2017.
- Trombetta, E.; Flores-Sahagun, T. H. S.; Satyanarayana, K. G. Evaluation of polypropylene/sawdust composites prepared with maleated polypropylene (MAPP) produced by reactive extrusion. *Matéria* 2010, 15, 309-318, <https://doi.org/10.1590/S1517-70762010000200032>.
- Vlachopoulos, J.; Strutt, D. Overview polymer processing. *Material Science Technology* 2003, 19, 1161-1169, <http://doi.org/10.1179/026708303225004738>.
- Wang, C.; Mei, J.; Zhang, L. High-added-value biomass-derived composites by chemically coupling post-consumer plastics with agricultural and forestry wastes, *Journal of Cleaner Production*, vol. 284, p. 124768, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124768.
- Wu, H.; Liang, X.; Huang, L.; Xie, Y.; Tan, S.; Cai, X. The utilization of cotton stalk bark to reinforce the mechanical and thermal properties of bio-flour plastic composites, *Construction and Building Materials*, vol. 118, pp. 337–343, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.095.