

Compósitos poliméricos e o meio ambiente: um estudo sobre cargas alternativas e compósitos de polipropileno no século XXI no Brasil

Polymeric composites and the environment: a study on alternative fillers for polypropylene composites in the 21st century in Brazil

DOI:10.34117/bjdv8n4-434

Recebimento dos originais: 21/02/2022

Aceitação para publicação: 31/03/2022

Ivonete O. Barcellos

Doutorado

Instituição: Universidade Regional de Blumenau-FURB, Departamento de Química

Endereço: Rua Antonio da Veiga,140, Blumenau-SC

E-mail: iob@furb.br

Cristiano Oechsler

Bacharel em Química

Instituição: Universidade Regional de Blumenau-FURB

Endereço: Rua Antonio da Veiga,140, Blumenau-SC

E-mail: crissoec@gmail.com

Raíssa T. Budag

Formação Bacharel em Química

Instituição: Universidade Regional de Blumenau-FURB- PPGQ

Endereço: Rua Antonio da Veiga,140, Blumenau-SC

E-mail: rtbudag@furb.br

Dieter W. Hein

Mestrado em Química

Instituição: Universidade Regional de Blumenau-FURB-PPGQ

Endereço: Rua Antonio da Veiga,140, Blumenau-SC

E-mail: dieter@epexind.com.br

Eduardo G. C. Neiva

Doutorado

Instituição: Universidade Regional de Blumenau-FURB, Departamento de Química

Endereço: Rua Antonio da Veiga,140, Blumenau-SC

E-mail: eneiva@furb.br

Lizandra M. Zimmermann

Doutorado

Instituição Universidade Regional de Blumenau-FURB, Departamento de Química

Endereço: Rua Antonio da Veiga,140, Blumenau-SC

E-mail: lmz@furb.br

RESUMO

O desenvolvimento de novos materiais, tem se pautado, de forma cada vez mais crescente, visando produções mais sustentáveis, com o aproveitamento de matérias-primas já

existentes ou resíduos industriais, a fim de diminuir os impactos ambientais. Este manuscrito tem como objetivo um levantamento bibliográfico detalhado entre dissertações e teses defendidas no Brasil, bem como artigos publicados em periódicos especializados, com ênfase aos nacionais, de 2000 até a atualidade, envolvendo estudos com compósitos à base de polipropileno. Também tem como finalidade apresentar propostas de cargas alternativas (minerais, vegetais e resíduos industriais) para matrizes termoplásticas. Esta abordagem de revisão contribuirá tanto com as instituições de ensino e pesquisa, quanto com os setores privados de manufatura de poliolefinas, e desta forma, atraindo também o interesse do setor produtivo por este periódico.

Palavras-chave: polipropileno, compósitos, cargas, sustentabilidade, meio ambiente, resíduos industriais

ABSTRACT

The development of new materials has increasingly been based on the most sustainable forms of production, using existing raw materials or industrial waste, in order to reduce environmental impacts. This manuscript aims looking for a detailed literature review, including dissertations and theses developed in Brazilian research institutions, as well as papers published in specialized journals, with emphasis on national ones, from 2000 to the present, involving studies with polypropylene-based composites. It also aims to present proposals for alternative fillers (minerals, vegetables and industrial waste) for thermoplastic matrices. This review approach will contribute both to research institutions and teaching purposes, as well as to the private polyolefin manufacturing sectors, and in this way, also attracting the interest of the productive sector for this journal.

Keywords: polypropylene, composite, fillers, sustainability, environment, industrial wastes.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento industrial dos países e o aumento de demanda trouxe como consequência a utilização de recursos renováveis e não-renováveis de forma descontrolada. Com isso, para evitar a degradação ambiental e/ou esgotamento de recursos, diversas alternativas estão sendo exploradas (MARINELLI et al., 2008; CALEGARI et al., 2016), dentre elas, a produção de compósitos, que tem como objetivo aprimorar ou mudar as propriedades dos materiais já existentes. Criam-se, assim, novos materiais que podem ser aplicados em novas extensões e modalidades, com desempenho superior ou distinto dos materiais de partida (LÍBANO; VISCONTE; PACHECO, 2012; PEIXOTO, 2012). Dentre as classes de compósitos, destacam-se os materiais poliméricos, os quais são utilizados na construção civil, na medicina, indústria automobilística e aeroespacial, setor esportivo, indústria bélica, entre outras áreas (TITA et al., 2002; SPINACÉ et al., 2011; MASSULO et al., 2016).

A formulação dos compósitos poliméricos pode ser constituída por diferentes matérias-primas, de origem natural ou sintética. Este material heterogêneo possui duas fases: uma contínua e a outra descontínua (dispersa). A fase contínua é chamada de matriz, que envolve a fase descontínua, chamada de carga. Quando a fase descontínua tem o objetivo de diminuir a quantidade de matéria-prima de matriz polimérica, ela é denominada ou reconhecida como material de preenchimento, viabilizando uma redução de custo do material final. A fase descontínua também pode atuar como um agente funcional, levando a uma melhora das propriedades do material, neste caso reforço ou funcionalidade. A morfologia da fase descontínua e a disposição desta pela matriz categoriza os compósitos em laminados, particulados ou reforçados com fibras (RODRIGUES et al., 2007; SILVA, J. D. et al, 2016).

Compósitos poliméricos com propriedades fantásticas já são encontrados na natureza: o bambu, por exemplo, tem sua matriz formada de polímeros naturais lignina e celulose, que conferem sustentação e rigidez à planta, mas ao mesmo tempo flexibilidade, resultando em alta resistência à tensão. O desenvolvimento de compósitos naturais, a partir da atividade humana, possui registros na época dos israelitas por volta do séc. V, onde eram feitos tijolos de barro com palha. Com o passar dos anos e o desenvolvimento de novos materiais, a utilização de poliolefinas tomou o lugar de materiais inorgânicos, como os metais e a cerâmica, pela menor densidade atrelada, mas propriedades físicas e mecânicas semelhantes ou superiores (LIGOWSKI et al., 2015).

Os materiais compósitos também podem ser denominados de polímeros verdes, apenas quando formados por matrizes poliméricas de fonte renovável. Eles são fruto da necessidade em diminuir a produção de novos plásticos, devido à diminuição das reservas de petróleo, questões ambientais, ou ainda, pelo grande volume gerado nos aterros sanitários. Neste tipo de compósitos, outro fator importante a ser considerado é a biodegradabilidade e a composição de suas cargas, geralmente de fibras naturais. As cargas também podem ser provenientes de resíduos industriais, que são produzidos em grandes volumes, trazendo custos às empresas, quando os mesmos precisam passar por tratamentos ou ainda são armazenados e transportados para aterros sanitários. Neste contexto de sustentabilidade, o uso destes materiais na forma de carga é importante para redução do impacto ambiental (SPINACÉ et al., 2005).

Atualmente, a pesquisa de compósitos está principalmente voltada para as matrizes poliméricas, destacando-se os termoplásticos. Essa classe de polímeros recebe este nome devido à sua característica frente à aplicação de calor, sendo possível deformá-

los e dar uma nova modelagem aos mesmos. Além desta característica, o fato de serem abundantes e possíveis de serem reciclados os colocam como sendo um bom tipo de matriz para um compósito (ZIMMERMANN et al., 2014). Os termoplásticos também apresentam baixa densidade, resistência ao impacto e ainda podem ser utilizados como isolantes elétricos ou térmicos (BISCHOFF et al., 2013; FARIA et al., 2015).

A principal matéria-prima para os termoplásticos é oriunda dos derivados de petróleo. Esses termoplásticos apresentam uma vasta gama de propriedades como a facilidade de seu processamento, resistências química, física e biológica. No entanto, a resistência biológica pode se tornar um problema, pelo fato de não se decomporem na natureza. Essa problemática é verificada quando descartados de maneira inadequada ou nos dispendiosos espaços que ocupam em aterros sanitários depois de utilizados. Como solução, estes polímeros podem ser reciclados devido ao seu alto consumo, trazendo a necessidade de mais pesquisas, como por exemplo, de formulação de compósitos formados também com matriz polimérica reciclada (LIRA, 2016).

A reciclagem de polímeros traz grandes vantagens, a começar pelo seu preço. Geralmente, plásticos reciclados são até 40% mais baratos que plásticos virgens. O consumo de energia para produzir materiais reciclados é menor, quando comparado a materiais virgens, além da desocupação em aterros sanitários (SPADETTI et al., 2017). O seu preço também varia de acordo com a forma que é reciclado, das suas condições iniciais e de sua fonte de origem. Os polímeros com o maior número de empresas recicladoras no Brasil são: o polietileno (PE) e o polipropileno (PP). Muitas recicladoras transformam o polímero até o produto final, outras trabalham com o polímero apenas até a forma de granulados. Sua aplicação é limitada, pois não podem ser utilizados em embalagens alimentícias e bebidas, na área médica e farmacêutica, e também em brinquedos, pois o polímero apesar de ser reciclado, pode estar contaminado, dependendo de qual foi sua aplicação antes de ser reciclado (AZEVEDO et al., 2016). Quando reciclados, apresentam uma boa aparência, possibilitando sob este ponto de vista sua utilização com a mesma finalidade onde plásticos virgens são utilizados. Entretanto, outras características podem ser alteradas, como no caso da reciclagem do PP, que afeta suas propriedades mecânicas. Devido ao elevado calor utilizado durante o processo de reciclagem, há uma diminuição de sua resistência mecânica e térmica. A solução para este problema vem sendo a incorporação de cargas em suas estruturas, podendo-se assim formar compósitos com propriedades melhoradas comparadas às do polímero reciclado sem cargas (ISHIZAKI et al., 2006; SANTANA, M. N. B. D., 2012; SCOPEL, 2012).

No ano de 2015, foi produzido um total de 3.315 kt/ano de polipropileno, sendo este o termoplástico mais produzido nas empresas naquele ano. Esse polímero é o segundo mais consumido no mundo, tendo aplicabilidade nas mais diversas áreas, como na indústria de alimentos, nas embalagens em geral, indústria automobilística, indústria bélica, brinquedos, corpo de eletrodomésticos, área hospitalar e copos plásticos (ALVES et al., 2014; DAMIN et al., 2016).

De acordo com a ABIPLAST, só no ano de 2019 a produção de resinas termoplásticas no Brasil foi de 8.200 kt. A resina de PP foi a mais consumida no país, representando um consumo de 20,1 %, em seguida a resina de PEAD (polietileno de alta densidade), com 13,2% (ABIPLAST, 2020). Por esta razão, será dado maior destaque ao levantamento bibliográfico sobre os materiais à base de polipropileno.

2 COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO

Na literatura, encontram-se trabalhos publicados com os mais diversos materiais incorporados à matriz polimérica de polipropileno (PP).

Morales *et al* também estudaram a morfologia e propriedades mecânica e estrutural de compósitos de PP, neste caso modificado com argilas montmoriloníticas. Com relação a estrutura e morfologia, os autores verificaram que não houve mudanças na fase cristalina do PP, porém o processo de cristalização sofreu influência da presença de argila. Quanto às propriedades mecânicas, observaram que são semelhantes a de outros compósitos com outras argilas. Somente a tensão de escoamento apresentou melhora, devendo estar relacionado com a rigidez das camadas de argila no compósito (MORALES et al., 2012).

Cavalcante e Canto utilizaram resíduo industrial à base de resina fenólica como carga para PP. Neste estudo, eles relataram que a incorporação deste resíduo na matriz do PP apresentou partículas do resíduo com tamanhos inferiores a 500 µm dispersas na matriz de PP. A incorporação do resíduo nos compósitos deste polímero produziu um pequeno aumento (~10 %) da viscosidade com relação ao PP puro, dependendo da pressão de injeção. As partículas do resíduo atuaram como agentes de nucleação da cristalização do PP nos compósitos moldados, resultando na maior resistência à degradação térmica com relação ao polímero puro, além de apresentarem um balanço de rigidez e resistência com aumento do módulo sob flexão e diminuição da resistência à tração. Porém, a incorporação do resíduo não alterou a resistência ao impacto. Os compósitos apresentaram temperaturas de distorção ao calor superiores ao PP. Segundo

os autores, foi demonstrado que o resíduo industrial de resina fenólica atua como uma carga funcional para o PP. Além disso, os compósitos desenvolvidos representam uma alternativa de reciclagem para o resíduo industrial à base de resina fenólica (CAVALCANTE et al., 2012).

Neis e Machado estudaram o comportamento mecânico e térmico de compósitos de PP com casca de banana. Esse trabalho mostra que a inclusão deste resíduo fibroso como material de reforço na matriz do polipropileno aumentou os resultados de módulo de tração e de resistência ao impacto, conforme o aumento da adição de fibra à matriz, já os valores de alongamento à ruptura diminuíram. A adição da fibra também mostrou aumento na estabilidade térmica do material, segundo os resultados obtidos pelas análises termogravimétricas (NEIS; MACHADO, 2015).

Na Tabela 1 estão reportados artigos publicados entre 2000 e 2021 sobre compósitos à base de polipropileno. Todos estes estudos visam a caracterização dos compósitos bem como a avaliação de algumas propriedades como: comportamento térmico, reológico, mecânico, degradação ambiental, estabilização, flamabilidade, e ainda processabilidade para aplicações em engenharia de materiais em diversas áreas.

Tabela 1: Artigos publicados entre 2000 – 2021 abordando sobre compósitos de PP.

Tipo de carga / agente funcional	Título	Autores / Ano
Fibra de carbono	Characterization of textile-grade carbon fiber polypropylene composites	(YEOLE et al., 2021)
Casca de arroz	Produção e caracterização de compósitos obtidos a partir da incorporação de casca de arroz em blendas de polipropileno virgem e reciclado	(MATEUS; et al., 2021)
Placas de circuito	Reaproveitamento de resíduo de placas de circuito impresso como cargas em compósitos de polipropileno	(SCHNEIDER et al., 2020)
Fibras de serralha, capim kusha, sisal, banana e feno	Acoustic and mechanical characterisation of polypropylene composites reinforced by natural fibres for automotive applications	(HARIPRASAD et al., 2020)
Filamentos comerciais	Mechanical recyclability of polypropylene composites produced by material extrusion-based additive manufacturing	(SPOERK et al., 2019)
Fibras de celulose	Propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos de polipropileno pós-consumo reforçados com fibras de celulose	(SPADETTI et al., 2017)
Cascas de café	Propriedades mecânicas e morfologia de compósitos de polipropileno e cascas de café	(DA COSTA et al., 2016)
Capim-elefante	Compósitos de polipropileno reforçado com capim-elefante	(CARASCHI et al., 2015)
Resíduos de acácia	Acacia bark residues as filler in polypropylene composites	(TAFLICK et al., 2015)
Argila organofílica	Inflamabilidade de nanocompósitos de polipropileno / argila organofílica	(ALVES et al., 2014)

Farinha de madeira	Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos	(BATTISTELLE et al., 2014)
Resíduos de borracha	Evaluation of the effect of the incorporation of rubber tire waste particles on the properties of PP, HIPS and PP/HIPS matrices	(MONTAGNA et al., 2013)
Argila organofílica	Desenvolvimento de filmes de nanocompósitos polipropileno/argila organofílica para embalagens	(ARAÚJO et al., 2012)
Mármore bege Bahia	Aproveitamento do resíduo do mármore bege Bahia no setor polimérico	(RIBEIRO et al., 2012)
Fibra de bananeira	Influência da sequência de mistura do PP-MA nas propriedades dos compósitos de PP e fibra de bananeira	(BECKER et al., 2011)
Argila organofílica	Nanocompósitos de Poliamida 6 e argila organofílica: Estudo da cristalinidade e propriedades mecânicas	(DE OLIVEIRA et al., 2011)
Fibras de coco	Extrusão de compósitos de PP com fibras curtas de coco: efeito da temperatura e agentes de acoplamento	(SANTOS, E. F. et al., 2010)
Resíduos de ardósia	Obtenção de compósitos de resíduos de ardósia e polipropileno	(DE CARVALHO et al., 2007)
Cargas minerais	Influência nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno virgem / reciclado com diferentes tipos de cargas reforçantes	(COSTA et al., 2007)
Argila montmorilonita	Propriedades mecânicas de nanocompósitos de polipropileno e montmorilonita organofílica	(PAIVA et al., 2006)
Madeira	Compósitos termoplásticos com madeira	(CORREA et al., 2003)
Microesferas ocas de vidro	Polipropileno carregado com microesferas ocas de vidro (Glass Bubbles): obtenção de espuma sintática	(BARBOZA et al., 2002)

Macheca e Riella avaliaram o efeito da velocidade de rotação da extrusora de rosca e do percentual da argila organofílica moçambicana incorporada ao PP, tratada com dois diferentes sais quaternários, brometo de cetrimônio e cloreto de benzalcônio. As propriedades mecânicas e de inflamabilidade dos nanocompósitos de PP produzidos também foram avaliadas, bem como a necessidade de adaptação das condições da extrusora para o processamento do material. Eles observaram que houve uma forte afinidade entre o sal brometo de cetrimônio e a argila utilizada, de acordo com o que verificaram pelos cálculos realizados a partir das curvas de TGA (análise termogravimétrica). Não foram observadas melhoras com relação às propriedades mecânicas nos nanocompósitos formados, com isto concluíram que as propriedades mecânicas não são afetadas pela adição de argila e nem pela velocidade de rotação da extrusora de rosca. Neste caso, pode-se dizer que a vantagem desta proposta está apenas na diminuição do consumo de um termoplástico não biodegradável (MACHECA, 2012).

Dois argilas nacionais provenientes da Bacia de Taubaté, São Paulo, denominadas Aligra e Santa Fé, foram investigadas quanto ao potencial de uso como nanocarga,

adicionadas a matriz de polipropileno. Para melhorar a fixação da nanocarga foi usado um sal quaternário de amônio. As propriedades mecânicas destes nanocompósitos foram avaliadas por ensaio de tração, onde os autores observaram que a utilização de argila purificada melhorou as propriedades mecânicas do material (ACEVEDO, 2014).

Tendo em vista o emprego de uma argila brasileira, foi desenvolvido um estudo sobre o comportamento mecânico, térmico e reológico do nanocompósito de HMSPP (polipropileno de alta resistência no estado fundido) obtido por radiação gama na dose de 12,5 kGy, e uma argila brasileira bentonítica do Estado da Paraíba (PB) (conhecida como chocolate), em comparação a uma argila americana, Cloisite 20A. Neste estudo comparativo, os autores observaram que a transformação da argila sódica para argila organofílica, utilizando um sal quaternário de amônio, foi bem sucedido de acordo com os resultados de FTIR (infravermelho por transformada de Fourier). Com relação à flexão e à tração, os nanocompósitos com a argila Cloisite 20A obtiveram um ganho de 9 % no módulo de Young, comparado ao HMSPP, já a incorporação da argila “chocolate”, diminuiu em 9 % estas propriedades com relação ao PP puro. O compósito com a argila tratada, chamada de HMSPPB (polipropileno de alta resistência no estado fundido com bentonita organofilizada) obteve um aumento de 50 % na resistência ao impacto, enquanto os demais apresentaram um aumento de 34%. Devido à ação nucleante da argila, todas as composições obtiveram valores menores de temperatura de cristalização e de fusão, comparado ao polímero HMSPP, porém apresentam uma maior estabilidade térmica em comparação ao polímero puro (FERMINO, 2011).

Nas Tabelas 2 e 3, estão apresentadas algumas das dissertações e teses publicados no Brasil entre 2000-2021, respectivamente. Nestes trabalhos foram confeccionados compósitos à base de polipropileno empregando os mais diversos tipos de cargas. Os autores utilizaram cargas fibrosas como: fibra de coco e/ou fibra de sisal (DARROS, 2013; PASSATORE, 2014; RIOS, 2015; STAFFA, 2016; MARTÃO, 2018), fibra de curauá (BISPO, 2016; SILVA, C. C. D., 2018), fibra de bambu (LIMA, 2020), fibra de juta (BRAGA, 2015; FERREIRA, G. D. S., 2019), bagaço de cana (OLIVEIRA, R. A. D., 2014; LAZARINI, 2020), madeira (YAMAJI, 2004; FIORI, 2008; CATTO, 2015; STASIEVSKI, 2016), dentre outras. Também cargas minerais, argilas (OLIVEIRA, 2010; GONÇALVES, 2021), grafite e negro de fumo (PREVEDELLO, 2014).

Tabela 2 – Dissertações defendidas no Brasil entre 2020-2021 com compósitos de PP e cargas alternativas.

Ano	Instituição	Autor	Título da dissertação
2021	UERJ	GONÇALVES	Desenvolvimento de compósitos de polipropileno (PP) com bagaço de malte e argila organofílica
2020	UFSCar	LAZARINI	Pré-tratamento de fibras de bagaço de cana-de-açúcar e seu uso em altos teores em compósitos com polipropileno via mistura termocinética
2019	UTFPR	SÁ	Obtenção e caracterização do compósito de polipropileno reciclado com fibra de palmeira-real (Archontophoenix cunninghamiana)
2019	USP	SANVEZZO	Reaproveitamento de resíduo industrial à base de fibra natural: fabricação e caracterização de compósitos e avaliação comercial de suas aplicações
2019	UFAM	FERREIRA	Preparação e caracterização de compósito híbrido juta e nanotubo de carbono em matriz de polipropileno
2019	UFGRS	PACHECO	Influência da incorporação da cera de carnaúba nas propriedades do compósito de polipropileno reforçado com casca de arroz
2019	USP	POLETTO	Efeito da adição de resíduo de borossilicato como aditivo retardante de chama em compósitos de polipropileno e fibra natural
2019	PUC Minas	SOUSA	Caracterização morfológica, térmica e do desempenho mecânico de compósitos com matriz de polipropileno microestruturada com sic
2018	UFABC	MARTÃO	Compósitos de polipropileno reciclado reforçados com fibras de coco
2018	FURB	HEIN	Utilização de resíduo industrial de clarificação de óleos vegetais como carga em compósitos com matriz polimérica em polipropileno
2017	UFSCar	PETRECHEN	Caracterização dos materiais lignocelulósicos da castanha do Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>), preparação e caracterização de seus compósitos com polipropileno
2017	UFSCar	PRESTES PIRES	Adição de resíduo termofixo em matriz de polipropileno reciclado: análise de propriedades térmicas e mecânicas
2016	UERJ	DEBOSSAM	Propriedades mecânicas e análise térmica de misturas de polipropileno e casca de café
2016	UNESP	DIAS	Desenvolvimento de compósitos de engenharia baseados em polipropileno reforçado com lignina
2016	UFSCar	STAFFA	Avaliação da ação de estabilizantes anti-UV no desempenho de compósitos de polipropileno, reforçados com fibras de coco, submetidos a diferentes técnicas de envelhecimento artificial
2016	UEPG	STASIEVSKI	Comportamento térmico, mecânico e morfológico do compósito de polipropileno e pó de madeira acetilada por anidrido acético e ácido acético
2015	PUC Minas	BRAGA	Caracterização das propriedades físicas, mecânicas e térmicas da fibra de juta como reforço em compósitos híbridos de matrizes poliméricas de epóxi, poliéster e polipropileno
2014	UFABC	PASSATORE	Compósitos de polipropileno com reforço de fibras vegetais tipo cambará, coco, sisal e piaçava
2014	UNESP	OLIVEIRA	Comportamentos, térmico e mecânico, de compósitos de polipropileno e resíduo da hidrólise enzimática do bagaço de cana de açúcar
2013	UFSCAR	DARROS	Compósitos de matrizes poliméricas com mantas aleatórias de fibras vegetais de sisal e de coco
2012	UFSC	MARTINS	Misturas físicas de polipropileno com aditivos condutores
2010	USP	OLIVEIRA	Melhoria da resistência no estado fundido do polipropileno através da adição de nanoargilas
2009	USP	PERALTA	Tratamento químico de uma vermiculita visando seu uso em compósitos de polipropileno
2007	UFGRS	ROSA	Estudo das propriedades de compósitos de polipropileno com casca de arroz
2002	UNICAMP	BARBOZA	Polipropileno carregado com microesferas ocas de vidro

Silva avaliou o comportamento mecânico e a flamabilidade de compósito formulados com polipropileno reciclado e fibra de coco/hidróxido de alumínio. Neste estudo os autores destacam que a incorporação de fibras naturais pode ser uma grande alternativa para resíduos fibrosos. Foram observadas aglomerações da fibra na matriz polimérica, o que provavelmente afetou as propriedades mecânicas, devido às regiões de tensão formadas (SILVA, V. L. D. D., 2006). A literatura também reporta outras dissertações utilizando a fibra de coco para obtenção de compósitos de polipropileno,

como Antunes e Sousa que avaliaram a durabilidade mecânica de compósitos de PP com reforço híbrido de fibra de coco e talco como carga mineral (ANTUNES, 2012). Santos e Sydenstricker estudaram compósitos de PP híbridos com fibra de vidro e fibra de coco para aplicações em engenharia (DOS SANTOS et al., 2006). Jafelice e Miranda, realizaram um estudo de caracterização de compósitos de polipropileno reciclado e fibra de coco (JAFELICE, 2013). Já Santos e Nachtigall avaliaram o efeito de agentes de acoplamento em compósitos de polipropileno com fibras de coco (SANTOS, E. F. D., 2007).

Viola trata da produção e avaliação das propriedades físicas e mecânicas do chamado plástico-madeira. Na formulação do compósito foi utilizado até 30 % (m/m) de pó de madeira oriundo da mistura das espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*. As conclusões apontam que as propriedades físicas como tensão à ruptura, índice de fluidez, absorção de água e resistência ao impacto foram favorecidas (VIOLA, 2012).

Prevedello estudou as propriedades térmicas e a cinética de cristalização de compósitos de PP com grafite e negro de fumo, empregando 1 a 10% de volume de grafite em três granulometrias diferentes. O autor constatou que a incorporação das cargas causou aumento na taxa de cristalização, mas não interferiu significativamente na temperatura de fusão. Por fim, a adição de grafite aumentou a condutividade térmica em 47,4% comparado ao polímero puro (PREVEDELLO, 2014).

Tabela 3 - Teses defendidas no Brasil entre 2020-2021 com compósitos de PP e cargas alternativas.

Ano	Instituição	Autor	Título da tese
2020	UFGRS	TAVARES	Influência do tratamento térmico em fibras das sementes de açaí e do uso de agentes de acoplamento de fonte natural em compósito de polipropileno
2020	UFRGS	LIMA	Compósito de PP reforçado com fibra de bambu : uso de ácidos orgânicos como agentes de acoplamento
2018	USP	MACEDO	Painéis compósitos híbridos de alta densidade fabricados a partir de partícula de madeira e de película de polipropileno biorientado: avaliação de propriedades para empregabilidade como piso
2018	UFPR	ALBACH	Estudo de comportamento térmico, mecânico e de barreira ao vapor da água de compósitos com polipropileno contendo caulinita modificada
2018	UFRN	SILVA	Análise do comportamento mecânico e térmico de biocompósitos à base de polipropileno e fibras de curauá e a influência do seu reprocessamento nas propriedades mecânicas e físicas
2017	UNESP	PUPO	Viabilidade técnica da produção de compósitos fibra-polímero à base de resíduos
2017	UFRN	MATTOS	Valorização de resíduos lignocelulósicos da biomassa regional com potencial para obtenção de compósitos poliméricos
2016	UFRN	BISPO	Estudo da viabilidade da reciclagem de biocompósitos à base de polipropileno e fibras de Curauá
2015	UFRGS	CATTO	Resistência ao intemperismo natural e ataque fúngico de compósitos polímero-madeira
2015	UFC	RIOS	Mechanical behavior of recycled polypropylene reinforced by coconut fibers using X-ray tomography and digital image correlation
2008	UFSC	FIORI	Desenvolvimento e avaliação de compósitos do tipo polímero-madeira com propriedades biocidas
2004	UFPR	YAMAJI	Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira

Aguiar desenvolveu nanocompósitos de polipropileno com argila sepiolítica, realizando avaliação de compatibilização e caracterização (AGUIAR, 2015). Júnior também abordou sobre nanocompósitos e compósitos de poliolefinas com argilas, porém avaliando propriedades retardantes de chama (JÚNIOR, 2011). Enquanto Imamura comparou a fadiga mecânica entre compósitos de polipropileno com talco (carga convencional) e polipropileno com nanoargila (carga alternativa) (IMAMURA, 2010).

3 CARGAS EM TERMOPLÁSTICOS

Neste tópico será abordado sobre a diversidade de materiais de origem vegetal ou mineral empregados como cargas ou material de reforço em matrizes termoplásticas desde o ano 2000. Na Tabela 4 estão citadas algumas publicações contendo cargas alternativas para polímeros, até 2021. Todos estes estudos visaram a caracterização dos compósitos bem como a avaliação da viabilidade e o percentual de carga a ser empregada. Comparando-se os resultados dos estudos com materiais de diversas naturezas, observou-se que os percentuais de carga incorporada são similares, nos trabalhos desenvolvidos estando predominantemente entre 0 e 20 %.

Sejam recicláveis ou não-recicláveis, a busca de reutilização e/ou reciclagem são os principais objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, Lei ambiental mais abrangente sobre resíduos sólidos. Com profundo enfoque em redução, reaproveitamento e preocupação com os rejeitos gerados, esta lei enaltece a necessidade e a responsabilidade de toda a sociedade com os resíduos que produz. Tais objetivos são retratados no ODS 12 da Agenda 2030, que visa implementação de produção e consumo sustentáveis em todo o globo (FIGUEIREDO et al., 2021).

Verifica-se na literatura que resíduos de diferentes naturezas vêm sendo utilizados na formulação de compósitos de poliolefinas. Esta tendência tem um aspecto muito relevante, tendo em vista a responsabilidade ambiental com relação ao destino de resíduos sólidos. Gomes et al. substituíram a fibra de vidro por fibra de bananeira como material de reforço para compósito de PEAD (GOMES, T. S. et al., 2013). Enquanto Hillig et al., como carga em matriz de PEAD, utilizaram serragem da indústria moveleira (HILLIG et al., 2011).

A literatura também reporta o uso de cargas alternativas em matrizes poliméricas biodegradáveis. Boitt et al. avaliaram a influência das cinzas de casca de arroz nas propriedades físico-químicas e na biodegradabilidade quando incorporados à matriz de polihidróxibutirato (PHB) (BOITT et al., 2014). Corradini et al. usaram glúten de milho

em PHB-V, um híbrido com fibras de coco verde, para o estudo de propriedades físico-químicas (absorção de água, solubilidade em água) e propriedades mecânicas e morfológicas (BELTRAMI et al., 2014). Lemos e Martins desenvolveram e caracterizaram compósitos poliméricos à base de poli(ácido láctico) e fibras naturais (LEMOS et al., 2014).

Ferreira et al., via polimerização *in situ*, prepararam compósitos de poli(succionato de butileno) com argila montmorilonita organofílica (FERREIRA, L. P. et al., 2014). Em outro estudo, é mostrada a preparação e caracterização reológica de nanocompósitos de poli (cloreto de vinila) – plastisol com nanoargila (BETTIO et al., 2012). Resende et al. modificaram uma argila com cloreto de cetilpiridíneo e avaliaram a interação desta com o PVC (RESENDE et al., 2010). Também encontram-se materiais de origem celulósica empregados para obtenção de compósitos de PVC, como Júnior e John, desenvolveram compósitos de PVC reforçados com resíduos de *Pinus* para substituir madeira convencional em diversas aplicações (RODOLFO JR et al., 2006). Balzer et al. estudaram as propriedades mecânicas de um compósito de PVC modificado com fibras de bananeira (BALZER et al., 2007).

Pinto e Rezende reportam na literatura um estudo da aplicação da poli(o-metoxianilina) (POMA) e de seus compósitos com negro de fumo (NF) no processamento de absorvedores de micro-ondas. Os autores relatam que nos compósitos de NF/POMA foi obtida condutividade elétrica maior que do POMA. Os resultados de refletividade do compósito NF-10%/POMA, foram os mais altos para a atenuação da radiação eletromagnética (PINTO et al., 2012).

Borsoi et al. produziram e caracterizaram compósitos utilizando poliestireno (PS) como matriz e resíduos de fibras de algodão da indústria têxtil como reforço (BORSOI et al., 2011). Também visando produzir compósitos de PS, Oliveira et al. estudaram o efeito do tipo de argila e a presença de sal na fotodegradação de compósitos de poliestireno/argila montmorilonita (OLIVEIRA et al., 2012). Pensando em reciclagem, Santana e Manrich produziram filmes tubulares de compósitos de termoplásticos pós-consumo e avaliaram as propriedades térmica e mecânica (SANTANA et al., 2005).

Resíduos de madeira também têm sido utilizados como matéria-prima para obtenção de compósitos, como mostra a Tabela 4. Mattos et al. prepararam compósitos polímero-madeira por polimerização *in situ* de metil-metacrilato usando aditivos bifuncionais. Observaram que houve incrementos em algumas bandas nos espectros de infravermelho, devido à estrutura química dos polímeros com a carga de madeira.

Segundo os autores, de acordo com a termogravimetria, os copolímeros e a parede celular da madeira reagiram entre si (MATTOS et al., 2015).

Tabela 4: Artigos publicados entre 2000 – 2021 empregando cargas alternativas em matrizes termoplásticas.

Tipo de carga	Título	Autor / Ano
Folhas de Phormium tenax	Estudo da cinética de secagem de folhas de Phormium tenax para uso em compósitos poliméricos	(FOGAÇA et al., 2021)
Fibras curtas de sisal	Comportamento físico-mecânico, térmico, estrutural e morfológico em compósitos de polietileno de alta densidade pós-consumo e fibras curtas de sisal (PEADpc/FS) com e sem compatibilizante	(MATEUS et al., 2020)
Mesocarpo de babaçu	Aditivção e biodegradação de compósitos PHB/babaçu	(MARINHO et al., 2018)
Resíduo de MDF	Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF	(GOMES, J. W. et al., 2017)
Rejeito de madeira	Análise térmica de um eco compósito de poliuretano de mamona com rejeito de madeira	(CUNHA et al., 2016)
Madeira de pinus	Avaliação das propriedades mecânicas e morfológicas de compósitos de PEAD com pó de Pinus taeda e alumina calcinada	(GRISON et al., 2015)
Fibras de bananeira	Compósitos de PVC rígido e fibras de bananeira: efeito do tratamento da fibra	(BECKER, et al., 2014)
Argila	Compósitos de Poliestireno e Argila Aniônica Funcionalizada com Cinamato com Propriedade de Absorção de UV	(SILVA, R. F. D. et al., 2013)
Amido	Estudo do Comportamento de Compostos de PVC com Adição de Amido	(ABATTI et al., 2011)
Pó de madeira	Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do polímero poli-3-hidroxibutirato (PHB) e de compósitos PHB / pó de madeira	(MACHADO et al., 2010)
Fibra de curauá	Efeito da forma de processamento e do tratamento da fibra de curauá nas propriedades de compósitos com poliamida-6	(SANTOS, P. A. et al., 2009)
Madeira de eucalipto	Compósitos de polietileno reciclado e partículas de madeira de reflorestamento tratadas com polietileno modificado	(REDIGHIERI et al., 2008)
Cinza de casca de arroz	Uso da Cinza da Casca de Arroz como Carga em Matrizes de Poliamida 6 e Poliamida 6.6	(FERRO et al., 2007)
Argila organofílica	Nanocompósitos de poli (cloreto de vinila) (PVC) / argilas organofílicas	(SOUZA et al., 2006)
Fibra de piaçava	Comportamento térmico, mecânico e morfológico de compósitos de polietileno de alta densidade reciclado com fibra de piaçava	(BONELLI et al., 2005)
Farinha de madeira	Compósitos biodegradáveis de polihidroxibutirato (PHB) reforçado com farinha de madeira: propriedades e degradação	(CARASCHI et al., 2002)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este manuscrito de revisão evidenciou a permanente busca dos pesquisadores por materiais alternativos, visando avanços científicos, tecnológicos, econômicos e ambientais. A utilização de materiais de fontes naturais e renováveis, incorporados aos materiais sintéticos, aparece como perspectiva crescente para a redução do consumo e o desperdício de matéria-prima da petroquímica, ou seja, de natureza fóssil, como é o caso do PP, portanto de fonte não renovável e não biodegradável. Neste ponto de vista, a incorporação de materiais de origem natural, diminuindo a percentagem do polímero sintético, reflete em uma redução no impacto ambiental, no que diz respeito ao descarte

de rejeitos poliméricos não biodegradáveis. Estudos reportados mostraram, na maioria dos casos, a possibilidade de redução do polímero sintético de até 30 % (m/m), com a incorporação de materiais diversos, inclusive resíduos industriais, e ainda promovendo um ganho em algumas propriedades, como resistência ao impacto ou tração. Porém, mesmo nos casos em que não se observou sinergismo positivo, não houve perda das características originais quanto ao desempenho do material polimérico, ou seja, as cargas alternativas podem não apresentar funcionalidade, mas atuam como material de preenchimento. Como consideração final pode-se dizer que sendo viável a incorporação de um resíduo como carga em uma matriz polimérica, já se justifica pela economia no consumo de termoplásticos e na redução do volume de rejeito que resultará de seu uso.

AGRADECIMENTOS

Aos autores que se dedicam a pesquisar na área de compósitos, origem deste manuscrito de revisão. À FURB.

REFERÊNCIAS

- ABATTI, L.; DOMINGUES JUNIOR, N. S. Estudo do comportamento de compostos de PVC com adição de amido. *Polímeros*, v. 21, n. 2, p. 151-155, 2011.
- ABIPLAST. ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico. *Preview perfil 2020: Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico*. São Paulo, 2020.
- ACEVEDO, N. I. A. Caracterização e desenvolvimento de argilas para aplicação em nanocompósitos poliméricos. *Dissertação (Mestrado)*, UFRJ, Nova Friburgo, Brasil, 2014.
- AGUIAR, P. H. L. Nanocompósitos de polipropileno e argila sepiolita : desenvolvimento, compatibilização e caracterização. *Tese (Doutorado)*. UFABC, São Paulo, Brasil, 2015.
- ALBACH, B. Estudo de comportamento térmico, mecânico e de barreira ao vapor da água de compósitos com polipropileno contendo caulinita modificada. *Tese (Doutorado)*. UFPR, Curitiba, Brasil, 2018.
- ALVES, T. S.; BARBOSA, R.; CARVALHO, L. H. D.; CANEDO, E. L. Inflamabilidade de nanocompósitos de polipropileno/argila organofílica. *Polímeros*, v. 24, n., p. 307-313, 2014.
- ANTUNES, M. C. Durabilidade mecânica de compósitos de polipropileno com reforço híbrido de fibra de coco e talco. *Dissertação (Mestrado)*. UFSCar, São Carlos, Brasil, 2012.
- ARAÚJO, A. R.; MESQUITA, W. B. D.; CANEDO, E. L.; RAPOSO, C. M.; ANDRADE, D. D. L.; CARVALHO, L. H. D.; SILVA, S. M. D. L. Desenvolvimento de filmes de nanocompósitos polipropileno/argila organofílica para embalagens. *Polímeros*, v. 22, n. 3, p. 238-244, 2012.
- AZEVEDO, J. B.; VIANA, J. D.; CARVALHO, L. H. D.; CANEDO, E. L. Caracterização de compósitos obtidos a partir de polímero biodegradável e casca de arroz utilizando duas técnicas de processamento. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 21, n., p. 391-406, 2016.
- BALZER, P. S.; VICENTE, L. L.; BRIESEMEISTER, R.; BECKER, D.; SOLDI, V.; RODOLFO JR, A.; FELTRAN, M. B. Estudo das propriedades mecânicas de um composto de PVC modificado com fibras de bananeira. *Polímeros*, v. 17, p. 1-4, 2007.
- BARBOZA, A. C.; DE PAOLI, M. A. Polipropileno Carregado com Microesferas Ocas de Vidro (Glass Bubbles™): Obtenção de Espuma Sintática. *Polímeros*, v. 12, n. 2, p. 130-137, 2002.
- BATTISTELLE, R.; VIOLA, N. M.; BEZERRA, B. S.; VALARELLI, I. D. D. Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 19, p. 07-15, 2014.
- BECKER, D.; KLEINSCHMIDT, A. C.; BALZER, P. S.; SOLDI, V. Influência da sequência de mistura do PP-MA nas propriedades dos compósitos de PP e fibra de bananeira. *Polímeros*, v. 21, n. 1, p. 7-12, 2011.

BECKER, D.; KLEINSCHMIDT, A.; BALZER, P. Compósitos de PVC rígido e fibras de bananeira: Efeito do tratamento da fibra. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 19, p. 257-265, 2014.

BELTRAMI, L. V. R.; CRISTINE SCIENZA, L.; ZATTERA, A. J. Efeito do tratamento alcalino de fibras de curauá sobre as propriedades de compósitos de matriz biodegradável. *Polímeros*, v. 24, n. 3, p. 388-394, 2014.

BETTIO, P. P. D. B.; PESSAN, L. A. Preparação e caracterização reológica de nanocompósitos de poli (cloreto de vinila): plastisol com nano-argila. *Polímeros*, v. 22, n. 4, p. 332-338, 2012.

BISCHOFF, E.; SANTOS, K. S. D.; LIBERMAN, S. A.; MAULER, R. S. Estudo da dispersão de argilas organofílicas em nanocompósitos de prolipropileno obtidos pelo método em solução com auxílio de ultrassom. *Polímeros*, v. 23, n. 6, p. 832-838, 2013.

BISPO, S. J. L. Estudo da viabilidade da reciclagem de biocompósitos à base de polipropileno e fibras de curauá. Tese (Doutorado). UFRN, Natal, Brasil, 2016.

BISPO, S. J. L. Estudo da viabilidade da reciclagem de biocompósitos à base de polipropileno e fibras de curauá. Tese (Doutorado). UFRN, Natal, Brasil, 2016.

BOITT, A. P. W.; BARCELLOS, I. O.; ALBERTI, L. D.; BUCCI, D. Z. Evaluation of the Influence of the Use of Waste from the Processing of Rice in Physicochemical Properties and Biodegradability of PHB in Composites. *Polímeros*, v. 24, n. 6, p. 640-645, 2014.

BONELLI, C.; ELZUBAIR, A.; SUAREZ, J. C. M.; MANO, E. B. Comportamento térmico, mecânico e morfológico de compósitos de polietileno de alta densidade reciclado com fibra de piaçava. *Polímeros*, v. 15, n. 4, p. 256-260, 2005.

BORSOI, C.; SCIENZA, L. C.; ZATTERA, A. J.; ANGRIZANI, C. C. Obtenção e caracterização de compósitos utilizando poliestireno como matriz e resíduos de fibras de algodão da indústria têxtil como reforço. *Polímeros*, v. 21, n. 4, p. 271-279, 2011.

BRAGA, R. A. Caracterização das propriedades físicas, mecânicas e térmicas da fibra de juta como reforço em compósitos híbridos de matrizes poliméricas de epóxi, poliéster e polipropileno. Tese (Doutorado). PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil, 2015.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. D. Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. *Sustentabilidade em debate*. Brasília, DF., v. 7, n. 1, p. 140-155, 2016.

CARASCHI, J. C.; RAMOS, U. M.; LEÃO, A. L. Compósitos biodegradáveis de polihidroxitirato (PHB) reforçado com farinha de madeira: propriedades e degradação. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 24, p. 1609-1614, 2002.

CARASCHI, J.; PRATES, G.; LEÃO, A.; ALMEIDA, C. Compósitos de polipropileno reforçado com capim-elefante. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 9, n. 3, p. 236-246, 2015.

CATTO, A. L. Resistência ao intemperismo natural e ataque fúngico de compósitos polímero-madeira. Tese (Doutorado). UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2015.

CAVALCANTE, A. P.; CANTO, L. B. Uso de resíduo industrial a base de resina fenólica como carga para o polipropileno. *Polímeros*, v. 22, n. 3, p. 245-252, 2012.

CORREA, C. A.; FONSECA, C. N.; NEVES, S.; RAZZINO, C. A.; HAGE JR, E. Compósitos termoplásticos com madeira. *Polímeros*, v. 13, n. 3, p. 154-165, 2003.

COSTA, L. C.; MARINELLI, A. L.; DOS SANTOS, R. E.; CHINELATTO, M. A. Influência nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno virgem/reciclado com diferentes tipos de cargas reforçantes. Em: *Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros*, 2007.

CUNHA, R. A. D.; BARRETO, F. M.; MENDES, J. U. L. Análise térmica de um eco compósito de poliuretano de mamona com rejeito de madeira. *HOLOS*, v. 7, p. 110-120, 2016.

DA COSTA, H. M.; RAMOS, V. D.; DEBOSSAM, P. P. S. Propriedades mecânicas e morfologia de composições de polipropileno (PP) e cascas de café (CC). *Acta Scientiae et Technicae*, v. 4, n. 2, p., 2016.

DAMIN, K. V. S.; DA SILVA, L.; MENDES, F. B. Estudo da aplicação da fibra do caule do *Zea mays* nas propriedades do polipropileno. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, v. 17, n. 2, p. 62-73, 2016.

DARROS, A. B. Compósitos de matrizes poliméricas com mantas aleatórias de fibras vegetais de sisal e de coco. *Dissertação (Mestrado)*. UFSCar, Sorocaba, Brasil, 2013.

DE CARVALHO, G. M.; MANSUR, H. S.; VASCONCELOS, W. L.; ORÉFICE, R. L. Obtenção de compósitos de resíduos de ardósia e polipropileno. *Polímeros*, v. 17, n. 2, p. 98-103, 2007.

DE OLIVEIRA, M. F.; OLIVEIRA, M. G. D.; LEITE, M. C. Nanocompósitos de poliamida 6 e argila organofílica: estudo da cristalinidade e propriedades mecânicas. *Polímeros*, v. 21, n. 1, p. 78-82, 2011.

DEBOSSAM, P. P. S. Propriedades mecânicas e análise térmica de misturas de polipropileno e casca de café. *Dissertação (Mestrado)*. UFRJ, Nova Friburgo, Brasil, 2016.

DIAS, O. A. T. Desenvolvimento de compósitos de engenharia baseados em polipropileno reforçado com lignina. *Dissertação (Mestrado)*. UNESP, Botucatu, Brasil, 2016.

DOS SANTOS, A. M.; SYDENSTRICKER, T. H.; AMICO, S. C. Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia. *Dissertação (Mestrado)*. UFPR, Curitiba, Brasil, 2006.

FARIA, P. C. D.; WISBECK, E.; DIAS, L. P. Biodegradação de polipropileno reciclado (PPr) e de poli (tereftalato de etileno) reciclado (PETr) por *Pleurotus ostreatus*. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 20, n. 2, p. 452-459, 2015.

FERMINO, D. M. Estudo das propriedades mecânicas, reológicas e térmicas de nanocompósito de HMSPP (polipropileno com alta resistência do fundido) com uma bentonita brasileira. *Dissertação (Mestrado)*, USP, São Paulo, Brasil, 2011.

FERREIRA, G. D. S. Preparação e caracterização de compósito híbrido juta e nanotubo de carbono em matriz de polipropileno. Dissertação (Mestrado), UFAM, Manaus, Brasil, 2019.

FERREIRA, L. P.; MOREIRA, A. N.; SOUZA JR, F. G. D.; PINTO, J. C. C. D. S. Preparo de nanocompósitos de poli (succinato de butileno)(PDS) e argila motmorilonita organofílica via polimerização in situ. *Polímeros*, v. 24, n. 5, p. 604-611, 2014.

FERRO, W. P.; SILVA, L. G.; WIEBECK, H. Uso da cinza da casca de arroz como carga em matrizes de poliamida 6 e poliamida 6.6. *Polímeros*, v. 17, n. 3, p. 240-243, 2007.

FIGUEIREDO, E. D. A.; NASCIMENTO, L. F. C. Resíduos sólidos e a responsabilidade ambiental / Solid waste and environmental responsibility. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 12, p. 114642-114659, 2021.

FIORI, M. A. Desenvolvimento e avaliação de compósitos do tipo polímero-madeira com propriedades biocidas. Tese (Doutorado), UFSC, Florianópolis, Brasil, 2008.

FOGAÇA, M. B.; FRANCO, T. S.; FLORES-SAHAGUN, T. H. Estudo da cinética de secagem de folhas de Phormium tenax para uso em compósitos poliméricos. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 13, n. 1, p., 2021.

GOMES, J. W.; GODOI, G. S.; SOUZA, L. G. M. D.; MEIRA DE SOUZA, L. G. V. Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF. *Polímeros*, v. 27, p. 48-55, 2017.

GOMES, T. S.; VISCONTE, L. L.; PACHECO, E. B. Substituição da fibra de vidro por fibra de bananeira em compósitos de polietileno de alta densidade: parte 1. Avaliação mecânica e térmica. *Polímeros*, v. 23, n. 2, p. 206-211, 2013.

GONÇALVES, L. M. Desenvolvimento de compósitos de polipropileno (PP) com bagaço de malte e argila organofílica. Dissertação (Mestrado), UERJ, Nova Friburgo, 2021.

GRISON, K.; TURELLA, T. C.; SCIENZA, L. C.; ZATTERA, A. J. Avaliação das propriedades mecânicas e morfológicas de compósitos de PEAD com pó de Pinus taeda e alumina calcinada. *Polímeros*, v. 25, n. 4, p. 408-413, 2015.

HARIPRASAD, K.; RAVICHANDRAN, K.; JAYASEELAN, V.; MUTHURAMALINGAM, T. Acoustic and mechanical characterisation of polypropylene composites reinforced by natural fibres for automotive applications. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 9, n. 6, p. 14029-14035, 2020.

HEIN, D. W. Utilização de resíduo industrial de clarificação de óleos vegetais como carga em compósitos com matriz polimérica em polipropileno. Dissertação (Mestrado). FURB, Blumenau, Brasil, 2018.

HILLIG, É.; IWAKIRI, S.; HASELEIN, C. R.; BIANCHI, O.; HILLIG, D. M. Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira-parte II-extrusão em dupla-rosca. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 2, p. 335-347, 2011.

IMAMURA, R. Análise comparativa de fadiga mecânica em compósitos de polipropileno com talco e com nanoargila. Dissertação (Mestrado), UFSCar, São Carlos, Brasil, 2010.

ISHIZAKI, M. H.; VISCONTE, L. L.; FURTADO, C. R.; LEITE, M. C.; LEBLANC, J. L. Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura. *Polímeros*, v. 16, n. 3, p. 182-186, 2006.

JAFELICE, D. A. Caracterização de compósitos de polipropileno reciclado e fibra de coco. Dissertação (Mestrado), UPM, São Paulo, Brasil, 2013.

JÚNIOR, J. F. Compósitos e nanocompósitos de poliolefinas/argilas com propriedades retardantes de chamas. Dissertação (Mestrado), UFSC, Florianópolis, Brasil, 2011.

LAZARINI, R. G. Pré-tratamento de fibras de bagaço de cana-de-açúcar e seu uso em altos teores em compósitos com polipropileno via mistura termocinética. Dissertação (Mestrado), UFSCar, São Carlos, Brasil, 2020.

LEMO, A. L. D.; MARTINS, R. M. D. Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de poli (ácido láctico) e fibras naturais. *Polímeros*, v. 24, n. 2, p. 190-197, 2014.

LÍBANO, E. V. D. G.; VISCONTE, L. L. Y.; PACHECO, É. B. A. V. Propriedades térmicas de compósitos de polipropileno e bentonita organofílica. *Polímeros*, v. 22, n. 5, p. 430-435, 2012.

LIGOWSKI, E.; SANTOS, B. C. D.; FUJIWARA, S. T. Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão. *Polímeros*, v. 25, n. 1, p. 70-75, 2015.

LIMA, L. D. P. F. C. Compósito de PP reforçado com fibra de bambu : uso de ácidos orgânicos como agentes de acoplamento. Tese (Doutorado). UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2020.

LIMA, L. D. P. F. C. Compósito de PP reforçado com fibra de bambu : uso de ácidos orgânicos como agentes de acoplamento. Tese (Doutorado). UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2020.

LIRA, G. S. D. L. Estudo da caracterização de um compósito polimérico com matriz de polipropileno e carga particulada do endocarpo seco do cocos nucífera linn. Dissertação (Mestrado), UFRN, Natal, Brasil, 2016.

MACHADO, M. L.; PEREIRA, N. C.; MIRANDA, L. F. D.; TERENCE, M. C.; PRADELLA, J. G. Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do polímero poli-3-hidroxi-butirato (PHB) e de compósitos PHB/pó de madeira. *Polímeros*, v. 20, n. 1, p. 65-71, 2010.

MACHECA, A. D. Desenvolvimento de nanocompósitos de polipropileno/bentonita organofílica de Moçambique. Dissertação (Mestrado), UFSC, Florianópolis, Brasil, 2012.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. *Polímeros*, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MARINHO, V. A. D.; ALMEIDA, T.; CARVALHO, L.; CANEDO, E. L. Aditivção e biodegradação de compósitos PHB/babaçu. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 13, n. 1, p. 37-41, 2018.

MARTÃO, C. Compósitos de polipropileno reciclado reforçados com fibras de coco. *Dissertação (Mestrado)*. UFABC, Santo André, Brasil, 2018.

MASSULO, L. A.; RODRIGUEZ, A. D. A. L.; MÄHLMANN, C. M. Desenvolvimento de compósitos poliméricos baseados em polipropileno reciclado visando o uso como placas absorvedoras de energia solar. *Revista Jovens Pesquisadores*, v. 6, n. 1, 2016.

MATEUS, D. N.; BASTOS, D. C.; LÍBANO, E. V. D. G.; DA COSTA PEREIRA, P. S. Comportamento físico-mecânico, térmico, estrutural e morfológico em compósitos de polietileno de alta densidade pós-consumo e fibras curtas de sisal (PEADpc/FS) com e sem compatibilizante. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 32725-32742, 2020.

MATEUS, D. N.; SANTOS, M. C. C.; PEREIRA, P. S. D. C. Produção e caracterização de compósitos obtidos a partir da incorporação de casca de arroz em blendas de polipropileno virgem e reciclado / Production and characterization of composites obtained from the incorporation of rice husk in virgin and recycled polypropylene bends. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 9, 2021.

MATTOS, B. D.; MISSIO, A. L.; CADEMARTORI, P. H. G. D.; GATTO, D. A.; MAGALHÃES, W. L. E. Compósitos polímero-madeira preparados por polimerização in situ de metil metacrilato usando aditivos bifuncionais. *Polímeros*, v. 25, p. 10-18, 2015.

MONTAGNA, L. S.; BENTO, L. S.; SILVEIRA, M. R. D. S.; SANTANA, R. M. C. Evaluation of the Effect of the Incorporation of Rubber Tire Waste Particles on the Properties of PP, HIPS and PP/HIPS Matrices. *Polímeros*, v. 23, n. 2, p. 169-174, 2013.

MORALES, A. R.; PAIVA, L. B. D.; ZATTARELLI, D.; GUIMARÃES, T. R. Morphology, structure and mechanical properties of polypropylene modified with organophilic montmorillonite. *Polímeros*, v. 22, n. 1, p. 54-60, 2012.

NEIS, M.; MACHADO, L. S. B. Estudo das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de polipropileno com casca de banana. *Revista de iniciação científica da ULBRA*, v. 1, n. 13, 2015.

OLIVEIRA, C. F. D. P.; DEMARQUETTE, N. R.; CARASTAN, D. J. et al. Fotodegradação de compósitos de poliestireno/argila montmorilonita: efeito do tipo de argila e presença de sal. *Polímeros*, v. 22, n. 1, p. 13-21, 2012.

OLIVEIRA, C. F. P. Melhoria da resistência no estado fundido do polipropileno através da adição de nanoargilas. *Dissertação (Mestrado)*, USP, São Paulo, Brasil, 2010.

OLIVEIRA, R. A. D. Comportamentos, térmico e mecânico, de compósitos de polipropileno e resíduo da hidrólise enzimática do bagaço de cana de açúcar. *Dissertação (Mestrado)*, UNESP, Guaratinguetá, Brasil, 2014.

PACHECO, K. Influência da incorporação da cera de carnaúba nas propriedades do compósito de polipropileno reforçado com casca de arroz. *Dissertação (Mestrado)*. UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2019.

PAIVA, L. B. D.; MORALES, A. R.; GUIMARÃES, T. R. Propriedades mecânicas de nanocompósitos de polipropileno e montmorilonita organofílica. *Polímeros*, v. 16, n. 2, p. 136-140, 2006.

PASSATORE, C. R. Compósitos de polipropileno com reforço de fibras vegetais tipo cambará, coco, sisal e piaçava. Dissertação (Mestrado), UFABC, São Paulo, Brasil, 2014.

PEIXOTO, L. D. S. Preparação de compósitos e nanocompósitos poliméricos in situ. Tese (Doutorado), UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

PETRECHEN, G. P. Caracterização dos materiais lignocelulósicos da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*), preparação e caracterização de seus compósitos com polipropileno. Dissertação (Mestrado). UFSCar, São Carlos, Brasil, 2017.

PINTO, S. D. S.; REZENDE, M. C. Estudo da aplicação da poli (o-metoxianilina) e de seus compósitos com negro de fumo no processamento de absorvedores de micro-ondas. *Polímeros*, v. 22, n. 4, p. 325-331, 2012.

POLETTI, M. R. L. Efeito da adição de resíduo de borossilicato como aditivo retardante de chama em compósitos de polipropileno e fibra natural. Dissertação (Mestrado). UFSCar, São Carlos, Brasil, 2019.

PRESTES PIRES, P. G. Adição de resíduo termofixo em matriz de polipropileno reciclado: análise de propriedades térmicas e mecânicas. Dissertação (Mestrado). UFSCar, Sorocaba, Brasil, 2017.

PREVEDELLO, A. L. A. Estudo das propriedades térmicas e da cinética de cristalização de compósitos de polipropileno com grafite e negro de fumo. Dissertação (Mestrado), UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2014.

PUPPO, H. F. D. F. Viabilidade técnica da produção de compósitos fibra-polímero à base de resíduos. Tese (Doutorado). UNESP, Botucatu, Brasil, 2017.

REDIGHIERI, K. I.; COSTA, D. A. Compósitos de polietileno reciclado e partículas de madeira de reflorestamento tratadas com polietileno modificado. *Polímeros*, v. 18, n. 1, p. 5-11, 2008.

RESENDE, D. K.; DORNELAS, C. B.; TAVARES, M. I.; GOMES, A. S.; MOREIRA, L.; CABRAL, L. M.; SIMEONI, L. Preparação de Argila Modificada com Cloreto de Cetilpiridíneo e Avaliação da Interação desta com o PVC. *Polímeros*, v. 20, n. 3, p. 231-235, 2010.

RIBEIRO, R.; VIDAL, F.; OLIVEIRA, M.; ARRUDA, C. Aproveitamento do resíduo do mármore bege bahia no setor polimérico / Utilization of beige Bahia marble waste in polymeric industry. *HOLOS*, v. 28, n. 6, p. 162, 2012.

RIOS, A. D. S. Mechanical behavior of recycled polypropylene reinforced by coconut fibers using X-ray tomography and digital image correlation. Tese (Doutorado). UFC, Fortaleza, Brasil, 2015.

RODOLFO JR, A.; JOHN, V. M. Desenvolvimento de PVC reforçado com resíduos de Pinus para substituir madeira convencional em diversas aplicações. *Polímeros*, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2006.

RODRIGUES, A. W.; BRASILEIRO, M. I.; ARAÚJO, W. D. et al. Desenvolvimento de nanocompósitos polipropileno/argila bentonita brasileira: I tratamento da argila e influência de compatibilizantes polares nas propriedades mecânicas. *Polímeros*, v. 17, n. 3, p. 219-227, 2007.

SÁ, B. D. S. R. Obtenção e caracterização do compósito de polipropileno reciclado com fibra de palmeira-real (*Archontophoenix cunninghamiana*). 2019.

SANTANA, M. N. B. D. Estudo do efeito de agentes de acoplamento nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com pó de coco seco. Dissertação (Mestrado). UFS, São Cristóvão, Brasil, 2012.

SANTANA, R.; MANRICH, S. Filmes tubulares de compósitos de termoplásticos pós-consumo: Análise térmica e mecânica. *Polímeros*, v. 15, n. 3, p. 163-170, 2005.

SANTOS, E. F. D. Efeito de agentes de acoplamento em compósitos de polipropileno com fibras de coco. Dissertação (Mestrado), UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2007.

SANTOS, E. F.; MORESCO, M.; ROSA, S. M.; NACHTIGALL, S. Extrusão de compósitos de PP com fibras curtas de coco: efeito da temperatura e agentes de acoplamento. *Polímeros*, v. 20, n. 3, p. 215-220, 2010.

SANTOS, P. A.; SPINACÉ, M. A.; FERMOSELLI, K. K.; DE PAOLI, M. A. Efeito da forma de processamento e do tratamento da fibra de curauá nas propriedades de compósitos com poliamida-6. *Polímeros*, v. 19, n. 1, p. 31-39, 2009.

SCHNEIDER, E. L.; GRASSI, G. D.; AMICO, S. C. et al. Reaproveitamento de resíduo de placas de circuito impresso como cargas em compósitos de polipropileno. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 25, n. 3, 2020.

SCOPEL, F. Caracterização da fabricação e uso de compósitos poliméricos contendo fibras naturais com ênfase no polipropileno/sisal a partir da análise de documentos de patentes. Dissertação (Mestrado), UFSCar, São Carlos, Brasil, 2012.

SILVA, C. C. D. Análise do comportamento mecânico e térmico de biocompósitos à base de polipropileno e fibras de curauá e a influência do seu reprocessamento nas propriedades mecânicas e físicas. Tese (Doutorado), UFRN, Natal, 2018.

SILVA, J. D.; NUNES, L.; RABELLO, M. S. Fotodegradação do polipropileno contendo combinação de fotoestabilizantes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 11, n. 2, p. 112-120, 2016.

SILVA, R. F. D.; ZANETTI, J. P. C.; DONATO, R. K. et al. Compósitos de poliestireno e argila aniônica funcionalizada com cinamato com propriedade de absorção de UV. *Polímeros*, v. 23, n. 6, p. 778-783, 2013.

SILVA, V. L. D. D. Comportamento mecânico e de flamabilidade de compósito de polipropileno reciclado com fibra de coco e hidróxido de alumínio. Dissertação (Mestrado), UFPA, Belém, Brasil, 2006.

SOUSA, W. P. T. Caracterização morfológica, térmica e do desempenho mecânico de compósitos com matriz de polipropileno microestruturada com sic. Dissertação (Mestrado). PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil, 2019.

SOUZA, M. A.; PESSAN, L. A.; RODOLFO JR, A. Nanocompósitos de poli (cloreto de vinila) (PVC) / argilas organofílicas. *Polímeros*, v. 16, n. 4, p. 257-262, 2006.

SPADETTI, C.; SILVA, E. A. D.; SENA, G. L. D. et al. Propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos de Polipropileno pós-consumo reforçados com fibras de celulose. *Polímeros*, v. 27, p. 84-90, 2017.

SPINACÉ, M. A. D. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química nova*, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

SPINACÉ, M. A.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C. et al. Poliolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal × curauá. *Polímeros*, v. 21, n. 3, p. 168-174, 2011.

SPOERK, M.; ARBEITER, F.; RAGUŽ, I.; HOLZER, C. et al. Mechanical recyclability of polypropylene composites produced by material extrusion-based additive manufacturing. *Polymers*, v. 11, n. 8, p. 1318, 2019.

STAFFA, L. H. Avaliação da ação de estabilizantes anti-UV no desempenho de compósitos de polipropileno, reforçados com fibras de coco, submetidos a diferentes técnicas de envelhecimento artificial. Dissertação (Mestrado), UFSCar, São Carlos, Brasil, 2016.

STASIEVSKI, G. Comportamento térmico, mecânico e morfológico do compósito de polipropileno e pó de madeira acetilada por anidrido acético e ácido acético. Dissertação (Mestrado). UEPG, Ponta Grossa, Brasil, 2016.

TAFLICK, T.; MAICH, É. G.; FERREIRA, L. D. et al. Acacia bark residues as filler in polypropylene composites. *Polímeros*, v. 25, n. 3, p. 289-295, 2015.

TAVARES, F. F. D. C. Influência do tratamento térmico em fibras das sementes de açaí e do uso de agentes de acoplamento de fonte natural em compósito de polipropileno. 2020.

TITA, S. P.; DE PAIVA, J. M.; FROLLINI, E. Resistência ao impacto e outras propriedades de compósitos lignocelulósicos: matrizes termofixas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. *Polímeros*, v. 12, n. 4, p. 228-239, 2002.

VIOLA, N. M. Produção e caracterização física e mecânica de compósito plástico-madeira. Dissertação (Mestrado), UFPR, Curitiba, Brasil, 2012.

YAMAJI, F. M. Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira. Tese (Doutorado), UFPR, Curitiba, Brasil, 2004.

YEOLE, P.; ALWEKAR, S.; VELUSWAMY, N. K. P. et al. Characterization of textile-grade carbon fiber polypropylene composites. *Polymers and Polymer Composites*, v. 29, n. 6, p. 652-659, 2021.

ZIMMERMANN, M. V.; TURELLA, T. C.; ZATTERA, A. J. et al. Influência do tratamento químico da fibra de bananeira em compósitos de poli (etileno-co-acetato de vinila) com e sem agente de expansão. *Polímeros*, v. 24, n. 1, p. 58-64, 2014.