

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL - CAMPUS FELIZ**

MILENA STEFFEN

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO
RECICLADO COM FIBRAS DE CASCA DE ARROZ E DE COROA DE ABACAXI**

FELIZ

2022

MILENA STEFFEN

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO
RECICLADO COM FIBRAS DE CASCA DE ARROZ E DE COROA DE ABACAXI.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em Engenharia Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^o André Zimmer

Prof.^a Dr^a Daiane Romanzini

ORIENTADOR

Prof.^a Ma. Flávia Dagostim Minatto

Feliz/RS, 13 de dezembro de 2022.

DEDICATÓRIA

Agradeço primeiramente à minha família. Aos meus pais Erno e Margarete por serem a minha base, meus maiores incentivadores, pela dedicação e cuidados durante toda vida. Essa conquista também é de vocês.

Agradeço a minha irmã, Daiane, minha companheira de vida, és um exemplo para mim, alguém que posso sempre confiar.

Aos meus amigos que tornam tudo mais leve, mais especial. Cada um de vocês tem uma participação única e especial nesse trabalho.

Ao meu namorado, João, por todo carinho, apoio e paciência nesses últimos meses.

Aos meus colegas de curso, que estiveram sempre presentes, pela amizade e por tornaram essa caminhada mais leve e cheia de boas lembranças.

À minha orientadora, por aceitar esse desafio de me orientar neste trabalho e por se dedicar a ele de forma tão zelosa, admirável e incansável. Com certeza, a tua orientação foi primordial para que essa jornada se tornasse ainda mais grandiosa.

Ao instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao Instituto Federal do Rio Grande do Sul, campus Farroupilha, em especial ao professor Edson que me auxiliou nos testes mecânicos.

“Sorrio e conto nos dedos: um, as pessoas são boas; dois, todo conflito pode ser removido. Três, toda situação, não importa o quanto pareça complexa inicialmente, é extremamente simples. Quatro, toda situação pode ser melhorada substancialmente; nem mesmo o céu é o limite. Cinco, todos podem alcançar uma vida completa. Seis, há sempre uma solução do tipo ganha-ganha. Preciso continuar a contagem?”

Eliyahu Moshe Goldratt (1947 – 2011)

RESUMO

A alta demanda de materiais poliméricos atrelada à grande disponibilidade de resíduos agroindustriais propiciam o desenvolvimento de novas tecnologias. Nesse sentido, o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras naturais tem sido amplamente difundido devido a sua baixa toxicidade e satisfatórias propriedades conferidas ao material. Dessa maneira, por meio do presente estudo objetivou-se desenvolver e caracterizar compósitos empregando como matriz polimérica o polipropileno reciclado juntamente com dois tipos de fibras utilizadas separadamente, sendo elas, a casca de arroz e a coroa de abacaxi, ambas a 5%, 10% e 20% em massa. As fibras foram tratadas por meio de uma solução de hidróxido de sódio a 5% e 10% (m/m) e neutralizadas com uma solução de ácido acético. Além disso, adicionou-se o agente de acoplamento polipropileno graftizado com anidrido maleico. As fibras foram caracterizadas por meio da análise de densidade e apresentaram resultados condizentes aos da literatura para as fibras sem tratamento tanto de casca de arroz como as de coroa de abacaxi. Os materiais foram avaliados em relação ao seu comportamento mecânico por meio de ensaios de tração e impacto. O teste de tração demonstrou um aumento de resistência à tração em ambos os compósitos, principalmente quando utilizadas fibras sem o tratamento e com a adição de PP-g-MA, em comparação ao polipropileno reciclado. Os melhores valores foram obtidos quando utilizados teores de fibras de 5% no caso da casca de arroz e 10% no compósito de coroa de abacaxi onde se observou um aumento na resistência a tração de aproximadamente 12% e 11%, respectivamente. O teste de impacto apresentou resultados inferiores ao da matriz pura, o que pode estar relacionado a maior rigidez do material quando adicionadas as fibras. Ainda, foi realizada a análise de absorção de água que se apresentou com valores aceitáveis uma vez que se observou uma maior tendência de acréscimo de água nas amostras com maior teor de fibra. Dessa forma, conclui-se que o compósito de polipropileno reciclado reforçados com fibras de casca de arroz e de coroa de abacaxi com a adição do agente de acoplamento melhoram a resistência à tração, além de se obter um produto mais sustentável, uma vez que permite a utilização de resíduos amenizando problemas voltados a sua destinação.

Palavras-chave: Compósitos, Casca de Arroz, Coroa de Abacaxi, Polipropileno reciclado, Polipropileno Modificado com Anidrido Maleico.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação dos polímeros.	4
Figura 2 - Principais polímeros consumidos no Brasil em 2020.	5
Figura 3 - Reação de obtenção do PP a partir da polimerização do propileno.	6
Figura 4 - Classificação das fibras vegetais.	8
Figura 5 - Estrutura lignocelulósica.	8
Figura 6 - Representação de uma molécula de celulose.	9
Figura 7 - Mapa da produção de arroz no território brasileiro no ano de 2016.	11
Figura 8 - Representação esquemática da disposição das fases matriz e dispersa.	14
Figura 9 - Classificação dos compósitos.	15
Figura 10 - Esquema de extrusora mono-rosca.	17
Figura 11 - Folhas retiradas da coroa de abacaxi.	20
Figura 12 - Etapas do tratamento da casca de arroz e coroa de abacaxi para o desenvolvimento de compósitos.	21
Figura 13 - Etapas de para fabricação dos corpos de prova: A) Misturador intensivo; B) Misturador Calandra; C) Moinho; D) Injetora.	23
Figura 14 - Máquina universal de tração.	25
Figura 15 - Máquina de impacto.	25
Figura 16 - Tratamento químico realizado nas fibras. A) casca de arroz; B) coroa de abacaxi.	28
Figura 17 - Resistência à tração máxima dos compósitos reforçados com fibra de casca de arroz.	29
Figura 18 - Resistência à tração máxima dos compósitos reforçados com fibra de coroa de abacaxi.	29
Figura 19 - Resistência ao impacto dos compósitos reforçados com fibra de casca de arroz.	32
Figura 20 - Resistência ao impacto dos compósitos reforçados com fibra de coroa de abacaxi.	32
Figura 21 - Absorção de água do compósito de fibra de casca de arroz.	34
Figura 22 - Absorção de água do compósito de fibra de coroa de abacaxi.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela da composição química parcial de biomassas lignocelulósicas.	9
Tabela 2 - Proporções das amostras processadas.	22
Tabela 3 - Densidade das fibras.....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo geral	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 POLÍMEROS	4
2.1.1 Polipropileno.....	6
2.2 Fibras Vegetais	7
2.2.1 Casca de arroz	10
2.2.2 Coroa de abacaxi	12
2.3 Compatibilização das fibras vegetais com polímeros.....	12
2.4 Compósitos	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1 Materiais.....	19
3.2 Métodos.....	19
3.2.1 Obtenção e preparação da fase reforço	19
3.2.2 Processamento do compósito	22
3.3 ENSAIOS	23
3.3.1 Massa específica das fibras	23
3.3.2 Ensaio de tração	24
3.3.3 Ensaio de impacto.....	25
3.3.4 Ensaio de absorção de água dos compósitos	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27

4.1 Caracterização das fibras.....	27
4.1.1 Densidade	27
4.2 Ensaio mecânicos	28
4.2.1 Ensaio de tração	28
4.2.2 Resistência ao impacto	31
4.3.3 Absorção de água	34
5 CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Não obstante seja consentimento geral que a preservação do meio ambiente é uma necessidade premente, tratando-se de tarefa inadiável, é evidente que a busca constante por novas tecnologias que satisfaçam o conforto e o bem-estar da sociedade tem resultado em uma população cada vez mais consumista. Durante anos os efeitos do descarte desenfreado de tantos resíduos, entre eles plásticos, vidros e demais materiais, foram negligenciados.

Nesse contexto, a indústria de polímeros desempenha participação significativa nos impactos negativos gerados ao meio ambiente (PIVA; WIEBECK, 2004). De acordo com a pesquisa do Fundo Mundial para a Natureza realizada em 2019, o Brasil é o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo, com um consumo de 11,3 milhões de toneladas por ano (WWF, 2019).

No mesmo período, das 10,3 toneladas coletadas, apenas 145 mil foram efetivamente recicladas, o que representa uma porcentagem de 1,28% (WWF, 2019). O ser humano, enquanto responsável direto pelos danos, precisa recuperar os prejuízos causados ao meio ambiente e, nesse cenário, o desenvolvimento de materiais oriundos de polímeros pós-consumo vem se destacando a cada ano devido às vantagens ecológicas, econômicas e sociais que apresenta. Uma alternativa de utilização desse resíduo é no desenvolvimento de compósitos poliméricos usando como reforço fibras naturais (DE MELO, 2022).

Por serem provenientes de recursos naturais, essas fibras possuem baixo custo e denotam-se sustentáveis, além de possuírem baixo peso quando comparadas às sintéticas. Algumas das fibras naturais utilizadas como reforços na preparação de materiais compósitos são as de coco, de açai, juta, sisal e kenaf (JUNIOR, 2020; ARJMANDI *et. al.*, 2015).

Uma fonte importante de fibras naturais é a coroa de abacaxi. Trata-se de uma das frutas mais produzidas e consumidas no Brasil, de modo que seus resíduos são gerados em grande escala e geralmente não possuem nenhuma atividade econômica atrelada. Além disso, no desenvolvimento de compósitos as fibras de coroa

apresentam boas propriedades quando utilizadas com matrizes poliméricas (GABRIEL,2020).

Outra fibra que tem apresentado grande potencial tecnológico é a casca de arroz. O cereal é alimento rotineiro no prato de milhões de pessoas, uma vez que é produzido e consumido em diversos países do mundo. O destaque na produção de arroz no Rio Grande do Sul deve-se principalmente pelas condições climáticas de algumas regiões do estado para o cultivo, figurando inclusive como o maior produtor do país. A casca de arroz, em contrapartida, possui baixo valor comercial, em razão do elevado teor de sílica presente em sua composição, sendo considerada um resíduo por ser imprópria para a alimentação humana e animal (AZEVEDO *et. al.*, 2016; ARJMANDI *et. al.*, 2015).

Diante do exposto, propõe-se mediante o presente trabalho determinar as influências da casca de arroz e da fibra da coroa de abacaxi na preparação de compósitos de matriz polimérica a fim de verificar suas propriedades físicas e mecânicas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Preparar compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras vegetais de coroa de abacaxi e de casca de arroz a fim de avaliar seu desempenho físico e mecânico e comparar com o polipropileno reciclado.

1.1.2 Objetivos específicos

- Modificar as fibras de casca de arroz e de coroa de abacaxi a fim de melhorar as propriedades mecânicas dos compósitos.

- Avaliar o efeito das concentrações de fibras (5%, 10% e 20%, em massa) no desempenho físico e mecânico dos compósitos.
- Comparar as propriedades dos compósitos obtidos quanto às propriedades mecânicas e comparar com o polímero reciclado puro.
- Comparar o desempenho dos compósitos com as fibras tratadas e não tratadas.
- Verificar se a utilização do agente de acoplamento polipropileno grafitizado com anidrido maleico (PP-g-MA) melhora a adesão do compósito por meio da comparação dos resultados das propriedades mecânicas e físicas quando adicionado e não adicionado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção, serão apresentadas algumas definições importantes para este trabalho e uma revisão do que tem sido desenvolvido de pesquisa na área.

2.1 POLÍMEROS

A definição da palavra polímero é dada a partir da união de duas palavras de origem grega, “poli” referente a muitos e “meros”, unidades ou partes. Conforme Newell (2010, p. 128): “os polímeros são cadeias de unidades repetidas unidas, umas às outras, por ligações covalentes. As unidades que formam as cadeias e que se repetem são denominadas monômeros”.

De acordo com Callister (2020), os polímeros podem ocorrer de forma natural, como os oriundos de plantas e animais, como proteínas, enzimas, celulose e amidos, ou na forma sintética, conforme Figura 1. Os materiais sintéticos apresentam vantagens relacionadas ao baixo custo de fabricação e muitas vezes oferecem propriedades superiores quando comparados aos de origem natural.

Figura 1 - Classificação dos polímeros.

Macromoléculas	Origem	Grupos
Polímeros	Natural	Poli-peptídeos, proteínas, polinucleotídeos
		Polissacarídeos
		Elastômeros
	Sintéticos	Elastômeros
		Termoplásticos
		Termofixos

Fonte: Adaptado de Cardarelli (2008).

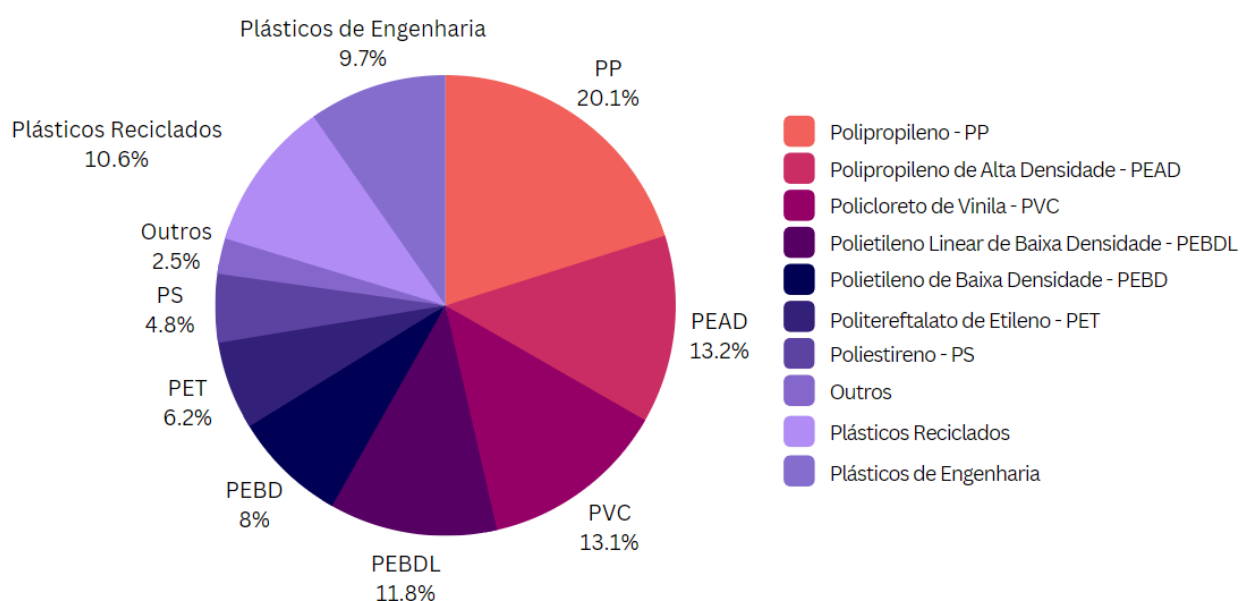
Os polímeros sintéticos termoplásticos consistem em longas cadeias produzidas pela junção dos monômeros. Possuem comportamento mecânico dúctil e

plástico e podem ser amorfos ou parcialmente cristalinos. Devido ao seu alto grau de liberdade, amolecem com o aumento da temperatura e tornam-se sólidos quando resfriados. Grande parte dos termoplásticos são fundíveis, sendo assim, podem ser extrusados juntamente a fibras longas ou filamentos para a fabricação de compósitos (ASKELAND, 2014; CARDARELLI, 2008).

Já os polímeros termofixos, quando comparados aos termoplásticos, possuem maior resistência, porém uma maior fragilidade, além disso, são infusíveis quando aquecidos, e sua modificação e reprocessamento após a cura não se torna possível (ASKELAND, 2014).

A utilização desses polímeros, principalmente os termoplásticos, vem crescendo no Brasil e no mundo. Como pode-se perceber no estudo de Da Silva (2021), a produção mundial de plástico em 2018 foi de 359 milhões de toneladas, já no ano seguinte apresentou um acréscimo de 9 milhões chegando a 368 milhões de toneladas. No Brasil, os resíduos mais encontrados são o polipropileno de alta e baixa densidade, o polipropileno e o policloreto de vinila (FERREIRA; SANTANA, 2007; DA SILVA, 2021). A Figura 2 apresenta os principais polímeros consumidos no Brasil no ano de 2020.

Figura 2 - Principais polímeros consumidos no Brasil em 2020.



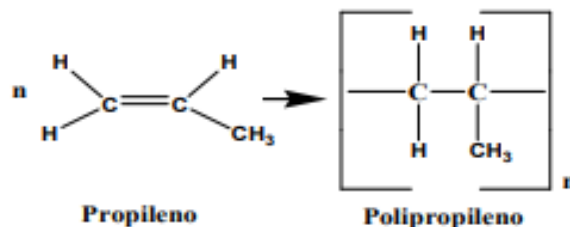
Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2021).

De acordo com uma pesquisa feita em 2021 pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST), o termoplástico mais consumido pela população brasileira é o polipropileno, que corresponde a 20,1% do consumo do país, seguido do polietileno de alta densidade que representa 13,2%, o policloreto de vinila com porcentagem de 13,1% e o polietileno linear de baixa densidade de 11,8%. Os demais, como o polietileno de baixa densidade, o politereftalato de etileno e o poliestireno representam o restante, ou seja, 21,5% do total consumido.

2.1.1 Polipropileno

O polipropileno é obtido industrialmente pelo processo catalítico de polimerização do monômero propileno (C₃H₆), conforme Figura 3, e possui alta cristalinidade, dureza superficial e baixa densidade. Além disso, devido a sua característica apolar, possui boa resistência térmica e química (GAUTO, ROSA, 2011; CARDARELLI, 2008).

Figura 3 - Reação de obtenção do PP a partir da polimerização do propileno.



Fonte: DA SILVA *et. al.* (2019).

No desenvolvimento de compósitos, o polipropileno apresenta vantagens devido a sua fácil reciclabilidade, baixo preço, facilidade de processamento, baixa densidade, boas propriedades mecânicas, entre outras (AL-OQLA *et. al.*, 2015). No entanto, assim como acontece com outros polímeros, a reciclagem do material impacta negativamente nas propriedades térmicas e mecânicas, que são degradadas devido à elevada temperatura empregada no processo. As propriedades inferiores do polipropileno reciclado comparado ao polipropileno virgem podem ser melhoradas

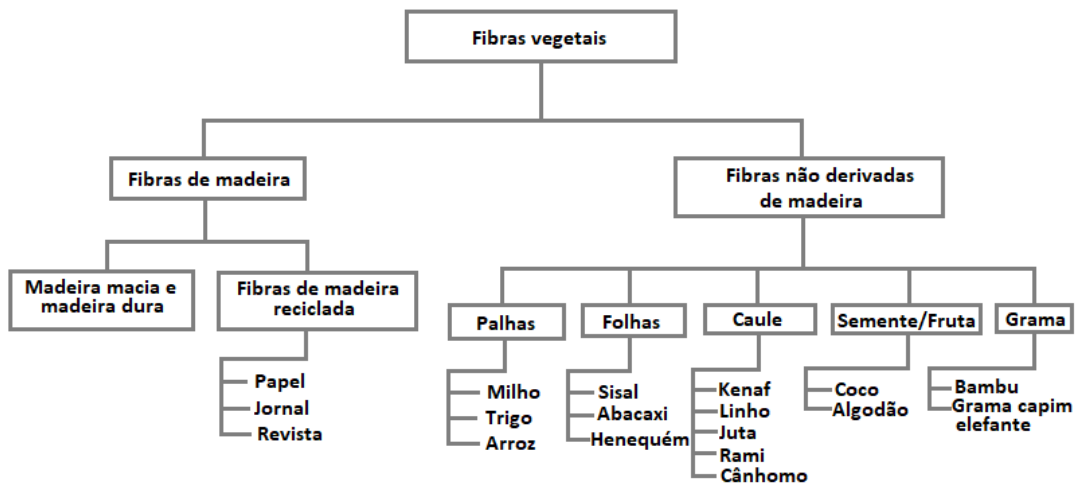
com a utilização de fibras naturais para o desenvolvimento de compósitos (SPADETTI *et. al.*, 2017).

2.2 Fibras Vegetais

As fibras de vidro e carbono têm sido tradicionalmente as mais empregadas como reforço de compósitos devido a sua capacidade de produzir materiais com propriedades térmicas e mecânicas elevadas. Entretanto, devido a sua lenta biodegradabilidade e a crescente preocupação voltada às questões ambientais, cientistas têm buscado alternativas sustentáveis para diminuir os impactos negativos ao meio ambiente (ARJMANDI *et. al.*, 2015).

Dessa forma, as fibras naturais têm se mostrado uma boa alternativa para minimizar esses impactos, uma vez que são ecologicamente mais corretas quando comparadas às artificiais, possuem menor custo e, conseqüentemente, alto valor agregado no produto final. Somado a isso, elas ainda apresentam boas propriedades térmicas e mecânicas, alta tenacidade, abundância, baixa densidade, entre outras vantagens. De acordo com Finkler *et. al.*, (2005), podem ser classificadas de acordo com a sua origem, sendo elas vegetais, animais ou minerais. As que não são derivadas de madeira podem ser extraídas de diversas partes de plantas como folhas, caule, sementes, palhas, entre outras, como mostra a Figura 4.

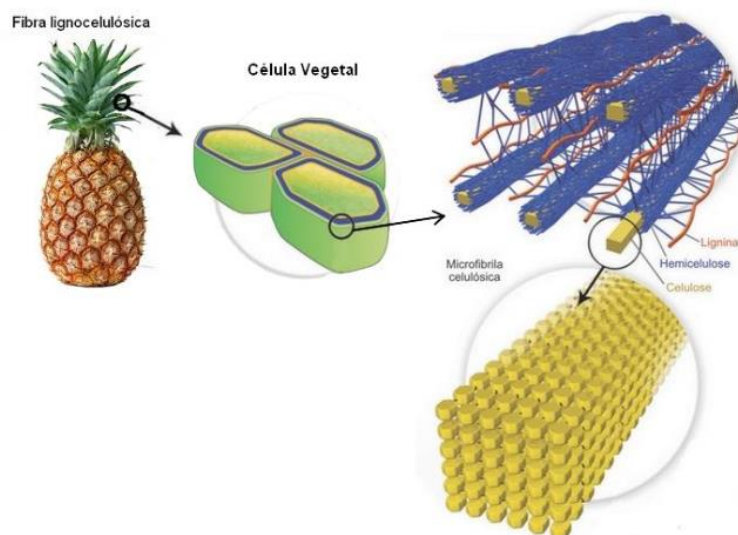
Figura 4 - Classificação das fibras vegetais.



Fonte: Adaptado de Mohanty *et. al.*, (2005).

De acordo com Coutinho, (2018, p.19), “as fibras de origem vegetal, também chamadas de fibras lignocelulósicas, são formadas basicamente por microfibrilas de celulose envoltas por uma região amorfa contendo basicamente lignina e hemicelulose em uma estrutura complexa”, conforme Figura 5. Outros constituintes como extrativos, ceras, e cinzas também são constituintes das fibras lignocelulósicas, porém em menor quantidade.

Figura 5 - Estrutura lignocelulósica.



Fonte: COUTINHO (2018).

A quantidade de cada um dos elementos varia de acordo com o modo que a extração é realizada, a idade, os nutrientes fornecidos pelo solo, e a região de origem de cada uma das fibras (MOURA, 2014; CAVALCANTI, 2018). Essa variabilidade pode ser percebida na casca de arroz, conforme a Tabela 1, na qual, de acordo com a pesquisa de Moura (2014), as composições de celulose, hemicelulose e lignina apresentadas foram de 34%, 13% e 29%, enquanto no estudo de Barros (2020) os valores expostos foram de 43,3%, 26,4% e 16,3%.

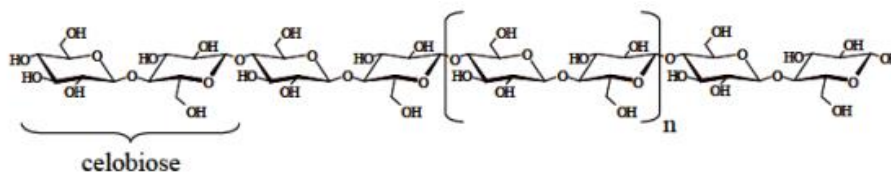
Tabela 1 - Tabela da composição química parcial de biomassas lignocelulósicas.

Biomassa Lignocelulósica	% Celulose	% Hemicelulose	% Lignina
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32
Madeira dura	43-47	25-35	16-24
Madeira mole	40-44	25-29	25-31
Talo de milho	35	25	35
Espiga de milho	45	35	15
Casca de arroz	34	13	29
Casca de arroz	43,3	26,4	16,3
Folha de abacaxi	75-85	12,31	3,46
Palha de trigo	30	50	15
Fibra de coco	36-43	0,15-0,25	41-45

Fonte: Adaptado de Santos et. al. (2012); Moura (2014); Barros (2020).

As paredes da fibra possuem como componente principal a celulose, material orgânico mais abundante do planeta. Essa substância é formada por uma ligação repetida, composta por duas moléculas de glicose eterificadas por ligações que envolvem átomos de oxigênio β -1,4-glicosídicas, denominada celobiose, e contém seis grupos hidroxila, na qual se formam ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares, conforme Figura 6. Essas ligações fortalecem a cadeia linear, influenciam no empacotamento cristalino, além de conferir caráter insolúvel, e são responsáveis pela resistência mecânica das fibras (MOURA, 2014).

Figura 6 - Representação de uma molécula de celulose.



Fonte: Moura (2014).

O segundo constituinte mais importante da parede celular é a hemicelulose, que corresponde a até 35% em massa da sua composição, também denominada poliose. Mais especificadamente, trata-se de uma classe heterogênea de polissacarídeos associados à celulose. É formada pela união de monossacarídeos polimerizados e possui caráter hidrofílico, que, devido ao elevado número de ramificações entre as cadeias, dispõe de uma natureza amorfa (MOURA, 2014).

A lignina é um polímero natural presente na totalidade das plantas terrestres, tendo como função preservar o tecido vegetal contra a ação de microrganismos e oxidação. É definida como uma macromolécula hidrofóbica e possui uma estrutura tridimensional, amorfa, majoritariamente aromática, que fornece rigidez e dureza às plantas (MOURA, 2014).

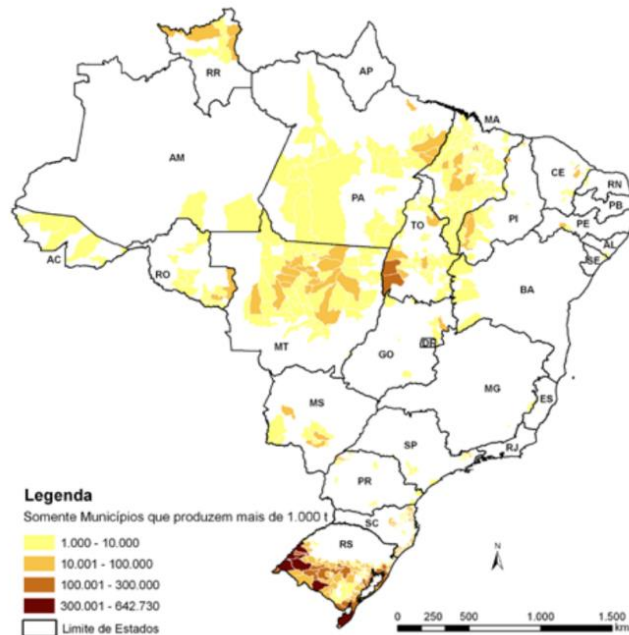
Devido ao clima favorável para a agricultura, grandes áreas de plantio e solo fértil, o Brasil é um país rico em recursos naturais e conseqüentemente possui uma variedade de materiais lignocelulósicos, os quais apresentam grande potencial para utilização em materiais compósitos, entre eles, o coco, a casca de arroz, a fibra de bananeira, a coroa de abacaxi, entre outros (CALEGARI; DE OLIVEIRA, 2020).

2.2.1 Casca de arroz

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos alimentos mais produzidos e consumidos no mundo. De acordo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a produção mundial em 2018 foi de 782 milhões de toneladas. Na comparação com a produção de demais cereais, esse grão é superado apenas pelo milho, e representa aproximadamente 33% da produção mundial (EMBRAPA, 2021).

Segundo pesquisa da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) de 2018, o Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz com produção de 11,7 milhões de toneladas colhidas naquele ano (CONAB, 2018), sendo o Rio Grande do Sul o estado de maior produção do cereal no país correspondendo a 77% da produção nacional (CONAB, 2016), conforme Figura 7.

Figura 7 - Mapa da produção de arroz no território brasileiro no ano de 2016.



Fonte: CONAB (2016).

A casca do arroz, é o principal resíduo gerado no processo de refino do cereal, constituindo 20% da massa total. Por razão do alto teor de sílica, possui baixo custo e valor nutricional, sendo a compostagem seu primeiro destino. Entretanto além de liberar um grande volume de metano, o tempo de decomposição do resíduo é bastante elevado (FERNANDES *et. al.*, 2016). Outro destino inadequado, porém, muito comum, é a queima das cascas a céu aberto gerando gases tóxicos, cinzas que levam a grave poluição do ar (CALEGARI, DE OLIVEIRA, 2020).

Devido às suas características como elevada dureza, boas propriedades mecânicas, baixo custo, fibrosidade, baixa densidade, abrasividade e boa resistência ao desgaste, a aplicabilidade desse resíduo no desenvolvimento de materiais, como os compósitos, vem crescendo a cada ano (DE OLIVEIRA, 2019; GRZYCAK, 2016).

2.2.2 Coroa de abacaxi

O abacaxi da espécie *Ananas Comosus* é um fruto originário das Américas, típico de regiões tropicais (JUNIOR, 2017). Considerado o quinto fruto tropical mais importante, é cultivado em 85 países, sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial, com produção de 27,4 milhões de toneladas por ano (EMBRAPA, 2021).

A coroa de abacaxi, é um dos resíduos provenientes da fruta, e possui alta resistência específica e rigidez, sendo considerada uma excelente matéria prima de reforço em compósitos (ASIM, 2015).

2.3 Compatibilização das fibras vegetais com polímeros

A área de contato entre os componentes do material é um fator determinante nas propriedades dos compósitos, tendo em vista que, é através da interface que as tensões que atuam na matriz são transferidas a fase reforço (PIRES, 2009). Em compósitos lignocelulósicos o que dificulta a interação é a diferença de polaridade entre a matriz (apolar) e a fibra (polar) (DA SILVA, 2017). A fraca compatibilidade entre as fibras naturais com a grande maioria das matrizes poliméricas resulta em um material com pouca adesão e, por consequência, com baixa resistência (DOS SANTOS, 2007).

Em contrapartida, essa fraca interação entre a fibra e a matriz pode ser melhorada com a utilização de agentes de acoplamento durante o processamento do compósito e ou por meio de modificações na superfície das fibras através de tratamentos químicos e físicos (DA SILVA, 2017).

Dentre os processos de modificação superficial de fibras vegetais, a mercerização ou tratamento alcalino é o processo mais empregado (WEARN, MONTAGNA, PASSADOR, 2020). Um dos motivos do seu vasto uso deve-se ao fato da solução alcalina reagir com regiões externas da fibra, na qual, além de eliminar impurezas presentes na superfície, promove a desestabilização das ligações de

hidrogênio presente na hemicelulose e lignina, que devido à fácil solubilização são as mais afetadas no tratamento (DA SILVA, 2017).

Por consequência,

A remoção de materiais amorfos hidrofílicos, como a hemicelulose, causa uma diminuição do caráter polar da fibra, o que juntamente com o aumento da área superficial, promovida pela desfibrilação, acarreta em melhor compatibilidade e interação com matrizes poliméricas. (DA SILVA, 2017, p. 32)

Outra alternativa para a compatibilização de cargas celulósicas e matrizes apolares é o uso de agentes de acoplamento. Os agentes de acoplamento são aditivos que promovem as ligações entre as fibras de caráter hidrofílico (polar) e a matriz de caráter hidrofóbico (apolar), causando uma maior aderência interfacial entre as fases (BARBOSA, 2017).

O mecanismo no caso do uso de agentes de acoplamento para o polipropileno, envolve a formação de ligações químicas covalentes por meio de reações de esterificação e interações secundárias de hidrogênio do compatibilizante e as hidroxilas da celulose (DA ROSA, 2007). Após a interação as longas cadeias de polipropileno do agente de acoplamento levam a uma melhor adaptação das energias superficiais o que permite um bom umedecimento da fibra em relação ao polímero aumentando a força de adesão interfacial.

Conforme Bledzki e Gaussan, (1999), as modificações superficiais por meio de agentes compatibilizantes causam melhoras perceptíveis nas propriedades dos materiais, se utilizados com o tratamento e tipo de fibra adequado.

Nesse sentido, Arrakhiz e colaboradores uniram dois diferentes métodos a fim de proporcionarem melhores propriedades ao material compósito. Inicialmente com o intuito de eliminar componentes não celulósicos e ceras da superfície da fibra, trataram as fibras de cone de pinho com hidróxido de sódio, (NaOH), e para aperfeiçoar a compatibilização entre as fases, acrescentam os copolímeros em bloco linear à base de estireno e butadieno e o estireno-etileno/butileno-estireno-enxerto-anidrido maleico (ARRAKHIZ *et. al.*, 2012).

No final desse estudo, os autores Arrakhiz *et. al.*, (2004), verificaram por meio da análise de espectroscopia no infravermelho, uma melhora na área superficial das

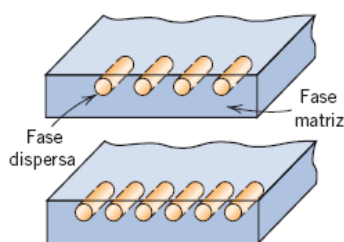
fibras tratadas indicada pela remoção de pectina, hemicelulose e lignina presentes, em relação ao resíduo não tratado. Além disso, uma melhora expressiva nas propriedades mecânicas também foi observada, principalmente quando unidos os dois diferentes métodos, tendo apresentado melhor resultado com a utilização do copolímero estireno-etileno/butileno-estireno-enxerto-anidrido maleico com acréscimo de 5% de carga de fibra (ARRAKHIZ *et. al.*, 2012).

2.4 Compósitos

Com o advento do mundo moderno e o surgimento de novas tecnologias na área da ciência dos materiais, os compósitos vêm se destacando principalmente no desenvolvimento de mecanismos inéditos de aplicação referidos a suas propriedades. Nesse sentido, os materiais compósitos vêm sendo progressivamente utilizados devido às suas características relacionadas à durabilidade, segurança, meio ambiente, economia e desempenho, devido à série de propriedades físicas, químicas e mecânicas obtidas através de diferentes variedades de materiais utilizados para a sua composição (CALEGARI, DE OLIVEIRA, 2020).

De acordo com Callister (2020), os compósitos constituem-se na combinação de dois ou mais materiais com diferentes propriedades químicas que, quando combinadas, conferem melhores características ao material, tais como rigidez, tenacidade, resistências a elevadas temperaturas e às condições do ambiente. De um modo geral, são formados por duas fases: a matriz a qual é contínua e abrange a outra, denominada de fase dispersa, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Representação esquemática da disposição das fases matriz e dispersa.

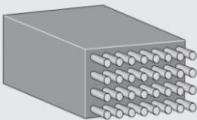
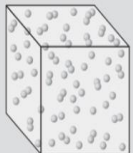



Fonte: CALLISTER (2020).

Os materiais compósitos são convencionalmente nomeados de acordo com o tipo de matriz constituinte, podendo ser ela cerâmica, metálica ou polimérica (SHACKELFORD, 2008). A matriz de um compósito é responsável por proteger a superfície, orientar e transferir a carga para a fase dispersa além de manter a fase de reforço livre de oxidação ou corrosão (NEWEL, 2010).

A fase dispersa ou reforço é o constituinte estrutural do material e determina a sua estrutura interna (SHACKELFORD, 2008). O autor Newel (2010) relaciona os compósitos em: reforçados com fibras, como exemplo o Kevlar-epóxi; os particulados, como o concreto; os laminados, como o compensado; composto por outros materiais compósitos (concreto reforçado por vergalhão), conforme Figura 9.

Figura 9 - Classificação dos compósitos.

<i>Classe do Compósito</i>	<i>Definição</i>	<i>Esquema</i>	<i>Exemplo</i>
Reforçado por fibras	Compósito no qual um material forma a matriz externa e transfere quaisquer cargas aplicadas para as fibras frágeis e mais resistentes.		Compósitos Kevlar-epóxi
Particulado	Compósito que contém grande número de partículas grossas, para reforçar a matriz.		Concreto
Laminado	Compósito que é fabricado alternando-se o empilhamento de diferentes materiais, mantidos juntos por um adesivo.		Compensado
Híbrido	Compósito composto por outros materiais compósitos.		Concreto reforçado por vergalhão

Fonte: NEWEL (2010).

Os compósitos poliméricos formam-se a partir de uma resina polimérica com a fase matriz juntamente com as fibras naturais utilizadas como meio de reforço. Devido a sua facilidade de fabricação, suas propriedades à temperatura ambiente e custo, são amplamente aplicáveis (CALLISTER, 2020).

Apesar do seu fácil processamento, o caráter hidrofílico das fibras naturais é um empecilho no processamento de compósitos. O teor de umidade está diretamente

relacionado com o teor de espaços vazios e de partes não cristalinas do material lignocelulósico e possui influência direta nas propriedades mecânicas e físicas do material pois age como agente de separação entre as fases (BLEDZKI, GASSAM, 1999).

Essa sensibilidade pode ser minimizada por meio da secagem das fibras em estufas antes e durante o processamento ou através do uso de agentes de acoplamento pois proporcionam ligações químicas de hidrogênio e reduzem a umidade causada pela descolagem da fibra-matriz (BLEDZKI, GASSAN, 1999).

Outro parâmetro crítico que influencia as propriedades dos compósitos é o comprimento crítico das fibras. De acordo com Bledzki, Gassan, (1999), partículas curtas fornecem uma área de superfície específica mais alta e são distribuídas de maneira mais uniforme em comparação com os compósitos com fibras longas. Assim, a compatibilidade da fibra e da matriz é melhorada, pois promove uma redução no inchaço e quebras durante o processamento.

2.5 Processamento de polímeros

Os materiais poliméricos e compósitos de matriz polimérica podem ser moldados através de diversas técnicas de processamento. Nos tópicos a seguir serão abordadas as técnicas de extrusão e injeção.

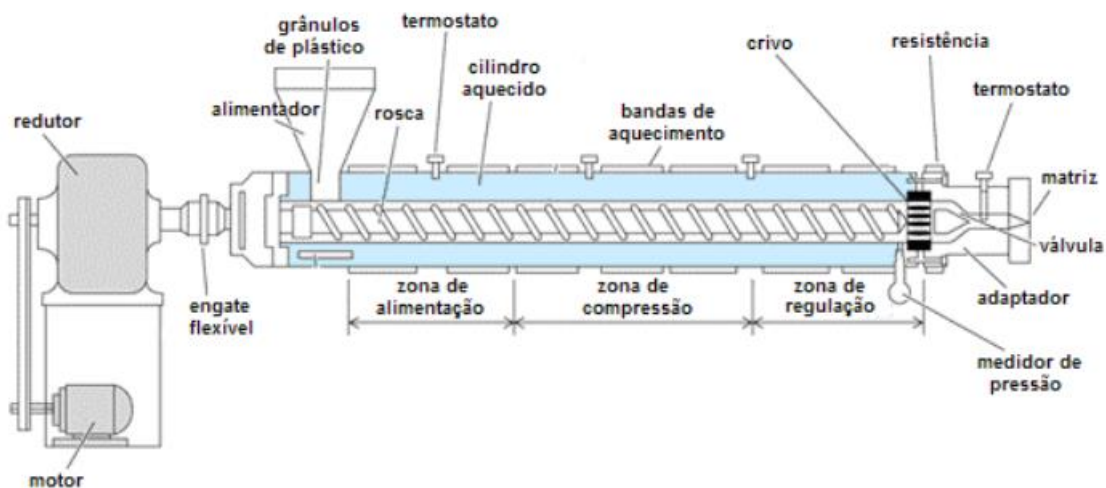
2.5.1 Extrusão

A extrusão é um processo de fabricação muito utilizado para a conformação do termoplástico devido à simplicidade de processamento e baixo custo (MONDADORI, 2007). Nesse processo os materiais são direcionados à extrusora por meio de um funil, passando para uma rosca contida num cilindro a temperatura próxima à fusão na qual promovem o cisalhamento a homogeneização e plastificação do material, que posteriormente será moldado (BATALIOTTI, 2016; MONDADORI, 2007).

A extrusora é composta por um alimentador onde o material plástico muitas vezes na forma de pellets é inserido, uma rosca, motor, cilindro sistemas de aquecimento e resfriamento, sendo que o desenho da rosca a velocidade e a temperatura podem ser ajustados conforme o polímero a ser processado (MONDADORI, 2007; VIEIRA 2016).

Além disso, a extrusora de uma única rosca pode ser dividida em três diferentes zonas conforme ilustrado na Figura 10. A zona de alimentação é responsável por pré-aquecer o polímero e transferi-lo para as zonas seguintes, a zona de compressão compacta o material e realiza a diminuição de bolhas de ar durante o processo, já a zona de regulação é responsável pela homogeneização final da massa fundida e fluxo uniforme (PARENTE, 2006).

Figura 10 - Esquema de extrusora mono-rosca.



Fonte: PARENTE, (2006).

As extrusoras podem ser compostas de uma ou múltiplas roscas. As mono-roscas possuem baixo custo de instalação, facilidade de operação e manutenção do equipamento. Além disso, são apropriadas para operações mais simples como: fusão, plastificação e descarregamento do material fundido para produção de cabos, mangueiras chapas entre outros (MONDADORI, 2007).

2.5.2 Injeção

A moldagem por injeção é um processo muito comum empregado na fabricação de termoplásticos. Consiste em introduzir a composição em um molde através de um cilindro aquecido por intermédio da pressão de um êmbolo (MONDADORI, 2007).

As máquinas injetoras dispõem na maioria das vezes de uma câmara cilíndrica aquecida dotada de um parafuso que tem a função de plastificar e homogeneizar a pasta polimérica antes de ser encaminhada aos canais de injeção do molde. A refrigeração do material é realizada dentro do molde, de forma a permitir a sua solidificação e remoção do artefato sem qualquer deformação (MONDADORI, 2007).

As propriedades da peça já finalizada dependem de diversos fatores como, o tipo de polímero e sua estrutura. Parâmetros como a pressão de injeção, tempo de resfriamento temperatura de injeção do molde, alteram a estrutura cristalina e conseqüentemente as propriedades como resistência a tração, módulo de elasticidade, resistência ao impacto, resistência à flexão entre outros (MONDADORI, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia exposta a seguir foi elaborada com a finalidade de descrever os processos, normas, procedimentos e equipamentos utilizados na produção dos compósitos, desde a preparação das fibras até a caracterização dos corpos de prova obtidos.

3.1 Materiais

Os resíduos vegetais da casca de arroz foram recolhidos do Moinho Guido Aloísio Stockmanns (situado em São Vendelino/RS). As coroas de abacaxi foram adquiridas na Indústria de Doces Kaspary (situada no município de Bom Princípio-RS). Os pellets de polipropileno reciclado (aproximadamente 85% PP e 15% PE) foram fornecidos pela empresa Plásticos Brandt Ltda também situada em Bom Princípio - RS. O hidróxido de sódio (NaOH, 99%) foi adquirido na Empresa Harmoni Química situada em Feliz. Como fonte de concentração de ácido acético (CH₃COOH), utilizou-se vinagre de álcool (Rosina), adquirido em um supermercado da região. Já o agente de acoplamento polipropileno grafitizado com anidrido maleico (PP-g-MA) foi adquirido pela Merck S/A Indústrias Químicas (São Paulo, SP, Brasil).

3.2 Métodos

Nesta seção serão apresentados os métodos aplicados para a preparação das fibras (fase reforço) e obtenção dos corpos de prova do compósito.

3.2.1 Obtenção e preparação da fase reforço

A casca de arroz e as coroas de abacaxi foram previamente obtidas do descarte do resíduo de empresas produtoras da matéria prima do cereal e de doce de fruta no Rio Grande do Sul.

A separação das folhas da coroa de abacaxi foi realizada de forma manual, conforme Figura 11.

Figura 11 - Folhas retiradas da coroa de abacaxi.



Fonte: Autora (2022).

Após a separação, as folhas da coroa de abacaxi foram lavadas em água corrente para a remoção de materiais como terra, poeira e areia. Em seguida, foram secas para a remoção da umidade em estufa durante 72 h a 55 °C, então moídas em um moinho de facas e peneiradas com auxílio de uma peneira de 30 *mesh* sendo utilizadas as partículas com diâmetro inferior a 595 μm .

As fibras da casca de arroz foram previamente peneiradas para eliminar pó proveniente do processamento de arroz por meio de uma peneira de 12 *mesh* sendo utilizadas partículas com diâmetro superior a 1680 μm . Em seguida, as cascas foram moídas também em um moinho de facas e peneiradas em uma peneira de 50 *mesh* utilizando partículas com diâmetro inferior a 300 μm . A secagem no início do processo não se fez necessária pois não se observou perda significativa de massa das cascas devido a secagem prévia ao ar livre realizada ainda no moinho, antes da coleta.

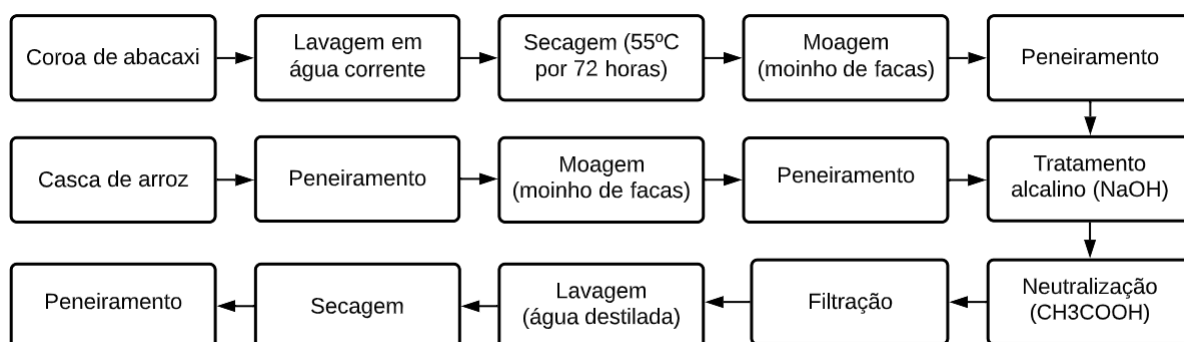
Visando melhorar o empacotamento das cadeias de celulose, e consequentemente aumentar a área superficial efetiva do reforço, as fibras passaram por um tratamento alcalino para a modificação da superfície por meio da imersão na solução de hidróxido de sódio (NaOH), a 5% e a 10% (m/m) à temperatura ambiente por 1 hora. Para tal, foram utilizados 150 g de fibras para cada 1,5 L de solução, conforme sugerem Marcon *et. al.*, (2009). De acordo com Kasim *et. al.*, (2015), o

tratamento químico pode conferir melhores propriedades, além de estabilizar a orientação molecular do material.

Após o tratamento alcalino, conforme descrito no experimento de Arrakhiz *et. al.*, (2012), foi realizada a neutralização das fibras por meio de solução de ácido acético 4,4%, (CH_3COOH) e a filtração da mistura com auxílio de uma bomba a vácuo, onde também ocorreu a lavagem com água destilada no funil de Buchner. Posteriormente as fibras tratadas de coroa de abacaxi e casca de arroz foram secas a uma temperatura de $80\text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas. Após a secagem, foram novamente moídas no moinho de facas para desagregação e novamente peneiradas por meio de peneiras de 30 e 50 *mesh* respectivamente. Após o término dos procedimentos, realizou-se a secagem das fibras em estufa até peso constante para utilização na fabricação dos corpos de prova. A Figura 12 apresenta o fluxograma das etapas da obtenção das fibras de casca de arroz e de coroa de abacaxi para a produção dos compósitos.

Além disso, para efeitos de comparação, foi obtida uma quantidade de fibra nas mesmas condições das relatadas acima, porém, somente até a etapa de peneiramento, ou seja, sem que fossem realizadas as etapas de tratamento químico, filtração e lavagem. Após o peneiramento, as fibras foram alocadas em estufa até o momento da produção dos corpos de prova.

Figura 12 - Etapas do tratamento da casca de arroz e coroa de abacaxi para o desenvolvimento de compósitos.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.2.2 Processamento do compósito

Para a produção dos compósitos, foram elaboradas formulações com diferentes conteúdos de fibras, contando também com o agente de acoplamento PP-g-MA. Foram escolhidos os teores de 5% 10% e 20% em massa de fibras e 2% de PP-g-MA. Essas formulações foram realizadas com fibras tratadas com solução à 5% ou a 10% de NaOH, e com fibras sem tratamento alcalino. Também foi produzida uma formulação para cada tipo de fibra sem PP-g-MA, para comparação, esta somente com teor de 10% em fibras. Todas as formulações preparadas são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Proporções das amostras processadas.

FORMULAÇÃO	TRATAMENTO ALCALINO (%EM MASSA)	TEOR DE FIBRA (% EM MASSA)	TEOR DE PP (% EM MASSA)	AGENTE DE ACOPLAMENTO (PPMA)
PPR	-	-	100%	NA
PPRT5F5MA2	5%	5%	93%	2%
PPRT10F5MA2	5%	10%	88%	2%
PPRT20F5MA2	5%	20%	78%	2%
PPRT5F5MA0	5%	10%	90%	NA
PPRT10F5MA2	10%	5%	93%	2%
PPRT10F10MA2	10%	10%	88%	2%
PPRT10F20MA2	10%	20%	78%	2%
PPRT0F5MA2	-	5%	93%	2%
PPRT0F10MA2	-	10%	88%	2%
PPRT0F20MA2	-	20%	78%	2%
PPRT0F10MA0	-	10%	90	NA

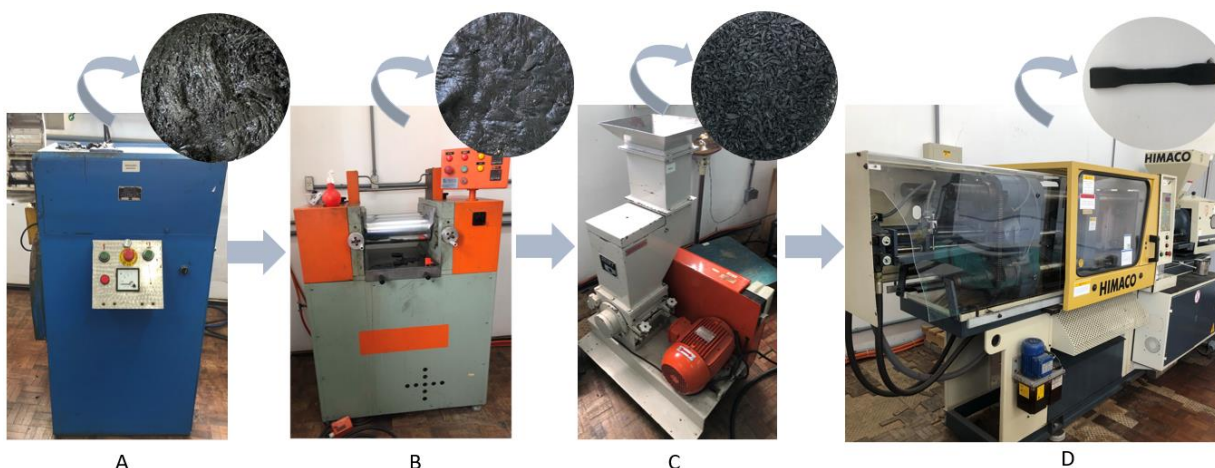
Fonte: Autora (2022).

A preparação e fabricação dos corpos de prova foi realizada no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, e procedeu-se inicialmente com a pesagem do material de acordo com as proporções pré-definidas em uma balança digital, de acordo com as proporções indicadas na Tabela 2, para uma massa total de 200 g de cada composição. Em seguida, a mistura foi encaminhada a um misturador intensivo (modelo HMH), que através da temperatura (160 °C) e atrito dos materiais fundiu o polímero reciclado e homogeneizou os

materiais e então ao misturador calandra (HM Equipamentos) a uma temperatura de 80 °C a fim de eliminar possíveis sólidos aglomerados.

Após a mistura do material, o sólido homogeneizado foi encaminhado a um moinho (modelo MGHS 2/180), e então levado à injetora (modelo LHS 500-140, Himaco) para a preparação dos corpos de prova com dimensões definidas de acordo com a norma ASTM 638 para ensaios mecânicos. A Figura 13 apresenta os equipamentos utilizados para a fabricação dos corpos de prova bem como o material resultante e cada uma das etapas.

Figura 13 - Etapas de para fabricação dos corpos de prova: A) Misturador intensivo; B) Misturador Calandra; C) Moinho; D) Injetora.



Fonte: Elaborado pela autora, (2022).

3.3 ENSAIOS

Nesta seção serão apresentados os métodos de ensaio para a caracterização do polímero, das fibras bem como dos compósitos obtidos.

3.3.1 Massa específica das fibras

A massa específica das fibras foi determinada por meio da observação do volume ocupado por uma massa conhecida de fibra sendo que para tal, foi utilizado um picnômetro de 50 mL, uma balança analítica e água destilada. Para a determinar

a densidade da água utilizada, o picnômetro limpo e seco foi tarado ao ser colocado na balança e em seguida preenchido com água destilada até transbordar pelo orifício central da tampa, seco, e colocado novamente na balança para se obter a massa da água ocupada em 50 mL do picnômetro. Para uma maior confiabilidade do teste o procedimento foi realizado em triplicata. A densidade da água foi então calculada conforme a Equação 1, em que ρ_a é a massa específica da água (g/cm^3), m_a a massa de água e v_t o volume total do picnômetro, 50 cm^3 (MINATTO, 2012).

$$\rho_a = \frac{m_a}{v_t} \quad \text{Eq. 1}$$

Após calculada densidade da água, procedeu-se com a determinação da densidade para as fibras vegetais. Para tal adicionou-se uma pequena massa conhecida de fibra no interior do picnômetro limpo, seco e tarado e em seguida, após realizar novamente a tara da balança, a água destilada foi acrescentada até o enchimento e transbordo no orifício do picnômetro. A partir da massa de água, obteve-se o volume em 50 cm^3 , a qual foi diminuído do total obtendo-se então o volume real ocupado pela massa das fibras e por conseguinte sua massa específica, conforme Equação 2, em que, ρ é a densidade das fibras e m_f é a massa das fibras (MINATTO, 2012). O ensaio foi realizado em triplicata para cada uma das fibras utilizadas (MINATTO, 2012).

$$\rho = \frac{m_f}{(v_t - (\frac{m_a}{\rho_a}))} \quad \text{Eq. 2}$$

3.3.2 Ensaio de tração

Os ensaios mecânicos de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D638 por meio de uma máquina universal EMIC (Figura 14). Para tal, empregou-se uma célula de carga de 5 kN, sob uma velocidade de 50 mm/min. Para tal, foram testados 5 corpos de prova para cada uma das composições.

Figura 14 - Máquina universal de tração.



Fonte: Autora, (2022).

3.3.3 Ensaio de impacto

O ensaio de impacto foi realizado seguindo a norma ASTM D256-10 (2018). Os corpos de prova foram entalhados de acordo com a norma e o ensaio foi realizado por meio da máquina ZwickRoell, configuração IZOD (Figura 15).

Figura 15 - Máquina de impacto.



Fonte: Autora, (2022).

3.3.4 Ensaio de absorção de água dos compósitos

O ensaio de absorção de água foi realizado com os mesmos corpos de prova utilizados para o ensaio de impacto, apenas para se avaliar de que forma o teor de fibra nos compósitos afeta seu comportamento quando em contato com água. As amostras secas foram pesadas na balança e imersas em água destilada em béquers de 100 mL durante 24 horas. Após a retirada das peças, utilizou-se lenços de papel para a retirada do excesso de água, sendo em seguida novamente pesadas para verificar sua massa final e calcular o percentual de água absorvido. O ensaio foi realizado em triplicata, e o percentual de absorção de água foi calculado pela Equação, em que A representa a absorção de água, e M_i e M_f as massas, inicial e final.

$$A = \left(\frac{M_f - M_i}{M_i} \right) * 100 \quad \text{Eq. 3}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na caracterização das fibras e dos compósitos fabricados e as discussões da influência da incorporação das fibras de casca de arroz e coroa de abacaxi nas propriedades mecânicas dos materiais.

4.1 Caracterização das fibras

A caracterização das fibras foi realizada por meio da análise de densidade e os resultados serão apresentados e discutidos no próximo tópico.

4.1.1 Densidade

Os valores calculados para a densidade das fibras estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Densidade das fibras.

Fibra	Sem tratamento (g/cm ³)	Tratamento NaOH (5%) (g/cm ³)	Tratamento NaOH (10%) (g/cm ³)
Casca de arroz	1,33 ± 0,16	1,43 ± 0,03	1,54 ± 0,04
Coroa de abacaxi	1,13 ± 0,14	1,55 ± 0,02	1,58 ± 0,06

Fonte: Autora, (2022).

Os valores de densidade das fibras sem tratamento apresentaram-se condizentes com a literatura uma vez que Della, Kuhn, Hotza, (2001), encontraram um valor de 1,3 g/cm³ para a densidade das fibras de cascas de arroz e YVES *et. al.*; (2020) encontraram um valor de aproximadamente 1,2 g/cm³ para as fibras de coroa de abacaxi sem tratamento.

Conforme observado, obteve-se menor densidade nas fibras sem qualquer tipo de tratamento químico, diferentemente das quimicamente tratadas em que tiveram um

acréscimo na densidade conforme o aumento da porcentagem de NaOH na solução utilizada no tratamento.

Este aumento de densidade após o tratamento pode estar relacionado à eliminação de compostos solúveis das regiões externas das fibras como a lignina e hemicelulose durante o tratamento químico realizado (Figura 16).

Figura 16 - Tratamento químico realizado nas fibras. A) casca de arroz; B) coroa de abacaxi.



Fonte: Autora, (2022).

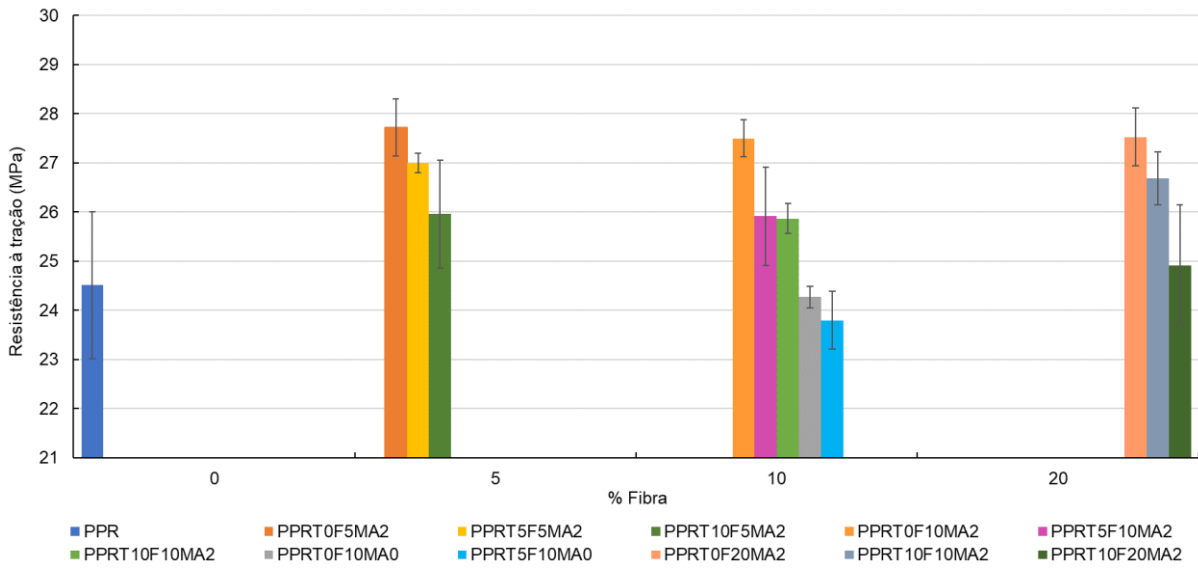
4.2 Ensaios mecânicos

Nos tópicos a seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios de tração e impacto.

4.2.1 Ensaio de tração

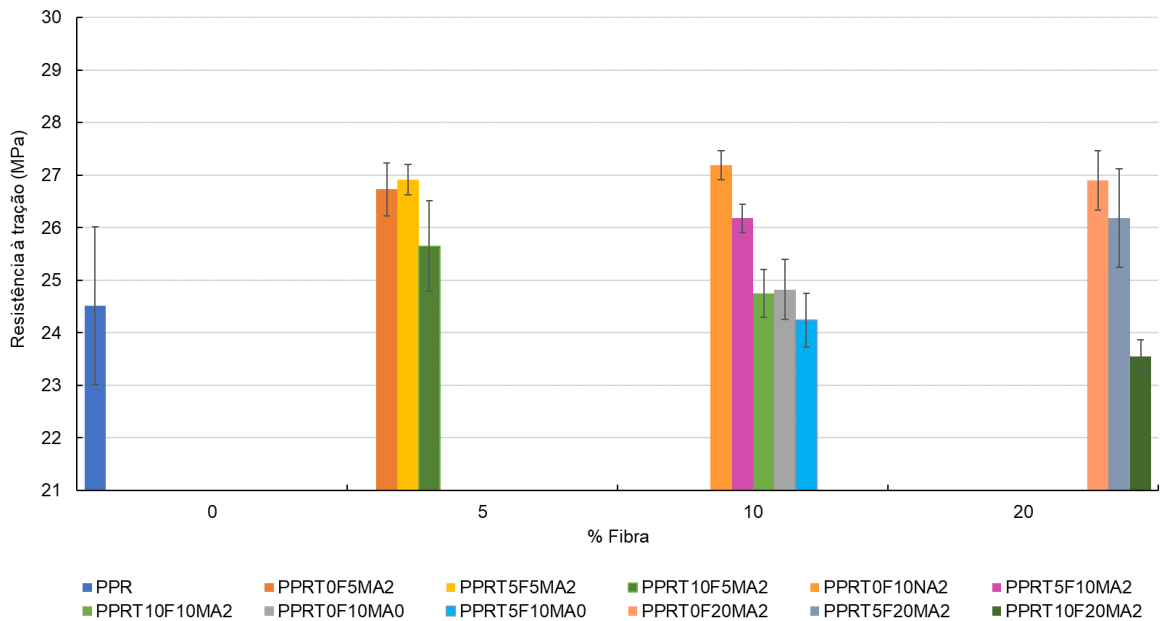
As Figuras 17 e 18 apresentam a resistência a tração encontrada para os compósitos de fibras de casca de arroz e de coroa de abacaxi, respectivamente, além da comparação do resultado da mesma propriedade com o polipropileno reciclado.

Figura 17 - Resistência à tração máxima dos compósitos reforçados com fibra de casca de arroz.



Fonte: Autora, (2022).

Figura 18 - Resistência à tração máxima dos compósitos reforçados com fibra de coroa de abacaxi.



Fonte: Autora, (2022).

Com base nos resultados da Figura 17, nota-se que os maiores valores de resistência à tração foram obtidos quando utilizadas as fibras não tratadas

(PPRT0F5MA2, PPRT5F10MA2, PPRT0F20MA2 em todas as porcentagens propostas enquanto acompanhadas do agente de acoplamento, PP-g-MA. O limite máximo de 27,61 MPa foi alcançado quando incorporado 5% de fibra de casca de arroz (PPRT0F5MA2), o que representa um aumento de 12,64% em comparação ao PP reciclado.

Nesse sentido, quando incorporadas as fibras de coroa de abacaxi (Figura 18) obteve-se comportamento semelhante, porém neste caso, o limite máximo foi alcançado quando utilizado 10% de fibra (PPRT0F10MA2), e apresentou um aumento de 10,93%.

A melhora nas propriedades com o uso de PP-g-MA pode ser evidenciada em ambas as fibras por meio da comparação dos resultados das amostras com e sem o uso do agente de acoplamento (PPRT0F10MA2 e PPRT0F10MA0) e (PPRT5F10MA2 e PPRT5F10MA0). De acordo com essa análise, pôde-se observar um acréscimo de aproximadamente 13,30% (fibra de casca de arroz), e 9,54% (fibra de coroa de abacaxi) na resistência à tração média quando o agente foi incorporado, sendo que quando não adicionado o compósito não apresentou melhora significativa na resistência à tração dos materiais.

O mesmo também foi evidenciado por Da Rosa e seus colaboradores, em 2009. No estudo, o agente de acoplamento foi incorporado com a matriz de polipropileno virgem juntamente com a fibra da casca de arroz e apresentou um aumento de 37% na resistência à tração na comparação com o mesmo material sem o uso do agente acoplante. Neste estudo, apesar do acréscimo obtido, as propriedades do material proposto ainda não foram suficientes pois não apresentaram melhora quando comparados ao PP puro.

Por meio dos resultados, pode se observar que não foi verificada nenhuma melhora nos resultados quando o tratamento alcalino foi aplicado sem o uso do agente de acoplamento. Isso pode ser evidenciado quando comparados os resultados na incorporação de 10% de fibras tratadas à 5% de NaOH com e sem o uso do agente compatibilizante. Pode-se verificar que quando não adicionado o PP-g-MA o material não apresentou reforço e conseqüentemente melhora na resistência a tração quando comparada ao polipropileno reciclado, diferentemente de quando adicionado.

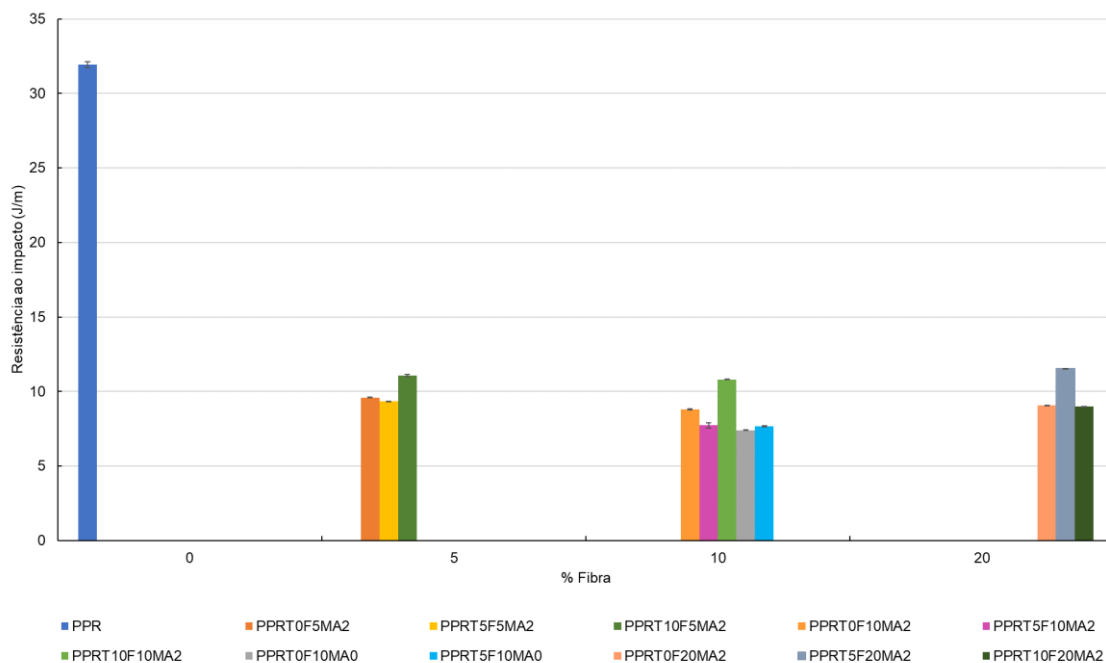
Apesar de não ter apresentado o mesmo efeito quando o tratamento foi aplicado juntamente com o agente de acoplamento, mesmo que ainda tenha apresentado reforço, não se pode afirmar que este foi realmente efetivo uma vez que as fibras sem tratamento ainda apresentaram melhores resultados.

Uma razão para o ocorrido pode estar relacionada à uma menor aderência entre matriz e a fibra juntamente ao agente de acoplamento vinculada à uma possível degradação das fibras tratadas. Tal resultado não foi observado por Arrakhiz *et. al.*, (2012) que após tratar as fibras com NaOH e utilizar o agente de acoplamento para incorporar seu material, teve resultado positivo na resistência à tração do compósito. No entanto, como a neutralização após o tratamento foi realizada com ácido acético (um ácido fraco), embora tenha sido atingido pH neutro (em torno de 7, verificado através de fita de pH), pode ter restado NaOH residual sobre as fibras, levando à sua deterioração durante a secagem e, assim, prejudicando seu potencial de desempenho quando adicionada ao compósito.

4.2.2 Resistência ao impacto

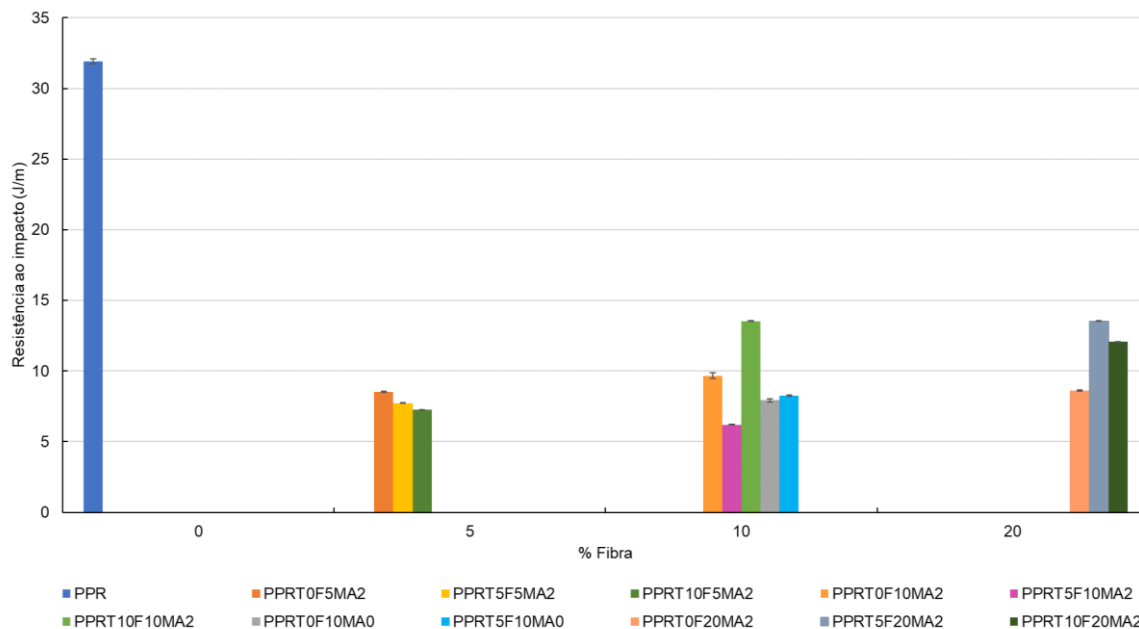
Os valores encontrados para a resistência ao impacto encontrados os ensaios de impacto estão apresentados separadamente por meio das Figuras 19 (casca de arroz) e 20 (coroa de abacaxi).

Figura 19 - Resistência ao impacto dos compósitos reforçados com fibra de casca de arroz.



Fonte: Autora, (2022).

Figura 20 - Resistência ao impacto dos compósitos reforçados com fibra de coroa de abacaxi.



Fonte: Autora, (2022).

Por meio das Figuras 19 e 20, pode-se observar um decréscimo na resistência ao impacto em ambos os materiais quando comparados ao polipropileno reciclado (PPR). Esse comportamento, segundo Gandara *et. al.*, (2022) pode estar relacionado a redução de tenacidade o que leva à uma menor absorção de energia de impacto, uma vez que a matriz já foi reprocessada.

Quando avaliados os compósitos PPRT0F5MA2, PPRT0F10MA2 e PPRT0F20MA2, observa-se uma redução gradual na resistência ao impacto conforme ocorre o aumento da adição do teor de fibras, ou seja, o compósito com teor de fibra de 20% (m/m) PPRT0F20MA2, possui uma menor resistência quando comparado ao com teor de 10% (PPRT0F10MA2) e menor ainda em comparação a amostra de fibra de 5% PPRT0F5MA2. Para Gandara *et. al.*, (2022) esse comportamento é esperado uma vez que compósitos mais rígidos tendem a apresentar uma menor resistência ao impacto.

Além disso, de acordo com o mesmo autor a diminuição da resistência ao impacto, pode estar relacionada à má aderência interfacial entre fibra e matriz e está relacionada aos micro-espacos vazios entre as fases que tendem a provocar microfissuras que provocam a iniciação de trincas (GANDARA, 2022).

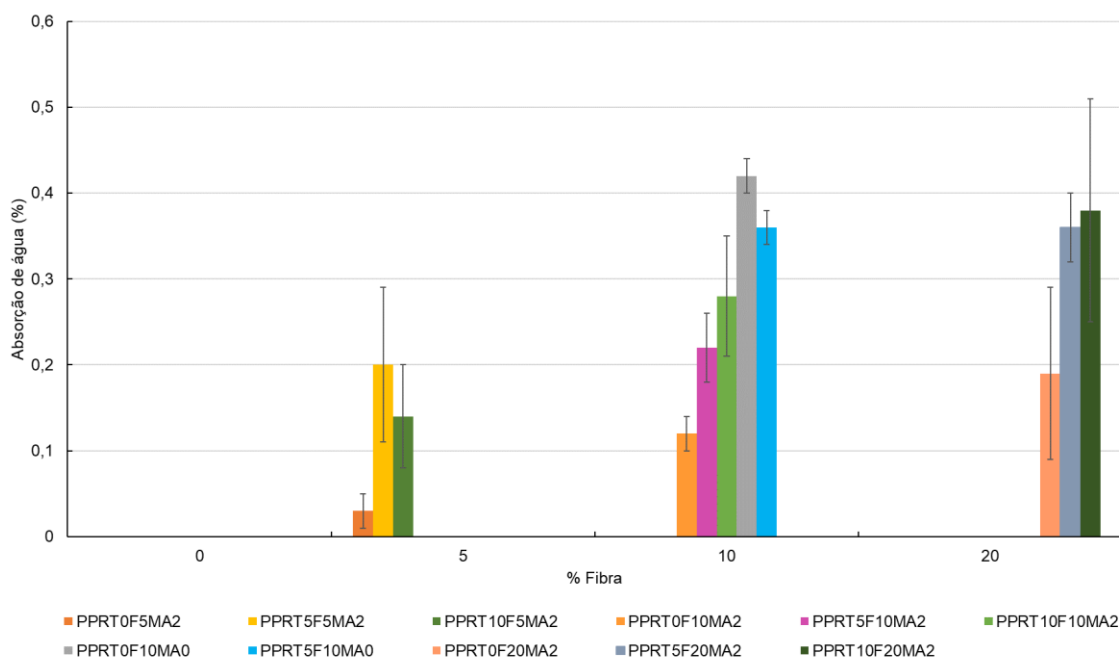
Diferentemente das não tratadas, as fibras tratadas com solução a 5% NaOH (PPRT5F5MA2, PPRT5F10MA2 e PPRT5F20MA2) não tiveram o mesmo comportamento, uma vez que resultaram em uma maior resistência quando adicionado um teor de 20% de fibra (PPRT5F20MA2). Esse comportamento não era o esperado, pois conforme já mencionado, materiais compósitos com maior percentual de carga tendem a ser mais rígidos. Apesar disso, seu melhor desempenho pode estar relacionado à uma menor contaminação de resíduos presentes na matriz, além de uma possível melhor adesão do material devido ao tratamento realizado.

Quando comparados os compósitos PPRT5F10MA2 e PPRT5F10MA0 pode-se observar que o material sem PP-g-MA (PPRT5F10MA0) em ambas as fibras não apresentou melhor resistência ao impacto em comparação de quando adicionado.

4.3.3 Absorção de água

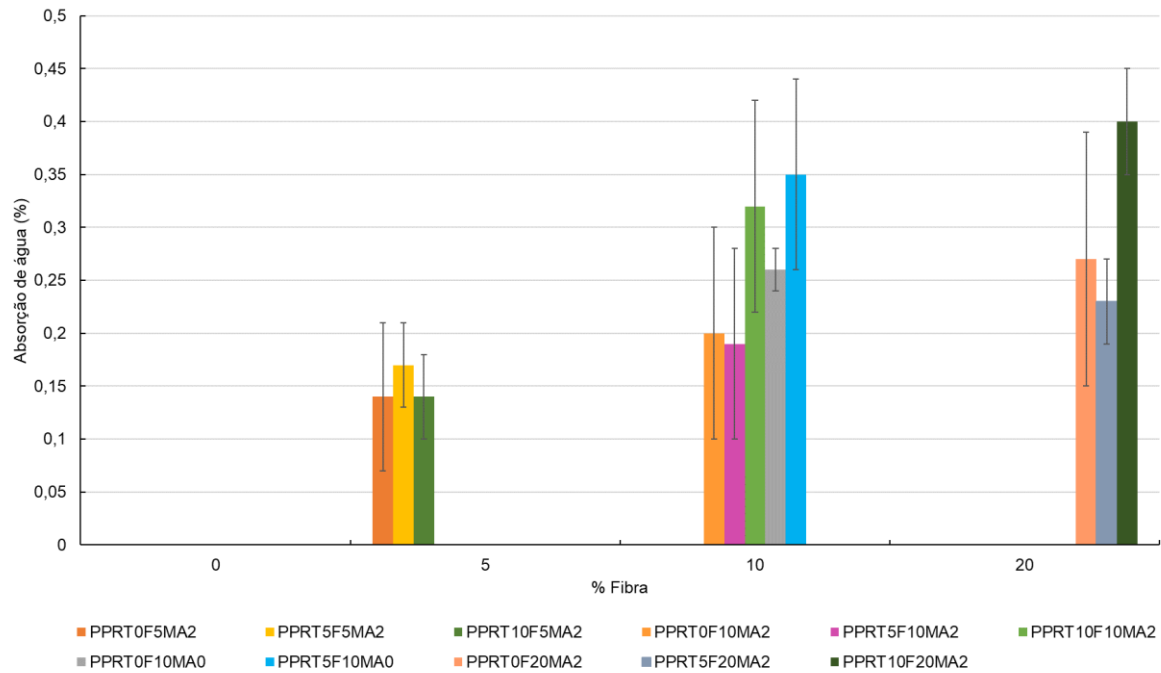
As Figuras 21 e 22 apresentam os gráficos obtidos dos resultados encontrados no ensaio de absorção de água dos compósitos de fibra de casca de arroz e de coroa de abacaxi após 24 horas.

Figura 21 - Absorção de água do compósito de fibra de casca de arroz.



Fonte: Autora, (2022).

Figura 22 - Absorção de água do compósito de fibra de coroa de abacaxi.



Fonte: Autora, (2022).

A partir dos resultados obtidos nas Figuras 21 e 22 pode-se observar que apesar da grande faixa de desvio padrão, conforme há um acréscimo do teor de fibras ocorre também uma tendência no aumento de absorção de água em ambos os compósitos. De acordo com Yang *et. al.*, (2009), uma maior adição de reforço ocasiona em um maior número de espaços vazios no material, o que faz com que a água seja mais facilmente absorvida.

Os resultados foram condizentes aos obtidos na literatura tendo em vista que no estudo de Luna *et. al.*, (2015) os pesquisadores obtiveram um aumento de absorção de água conforme aumentaram o teor de fibras, sendo que em no tempo de 24 h observaram uma variação de 0 a 0,33% aproximadamente.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram estudadas e avaliadas as propriedades dos compósitos de polipropileno reforçados com casca de arroz e de coroa de abacaxi juntamente com o agente de acoplamento (PP-g-MA). As fibras foram preparadas e tratadas quimicamente por meio de uma solução alcalina e os compósitos foram desenvolvidos em diferentes proporções de fibras sendo elas, 5%, 10% e 20%, (em massa).

No ensaio de densidade das fibras mostraram-se condizentes com a literatura uma vez que foram encontrados valores próximos para as fibras sem tratamento. Além disso, foi possível observar diante do ensaio de tração realizado no decorrer deste trabalho, que os materiais compósitos reforçados tanto com fibras de casca de arroz como com fibras de coroa de abacaxi, e incorporados ao agente de acoplamento PP-g-MA, apresentaram propriedades mecânicas superiores ao polímero reciclado puro.

Observou-se que as fibras não tratadas apresentaram melhores resultados quando comparadas às tratadas, sendo verificado melhor reforço quando utilizado o teor de 5% de fibra para a casca de arroz (PPRT0F5MA2) e 10% para a fibra de casca de abacaxi (PPRT0F10MA2), o que representa em percentual um acréscimo de aproximadamente 12% e 11 %, respectivamente, na resistência à tração.

No ensaio de impacto dos compósitos propostos, foram obtidos resultados inferiores aos do polipropileno reciclado, o que pode limitar seu uso em aplicações práticas, todavia isso se mostra condizente com a literatura, uma vez que ocorre a redução de tenacidade do material.

Os resultados de absorção de água dos compósitos apresentaram-se próximos aos obtidos na literatura. Além disso observou-se uma tendência de aumento de absorção nos compósitos com maiores teores de fibras o que pode estar relacionado ao caráter hidrofílico das fibras e a um possível maior número de espaços vazios quando aplicado um maior teor de fibras.

Além disso, pode-se observar que o agente de acoplamento influenciou positivamente nos ensaios uma vez que apresentou propriedades de tração e impacto superiores quando adicionado e comparado na mesma proporção de quando não acrescentado. O comportamento foi evidenciado no ensaio de tração quando utilizado

um teor de 10% de fibra com (PPRT0F10MA2) e sem o uso de PP-g-MA (PPRT0F10MA0) e representou um aumento de 13,30% nos compósitos de fibras de casca de arroz e 9,54% nos produzidos com fibra de coroa de abacaxi

Por outro lado, não se observou melhora nas propriedades mecânicas dos compósitos tratados quimicamente quando comparados também nas mesmas proporções. Além disso, a análise de absorção de água apresentou resultado concordante com a literatura, tendo em vista que houve um acréscimo do teor em compósitos com maiores cargas.

Por meio dos resultados obtidos pode-se concluir que a utilização de fibras de casca de arroz e de coroa de abacaxi, incorporadas ao polipropileno reciclado juntamente com o agente de acoplamento, melhoram as propriedades de resistência à tração, e apesar de não ter sido efetivo na resistência ao impacto, ainda pode ser utilizado em diversas aplicações.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Perfil 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em:

<http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2021/08/Perfil2020_abiplast.pdf>.

Acesso em: 18 out. 2022.

AL-OQLA F. M.; SAPUAN, S. M.; ISHAK, M R; NURAINI, A. A. A decision-making model for selecting the most appropriate natural fiber – Polypropylene-based composites for automotive applications. **Journal of Composite Materials**, v. 0, n. 0, p. 1-14, março 2015. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1177%2F0021998315577233>>. Acesso em 27 set. 2021.

ARJMANDI, R.; HASSAN, A.; MAJEED, K.; ZAKARIA, Z. Rice Husk Filled Polymer Composites. **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, p. 1-32, outubro, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2015/501471>>. Acesso em 27 set 2021.

ARRAKHIZ, F.Z.; EL ACHABY, M.; BENMOUSSA, K.;BOUHFID, R.; ESSASSI, E.M.; QAISS, A. Evaluation of mechanical and thermal properties of cone fibers reinforced compatibilized polypropylene. **Materials & Design**, v. 40, 2012, p. 528-535.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.04.032>>. Acesso em: 22 out. 2022.

ASIM, M; ABDAN, Khalina; JAWAID, M.; NASIR, M.; DASHTIZADEH, Zahra; ISHAK, M. R.; HOQUE, M. Enamul. A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites", **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, n. 0, p. 1-16, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2015/950567>> Acesso em 8 jan 2022.

ASKELAND, Donald. R.; FULAY, Pradeep. P.; BHATTACHARYA, D. K. **Ciência e Engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2014.

American Society for Testing and Materials. ASTM D638-10: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. 2010.

American Society for Testing and Materials. ASTM D256-10: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, 2018.

AZEVEDO, J. B., VIANA, J. D. V., CARVALHO, L. H., CANEDO, E. L.
Caracterização de compósitos obtidos a partir de polímero biodegradável e casca de arroz utilizando duas técnicas de processamento. **Revista Matéria**, v. 21, n. 2, p. 391- 406, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620160002.0037>>. Acesso em 20 set 2021.

BARBOSA, Thiago Fernandes. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos utilizando polipropileno reciclado e farinha de madeira**. Dissertação – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017. Disponível em: <<https://eg.uc.pt/bitstream/10316/94212/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Thiago%20Fernandes%20Barbosa%20Rev%207.pdf>>. Acesso em 17 dez 2021.

BARROS, Silma de Sá. **Síntese e caracterização de nanocelulose a partir da folha de abacaxi (Ananás comosus (L) Merrill)**. Dissertação – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020. Disponível em: <<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7761>>. Acesso em 22 nov 2021.

BATALIOTTI, Murilo Dobri. **Avaliação da degradação do polipropileno sob múltiplas extrusões com e sem antioxidante**. Monografia – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12169/3/LD_COEMA_2016_1_07.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2022.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres, **Progress in Polymer Science**, v. 24, 1999, p. 221-274. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5)>. Acesso em: 22 out. 2022.

CALEGARI, Eliana Paula. **Compósitos poliméricos com casca de arroz: desenvolvimento, caracterização e possibilidades de aplicação no design de produto**. Tese – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Porto Alegre, 2018. Disponível em:

<<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/187988/001084322.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19 out. 2021.

CALEGARI, Eliana Paula; DE OLIVEIRA, Branca Freitas. Compósitos com casca de arroz: experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira.

Colóquio Internacional de Design 2020, v. 8, n. 5, p.396-411, 2020. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/230022/001131497.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 out. 2021.

CALLISTER JR., William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CARDARELLI, François. **Polymers and Elastomers**. Londres: Springer, 2008.

CARVALHO NETO, A. G. V.; GANZERLLI, T. A.; FÁVARO, S. L.; SUGUINO B. S.; CARVALHO, G.M.; RADOVANOVIC, E. Preparação e caracterização de compósitos de polietileno pós-consumo reforçados com fibras do bagaço de cana. **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros**, 10ª Edição, Foz do Iguaçu, 2009.

CAVALCANTI, Daniel Kioshi Kawasaki. Caracterização mecânica de compósitos híbridos com reforços de fibras naturais. Dissertação - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://dippg.cefet-rj.br/ppemm/attachments/article/81/91_Daniel%20Kioshi%20Kawasaki%20Cavalcanti.pdf>. Acesso em 1 nov 2021.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos**. v.5, n. 9, 2018.

Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/20861_fb79e3ca2b3184543c580cd4a4aa402b>. Acesso em 3 set. 2021.

CONAB. **Perspectivas de diversificação na produção de arroz – trigo – feijão**.

Copêndio de Estudos CONAB. V.1 , 2016. Disponível em:

<<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da>

conab/item/download/2511_b8ccb79b0cd418a05c86c9a1369bd6e0>. Acesso em 3 set. 2021.

COUTINHO, Luana Venâncio. **Obtenção e caracterização de nanocristais de celulose a partir da coroa de abacaxi**. Monografia - Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/203612/000916093.pdf?sequence=1>>. Acesso em 17 set. 2021.

DA ROSA, Danielle Santos. **Compósito condutor de sílica carbono modificada com nanopartículas de prata e sua aplicação como sensor eletroquímico para determinação de antibióticos na indústria farmacêutica**. Monografia – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/182386>>. Acesso em: 17 out. 2022.

DA SILVA, Alan Miguel Brum. **Modificação superficial de fibras de carauá por silanização**. Dissertação - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/163900/001025359.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 out. 2022.

DA SILVA, Felipe Pereira; DO NASCIMENTO, Bruna Cristina Martins; DA SILVA, Diogo Pimentel de Sá. Polipropileno verde a partir do glicerol: Estudo de mercado e instalação de uma planta no Brasil. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v. 11, p. 95-106, dezembro, 2019.

DA SILVA, Higor Donizete Ferreira. **Plástico residual: poluente expandido pelo Covid-19 e a atuação da biotecnologia em mitigar o dano ambiental**. Monografia – Instituto de Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Pato de Minas, 2021. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32091/1/Pl%C3%A1sticoResidualPoluente.pdf>>. Acesso em 2 dez 2021.

DELLA, Viviana Possamai; KÜHN, Ingeborg; HOTZA, Dachamir. Caracterização de cinza de arroz para uso como matéria prima na fabricação de refratários de sílica. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422001000600013>> Acesso em: 20 de dez. de 2022.

DE OLIVEIRA, Cássio Denis. **Desenvolvimento de um compósito de resíduo de poliuretano e casa de arroz.** Dissertação – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19122/DIS_PPGEPP_2019_OLIVEIRA_CASSIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 5 jan 2022.

DE PAULA, Paula Gomes. **Formulação e Caracterização de Compósitos com Fibras Vegetais e Matriz Termoplástica.** Dissertação - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2011. Disponível em <<https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/DISSERTA%C3%87%C3%83O-IMPRIMIR.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2022.

DOS SANTOS, Evelise Fonseca. **Efeitos de agentes de acoplamento em compósitos de polipropileno com fibras de coco.** Dissertação – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13347/000637310.pdf?sequence=1>>. Acesso em 4 dez 2021.

EMBRAPA. <https://www.embrapa.br/estatistica-de-producao>. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/estatistica-de-producao>>. Acesso em: 22 set. 2021.

EMPRAPA. **Abacaxi em sistema orgânico registra produtividade superior ao convencional.** 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/61111785/abacaxi-em-sistema-organico-registra-produtividade-superior-ao-convencional>>. Acesso em 18 out. 2021.

FERNANDES, Iara J.; CAVALHEIRO, Daiane; KIELING, Amanda G.; MORAES, Carlos A. M.; ROCHA, Tatiana L. A. C.; BREHM, Feliciane A.; MODOLO, Regina C. E. Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. **Science Direct**, v. 165, p.351-359, fevereiro, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.086>>. Acesso em 14 nov 2021.

FERREIRA, Felipe Passos; SANTANA, Ruth M. C. Ensino a distância de identificação de plásticos pós-consumo. **Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros**, 9ª Edição, Campina Grande, 2007.

FINKLER M.; SCAPINI P.; FREIRE, E.; ZATTERA, A. J., ZENI, M.; Compósitos de HDPE com Resíduos de Fibras Têxteis. Parte I: Caracterização Mecânica. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 15, nº 3, p. 171-175, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282005000300006>>. Acesso em: 12 dez 2021.

GABRIEL, Larissa.; Obtenção e caracterização de compósitos de fibras de abacaxi utilizando agentes de acoplamento renováveis , Caxias do Sul, 2020. Disponível em:<<https://repositorio.uces.br/xmlui/handle/11338/7355>>. Acesso em: 20 de dez. de 2022.

GANDARA M.; ZANIN, N. C.; MULINARA, D; SARON, C.; CAPRI, M. R. **Green composite using recycled plastic bags and pineapple fibers waste**. *Jornal Composite Materials*, Vol. 56, 2022.

GAUTO, M. A.; ROSA, G. R. **Processos e Operações Unitárias da Indústria Química**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2011.

GRYCZAK, Marcelo. **Compósito sustentável casca de arroz/resina de óleo de mamona de baixa densidade**. Dissertação –Unidade Acadêmica em Humanidades, Ciência e Educação, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/3990/1/Marcelo%20Gryczak.pdf>>. Acesso em 6 dez 2021.

KASIM, Ayu Natasya et al. Effect of pineapple leaf fiber loading on the mechanical properties of pineapple leaf fiber - polypropylene composite. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, v. 77, n. 21, p.117–123, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.11113/jt.v77.6617>>. Acesso em 15 set. 2021.

JUNIOR, I. B.; KEINERT, A. C.; ELLENBERGER, A.; BELINI U. L. **Fibras Vegetais e Compósitos na Indústria Automotiva**, v. 6, n. 4, p.129-138, Agosto, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.29183/2447-3073>>. Acesso em 7 out. 2021.

JUNIOR, Walter José dos Reis. **Utilização de farinha da casca do abacaxi (Ananas comosus (L.) Merr.) para desenvolvimento de hambúrguer bovino com teor reduzido de gordura**. Dissertação – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017. Disponível em: <<https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/jspui/2568/2/2017%20-%20Walter%20Jos%c3%a9%20dos%20Reis%20Junior.pdf>>. Acesso em 27 nov 2021.

PIVA, Ana Magda; WIEBECK, Hélio. **Reciclagem do plástico**. São Paulo, SP: Artliber, 2004.

MAIER, C. CALAFUT, T. **Polypropylene – The Definitive User’s Guide and Databook**. Norwich, NY: Plastics Design Library, 1998.

MARCON, J. S; MULINARI, D. R.; CIOFFI, M. O. H.; VOORWALD, H. J. C. Estudo da modificação da fibra proveniente da coroa de abacaxi para a formação de compósitos poliméricos. **Anais do 10^a Congresso Brasileiro de Polímeros**, 10^a Edição, Foz do Iguaçu, 2009.

DE MELO, Kátia Moreira; Resíduo de Sisal: Uma alternativa Sustentável como reforço particulado em compósito polimérico com adição de agente silano. Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/49846/1/Residuosisalalternativa_Melo_2022.pdf>. Acesso em 20 de dez. de 2022.

MOHANTY, A. K., MISRA, M., DRZAL, L. T. **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites**. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2005.

MONDADORI, Nilcéa Mares da Luz. **Processamento de compósitos de poli (tereftalato de etileno) reciclado reforçado com fibras de vidro**. Dissertação - Programa de Mestrado em Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2007. Disponível em:

<<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/237/Dissertacao%20Nilcea%20Mondadori.pdf?sequence=1>>. Acesso em 01 fev 2022.

MOURA, Adriana Silva. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas e térmicas entre compósitos de PHB (polihidroxibutirato) reforçados com casca de arroz e fibra de coco**. Dissertação – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em:

<https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/16139/1/2014_AdrianaSilvaMoura.pdf>. Acesso em 27 nov 2021.

NEWEL, James. **Fundamentos da moderna engenharia e ciência dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

PARENTE, Ricardo Alves. **Elementos estruturais de plástico reciclado**.

Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-19072006-095941/publico/2006ME_RicardoAParente.pdf>. Acesso em 2 fev 2022.

PIRES, Eduardo Nascimento. **Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/93192/266454.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 20 out 2022.

ROSA, Simone Maria Leal; SANTOS, Evelise Fonseca; FERREIRA, Carlos Arthur; NACHTIGALL, Sônia Marlí Bohrz. Studies on the properties of rice-husk-filled-PP composites: effect of maleated PP. **Materials Research**, v. 12, n. 3, p. 333-338, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-14392009000300014>>. Acesso em: 17 out. 2022

SANTOS, F. A.; DE QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Revista Química Nova**, v. XY, n. 00, p. 1-7, 2012.

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos Materiais**. São Paulo: Pearson Universidades, 2008.

SPADETTI, Carolini; FILHO, Eloi Alves da Silva; DE SENA, Geovane Lopes; DE MELO, Carlos Vital. Propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos de Polipropileno pós-consumo reforçados com fibras de celulose. **Revista Polímeros**, v.27 (especial), p. 84-90, janeiro, 2017.

VIEIRA, Edna da Silva. **Fabricação por extrusão de dispositivos tubulares compostos por polietileno de alta densidade e ibuprofeno aplicáveis como cateter urinário**. Dissertação – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/167775/341816.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 1 fev. 2022.

YANG, Han-Seung; KIM, Hyun-Joong; SON, Jungil; PARK, Hee-Jun; LEE, Bum-Jae; HWANG, Taek-Sung. Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. **Composite Structures**, v 63, p. 305-312, 2004. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(03\)00179-X](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00179-X)>. Acesso em 13 out. 2022.

YVES, Olembe; CHRISTIAN, Fokam Bopda; AKUM, Oru Benson; THEODORE, Tchotang; BIENVENU, Kenmeugne. Physical and Mechanical Properties of Pineapple Fibers (Leaves, Stems and Roots) from Awae Cameroon for the Improvement of Composite Materials. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/348537192_Physical_and_Mechanical_Properties_of_Pineapple_Fibers_Leaves_Stems_and_Roots_from_Awae_Cameroon_for_the_Improvement_of_Composite_Materials>. Acesso em: 20 dez. de 2022.

WEARN, Yves. Nicolau; MONTAGNA, Larissa Stieven; PASSADOR Fábio Roberto; Compósitos de fibras de coco/LDPE: Efeito do tratamento superficial das fibras de

coco em compósitos verdes. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0873>>. Acesso em: 20 de dez. de 2022.

WWF BRASIL. Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico. 2019. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 25 nov. 2021.