

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

CAROLAINE RAPOSO

CAROLINE SALAMARGO

JANE GUIMARÃES

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA FIBRA DE COCO NAS PROPRIEDADES PLÁSTICAS
DO ABS**

VOLTA REDONDA

2019

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA FIBRA DE COCO NAS PROPRIEDADES PLÁSTICA
DO ABS

Projeto de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da UniFoa como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

VOLTA REDONDA

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunos:

Caroline Raposo

Caroline Salamargo

Jane Guimarães

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA FIBRA DE COCO NAS PROPRIEDADES PLÁSTICAS DO ABS

Orientador:

Professor Alexandre Palmeira.

Banca Examinadora:

Prof. Alexandre Habibbe

Prof. Alexandre Palmeira

Prof. Rui Aurélio

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse projeto primeiramente a Deus,
pois Ele é a causa primordial de todas as coisas,
aos nossos pais pelo amor e apoio em todos os
momentos de nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos em primeiro lugar a Deus que nos deu o dom da vida e tornou tudo possível. Pela força nos momentos mais difíceis e pela esperança e fé para que pudéssemos chegar até o final dessa caminhada.

Agradecemos também aos nossos pais que são os maiores incentivadores dos nossos sonhos. Eles que nos proporcionaram cursar o ensino superior, que sempre nos incentivaram e acreditaram em nosso potencial de conquistar todos os objetivos e por todo carinho, dedicação e cuidado conosco durante toda a trajetória acadêmica.

Agradecemos a todos os nossos professores que contribuíram a cada semestre, desde o início do curso para nos tornar grandes profissionais competentes e diferenciados.

Ao professor Alexandre Palmeira, que nos direcionou ao presente tema, nos acompanhou e compartilhou seus conhecimentos durante a realização deste trabalho.

Ao professor Bruno Gambarato por nos ajudar com gráficos de excel.

A professora Cirlene Bandeira por ter nos ajudado com o ensaio de TGA.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação.

A todos o nosso muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo estudar as propriedades mecânicas e microscópicas do polímero ABS, a partir da sua extrusão junto a fibra de coco e comparar com os resultados individuais para verificar suas melhorias. A fibra de coco é extraída do mesocarpo, parte espessa fibrosa do fruto, seu pó é obtido por meio da dilaceração, moagem e secagem da fibra. O plástico ABS é uma resina termoplástica derivada do petróleo. É formado pela copolimerização de três monômeros: acrilonitrila, butadieno e o estireno. O ABS exibe uma ótima tenacidade e excelente estabilidade dimensional, tem elevada resistência ao impacto, mesmo em temperaturas subambientais, custo relativamente baixo, além de ser facilmente processado devido à sua baixa temperatura de processamento. A fibra de coco é constituída de materiais lignocelulósicos, sendo suas principais características a baixa densidade, a boa flexibilidade no processamento e a facilidade de modificação perante agentes químicos, além de fonte de recursos renováveis, biodegradáveis e não abrasivos. Utilizando uma injetora, foi fabricado os corpos de prova, a uma temperatura média de 290°C. Adotou-se como teor de proporção de adição, para a fabricação dos corpos de prova, com as seguintes proporções: 5%, 10%, 20% e 30% de fibra de coco. Foram fabricados 3 corpos de prova para cada proporção de adições da fibra de coco no ABS para realizar os ensaios e calcular um valor médio de cada ensaio, resultando em 12 corpos de provas no total. Por fim, foi realizado o ensaio de tração e o TGA onde analisou a temperatura de degradação do material. De acordo com as análises realizadas nos corpos de prova, houve um aumento da resistência mecânica em função do aumento da quantidade de fibra de coco, e conseqüentemente uma diminuição da temperatura de início de degradação do compósito em relação ao ABS.

Palavras-chave: Polímero. Injetora. Compósito.

ABSTRACT

The present work aims to study the mechanical and microscopic properties of ABS polymer from its extrusion with coconut fiber and compare with the individual results to verify its improvements. Coconut fiber is extracted from the mesocarp, the fibrous thick part of the fruit, its powder is obtained by tearing, grinding and drying the fiber. ABS plastic is a thermoplastic resin derived from petroleum. It is formed by the copolymerization of three monomers: acrylonitrile, butadiene and styrene. ABS exhibits excellent toughness and excellent dimensional stability, has high impact resistance, even at sub-ambient temperatures, relatively low cost, and is easily processed due to its low processing temperature. Coconut fiber is made of lignocellulosic materials, its main characteristics being low density, good processing flexibility and ease of modification against chemical agents, as well as a source of renewable, biodegradable and non-abrasive resources. Using the injector, the specimens were manufactured at an average temperature of 290 ° C. It was adopted as content of proportion of addition, for the manufacture of the specimens, the following proportions: 5%, 10%, 20% and 30% of coconut fiber. Three specimens were fabricated for each proportion of coconut fiber additions in ABS to perform the tests and calculate an average value of each test, resulting in a total of 12 specimens. Finally, the tensile test and the TGA were performed where the material degradation temperature was analyzed. According to the analyzes performed on the specimens, there was an increase in mechanical resistance due to the increase in the amount of coconut fiber, and consequently a decrease in the temperature of onset of composite degradation in relation to ABS.

Keywords: Polymer. Injector. Composite.

Lista de Figuras

Figura 1– Estrutura de um filamento individual (fibra vegetal).....	5
Figura 2- Principais países produtores de Coco (Cocos nucifera).....	9
Figura 3 - Partes do coco	10
Figura 4 – Mesocarpo fibroso.....	11
Figura 5 - Reação de obtenção do polímero ABS	18
Figura 6- Principais tipos de Compósitos.....	22
Figura 7- Esquema ilustrativo de compósitos reforçados: (a) por fibras descontínuas unidirecionais, (b) por fibras descontínuas aleatórias, (c) por fibras contínuas unidirecionais e (d) por fibras contínuas e bidirecionais	23
Figura 8 – Transmissão carga matriz – fibra	23
Figura 9: Desenho Esquemático de um Modelo de Injetora	27
Figura 10: Exemplo de Estrias Marrons	29
Figura 11: Exemplo de defeito Tipo Ponto Preto	29
Figura 12: Exemplo de Defeito Tipo Carbonização	30
Figura 13: Exemplo de Defeito Tipo Estria Prateada.....	30
Figura 14: Exemplo de Defeito Tipo Delaminação.....	31
Figura 15: Exemplo de Defeito Tipo Peça Falhada.....	31
Figura 16: Exemplo de Defeito Tipo Rechupagem e Vazio.....	32
Figura 17: Exemplo de Defeito Tipo Rebarba	32
Figura 18 – Fluxograma de Etapas do Processo.....	37
Figura 19 – Fibra de coco	38
Figura 20 - Misturador.....	39
Figura 21 - Compósito Resultante da Mistura.....	40
Figura 22 - Triturador	41
Figura 23 - Material Resultante do Processo de Trituração	41
Figura 24 - Injetora.....	42
Figura 25 - Corpo de Prova no Molde da Injetora.....	43
Figura 26 - Corpo de Prova de Ensaio de Tração.....	44
Figura 27 - Máquina de Ensaio de Tração.....	45
Figura 28 - Ficha Técnica do ABS AE 8000.....	48
Figura 29 - Gráfico 1 - 70% de ABS	51
Figura 30 - Gráfico 2 - 80% de ABS	51

Figura 31 - Gráfico 3 - 90% de ABS	52
Figura 32 - Gráfico 4 - 95% de ABS	52
Figura 33 - Gráfico 5 - Módulo de Young x Teor da Fibra.....	53
Figura 34 - Gráfico 6 - Tensão x Teor da Fibra.....	53
Figura 35 - Gráfico de Comparação entre os Diferentes Teores de Fibra de Coco na Matriz polimérica do ABS	54
Figura 36 - Curva de TGA (Termogravimetria) da Fibra de Coco.	55
Figura 37 - Curvas de TGA (Termogravimetria) dos Compósitos com 70%, 80% e 95% de Matriz.	56

Lista de Tabela

Tabela 1 – Composição química de algumas fibras naturais.	7
Tabela 2 - Propriedades mecânicas de fibras vegetais e fibras convencionais usadas como reforços.	12
Tabela 3– Características mecânicas da fibra de coco	13
Tabela 4- Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos	16
Tabela 5- Principais vantagens das fibras naturais quando comparada às fibras de vidro	25
Tabela 6 - Fatores que Podem Afetar o TGA	36
Tabela 7 - Quantidade de ABS com Fibra de Coco em %	45
Tabela 8 - Resultados de Elasticidade e Modulo de Elasticidade da Mistura dos Materiais ...	46
Tabela 9 – Resultados de Tensão e Deformação da Mistura dos Materiais	47
Tabela 10 - Resultados de Tensão e Deformação da Mistura dos Materiais de Resina Epóxi com Fibra de Coco	47

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO	3
2.0	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Fibras Naturais.....	4
2.1.1	Fibras de Coco	8
2.2	Compósitos	13
2.2.1	Compósitos Poliméricos	16
2.2.2	Acrilonitrilo-Estireno-Butadieno (ABS)	17
2.2.3	Compósitos Reforçados com Fibras Naturais	20
2.3	Injetora	26
2.4	Ensaio de Materiais	32
2.4.1	Ensaio de Tração	33
2.4.2	Ensaio Reológico	35
3.0	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	Materiais Utilizados	38
3.1.1	ABS	38
3.1.2	Fibras de Coco	38
3.1.3	Injetora.....	42
3.1.4	Ensaio de Tração	43
3.1.5	TGA	48
4.0	ANÁLISE E RESULTADOS.....	50
4.1	Análise do Ensaio de Tração	50
4.2	Análise de TGA	54
5.0	CONCLUSÃO.....	57
6.0	TRABALHOS FUTUROS	58
7.0	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	59

1.0 INTRODUÇÃO

O ramo das indústrias que produzem plásticos busca pelo mundo oportunidades para emergir nos mercados de alto crescimento. Esse setor é reconhecido por uma elevada quantidade de companhias multinacionais que participam das etapas da cadeia produtiva (UNICAMP,2002). Entretanto, com as crises do petróleo datadas de 1973 e 1979, levaram à tona a conscientização da carência e da fragilidade do uso restrito de materiais oriundos das fontes não-renováveis. Dessa forma, pesquisadores e indústrias buscaram desenvolver outros materiais aptos a conciliar o alto desempenho dos polímeros usados na engenharia com a questão da sustentabilidade e voltado para a preservação do meio ambiente.

Na atualidade há um expressivo avanço tecnológico relacionado a produção de materiais compósitos adicionados com fibras naturais. O grande interesse de pesquisadores e das indústrias em criar e utilizar materiais fabricados a partir de matérias primas renováveis ocorreu essencialmente pela grande necessidade do uso de produtos naturais e pela proteção da natureza (KHALID et al., 2008; BLEDZKI; MAMUN;VOLK, 2010; MANO et al.,2010).

As fibras vegetais vem sendo utilizadas para estudo com finalidade de reforçar os compósitos poliméricos, porque associam propriedades que se baseiam em aspectos que estão de acordo com uma nova ordem mundial, de expressivo apelo a favor da ecologia, e vantagens como mais econômico, menos densidade, fonte renovável, biodegradável, atóxicas e não abrasivas, propriedades térmicas positivas e elevado módulo específico, o que as transformam em fortes candidatas em potencial para este destino (BLEDZKI e GASSAN,1999). Por outro lado, restringem o uso a polímeros cuja temperatura de processamento é menor do que a temperatura de degradação das fibras naturais (Temperatura média de 220°C) (SALEEM et al., 2008; FACCA; KORTSCHOT; YAN, 2007; GEORGOPOULOS et al., 2005; MA; YU; KENNEDY, 2005; HABIBI et al., 2008; ANTICH et al., 2006).

A aplicação de fibras vegetais nos produtos comercializados influencia no aumento de lucros e no decréscimo nos impactos que afetam o meio ambiente provocados pela produção e pelo descarte de produtos, visto que são materiais abundantes, fonte renovável e colaboram para uma melhor aplicação do potencial agrícola do país. Essas fibras servem de reforços para as borrachas, termorrígidos e termoplásticos.

De acordo com GE SPECK (2009), as resinas de ABS são copolímeros derivados por um componente elastomérico (butadieno) e dois componentes termoplásticos amorfos (acrilonitrila e estireno). O componente elastomérico, o butadieno, responsabiliza-se pela flexibilidade e resistência ao impacto. O estireno proporciona fluidez, brilho e dureza, e a acrilonitrila responsabiliza-se pela resistência térmica, química e rigidez. Através do balanceamento destes três componentes, adquire-se excelentes relações de custo/desempenho, capacitando-os a atender inúmeras variedades de mercados, como as indústrias eletroeletrônica, eletrodoméstica, automobilísticas, de brinquedos etc. Dessa forma, o ABS apresenta maior vantagem, uma vez que é um termoplástico (100% reciclável), tendo a possibilidade de voltar para o processo sendo matéria prima direta.

No presente trabalho a matriz polimérica utilizada foi o acrilonitrilo-estireno-butadieno (ABS), com excelente resistência ao impacto a baixas temperaturas e a rigidez, com grande aplicação em componentes industriais, como capacetes de segurança, carcaças para aparelhos de cozinha, coberturas para tratores, assentos de automóveis e toda a linha branca de eletrodomésticos. Entretanto, esse polímero é ainda pouco estudado como matriz de compósitos reforçados com fibras naturais de coco.

Nesse sentido, este trabalho pretende desenvolver e caracterizar os compósitos reforçados com fibras tiradas da casca do coco em matriz de acrilonitrilo-estireno-butadieno (ABS), tendo como objetivo uma possível substituição dos materiais utilizados atualmente, normalmente fabricadas em poliéster/fibra de vidro. Para a obtenção do material foi utilizado o processo de mistura, seguido do processo de trituração, finalizando com moldagem por injeção em uma injetora, conforme as etapas de desenvolvimento e caracterização a seguir:

- Caracterização térmica e mecânica das fibras de coco;
- Produção dos compósitos ABS/fibra de coco por injeção com diferentes proporções de fibras adicionadas à matriz polimérica;
- Caracterização mecânica e microscópica dos compósitos obtidos.

1.1 OBJETIVO

Estudar o efeito da adição de diferentes teores de fibra de coco, moída com granulometria 630, 425, 300, 250 e 200 μm , ao ABS de forma a avaliar seus efeitos sobre as propriedades mecânicas, através do estudo de tração, e nas propriedades reológicas com o TGA, do compósito do ABS com fibra de coco.

Analisar seus valores e comparar com os valores da ficha técnica do ABS e com outros materiais, afim de ver a melhoria da adição de fibra natural na matriz polimérica.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fibras Naturais

Há tempos as fibras naturais vêm sendo analisadas referente aos seus possíveis usos, às suas propriedades mecânicas e à sua composição (BLEDZKI; GASSAN, 1999; SPARNIAŠ, 2006). Elas foram substituídas por novas tecnologias, apesar de terem sido utilizadas por muito tempo. No presente momento, houve um aumento no interesse do uso dessas fibras, por causa da possibilidade de aproveitamento, do fato de serem fontes renováveis, recicláveis, biodegradáveis e por trazerem economia de energia na produção, tendo, portanto, um significativo retorno para as pesquisas de desenvolvimento dos produtos que utilizam de forma sustentável essas fibras, e também de pesquisas para entender o comportamento destes materiais.

As fibras naturais, conhecidas como fibras lignocelulósicas ou vegetais, morfologicamente são células esclerenquimatosas de forma tipicamente prosenquimatosas, ou melhor, com comprimento resultante a muitas vezes sua largura (MEDINA, 1959). Contrastadas às fibras artificiais, apontam vantagens ecológicas (são biodegradáveis, renováveis e carbono “free”, isto é, enquanto são compostadas ou incineradas liberam quantidade igual de dióxido de carbono consumida no período de seu desenvolvimento), vantagens sociais (criam empregos rurais), mecânicas (mais resistentes e leves) e econômicas (mais baratas, uma vez que sua produção utiliza pouca energia) (JACOB e THOMAS, 2002).

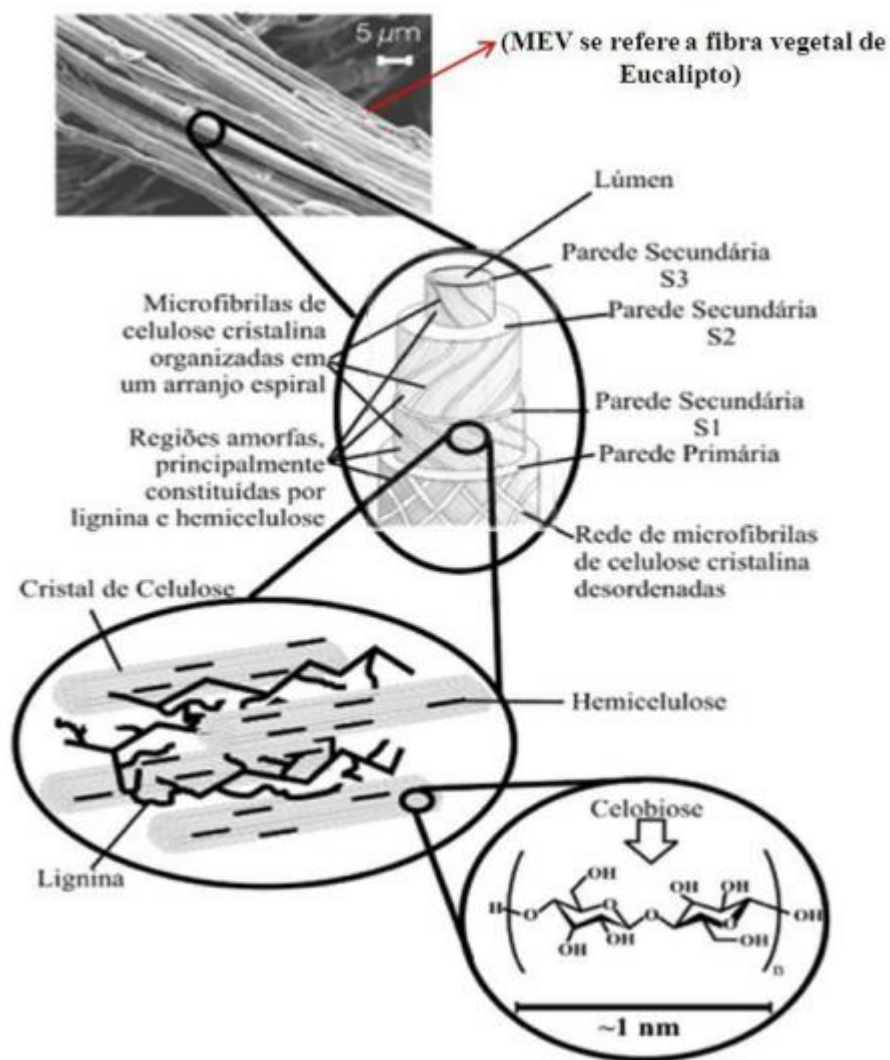
As tendências internacionais de acordo com o estudo de fibras lignocelulósicas revelam que as fibras naturais cultivadas no Brasil:

- Tem enorme potencial de uso na indústria automotiva (como por exemplo, teto, laterais, painel, e na elevação do conforto e atuação como elemento de acabamento) e nos setores de construção civil;
- Competem com as fibras sintéticas baseadas no petróleo;

- Tem a capacidade de ser fabricadas com qualidade para distintas aplicações, utilizando-se de técnicas que melhoram o cultivo, como por exemplo, métodos de tratamento para obter propriedades uniformes.

As fibras naturais são criadas basicamente de hemicelulose, lignina e celulose, e também de quantidades pequenas de corantes naturais, pectina, substâncias nitrogenadas e sais inorgânicos que são incluídos na fração de solúveis.

Figura 1– Estrutura de um filamento individual (fibra vegetal)



Fonte: adaptado de SILVA et al. (2009).

A celulose refere-se a um polímero linear cristalino constituído por unidades β-D glicopiranosas unidas por ligações glicosídicas β-(1→4). Os grupos laterais apresentam reatividades distintas, o grupo C1-OH é originário da formação do anel por meio da ligação

hemiacetal intramolecular, tem propriedades redutoras, em contrapartida que o C4-OH é um grupo alcoólico não redutor. Os anéis de glicose escolhem conformação mais estável na forma de cadeia agrupando hidroxila na posição equatorial, a constituição das ligações hidrogênio com os átomos adjacentes, hidrogênio e oxigênio, obrigam o arranjo linear da macromolécula (REGIANI, 2000).

A hemicelulose são moléculas de unidades, complexas e amorfas: β -D-xilose, β -D-manose, β -D-glicose, α -L-arabinose, α -D-galactose, ácido β -D-glicurônico ou ácido α -D-4, O-metilglicurônico. Essas unidades são compostas por cadeias de carbono, onde um grupo hidroxila está ligado a cada átomo de carbono, com exceção daqueles que são capazes de manter-se na forma de carbonila ou em ligação hemiacetal. Tanto os grupos carbonila quanto hidroxila, são denominados hidrofílicos, pois absorvem água favorecendo a solubilidade de hemicelulose. A lignina é uma macromolécula composta por um sistema aromático, amorfo, bem reticulado de alto peso molecular, constituída de unidades fenilpropano. Pectina constitui-se em cadeia linear de unidades de α -D-ácidos galacturônicos, com graus com variações de éster metílico (REGIANI, 2000).

O cultivo de plantas fibrosas, assim como o uso de suas fibras, data de 6000 a.C., contudo, a progressiva substituição por fibras sintéticas como poliéster, acrílico, polipropileno e náilon gera um impacto negativo na vida de milhões de pessoas que dependem da produção e processamento das fibras naturais. Porém, há tentativas vindas de vários pesquisadores para o incentivo do cultivo de plantas fibrosas devido à sua vasta aplicação, principalmente como matéria-prima artesanal e industrial, extração de aditivos alimentares e de fármacos, paisagismo e floricultura de corte. Do ponto de vista tecnológico, seu emprego na produção de compósitos poliméricos contribui para evitar problemas de poluição ambiental, em razão da mistura de fibras naturais com plásticos reciclados depois do seu consumo (lixo) apresenta uma alternativa com menor grau agressivo para o meio ambiente, tornando aplicável em vários setores industriais (CARASCHI e LEÃO, 2000).

Uma das principais características para produzir compósitos termoplásticos adicionados com fibras naturais é que a qualidade das fibras usadas em relação à granulometria e pureza. As fibras devem ser moídas de forma a se obter tamanho e distribuição definidos, normalmente na faixa de 0,1 a 10 mm (JAYARAMAN, 2003; MIGNEAULT et al., 2009). Além do tamanho, o tipo de fibra usada tem enorme influência nas propriedades dos compósitos. As fibras mais utilizadas são: sisal, juta, linho, curauá, coco, bagaço de cana e banana. O reforço com fibras naturais nos termoplásticos pode trazer uma melhoria para as propriedades mecânicas,

provocando um crescimento na resistência à tração do compósito em relação ao polímero puro, além da diminuição de custo obtida no compósito, oriunda da menor densidade do material.

As fibras naturais têm sua composição química que tem relação com suas propriedades mecânicas, e está sensível a muitos fatores como condições de plantio e climáticas, parte da planta de que são extraídas e idade (BLEDZKIET al., 1999). Isto ocasiona uma grande variedade tanto em suas propriedades mecânicas quanto na composição das fibras. A Tabela 1 expõe a composição química de fibras naturais provinda do Brasil (B) e dos outros países (O) citadas em diferentes análises por Satyanarayana e colaboradores (SATYANARAYANAET al., 2007).

Tabela 1 – Composição química de algumas fibras naturais.

Fibra	Origem (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)
Bagaço da cana	B	54.3-55,2	16.8-29.7	25.3-24.6	1.1	0.7-35
	O	32-44	27-32	19-24	4.3	-
Banana	O	60-65	6-8	5-10	1.2	-
Juta	B	60	22.1	15.9	1.0	-
	O	59-71	12-13	11.8-12.9	0.7	0.5-2
Rami	O	80-85	3-4	0.5	-	6.4
Piaçava	B	31.6	-	48.4	-	-
Curauá	B	70.7-73.6	21.1	7.5-11.1	0.8-0.9	2.5-2.8
Sisal	B	74-75.2	10-13.9	7.6-8	-	-
	O	60-67	10-15	8-12	0.14- 0.9	1.7-6
Coco	B	43.4-53	14.7	38.3-40.7	-	3.5
	O	43,7	<1	45	-	4.5

Fonte: Satyanarayanaet al., 2007.

As fibras naturais são vistas em diferentes aplicações como por exemplo em materiais solventes, móveis, utensílios, roupas, etc. Elas também são usadas como carga na fabricação de

compósitos poliméricos, por causa principalmente das propriedades que estes materiais constituem, com vantagens ambientais e econômicas (SAIN, 2004). Diferentes fibras servem como reforço em plástico, tais como linho, juta, sisal, bagaço de cana de açúcar, madeira, etc.

Os compósitos que são adicionados com fibra de coco têm as suas propriedades físicas e mecânicas geralmente inferiores aos dos que são reforçados com fibras de vidro, ainda assim as fibras naturais por possuírem baixa densidade, em propriedades específicas, se tornam satisfatórias nestes materiais.

Tanto a composição das fibras como as propriedades mecânicas apresentam variações importantes em seus valores. São fatores que contribuem para que seja necessária a alteração destas fibras com fins específicos para aplicações mais técnicas. Estas modificações buscam promover a adesão da fibra com a matriz, diminuir a absorção de umidade e homogeneizar suas propriedades (BLEDZKIET al.,1999). A natureza hidrofílica influencia nas propriedades de adesão por causa das interações interfaciais mais fracas da matriz junto a fibra, e como consequência afeta as propriedades mecânicas do material. A maneira de aprimorar a adesão da fibra e da matriz é por meio da modificação superficial da fibra através de métodos químicos ou físicos (SPINACÉET al., 2001).

Já estão sendo feitos diversos estudos e projetos na área onde há o uso de fibras naturais como reforço nos compósitos no Brasil.

Por meio desse contexto, as fibras de coco têm ampla possibilidade de aplicação para a criação de compósitos reforçados.

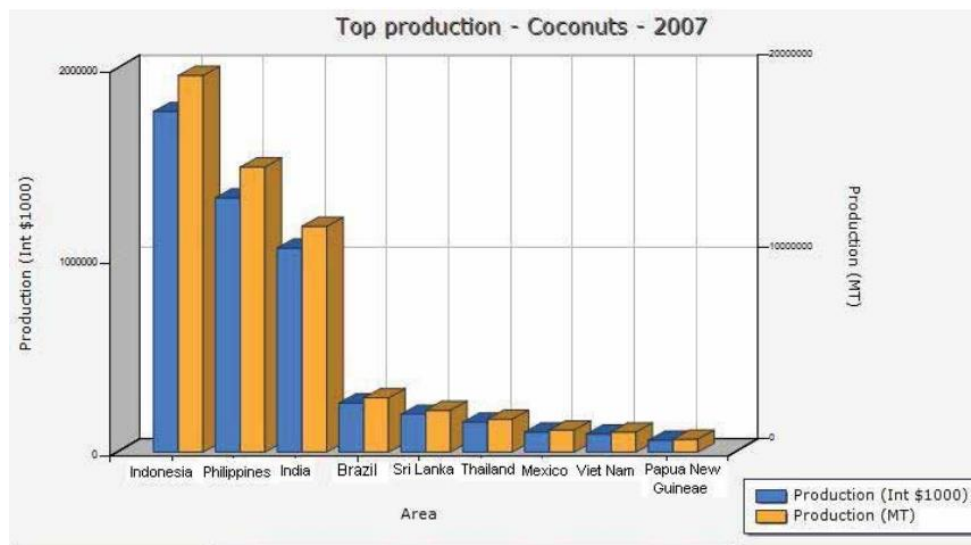
2.1.1 Fibras de Coco

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma planta com origem da região litorânea do Nordeste, porém, é possível cultivar em outras regiões de clima tropical onde sua temperatura é maior que 22°C, possui elevada umidade e chuvas sazonais. Com finalidade de obter um bom desenvolvimento da planta, com exceção do clima, o solo também deve ser profundo, leve, arejado e permeável (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2008).

Procedente do Sudeste asiático, chegou ao Brasil no ano de 1553, proveniente da Ilha de Cabo Verde. Grande parte da área cultivada com coqueiro está na região tropical, ocupando cerca de 300.000 hectares (FERREIRA et. al.,1994), tendo elevada produtividade

essencialmente na faixa litorânea do Nordeste e parte da região Norte, pois devido suas condições climáticas, centralizam cerca de 70% da produção no Brasil (MARTINS e JESUS Jr., 2011), com aproximadamente 2,8 milhões de t/ano (Figura 2). Há cerca de cinco anos, modificações genéticas permitiram que este fosse cultivado também em algumas áreas do Sudeste (HOMMA, 2005).

Figura 2- Principais países produtores de Coco (*Cocos nucifera*).



Fonte: FAO Statistical Databases

Existem duas variedades de coqueiros mais comuns no Brasil: a anã e a gigante. Os frutos das duas variedades têm as mesmas utilidades e características. No caso do coqueiro gigante, por ser uma planta de grande longevidade, que vive além dos 150 anos, pode atingir 35 metros de altura, dificultando a coleta dos frutos, sendo uma atividade arriscada e que exige do coletor grande coragem e prática. Durante o sexto até o nono ano de idade do coqueiro, se inicia a produção de coco, que consolida no décimo segundo ano, chegando a uma média de 70 cocos em cada pé por ano. Em todo o Nordeste brasileiro, esse é o tipo mais comum, essa região é responsável por aproximadamente 85% da produção brasileira e também por volta de 90% da área plantada, ocupando majormente os estados de Sergipe, Bahia e Alagoas. O coqueiro anão inserido no Brasil em 1925, oriundo da Malásia tem no máximo dez metros de altura, facilitando muito a parte de coleta dos frutos. Ele é mais precoce do que o coqueiro gigante, começando sua frutificação a partir do segundo ano depois do plantio, também obtendo produtividade superior, por volta de duzentos frutos em cada pé por ano. Por outro lado, vive só vinte anos, isto é, muito menos tempo que o centenário coqueiro comum (TASSARA, 1996).

O fruto que o coqueiro fornece (coco) é uma drupa, constituída pelo epicarpo ou epiderme lisa, que circunda o mesocarpo fibroso e espesso (figura 3), localizado em seu interior uma camada bastante dura (pétrea), o endossarão. O fruto se encontra envolvido por uma casca externa de cor verde ou amarela, que se torna seca e amarronzada com o tempo (FERREIRA et al., 1998). Por baixo dessa casca há uma camada de 3 a 5 cm de espessura, o mesocarpo, que fica entre o endocarpo e o epicarpo. Ele é formado por uma fração de fibras longas e curtas, e por outra fração chamada pó, que se apresenta integrada às fibras (ROSA et al., 2001).

O mesocarpo tem sua estrutura, que por ser mais abundosa em fibras, tem uma elevada relação C/N, entre 130 e 135, essa propriedade colabora para um elevado tempo de decomposição natural, por volta de 10 a 12 anos (CARRIJO et al., 2002). Conferindo, por isso, grande aplicabilidade: na produção de utensílios estruturais como vasos, carga para concretagem, cascos de embarcações, mobiliários, entre outros (SANTIAGO e SEVAN, 2007) ou usado como substrato para a agricultura e também como de matéria-prima para a indústria farmacêutica, alimentícia e química (VAN DAM et al., 2004).

Figura 3 - Partes do coco



Fonte: PASSOS, 2005.

O pó da fibra, bem como ela em si, é obtido por meio da dilaceração, moagem e secagem do seu fibroso e volumoso mesocarpo. De acordo com Corradini et al. (2009), a fibra do coco

verde por ser composto de carboidratos como celulose e lignina, pode ser usada na formação de açúcares fermentáveis (monossacarídeos) para o preparo de etanol lignocelulósico.

A fibra de coco tirada do mesocarpo, parcela espessa fibrosa do fruto (fig. 4) tem uma elasticidade melhor do que outras fibras vegetais, e também uma grande resistência à umidade e a grandes variações nas condições climáticas. Ela é formada por materiais lignocelulósicos, tendo suas principais características como boa flexibilidade no processamento, baixa densidade e a facilidade de modificação diante dos agentes químicos, e também de fonte de recursos renováveis, não abrasivos e biodegradáveis (PANNIRSELVAM et al., 2005; VALE; SOARES; CASAGRANDE, 2007).

A composição das fibras é formada de minerais, celulose, hemicelulose, pectina e lignina. O principal constituinte estruturante é a celulose, tratando-se de um polissacarídeo linear de elevado peso molecular composto principalmente de glicose, encarregada pela resistência e estabilidade das fibras. A hemicelulose é um polissacarídeo composto pela polimerização de vários açúcares (xilose, glicose, manose, arabinose e galactose), exerce função de ligante entre a lignina e a celulose (PASSOS, 2005).

Figura 4 – Mesocarpo fibroso



Fonte: https://www.123rf.com/photo_19741513_coconut-shell-put-together-for-further-use-.html

De acordo com Santos (2006), o método decisivo para escolher o tipo apropriado de fibra é o seu módulo de elasticidade. Na tabela 2 (BLEDZKI; GASSAN, 1999) está descrito algumas propriedades mecânicas de várias fibras naturais e sintéticas. Os valores específicos das fibras naturais são menores do que os encontrados para as fibras de vidro e de carbono.

Apesar disso, como a densidade da E-vidro é por volta de 45 % maior que as outras, considera-se que as fibras naturais têm valores de propriedades mecânicas comparáveis a E-vidro.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas de fibras vegetais e fibras convencionais usadas como reforços.

Fibra	Densidade (g/cm ³)	Alongamento	Resistência à tração (MPa)	MOE (GPa)
Coco	1,2	30	175	4,0-6,0
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Cânhamo	-	1,6	690	-
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Sisal	1,5	2,0-2,5	511-635	9,4-22,0
Kraft	1,5	-	1000	40,0
E-vidro	2,5	2,5	2000-3500	70,0
Carbono padrão	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0

Fonte: BLEDZKI E GASSAN, 1999.

A lignina é um polímero complexo encarregado da formação da parede celular. A sua concentração nas fibras influi na morfologia, na estrutura, na taxa de hidrólise e na flexibilidade. As fibras que possuem alto teor de lignina são de alta flexibilidade e ótima qualidade (PASSOS, 2005).

A pectina, um polissacarídeo que tem a função de aglutinante, é um dos componentes da parede celular. Os componentes minerais são os encarregados pela produção das cinzas depois da incineração das fibras (PASSOS, 2005).

As fibras das cascas de coco têm uma parcela menor de celulose, porém, a porcentagem de lignina é grande, por volta de duas a quatro vezes maiores que os valores presentes nas fibras de juta e sisal, tornando-as bastante vantajosas comparadas às outras fibras. O teor de lignina nas fibras muda em função do tempo do fruto, estando entre 35% no fruto maduro (com onze meses) e de 20% nas fibras de coco jovem com aproximadamente 6 meses (PASSOS, 2005).

São analisadas as principais características das fibras, como: o tipo de celulose que está presente (a geometria das células influencia nas propriedades físicas e cada tipo de celulose tem

a sua geometria); quantos anos tem a fibra; se há relação entre as porcentagens de hemicelulose, lignina, e celulose e, por fim, qual é o grau de cristalização das fibrilas que constituem as fibras. A tabela 3 mostra as propriedades mecânicas das fibras de coco.

Tabela 3– Características mecânicas da fibra de coco

Comprimento da fibra	15 a 33 cm
Diâmetro da fibra	0,0 a 0,4 cm
Cor	Marrom claro a escuro
Toque	Áspero, duro
Alongamento	Muito alto
Densidade	Muito baixa
Higroscopicidade	Tolerância de 13%
Lignificação	Forte
Tingibilidade	Boa

Fonte: Adaptado de (CLAUS, 2009)

A fibra de coco verde vem sendo muito estudada para a aplicação na composição de biocompósitos com polímeros como, por exemplo, poliéster, polipropileno e polietileno. Assim sendo, o uso da fibra de coco para a criação de biocompósitos é relevante por serem naturais, renováveis e baratos. Maior parte destes biocompósitos aponta um aumento de biodegradação quanto à matriz. Ademais, a fibra de coco verde atua como um integrante reforçador da matriz dos polímeros. Alterando as propriedades mecânicas desses compostos como resistência em relação à tração, tensão e alongação na ruptura (SENHORAS,2003).

2.2 Compósitos

O compósito é um material gerado pela mistura de dois ou mais constituintes imiscíveis com diferenças na composição química, na forma e precisam estar separados por uma interface distinta. Sendo assim, muitas ligas metálicas e cerâmicas, por apresentarem múltiplas fases constituídas por fenômenos naturais, não pertencem a essa definição (CALLISTER JR, 2002).

Os materiais que compõem os compósitos estão divididos em 2 fases: uma é chamada de “matriz”, que é constante e abrange assim os outros constituintes ou a outra fase permitindo uma ductilidade para o compósito, e a outra fase é denominada fase dispersa ou “reforço”, sendo

descontínuo e suportando os esforços sobrepostos ao compósito. Os materiais compósitos têm propriedades bem diferentes das propriedades dos constituintes, visto que se leva em conta as propriedades individuais de cada constituinte, a geometria da fase dispersa e a quantidade relativa dos materiais presentes no compósito. A geometria da fase dispersa neste contexto compreende o tamanho das partículas e a sua forma, sua orientação e distribuição. Sendo assim, os compósitos são produzidos para mostrarem a combinação das melhores características de cada material que o constitui (CALLISTER JR, 2002; MOTA, 2010; TARGA, 2011).

Ao longo da fabricação desses compósitos fibrosos a geometria da fase descontínua é um dos parâmetros essenciais a ser considerado, tendo em vista que as propriedades mecânicas dos materiais vão depender das dimensões e da forma do reforço. Além do aparecimento de trincas e vazios na superfície de seus componentes e no seu interior. Estes vazios aparecem por causa da natureza da matriz polimérica usada ou por possíveis problemas no processamento do material (HRISTOV, et al.,2004). Os vazios podem acontecer por dois motivos: primeiro, pela molhabilidade incompleta de resina sobre as fibras, revertendo na produção de bolhas de ar, cujas ficam presas pela alta viscosidade da resina; e o segundo, é por motivo da existência de compostos voláteis que se compõem no processo de cura das resinas termorrígidas (HULL,1981).

É o objetivo da matriz polimérica, disseminar a fase de reforço e deformar o necessário para distribuir e transportar as tensões para o componente de reforço no momento que for submetido a uma tensão, e também protegê-lo dos efeitos nocivos para o meio ambiente.

As indústrias automotiva, marítima e aeroespacial, foram as primeiras que utilizaram compósitos nas aplicações estruturais, todavia, esse tipo de material vem tendo sua importância em diversos ramos da economia, como os setores de transporte, petroquímico e químico, eletroeletrônico, construção civil, e até no lazer (MOTA, 2010; KEULEN, 2010).

Para determinar a aplicabilidade do compósito deve-se analisar um conjunto de propriedades e características do mesmo, como resistência mecânica, massa específica, resistência à corrosão, elasticidade e assim por diante (MOTA, 2010; KEULEN, 2010, NETO, 2010).

De acordo com a solubilidade e a fusibilidade das matrizes, são divididas em dois grupos: termorrígidas e termoplásticas. Visto que, as resinas termoplásticas são os polímeros lineares ou ramificados que são capazes de amolecer e fluir no momento que forem sujeitos a um aumento de pressão e temperatura. No tempo em que é tirado desse processo, o polímero

solidifica em um produto cuja forma é definida. Outras aplicações de pressão e temperatura fornece o mesmo efeito de fluxo e amolecimento. Essa mudança é uma transformação física reversível. São fusíveis, recicláveis e solúveis. No entanto, as resinas termoplásticas têm baixo módulo de elasticidade e baixa resistência mecânica, restringindo sua aplicação estrutural (MOTA, 2010; KEULEN, 2010).

Os polímeros termorrígidos, são frágeis, rígidos e muito estáveis a mudanças de temperatura. Se forem unicamente polimerizados, nunca mais se fundem, porque passam pelo processo de cura, transformação química irreversível que deixa o material com uma estrutura reticulada, tridimensional, com ligações cruzadas. Depois da cura, os termorrígidos são insolúveis, infusíveis e não-recicláveis (MOTA, 2010; TARGA, 2011).

Muitos fatores como a distribuição, orientação, interação entre as fases, tamanho, quantidade do reforço e a geometria são classificados como importantes para as propriedades finais específicas dos compósitos poliméricos (NETO, 2006). Tendo como exemplo, as fibras longas (razão de aspecto $L/D > 100$) e direcionadas para o esforço fornecem uma transferência de tensões mais eficiente do que as fibras curtas, onde as extremidades atuam como concentradores de tensão, abaixando a resistência do material (MARSH, 2003 E GOH, 2004). Para o uso de fibras curtas, há um tamanho crítico mínimo para que elas possam atuar como reforço na matriz polimérica e resultarem desempenhos mecânicos satisfatórios (FRANCO, 2005).

Nos últimos anos a procura pelos materiais ecologicamente corretos tem produzido elementos de matrizes poliméricas adicionados com fibras naturais. Antes, as fibras naturais não apresentaram muitas vantagens, porque normalmente as propriedades mecânicas pioram ou se mantêm quase inalteradas. Todavia, a necessidade de custos menores fez com que o interesse por estas fibras continuasse, pois elas apresentam baixa densidade, menor abrasão ocasionadas nas máquinas de processamento, são originadas de fontes renováveis, e também por serem capazes de se aderir à matriz. Nos compósitos com adição de fibras, há um mecanismo de reforço pela passagem de tensões da matriz polimérica para às fibras que, tem maior resistência e apresentam módulo maior do que o da matriz. No caso dos setores industriais, a utilização das fibras reforçando os compósitos estruturais vem crescendo.

Nesta utilização as vantagens não estão limitadas ao setor econômico, pois abrangem também, outras vertentes relevantes, como a aplicação de materiais ecologicamente seguros e que tragam benefícios sociais. No Brasil e nos países em desenvolvimento, o uso de fibras de

culturas como cana-de-açúcar, sisal, coco, curauá e juta na indústria pode ocasionar uma melhoria de vida das comunidades que produzem, pois em sua maioria é através dessas culturas que sobrevivem (LOPES, 2010).

2.2.1 Compósitos Poliméricos

Os compósitos poliméricos podem ser termoplásticos ou termorrígidos. A grande diferença entre os dois tipos está no comportamento característico quando aquecidos, ou seja, os termoplásticos são polímeros preparados para serem moldados várias vezes devido às suas características de se tornarem fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificarem quando a temperatura reduz.

Os termorrígidos, não tem o comportamento de fluidos em virtude à presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares. Na tabela 4 estão as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos.

Tabela 4- Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos

Termoplásticos	Termorrígidos
Recicláveis mecanicamente	Não reciclável mecanicamente
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo limitado de armazenamento
Alta viscosidade quando fundido	Baixa viscosidade durante o processo
Baixa resistência à fluência	Alta resistência à fluência
Temperatura de uso limitada à Tg e Tm	-
Baixa estabilidade térmica e dimensional	Alta resistência térmica e dimensional

Fonte: ALEXANDRE, 2006.

Os polímeros termorrígidos são bastantes empregados para uso estrutural em materiais compósitos por indicar certas vantagens em relação aos termoplásticos, como alta estabilidade térmica, elevada rigidez, alta estabilidade dimensional, boas propriedades de isolamento térmico e elétrico, resistência à fluência e à deformação sob carregamento. Esses materiais podem ser agregados fisicamente com fibras em métodos de processamento simples.

As resinas termorrígidas mais usadas e mais baratas são os poliésteres, poliuretanos, vinil-éster e resinas fenólicas; e são usadas para compor compósitos reforçados com fibras de vidro. As resinas epóxi são as mais caras e são utilizadas em aplicações estruturais e aplicações

aeroespaciais por terem boas propriedades mecânicas e resistências à umidade do que os poliésteres, poliuretanos e as resinas vinílicas.

A escolha da matriz está relacionada a aplicabilidade do compósito e das propriedades desejadas. As matrizes de termoplásticos são mais viáveis, pela quantidade de peças que podem ser produzidas em um certo espaço de tempo, com um baixo número de mão de obra qualificada. Os polímeros termoplásticos, macromoléculas de cadeia linear ou ramificada, geralmente são fundidos durante o processamento e podem ser reciclados, pois fundem e voltam ao seu estado anterior sem a degradação do material. Os termoplásticos, e os compósitos de termoplásticos, podem ser moldados por injeção, extrusão ou por outras técnicas de moldagem por aquecimento. As maiores restrições de peças de termoplásticos são as dimensões e o custo de equipamentos, quanto maior for a peça, maior susceptibilidade ao empenamento e consequentemente mais caro o equipamento de processo (ALBINANTE et al, 2013).

Os compósitos particulados são decorrência da introdução de componentes que apresentem uma razão de aspecto L/D (relação entre a maior e a menor dimensão do corpo) menor que três (FINKLER, 2005).

Esses componentes chamados de cargas particuladas ou não fibrosas podem ser considerados como materiais sólidos que são incorporados aos polímeros em números suficientes para diminuir o custo do compósito ou alterar as suas propriedades físicas e mecânicas (FINKLER, 2005).

A adição de fibras em uma matriz polimérica pode acontecer de duas maneiras : (a) uma ou mais fases que tenham a finalidade de reforçar, provocando um aumento na rigidez e resistência mecânica ou (b) o material incorporado tem o desempenho mais evidenciado como carga; neste caso o reforço acrescentado à matriz, normalmente de pequena massa específica e custo reduzido, atua como uma carga ampliando o volume do compósito, e proporcionando diminuições de peso e custo do componente (NETO; PARDINI, 2006).

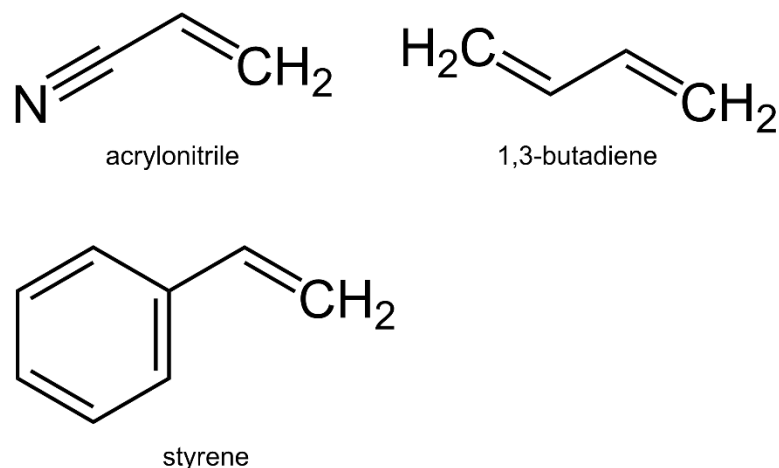
2.2.2 Acrilonitrilo-Estireno-Butadieno (ABS)

O plástico ABS é uma resina termoplástica derivada do petróleo. É formada pela copolimerização de três monômeros: acrilonitrila (monômero sintético produzido a partir do hidrocarbonato propileno e amoníaco – de 15% a 30%), butadieno (alceno obtido a partir da

desidrogenação do butano – de 5% a 15%) e o estireno (produzido a partir da desidrogenação do etilbenzeno – de 40% a 60%) – sendo base de quase todos os materiais plásticos que usamos.

O componente elastomérico, o butadieno, é responsável pela flexibilidade e resistência ao impacto. O estireno proporciona fluidez, brilho e dureza, e a acrilonitrila é responsável pela resistência térmica, química e rigidez. Por meio do equilíbrio desses três componentes, adquirir-se boas relações de custo/desempenho, transformando-as a ser capazes de atender a uma grande variedade de mercados, como as indústrias automobilísticas, eletroeletrônica, eletrodoméstica, de brinquedos etc. Para Vossen (2009), o ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) é um termoplástico que consiste em uma fase de borracha (butadieno) dispersa em uma matriz de SAN (copolímero de acrilonitrila Estireno).

Figura 5 - Reação de obtenção do polímero ABS



Fonte: <https://acordocoletivo.org/2018/01/19/abs-acrilonitrila-butadieno-estireno/>

O componente elastomérico, o polibutadieno (BR) ou um copolímero de butadieno, forma uma fase dispersa no termoplástico, que é um copolímero de estireno e acrilonitrila (SAN). O componente BR tem sido fundamental para a degradação do ABS. A fotooxidação do ABS leva à reticulação do componente elastomérico, e deteriora as propriedades elásticas nessa fase.

Normalmente, as resinas de ABS são resistentes à água, a soluções alcalinas, a ácidos orgânicos, a ácidos minerais diluídos e a muitas soluções salinas, mas são atacadas por hidrocarbonetos aromáticos, acetona, éteres, ésteres, hidrocarbonetos clorados, ácidos minerais e orgânicos.

As propriedades essenciais da resina ABS são: resistência química, rigidez alta, dureza alta, estabilidade dimensional excelente, contração de moldagem alta e propriedades dielétricas boas.

Na composição do ABS possui monômeros cujos homopolímeros têm condição elastomérica e termoplástica, e possuem uma ótima tenacidade e uma excelente estabilidade dimensional. Essas resinas possuem ampla aplicação sobretudo na confecção de eletrodomésticos, telefones, na indústria automobilística e atualmente na confecção de cartões telefônicos. Portanto, existe uma disposição cada vez maior de descarte de produtos de ABS no ambiente, geralmente em estágio avançado de degradação.

A degradação térmica e fotooxidativa afeta de forma pronunciada as propriedades macroscópicas do ABS, como por exemplo a cor e as propriedades mecânicas. A mudança das fases elastomérica e termoplástica também são afetadas. A temperatura de transição vítrea, T_g , é indicada pela estrutura molecular das unidades repetitivas de um polímero. É na área da transição vítrea que se encontra o grande potencial de absorção e dissipação de energia mecânica. No começo da degradação a grande parte das unidades repetitivas da cadeia polimérica não se modificam, mas existem motivos secundários que também podem alterar a transição, como a massa molar, a extensão de reticulação e a concentração de plastificantes. A cisão de cadeias tem como resultado o aumento do volume livre, acarretando a queda da T_g ; o aumento da densidade de reticulação aumenta a rigidez do polímero e conseqüentemente a T_g e, uma diminuição na concentração de plastificantes por volatilização, pode aumentar a T_g . Todos esses efeitos diferem-se ainda em relação à distância do material analisado em relação à superfície, uma vez que grande parte dos processos degradativos começam na superfície. Além disso, os mecanismos de degradação também são influenciados pelo tempo e pela forma de envelhecimento.

Wyzgoski avaliou o envelhecimento térmico do ABS entre 40 °C e 90 °C, em atmosfera de nitrogênio, e comparou a perda de alongamento em função da temperatura e do tempo de envelhecimento com a relaxação secundária da fase termoplástica, finalizando que a perda da propriedade é resultado do envelhecimento físico. Não foram percebidas mudanças aparentes de morfologia.

Adeniyi e Kolawole verificaram também que a concentração de ligações C=C no ABS reduz com o tempo, sendo a diminuição mais pronunciada nas amostras submetidas à degradação térmica do que fotoquímica.

Embora a degradação do ABS venha sendo bastante investigada, encontra-se diversos aspectos não explorados, tais como a relação entre a extensão da degradação e as propriedades macroscópicas e microscópicas. Os ensaios de degradação são normalmente conduzidos em condições bastante diferentes das condições normais de uso. Na maioria das vezes são utilizados filmes, enquanto que nos automóveis, por exemplo, utiliza-se peças moldadas por injeção.

A conscientização das empresas de transformação de plásticos quanto à diminuição da geração de resíduos poliméricos vem trazendo benefícios ao meio ambiente. Este benefício vem desde a diminuição do consumo de matéria prima até a economia de água e energia elétrica. Outra estratégia adquirida pelas empresas para reduzir o impacto ambiental é reintroduzir o descarte ou resíduo polimérico no processo produtivo, transformando-o em um produto de pequeno valor agregado ou destinado a uma mesma aplicação.

O departamento de engenharia da Volkswagen do Brasil, por exemplo, calcula que, entre peças e componentes, são empregados polímeros numa proporção entre 8 a 10 por cento do volume e peso em seus mais variáveis modelos de automóveis e utilitários.

2.2.3 Compósitos Reforçados com Fibras Naturais

Os materiais compósitos reforçados com fibras naturais têm incentivado nos dias de hoje discussão de temas semelhantes à preservação do meio ambiente e em função do desenvolvimento de novos métodos e processos tecnológicos (FRAGA, et al., 2006; WANG, et al., 2006).

As recentes preocupações relacionadas à preservação do meio ambiente têm incentivado a busca e o desenvolvimento de novos materiais a serem utilizados na indústria têxtil, automobilística, construção civil, mobiliário, dentre outras (DEMIR et al., 2006; KAVELINE et al., 2006).

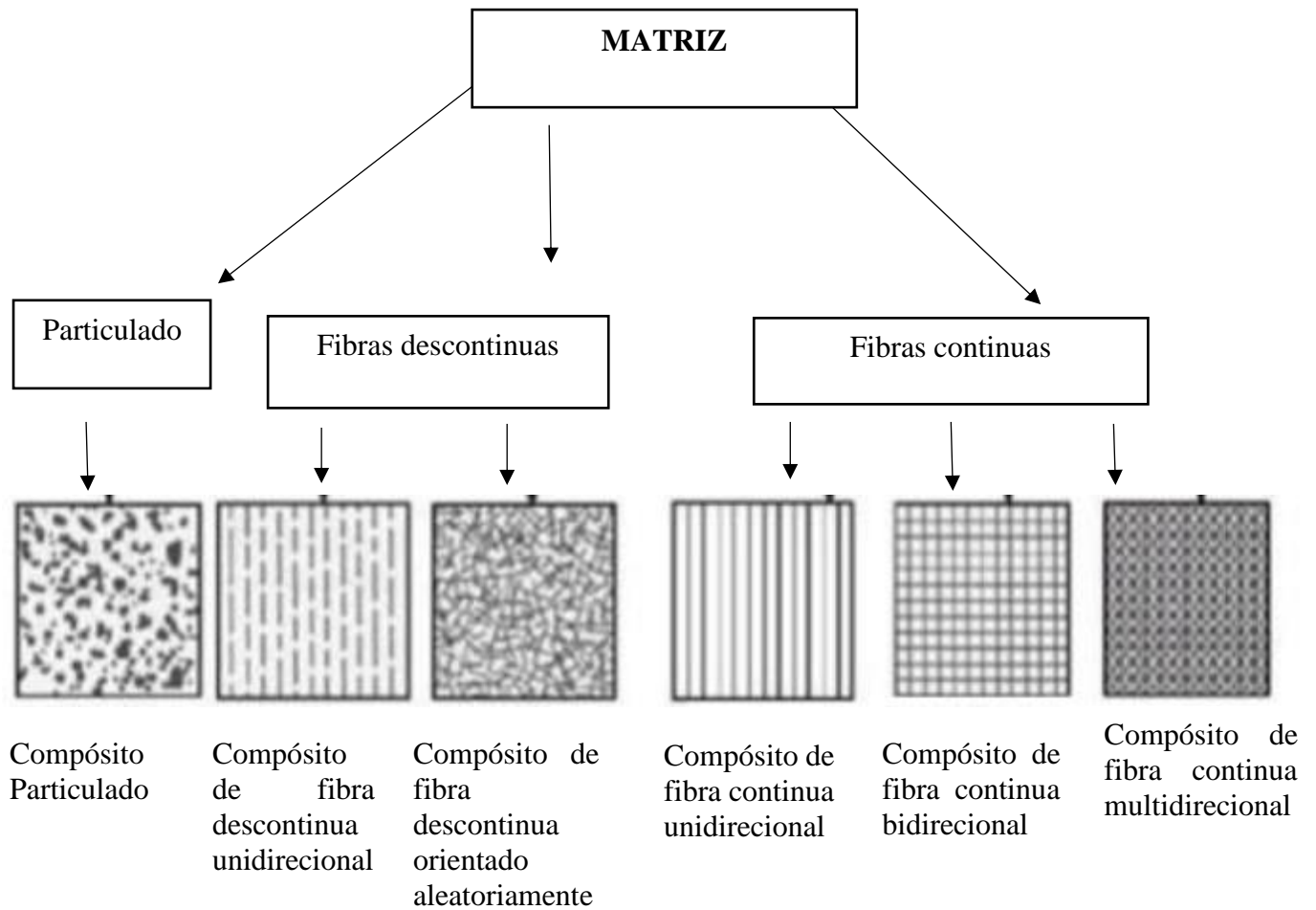
Este tema tem enorme importância em vista de assegurar melhores condições de sobrevivência e qualidade de vida para as sucessões futuras, empregando-se produtos naturais, que estão em grandes quantidades disponíveis e que podem diminuir o uso de materiais tradicionais como minerais e plásticos. As fibras naturais estão sendo estudadas como reforço para materiais compósitos de matriz polimérica em substituição às fibras sintéticas. Isso pode ser explicado pelo fato desses materiais possuírem algumas vantagens em relação aos reforços

sintéticos devido essencialmente à baixa densidade, biodegradabilidade e baixo custo (DEMIR et al., 2006).

Esses compósitos cheios com fibras naturais apresentam várias vantagens, como aumento da resistência ao calor, diminuição de custo, aumento da rigidez, alteração das propriedades elétricas, modificação da massa específica e aumento da resistência ao impacto (MARINUCCI, 2011). No entanto, existem algumas variáveis da fibra que afetam significativamente as propriedades mecânicas de plásticos reforçados, como tipo de fibra, comprimento médio das fibras, orientação da fibra e anisotropia, interface fibra-matriz e dispersão das fibras (ELKHAOULANI et al., 2013).

Dependendo do tipo de reforço utilizado, os compósitos podem ser separados em três classes, sendo: compósitos de reforço particulado, compósitos de fibras descontínuas, que podem ser unidirecionais ou aleatórias e os reforçados com fibras contínuas, podendo ser unidirecionais, bidirecionais ou multidirecionais (FINKLER, 2005). Os principais tipos de compósitos estão ilustrados na Figura 6.

Figura 6- Principais tipos de Compósitos

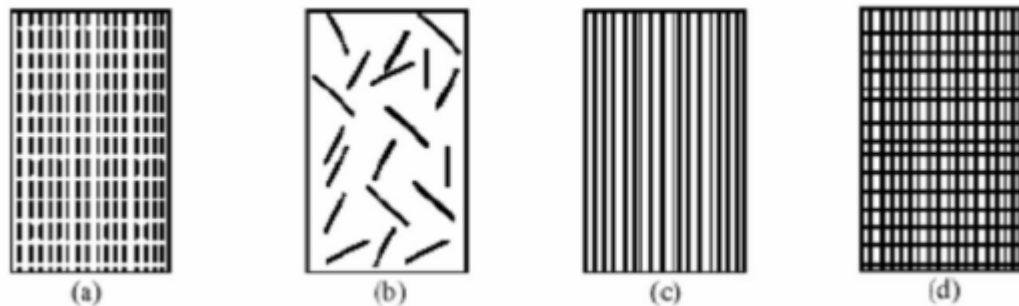


Fonte: PANZERA, 2005

Os compósitos têm sido empregados com grande sucesso em componentes estruturais de alto desempenho aplicados em aviões, automóveis, navios, plantas petroquímicas, implantes ortopédicos e na construção civil, há cerca de quatro décadas (NETO e PARDINI, 2006).

Segundo Padilha (2007), a matriz pode ser polimérica, metálica ou cerâmica e o reforço pode estar na forma de dispersão de partículas, fibras, bastonetes, lâminas ou plaquetas, conforme observado na Figura 7.

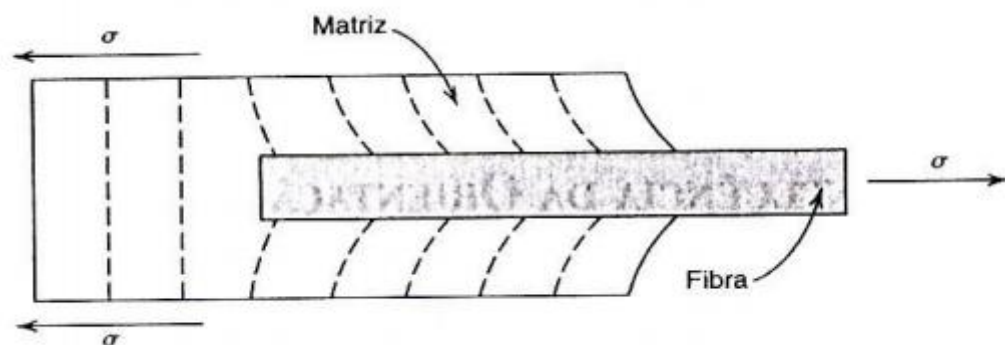
Figura 7- Esquema ilustrativo de compósitos reforçados: (a) por fibras descontínuas unidirecionais, (b) por fibras descontínuas aleatórias, (c) por fibras contínuas unidirecionais e (d) por fibras contínuas e bidirecionais



Fonte: CALISTER, 2011.

Os compósitos reforçados com fibras não precisam apenas das propriedades das fibras e da matriz, mas também do grau de interação entre as fases, matriz/fibra, que irá definir o grau de condução da carga aplicada da matriz para a fibra. A magnitude da ligação interfacial entre as fases fibra e matriz é importante para a extensão dessa condução de carga. Com uma tensão aplicada, essa ligação fibra-matriz cessa nas extremidades da fibra, adquirindo um padrão de deformação da matriz como está mostrado esquematicamente na figura 8 (CALLISTER, 2007).

Figura 8 – Transmissão carga matriz – fibra



Fonte: CALLISTER, 2002.

Para projetar-se, com padrões de engenharia, compósitos reforçados com fibras otimizando-se suas propriedades, faz-se necessário avaliar alguns parâmetros como o comprimento crítico das fibras e a resistência da interface fibra/matriz (HULL e CLYNE, 1996).

É de total importância um comprimento crítico de fibra para um acréscimo efetivo na resistência e na rigidez de um material compósito. Esse comprimento crítico depende do

diâmetro da fibra (d), e de sua resistência. Depende também da resistência da ligação fibra-matriz. O diâmetro crítico l_c , pode ser calculado através da Equação 1.

$$l_c = \frac{\sigma_f * d}{2\tau_c}$$

Eq.1 – Comprimento crítico das fibras

Onde: d é o diâmetro da fibra, σ é o limite de resistência à tração da fibra, τ é resistência ao cisalhamento da ligação fibra/matriz.

Os compósitos cujas fibras possuem comprimento bem maior que comprimento crítico aproximadamente $15l_c$ são denominadas fibras contínuas; as fibras descontínuas ou curtas apresentam comprimentos inferiores do que esse. Para fibras descontínuas com comprimentos consideravelmente menores do que o comprimento crítico, a matriz se deforma ao entorno da fibra tal que não existe verdadeiramente qualquer transferência de tensão e há apenas um pequeno reforço devido à fibra. Esses correspondem aos compósitos particulados. Para que se desenvolva uma melhoria significativa na resistência do compósito, as fibras devem ser contínuas, através do padrão de deformação na matriz que está envolvendo uma fibra submetida a uma carga (CALLISTER, 2007), uma vez que os compósitos foram feitos apenas das fases fibra e matriz, contínuas e alinhadas, é possível calcular a sua resistência σ_c , e o módulo de elasticidade E_c , para a direção de alinhamento das fibras. As Equações 2 e 3, relacionam estas mesmas propriedades com as características das fibras e da matriz.

$$\sigma_c = \sigma_M * V_M + \sigma_f * V_f$$

Eq. 2 – Resistência teórica dos compósitos reforçados por fibras

$$E_c = E_M * V_M + E_f * V_f$$

Eq. 3 – Módulo de elasticidade teórico dos compósitos reforçados por fibras

Onde: σ é resistência, E é o módulo de elasticidade, V é a fração volumétrica, (CALLISTER, 2007).

Quando se usa fibras contínuas com alinhamento preferencial, o compósito apropria-se de um caráter direcional, (anisotropia). Desta forma o material deverá ser empregado de modo que a força aplicada seja paralela ao sentido da fibra, pois esse será o sentido (sentido longitudinal), de maior resistência do compósito. No entanto, na prática, a grande parte das

estruturas está sujeita a cargas complexas, logo precisam do uso de fibras orientadas em vários sentidos.

O desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais teve um aumento no crescimento motivado pelo apelo ambiental. Diante desse quadro sustentável, as fibras naturais apresentam uma alternativa viável em algumas aplicações, quando comparados aos compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro (MULINARI, 2009). A Tabela 5 mostra as principais vantagens das fibras naturais quando comparada à de vidro.

Tabela 5- Principais vantagens das fibras naturais quando comparada às fibras de vidro

Propriedades	Fibras Naturais	Fibras de Vidro
Densidade	Baixa	Alta
Reciclabilidade	Sim	Não
Fonte renovável	Sim	Não
Consumo de energia para a produção	Baixo	Alto
Abrasividade aos equipamentos	Não	Sim
Risco a saúde quando inalada	Não	Sim
Descarte ambiental	Biodegradável	Não-biodegradável

Fonte: WAMBUA; IVENS; VERPOEST, 2003.

No Brasil, as fibras obtidas através da casca do coco são materiais lignocelulósicos de baixo custo, que não encontram aplicação em fins alimentícios, por isso retratam uma interessante matéria-prima para a preparação de compósitos poliméricos, sendo já utilizadas comercialmente na forma de compósitos com elastômeros na produção de assentos de automóveis.

Em compósitos polímero-fibra celulósica, a matriz polimérica é responsável pela distribuição da tensão aplicada ao compósito e sua escolha é restrita principalmente pela temperatura necessária ao processamento, já que as fibras lignocelulósicas degradam em grandes temperaturas.

Desse modo, a temperatura de processamento deve ser tal que permita a obtenção de misturas homogêneas, sem ocorrência de degradação de fibra. Baseado na processabilidade, propriedades mecânicas, disponibilidade e custo, a matriz polimérica escolhida é o ABS, pois

impacto, mesmo em temperaturas subambientais, custo relativamente baixo, além de ser facilmente processado devido à sua baixa temperatura de processamento. Essas características tornam o ABS, quando reforçado, capaz de competir com plásticos de engenharia de um custo maior em várias aplicações.

2.3 Injetora

Com a crescente utilização de materiais poliméricos, as máquinas de moldagem por injeção se tornaram um dos processos mais versáteis em transformação e processamento de polímeros.

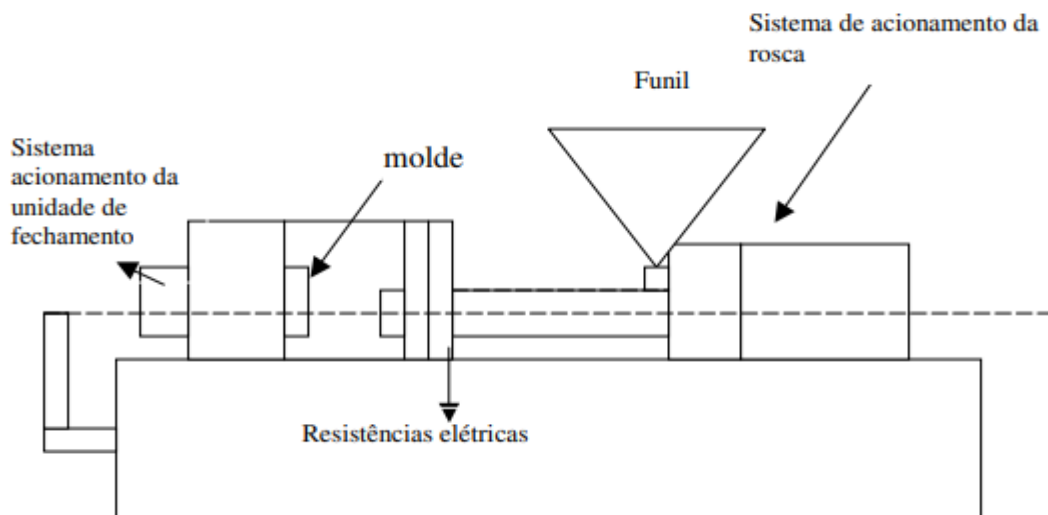
Na moldagem por injeção, os grânulos do polímero são comprimidos por um pistão ou rosca, aquecidos até entrarem no estado líquido e serem injetados dentro do molde e fechado sob pressão. O polímero então é esfriado abaixo da temperatura de transição vítrea T_g , o molde é aberto e o produto é retirado. O processo é feito com moldagens a alta precisão, pois o polímero esfria ainda sob pressão e devagar. As temperaturas médias de moldagem por injeção de termoplásticos estão entre 150-350°C e as pressões são acima de 120 MPa (ASHBY; JONES,1988).

O processo de injeção pode ser dividido em seis etapas principais que serão detalhadas abaixo:

1. **Fechamento do Molde:** Para se evitar rebarbas e outros defeitos, deve-se verificar se o molde está fechado e as placas da injetora travadas para possibilitar a injeção do material nas cavidades.
2. **Dosagem:** Nesta fase que ocorre o amolecimento do material sólido que será injetado nas cavidades na quantidade certa. O amolecimento do material sólido acontece através de resistências elétricas no conjunto extrusor da injetora, composto pelo canhão e rosca.

3. Preenchimento: Esta etapa acontece de forma mais rápida, logo após o amolecimento do material na cavidade, com a finalidade de evitar que ocorra o congelamento do fluxo da matéria prima, para que o preenchimento finalize.
4. Recalque: O recalque consiste no controle da pressão com o intuito de minimizar a ação da contração da matéria prima decorrente do seu resfriamento. Tem como objetivo tornar o preenchimento mais homogêneo, diminuindo a possibilidade de defeitos conhecidos como “rechupes”.
5. Resfriamento: O processo de resfriamento acontece imediatamente após a matéria prima ter preenchido o molde, fazendo com que ocorra a solidificação do material para que ele obtenha a forma do produto final sem que ocorram deformações.
6. Extração: A extração do produto resfriado ocorre por meio de mecanismos internos no molde, sendo através de pinos extratores, placa extratora, mandíbulas e outros mecanismos.

Figura 9: Desenho Esquemático de um Modelo de Injetora



Fonte: Carlos Anibal De Blasio, 2007.

Para se projetar um molde, considera-se o modelo de máquina injetora em que o mesmo irá trabalhar, ou seja, as medidas do molde projetado devem estar em harmonia com as

dimensões da injetora. É o molde que determina o formato do produto final, e resfria o líquido para que ele passe para o estado sólido. Ao mesmo tempo, as placas do molde permanecem unidas por uma força hidráulica ou mecânica. É neste processo de fixação que determina a forma final do produto injetado.

Pode-se listar algumas características vantajosas da moldagem por injeção de termoplásticos: passagem direta do material fundido para a peça pronta; quase não é necessário nenhum acabamento na peça; elevada produtividade da peça; elevada qualidade da peça (MICHAELI, et al,1992).

Geralmente quem faz o controle de qualidade das peças obtidas na moldagem por injeção é o próprio operador da máquina, que faz a primeira checagem em termos de aparência da peça.

A estabilidade dimensional é uma condição das mais importantes na moldagem de peças por injeção, principalmente aquelas que passarão por processos de montagem, colagem ou encaixe; são analisados em equipamentos apropriados, e determinam se a peça está dentro dos parâmetros dimensionais projetados.

Algumas peças também são submetidas à caracterização mecânica, cujo objetivo é determinar seu progresso quando submetida a alguma deformação, de preferência aquelas que serão usadas como engrenagem, suportes, batedores, etc.

Qualquer peça injetada poderá ser submetida a qualquer tipo de controle, o que define isto é o tipo de peça, sua aplicação e o desempenho esperado. Mas como em todo processo, se não for bem operada, a máquina de moldagem por injeção pode ocasionar alguns problemas de moldagem. Abaixo estão sendo citados alguns dos problemas mais comuns:

Estrias Marrons: São estrias de coloração marrom, preta ou amarelada que surgem na peça injetada, decorrente da degradação do polímero como pode ser observado na figura. Ocorrem devido a quatro fatores: matéria-prima contaminada, máquina injetora com cisalhamento excessivo na rosca ou obstrução no fluxo do material, processamento com a temperatura do canhão e rotação da rosca muito elevadas, e o projeto do molde com contenção no ponto de injeção ou canais de alimentação e os cantos afiados.

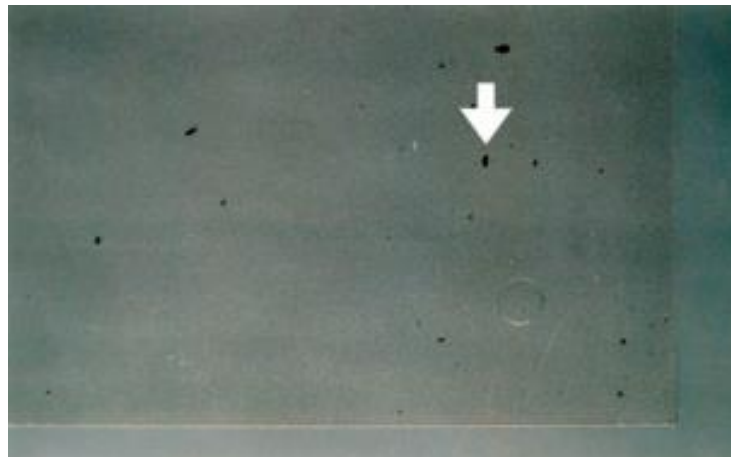
Figura 10: Exemplo de Estrias Marrons



Fonte: Carlos Anibal De Blasio, 2007.

Pontos Pretos: Os pontos pretos aparecem devido a carbonização do polímero, ocorre o aparecimento de partículas bem pequenas encravadas na peça, sendo causados pela composição de um filme de material degradado, entorno da rosca ou o cilindro que se solta a cada ciclo, apresentando marcas finas no material, principalmente em peças recicladas. Exemplos de defeitos tipo pontos pretos podem ser observados na figura abaixo.

Figura 11: Exemplo de defeito Tipo Ponto Preto



Fonte: Carlos Anibal De Blasio, 2007.

Carbonização: Ocorre devido à carbonização do material, geralmente localizado nas regiões onde o fluxo está finalizando, e em poucos casos na região de encontro das linhas de solda. As suas principais causas são: os canais de saída de ar do molde em número ou dimensões insuficientes e elevadas velocidades de injeção.

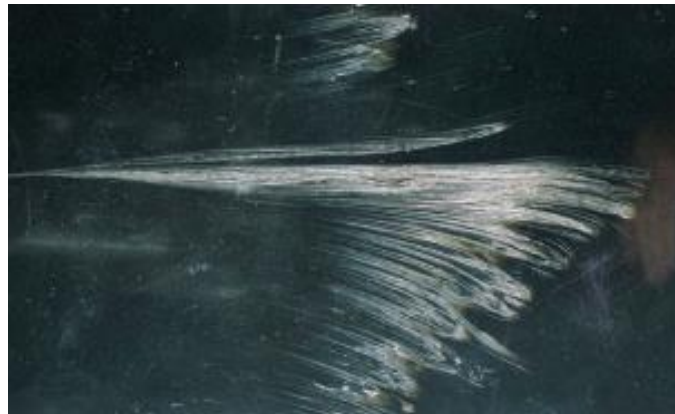
Figura 12: Exemplo de Defeito Tipo Carbonização



Fonte: Carlos Anibal De Blasio, 2007.

Estrias Prateadas: Ocorre quando gases ficam aprisionados de baixo de uma estreita camada superficial da peça injetada, dando origem as estrias prateadas.

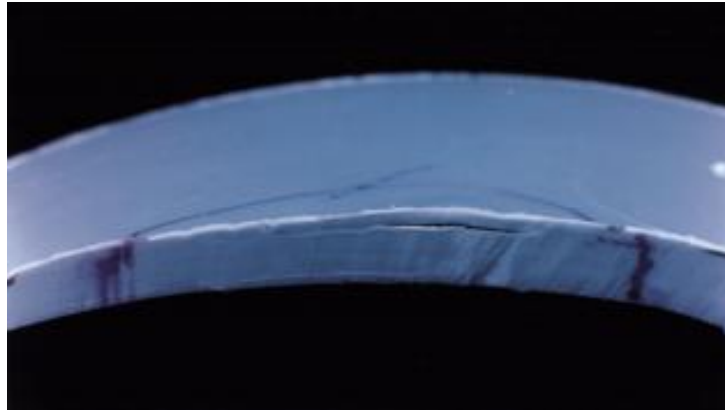
Figura 13: Exemplo de Defeito Tipo Estria Prateada



Fonte: Carlos Anibal De Blasio, 2007.

Delaminação: Aparece quando duas camadas de material não estão grudadas homogeneamente e começam a descascar quando aplicada uma força sobre a peça, causada pela presença de contaminantes que podem ser tanto outro polímero ou mesmo aditivos que sejam incompatíveis com o polímero.

Figura 14: Exemplo de Defeito Tipo Delaminação



Fonte: Carlos Anibal De Blasio, 2007.

Peças Incompletas ou Falhadas: São as peças que não se obtiveram o completo preenchimento da cavidade. Existem muitas causas para o surgimento de peças incompletas: baixa dosagem, fluxo de material obstruído devido à falta de saídas de gás, falta de pressão de injeção, congelamento prematuro da seção transversal do canal.

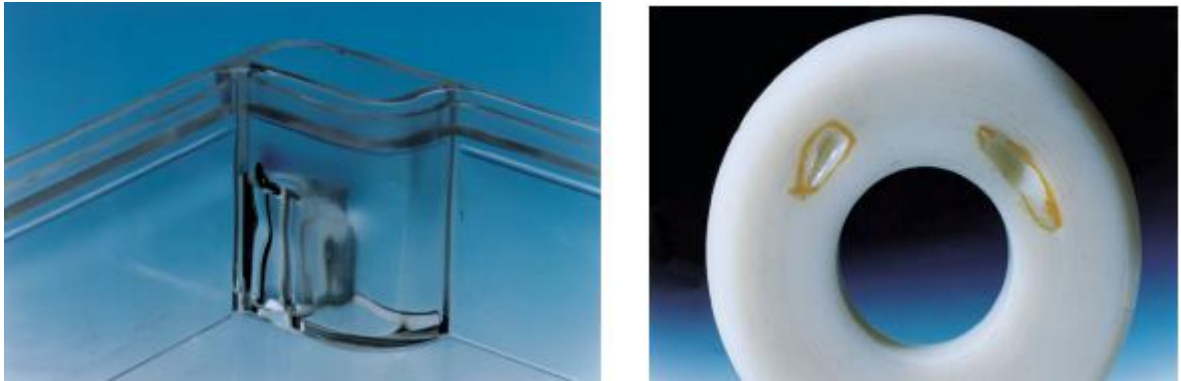
Figura 15: Exemplo de Defeito Tipo Peça Falhada



Fonte: Carlos Anibal De Blasio, 2007.

Rechupagem e Vazios: São depressões provocadas na superfície da peça injetada, sendo que os rechupes são identificados pelas depressões que ocorrem na superfície, e os vazios são as bolhas internas. Esses defeitos, que normalmente são mais visíveis em peças transparentes, ocorrem devido à contração do polímero.

Figura 16: Exemplo de Defeito Tipo Rechupagem e Vazio



Fonte: Carlos Anibal De Blasio, 2007.

Rebarbas: Ficam próximas às linhas de fechamento, canais de saída de gás e extratores, quando o material fundido é pressionado para fora das cavidades pela linha de abertura do molde. As rebarbas surgem com o avanço de um filme de material próximo às peças. As principais causas estão relacionadas com a força de fechamento insuficiente, alta temperatura do polímero, pressão de recalque elevada e velocidade de injeção muito alta (MARTINS, 2006).

Figura 17: Exemplo de Defeito Tipo Rebarba



Fonte: Carlos Anibal De Blasio, 2007.

2.4 Ensaio de Materiais

São métodos padronizados para determinação de propriedades mecânicas e do comportamento sob algumas condições de trabalho de um determinado material. Geralmente são levantadas as características dos materiais após algum tipo de processamento e também as características necessárias para execuções estruturais.

2.4.1 Ensaio de Tração

Ensaio de Tração é amplamente empregado para o recolhimento de informações essenciais sobre a resistência dos materiais e como um ponto de análise de materiais que se faz pela comparação das propriedades estipuladas pelo ensaio e ajustes convencionados em projeto. Para realizar esse ensaio, é necessário fazer a aplicação de uma carga uniaxial gradativo a um corpo de prova específico até ocorrer à ruptura, ao mesmo tempo, são medidas as variações no comprimento. Desse ensaio é possível obter:

- Limite de resistência à tração;
- Limite de escoamento;
- Módulo de elasticidade;
- Ductilidade;
- Coeficiente de encruamento;
- Coeficiente de resistência.

Os resultados desse teste são bastante influenciados basicamente pela temperatura em que ocorre, assim como pela velocidade de aplicação da carga, além da anisotropia do material, pelo tamanho de grão e impurezas no material. Nesse ensaio se destaca a revelação das regiões de comportamentos distintos, como a região de comportamento elástico onde o material se comporta segundo o coeficiente de elasticidade, a região plástica (onde o material não se recupera totalmente da deformação imposta), além das regiões de deslizamento de discordâncias e de encruamento (uniforme e não uniforme).

O encruamento define a capacidade do material em distribuir sua deformação ao longo de seu volume, condizendo à deformação real no ponto de máxima tensão. O coeficiente de encruamento relaciona-se à deformação real no ponto de máxima tensão.

Termoplásticos são polímeros elaborados para amolecer e fluir quando submetidos a uma elevada temperatura e pressão. Quando essas solicitações são removidas, os termoplásticos se solidificam novamente. Essa modificação é uma transformação física reversível, visto que, novas aplicações de altas temperaturas e pressões realiza o mesmo efeito de amolecimento e fluxo. Isso faz com que os termoplásticos sejam considerados recicláveis. Alguns exemplos são

a poliamida (Náilon), o polietileno (PE), o policloreto de vinila (PVC), o polipropileno (PP) o poliestireno (PS) e o polietileno tereftalato (PET).

O jeito como os polímeros correspondem às requisições, demonstra suas propriedades mecânicas. Isso depende de alguns fatores como temperatura, estrutura química, tempo e condições de processamento do polímero. Dessa forma, podem-se considerar dois mecanismos de deformação nos polímeros:

- Deformação elástica: processo alterável por causa do deslocamento de átomos de níveis de energia pequenos para os níveis elevados. É uma modificação que pode ser comparada ao comportamento de uma mola de aço quando submetida à tração, desta forma, a Lei de Hooke pode ser aplicada, isto é, a deformação é proporcional à força aplicada.
- Deformação plástica: processo inconversível que acontece após a aplicação de uma força sobre um determinado material. É dependente do tempo decorrido. Neste tipo de deformação ocorre o deslocamento definitivo dos átomos das moléculas.

Outra análise a ser considerada é o Módulo de Young ou módulo de elasticidade sob tração, que é uma das propriedades mecânicas mais relevante nos polímeros. É calculada através da razão entre a tensão aplicada e a deformação sucedida no material. É encontrado na região elástica linear da curva “tensão VS. deformação” no ensaio de tração.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Equação 4 - Módulo de Young ou Modulo de Elasticidade sob Tração

Os polímeros ABS exibem uma excepcional combinação de propriedades mecânicas, térmicas, elétricas e químicas, bem como facilidade de processamento e moderado preço. Eles oferecem um bom balanço de resistência ao impacto, à tração, dureza e módulo de elasticidade. O ABS é amplamente usado em materiais de construção. Seus grandes consumidores são as indústrias automotivas, indústrias de tecnologia e de telecomunicações, equipamentos de refrigeração, brinquedos, artigos esportivos dentre outros.

2.4.2 Ensaio Reológico

A reologia estuda como os materiais se deformam e as suas tensões quando neles são aplicadas tensões e deformações. Dessa forma, é analisado o escoamento da matéria, independente do estado físico que ela se encontre.

Um material no estado sólido, tem sua deformação caracterizada pelas leis que demonstram a alteração da forma, volume ou tamanho. Ao passo que para um fluido, sendo líquido ou gasoso, seu escoamento é definido através de leis que representam a mudança contínua do grau ou taxa de deformação de acordo com a tensão aplicada.

Os fatores que influenciam na deformação dos polímeros em estado sólido são: efeito da temperatura, da velocidade do ensaio, da cristalinidade, plastificantes, das ligações cruzadas e do peso molecular ou massa molar dos polímeros.

Os compósitos poliméricos podem ter mudanças estruturais que alteram suas propriedades mecânicas e físicas. Os resultados adquiridos em ensaios mecânicos podem sofrer influências por fatores externos como: temperatura, tempo e condições ambientais do teste (líquidos agressivos, umidade, entre outros).

As propriedades mecânicas dos polímeros têm maior dependência da temperatura e da taxa de deformação do que as propriedades dos metais. A importância da temperatura e do tempo para o módulo de elasticidade dos plásticos provém da flexibilidade das cadeias poliméricas e das suas baixas forças de atração intermolecular, conferindo um comportamento mecânico chamada viscoelasticidade.

2.4.2.1 Análises Termogravimétricas (TGA)

As análises termogravimétricas (TGA) são as técnicas usadas para investigar e comparar os acontecimentos térmicos ao decorrer da pirólise de minúsculas amostras de combustível e medir as alterações de massa durante o aquecimento.

Permitindo estabelecer a faixa de temperatura em que elas obtêm composição química fixa, definida e constante, a temperatura em que se inicia a decomposição, acompanha o andamento de reações de desidratação (perda de umidade), oxidação, combustão,

decomposição, etc (CANEVALORO, S. “Técnicas de Caracterização de Polímeros”, Artliber Editora, 2004)).

Um equipamento de TGA é composto principalmente por um termo balança, seu princípio de funcionamento é basicamente permitir a passagem contínua de uma amostra em função da temperatura.

Os principais componentes da termo balança são: balança registradora, forno, suporte de amostra, sensor de temperatura, programador de temperatura do forno, sistema registrador e controle da atmosfera do forno.

As condições mais comuns que podem afetar o TGA estão representadas na tabela a baixo:

Tabela 6 - Fatores que Podem Afetar o TGA

Fatores Instrumentais	Fatores da Amostra
Razão de aquecimento do forno	Quantidade de amostra
Velocidade de registro (papel)	Solubilidade dos gases envolvidos
Atmosfera do forno	Tamanho das partículas e calor de reação
Geometria do suporte de amostra	Empacotamento de amostra
Sensibilidade de balança	Natureza de amostra
Composição do suporte de amostra	Condutividade térmica

Fonte: IONASHIRO, M. Giolito, 2005.

3.0 MÉTODOS E MATERIAIS

Este capítulo irá apresenta os materiais e métodos utilizados para a fabricação dos corpos de prova através da injeção de ABS com a fibra de coco.

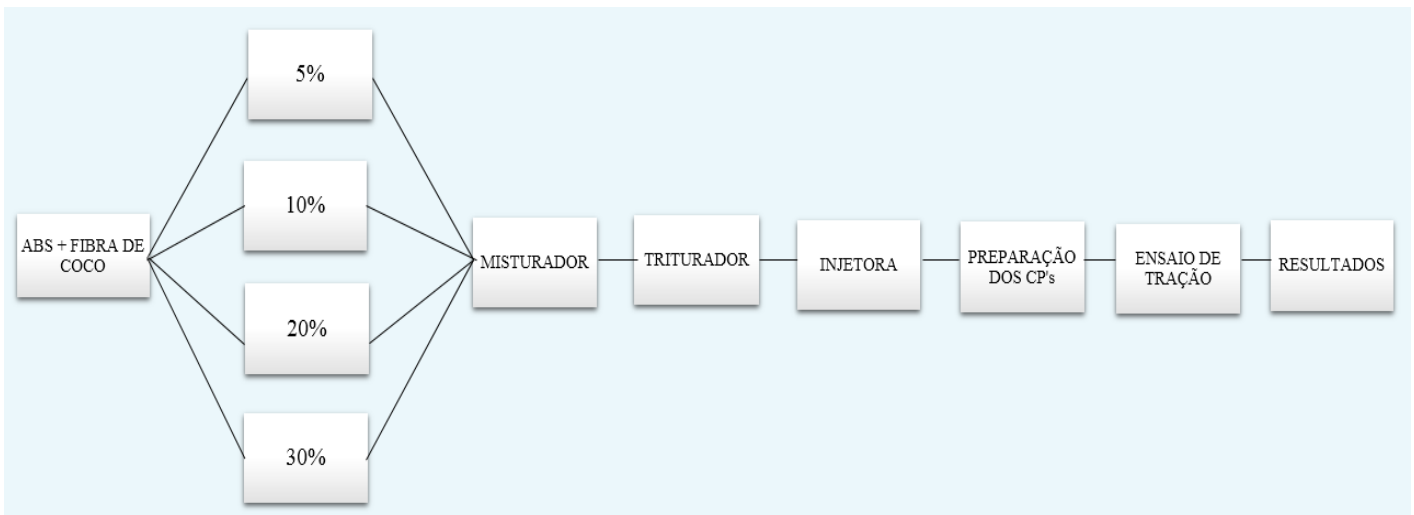
O sistema escolhido foi o processo de injeção, processo simples com objetivo de derreter o compósito polimérico e esculpi-lo de acordo com o molde. Utilizando a injetora, fabricamos os corpos de prova com diferentes proporções de adições da fibra de coco no ABS, de acordo com a ficha técnica do polímero.

O ensaio realizado com os produtos obtidos da injeção, foi o Ensaio de Tração.

Após a realização do ensaio, foram analisados suas principais características e comportamentos para cada carga de ensaios aplicados.

O fluxograma abaixo demonstra o passo a passo de cada processo que tivemos em nosso trabalho.

Figura 18 – Fluxograma de Etapas do Processo



Fonte: Autores, 2019.

3.1 Materiais Utilizados

3.1.1 ABS

O polímero ABS foi cedido pelo Centro Universitário de Volta Redonda.

3.1.2 Fibras de Coco

As fibras de coco utilizadas no presente trabalho foram cedidas por um aluno de mestrado do Centro Universitário de Volta Redonda.

Figura 19 – Fibra de coco



Fonte: <https://www.tocadoverde.com.br/fibra-de-coco-200g.html>

➤ Moagem das Fibras de Coco

A moagem das fibras de coco foi realizada no laboratório do Centro Universitário de Volta Redonda em peneiras de 630, 425, 300, 250 e 200 μm , através de um agitador de peneiras por vibração.

➤ Mistura e Trituração dos compósitos das Fibras de Coco com o Polímero ABS

As fibras de coco foram misturadas com a matriz polimérica através do equipamento misturador com a finalidade de obter uma mistura homogênea para a realização dos compósitos. Cada material foi dividido em sacos plásticos distintos e foram pesadas as quantidades necessárias de polímero ABS e a quantidade necessária de fibras (de acordo com cada porcentagem desejada) para o início do processo de mistura. O conteúdo de cada conjunto com as devidas porcentagens de fibras e ABS foi despejado no alimentador do misturador e foi ligada a máquina para dar início ao processo para que a mistura dos dois componentes fosse homogênea.

Figura 20 - Misturador



Fonte: Autores, 2019.

Figura 21 - Compósito Resultante da Mistura



Fonte: Autores, 2019.

Após o processo de mistura concluído, cada produto gerado foi levado a outro processo, denominado trituração, para que cada mistura fosse reduzida a pequenos pedaços e estivesse preparada para ser injetada na máquina, o processo e a máquina utilizada estão ilustrados abaixo:

Figura 22 - Triturador



Fonte: Autores, 2019.

Figura 23 - Material Resultante do Processo de Trituração



Fonte: Autores, 2019.

3.1.3 Injetora

➤ Processo de Injeção dos Compósitos

Para a injeção dos materiais, foi utilizada uma injetora vertical do laboratório do UniFOA que foi disponibilizada para nosso estudo, em Volta Redonda. A Figura abaixo mostra a injetora, máquina que foi utilizada para gerar os corpos de prova.

Figura 24 - Injetora



Fonte: Autores, 2019.

Nesta etapa, foram geradas as amostras de ABS reforçadas com as seguintes porcentagens de fibras de coco: 5, 10, 20 e 30 por cento (3 corpos de prova para cada porcentagem). Os compósitos foram obtidos a partir de fibras de coco puras.

Figura 25 - Corpo de Prova no Molde da Injetora



Fonte: Autores, 2019.

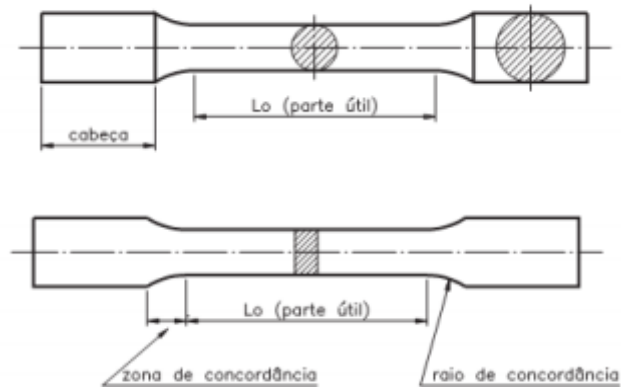
3.1.4 Ensaio de Tração

Para análise no ensaio de tração, a força (ou tensão) é medida enquanto a amostra está sendo deformada a uma taxa constante; e tem, tradicionalmente, sido o mais popular e universal teste utilizado dentro dos testes mecânicos.

O ensaio de tração foi realizado no laboratório de ensaios mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA.

Primeiramente foi feita a marcação em cada corpo de prova com o comprimento inicial de 60mm que é conhecido como sendo a parte útil (L_0) do corpo de prova onde fica a região que são feitas as medidas das propriedades mecânicas do material. As cabeças do corpo de prova (regiões extremas), servem para segurar o corpo de prova na máquina, fazendo com que a força operante na máquina seja axial. Além disso, devem possuir a seção maior do que a parte útil afim de que a ruptura do corpo de prova não aconteça nelas. Como em nosso trabalho utilizamos três corpos de prova para cada proporção de fibra de coco, medimos as espessuras e as larguras de todos os corpos de provas para ter uma média de cada medida para ser utilizado como informações no programa da máquina de tração.

Figura 26 - Corpo de Prova de Ensaio de Tração



Fonte: Gabrieli Dalcin

A máquina de ensaio de tração foi planejada para esticar o corpo de prova a uma taxa contínua, além de medir constantemente e simultaneamente a carga instantânea aplicada (com uma célula de carga) e os alongamentos resultantes (usando um extensômetro). Em nosso trabalho, a máquina universal utilizada foi a EMIC DL 10.000, possui capacidade de 100 KN, célula de carga de 5 KN, a uma velocidade de 5mm/min.

O ensaio de tração levou poucos minutos para ser executado e é um ensaio destrutivo, isto é, o corpo de prova testado é deformado de modo permanente, sendo geralmente fraturada. O resultado de um ensaio de tração normalmente é registrado em um registrador gráfico ou por um software de computador, na forma de carga ou força em função do alongamento.

Figura 27 - Máquina de Ensaio de Tração



Fonte: Autores, 2019.

As tabelas a seguir, demonstram os compósitos obtidos com os seus respectivos teores de proporção de adição de reforço.

Tabela 7 - Quantidade de ABS com Fibra de Coco em %

Amostras	Quantidade de ABS (% m/m)	Quantidade de Reforço (% m/m)
ABS com Fibra de Coco	100	0
ABS com Fibra de Coco	95	5
ABS com Fibra de Coco	90	10
ABS com Fibra de Coco	80	20
ABS com Fibra de Coco	70	30

Fonte: Autores, 2019.

Analisando a tabela abaixo, observa-se que o compósito de ABS com 70% de fibra de coco tem módulo de elasticidade maior que o ABS puro, demonstrando que a fibra de coco promoveu um acréscimo em sua rigidez.

Tabela 8 - Resultados de Elasticidade e Modulo de Elasticidade da Mistura dos Materiais

Amostras com % de ABS	Elasticidade (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
ABS com Fibra de Coco (100-ficha técnica)	178	527
ABS com Fibra de Coco (95)	34	460
ABS com Fibra de Coco (90)	35	494
ABS com Fibra de Coco (80)	37	575
ABS com Fibra de Coco (70)	40	654

Fonte: o Autor

A tabela 9 apresenta os resultados de tensão e deformação dos diferentes teores de fibra de coco na matriz polimérica do ABS, que poderá ser melhor visualizado no próximo capítulo com o gráfico de Tensão x Deformação.

Tabela 9 – Resultados de Tensão e Deformação da Mistura dos Materiais

Amostras com % de ABS	Tensão (MPa)	Deformação (%)
ABS com Fibra de Coco (95)	38	16,3
ABS com Fibra de Coco (90)	37	13,9
ABS com Fibra de Coco (80)	38	11,9
ABS com Fibra de Coco (70)	41	11,9

Fonte: Autores, 2019.

Comparando os nossos resultados com os resultados de Tensão x Deformação um trabalho baseado em “compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibra de coco”, cujo autor é Jorge Antônio Vieira Gonçalves (tabela comparativa à baixo), observa-se que a matriz polimérica ABS possui maior resistência a tração e maior deformação.

Tabela 10 - Resultados de Tensão e Deformação da Mistura dos Materiais de Resina Epóxi com Fibra de Coco

Amostras com % de Resina Epóxi	Tensão (MPa)	Deformação (%)
Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibra de coco (90)	13,6	2,2
Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibra de coco (80)	16,5	3,5
Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibra de coco (70)	18,3	5,2

Fonte: Jorge Antônio Vieira Gonçalves

A ficha técnica a baixo mostra as informações do fabricante do ABS puro, como sua resistência à tração de 43 MPA e o módulo de elasticidade de 2260 MPA.

Figura 28 - Ficha Técnica do ABS AE 8000

FICHA TÉCNICA	ABS			AE8000		
PROPRIEDADES	ISSO			ASTM		
REOLÓGICA	NORMA	UNIDADE	VALOR	NORMA	UNIDADE	VALOR
Índice de Fluidez (200 °C, 5Kg)	1133	g/10 min	-	D-1238	g/10 min	-
Índice de Fluidez (220 °C, 10Kg)	1133	g/10 min	5	D-1238	g/10 min	5
MECÂNICAS						
Resistência à tração na ruptura	527	MPa	43	D-638	MPa	43
Resistência à flexão	178	MPa	69	D-790	MPa	69
Módulo elástico por flexão	178	MPa	2260	D-790	MPa	2260
Dureza rockwell	2039/2	Escala-R	R-100	D-785	Escala-R	R-100
Resistência impacto	R180	J/m	392	D-256	J/m	392
TÉRMICAS						
Temperatura de amolecimento Vicat	306	°C	102	D-1525	°C	102
Temperatura de deflexão sob carga	75/A	°C	86	D-648	°C	86

Fonte: INNOVA

3.1.5 TGA

Os ensaios de termogravimetria foram realizados em um TGA 7 da PerkinElmer Ltda, disponível em Laboratório de Caracterização dos Materiais da UFRJ – Fundão, sendo utilizado as seguintes condições de análise:

- Massa aproximada de 10 mg;
- Taxa de aquecimento de 10°C.min⁻¹;
- Fluxo de nitrogênio de 20mL.min⁻¹;

- Faixa de temperatura de 30°C a 950°C;
- Panelinhas de platina.

Os testes visavam avaliar a influência da adição de fibra de coco no copolímero de ABS através da variação da massa da amostra, em função do tempo e da temperatura e com isto, determinar as temperaturas de degradação e a temperatura máxima de uso.

4.0 ANÁLISE E RESULTADOS

4.1 Análise do Ensaio de Tração

Cada amostra foi fabricada com porcentagens de ABS e fibra de coco diferentes. Foram produzidas 12 amostras, sendo 03 corpos de prova para cada porcentagem, para encontrar o balanceamento.

Definida as proporções de cada material, foram criados 04 grupos:

- O grupo 1 foram feitas amostras com 70% de ABS e 30% de Fibra de Coco.
- O grupo 2 foram feitas amostras com 80% de ABS e 20% de Fibra de Coco.
- O grupo 3 foram feitas amostras com 90% de ABS e 10% de Fibra de Coco.
- O grupo 4 foram feitas amostras com 95% de ABS e 5% de Fibra de Coco.

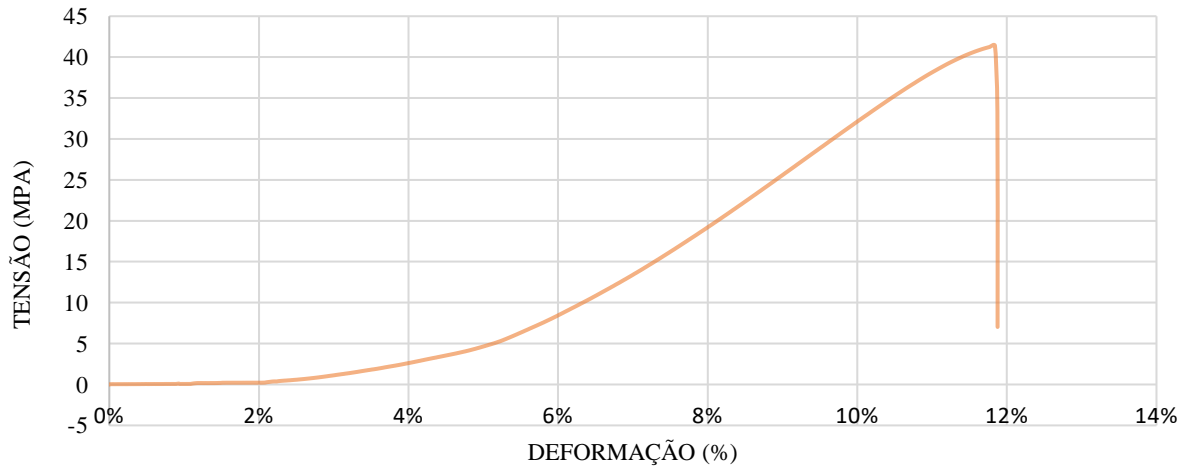
No ensaio de tração, cada grupo apresentou diferenças em relação as propriedades mecânicas. Para mostrar essa diferença entre os grupos foi produzido um gráfico de Tensão (σ) x Deformação (ϵ) que consiste em um média da curva de cada amostra.

O gráfico 1 mostra os valores que pertencem aos corpos de prova do grupo 1, e através da média obteve-se o valor usado para demonstrar as propriedades do material formado. Ele é composto por dois eixos, sendo que, no eixo Y estão os valores de tensão e no eixo X os valores de deformação (em %).

As amostras do grupo 1, como podem ser observados no gráfico 1, foi o grupo que apresentou a menor deformação, sendo aproximadamente 11,9%, entretanto foi considerado o material mais rígido, possuindo o valor do Módulo de Young mais alto, 654 MPa, e sua tensão foi de 41 MPa.

Figura 29 - Gráfico 1 - 70% de ABS

TENSÃO X DEFORMAÇÃO

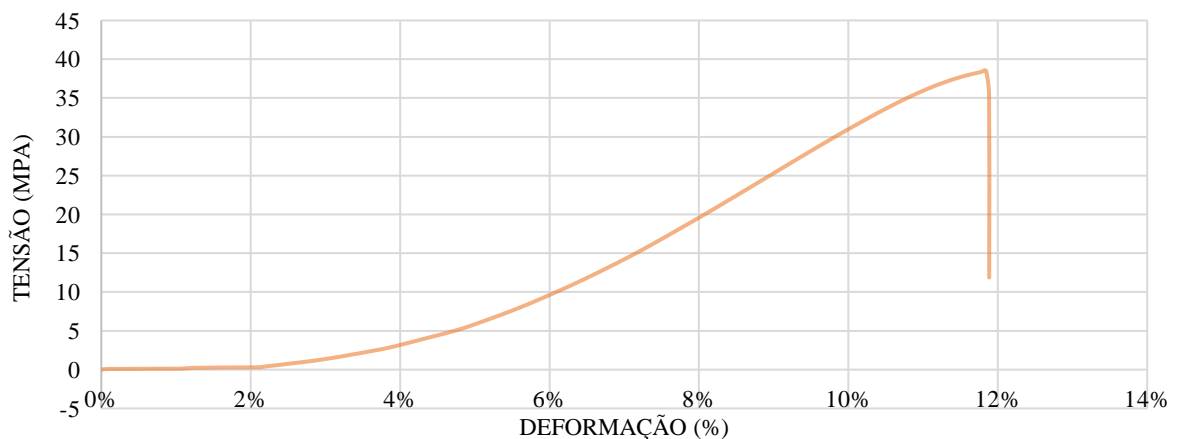


Fonte: Autores, 2019.

Já os materiais do grupo 2, mostrados no gráfico 2, obteve resultados de tensão superior ao grupo 3, sendo 38 MPa sua tensão e 575 MPa seu Módulo de Young. Porém sua deformação foi de aproximadamente 11,9%.

Figura 30 - Gráfico 2 - 80% de ABS

TENSÃO X DEFORMAÇÃO

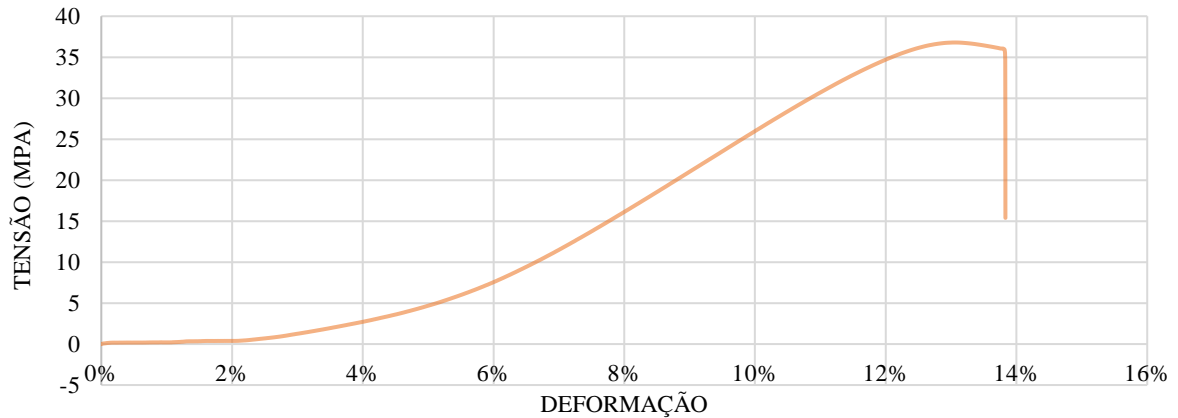


Fonte: Autores, 2019.

No gráfico 3 é possível observar que o grupo 3, obteve uma tensão de 37 MPa, porém sua deformação foi maior, de aproximadamente 13,9%, apresentando ser um material mais rígido.

Figura 31 - Gráfico 3 - 90% de ABS

TENSÃO X DEFORMAÇÃO

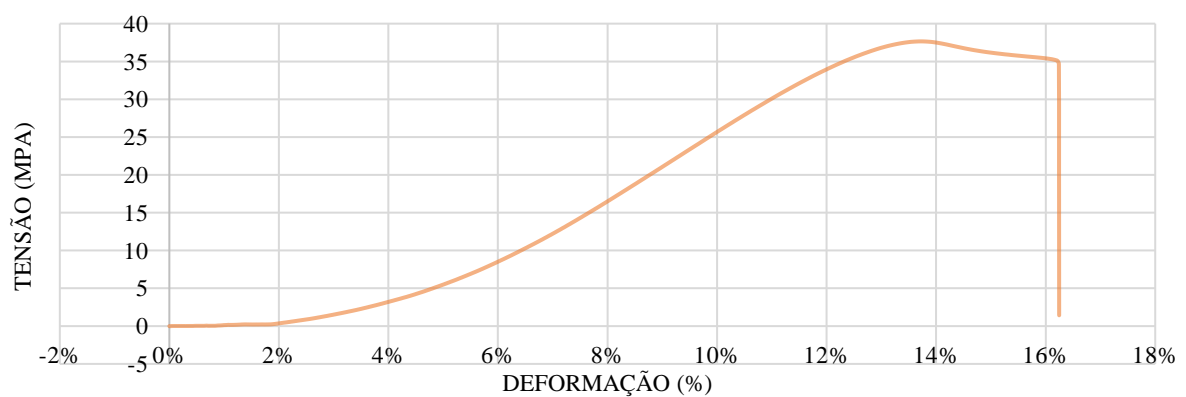


Fonte: Autores, 2019.

Para o grupo 4, de acordo com o resultado do ensaio de tração, o valor da tensão foi igual a 38 MPa e da deformação igual a aproximadamente 16,3%. O módulo de Young desse grupo foi o menor, com valor igual a 460 MPa, mostrando que esse material é o mais rígido e a força a ser aplicada para que ele se rompa foi menor.

Figura 32 - Gráfico 4 - 95% de ABS

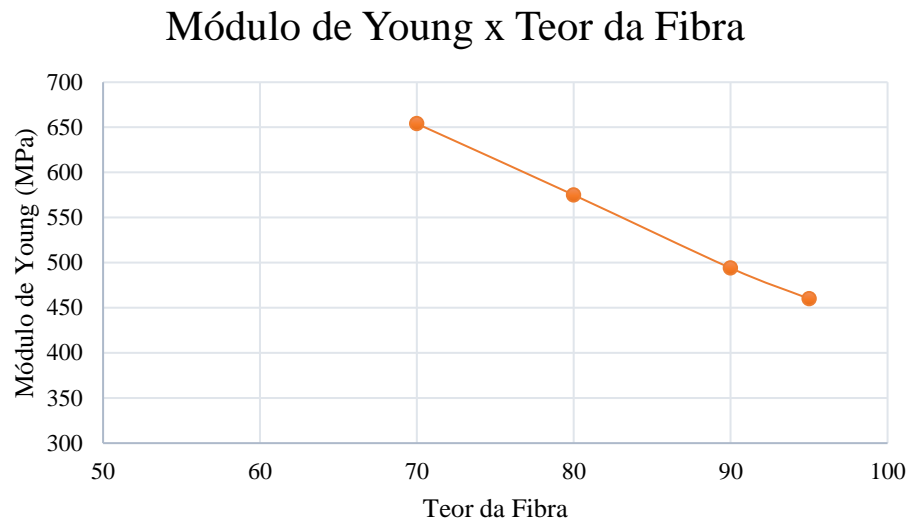
TENSÃO X DEFORMAÇÃO



Fonte: Autores, 2019.

No gráfico 5 temos no eixo Y o Módulo de Young e no X o teor da fibra de coco. Ele ilustra que conforme as porcentagens de adição da fibra de coco no ABS vão aumentando o Módulo de Young também aumenta.

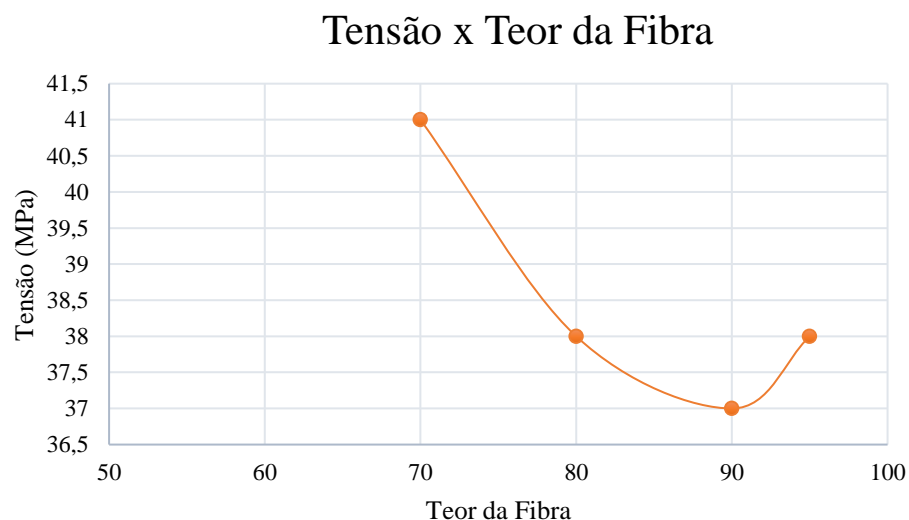
Figura 33 - Gráfico 5 - Módulo de Young x Teor da Fibra



Fonte: Autores, 2019.

O gráfico 6 demonstra que quanto maior for o teor de fibra de coco adicionada ao ABS, maior será o valor da tensão que o material vai precisar para que ocorra o rompimento. Porém com teor de 10% de fibra de coco no abs, o valor da tensão de tração diminui, mostrando que esse material foi mais frágil ao ensaio de tração.

Figura 34 - Gráfico 6 - Tensão x Teor da Fibra

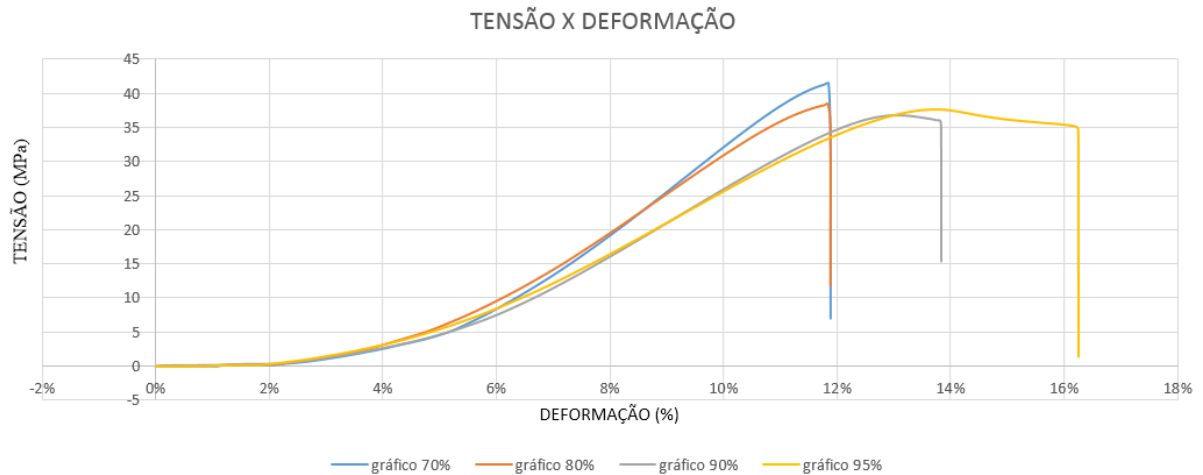


Fonte: Autores, 2019.

O gráfico abaixo mostra os resultados de Tensão x Deformação para cada amostra de ABS reforçada com as respectivas porcentagens de fibra de coco. Pode-se constatar que quanto

maior for a quantidade de fibra de coco adicionada, maior será a resistência mecânica à tração do corpo, ao contrário da deformação que com o mesmo aumento de fibra ela diminui.

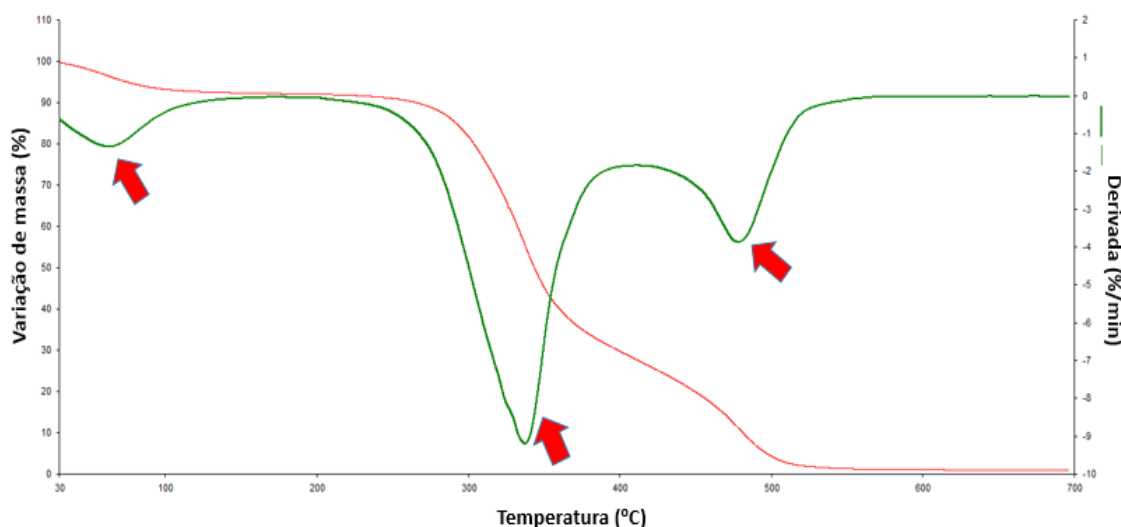
Figura 35 - Gráfico de Comparação entre os Diferentes Teores de Fibra de Coco na Matriz polimérica do ABS



4.2 Análise de TGA

A termogravimetria da fibra de coco apresentou três degraus de perda de massa conforme pode ser notado curva e, também, na derivada (DTG) através dos picos (Figuras 36).

Figura 36 - Curva de TGA (Termogravimetria) da Fibra de Coco.



Fonte: Autores, 2019.

A primeira variação ocorre, inicialmente, a temperatura ambiente e vai até a temperatura de 125°C e é característica da perda de materiais voláteis e da umidade contida nas fibras que para este caso foi de 7,37%.

Posteriormente ocorreu uma perda de massa de aproximadamente 60,28% (entre 125°C e 387°C) com T_i (Temperatura de início de degradação) de 220,06°C referente a decomposição dos polissacarídeos, especialmente a hemicelulose, a β -celulose e a celulose que se decompõe em açúcares monoméricos, aldeídos, furfurais, furanos e ácido acético (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018; OLIVEIRA et al., 2014; SILVA et al., 1998).

Embora a lignina apresente uma taxa de perda de massa relativamente constante em todo a faixa de aquecimento, sua perda é máxima em torno de 430°C devido a sua estrutura condensada e a presença de hidroxilas nos compostos guaiacólicos, siringílicos e hidroxifenólicos. Por isso, a terceira perda de massa, que foi de 31,23% entre 387°C e 600°C, e que ocorreu em uma T_i de aproximadamente 430°C foi associado a este material e aos seus resíduos de degradação (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018; OLIVEIRA et al., 2014; SILVA et al., 1998).

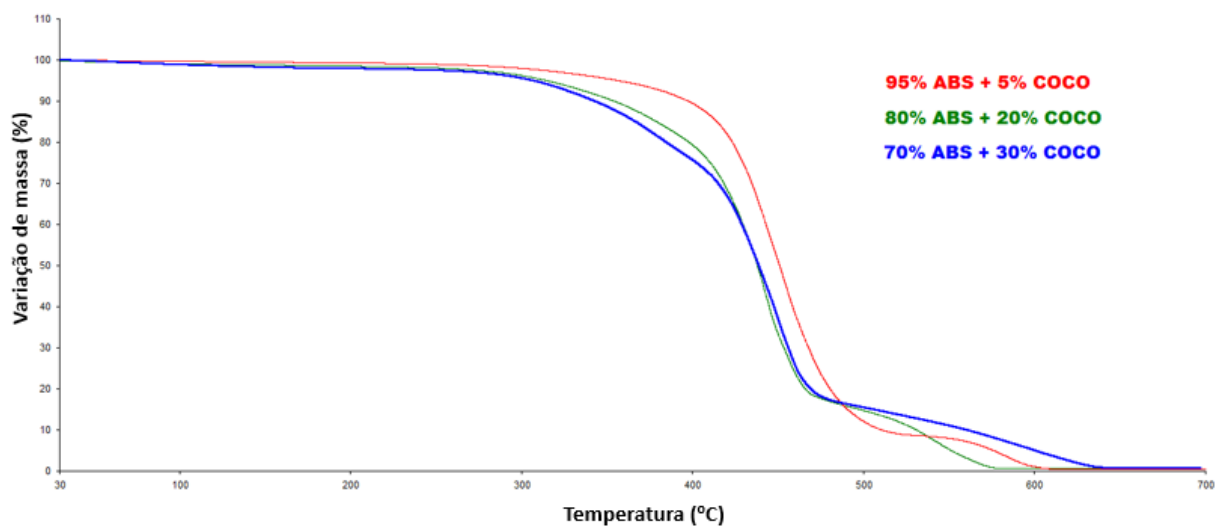
Além disto, o material apresentou um resíduo de 0,81% em 700°C, indicando baixo teor de carbono fixo.

Os compósitos de coco com ABS na proporção de 70%, 80% e 95% de matriz, apresentaram, respectivamente, T_i de 234,78°C, 239,93°C e 246,67°C. Estas temperaturas são

intermediárias entre a temperatura de início de degradação da fibra (220,06°C) e do polímero (266,22°C) e proporcionais aos teores de fibra acrescido a mistura (Figura 37).

Além disto, as misturas com menores teores de fibra (80% e 95%), apresentam apenas dois patamares de perda de massa, agindo como uma mistura perfeita. Já o compósito com 70% de matriz, ou seja, com maior teor de fibra apresenta um terceiro patamar de degradação entre 200°C e 396°C de 21,15% relativo a perda de hemicelulose, β -celulose e celulose.

Figura 37 - Curvas de TGA (Termogravimetria) dos Compósitos com 70%, 80% e 95% de Matriz.



Fonte: Autores, 2019.

5.0 CONCLUSÃO

Observando o gráfico Tensão x Deformação, concluímos que, com maior quantidade de fibra de coco (proporção de 70% de ABS e 30% de fibra de coco) provocou melhoria na resistência mecânica a tração ao ABS, aumentando assim sua tensão de 38 MPa (dado do gráfico 4, figura 34) para 41 MPa (dado do gráfico 1, figura 31), porém diminuiu sua capacidade de deformação elástica.

Considerando os valores da ficha técnica (figura 28) do ABS, podemos observar que o valor da resistência à tração é de 43 MPa e nosso valor próximo do ABS puro (95%) é 38 MPa. Levando-se em conta as condições de processamento e a falta de alguns ensaios que não foram possíveis de serem realizados devido à falta de estrutura, concluímos que para melhor análise e avaliação do presente compósito, era necessário realizar o ensaio com o material in-natura que não foi possível pela falta de material e o ensaio do MEV para melhor verificação da sua microestrutura e avaliação de possíveis defeitos que não são vistos macroscopicamente.

Com os dados obtidos nas curvas de termogravimetria é possível afirmar que a fibra de coco pode ser utilizada como reforço particulado do polímero ABS, visto que a mesma apresenta temperatura de degradação superior à temperatura de fusão deste termoplástico, que de acordo com a literatura é de 175°C.

Com o aumento do teor de fibra, há uma conseqüente diminuição da temperatura de início de degradação do compósito em relação a T_i do ABS.

6.0 TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos neste trabalho, devido à falta de estrutura, fica como sugestão futura, fazer a análise com o MEV para verificação da microestrutura do compósito e fazer o ensaio de DSC, além do ensaio de flexão.

7.0 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. **Composite Reinforced with Celulose Based Fibers**. Prog. Polym. Sci., Elsevier, v.24, p.200-272, 1999.

CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**, ed. 4, John Wiley & Sons, USA, 1997.

CARASCHI, J. C. & LEÃO, A. L.. **Mechanical Properties of Curaua Fiber Reinforced Polypropylene Composites**. In: Natural Polymers and Composites, São Pedro, SP, 2000.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. **Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola**. Hort. Bras. V. 20, n.4, 533-535. 2002.

CORRADINI, E.; ROSA, M. F.; MACEDO, B. P.; PALADIN, P. D.; MATTOSO, L. H. **C.Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 31, n. 3, p.837-846, 2009.

FERREIRA, J.M.S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA, L.A . **Cultura do Coqueiro no Brasil**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Aracajú: EMBRAPA-CPATC; 1994, 292p.

HOMMA, A. K.O. **O Desenvolvimento da agroindústria no estado do Pará**. Saber. Ciências exatas e tecnologia, Belém. v. 3, Edição Especial, p. 49-76, jan./dez. 2001

JACOB, M. & THOMAS, S. **Biofibres and Biocomposites**. Kottayam, Kerala, India [S.I.:s.n.], [2003].

MEDINA, J. C. **Plantas Fibrosas da Flora Mundial, Instituto Agrônomo de Campinas**, p. 787-792, 1959.

PASSOS, P. R. A. **Destinação Sustentável de Cascas de Coco Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas**. Rio de Janeiro, 2005. 166 f. Tese (Doutorado em ciências em planejamento estratégico) – Programa de pós-graduação em Engenharia, Universidade

Federal do Rio de Janeiro.

ROSA, M. F.; SANTOS, S. J. S.; MONTENEGRO, A. T. *et al.* **Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola.** EMBRAPA, Comunicado Técnico 54. Fortaleza, 2001.

SANTIAGO, B. H.; SELVAM, P. V. P. **Tratamento superficial da fibra do coco: estudo de caso baseado numa alternativa econômica para fabricação de materiais compostos.** Revista Analytica, n.26. p.42-45. 2006/2007.

SANTOS, A. M. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e de coco para aplicações em Engenharia.** 2006, 90f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SATYANARYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. **Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications.** In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 38, p.1694–1709, 2007.

SENHORAS, E. M. **Estratégias de uma Agenda para a Cadeia Agroindustrial do Coco: Transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes.** Campinas, 2003. 36 f. Monografia, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas.

SPARNIAŠ, E. **Mechanical properties of flax fibers and their composites.** Licentiate Thesis. Sweden, 2006. 84p.

TASSARA, H. **Frutas no Brasil.** Disponível em: <
<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/especiais/frutasnobrasil/coco.html>> Acesso em 05 jun. 2019.

TOMCZAK, F.; SATYANARAYANA, K.G.; SYDENSTRICKER, T.H.D. **Studies on lignocellulosic fibers of Brazil: Part III – Morphology and properties of Brazilian curauá fibers.** In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v.38, p. 2227-2236, 2007.

UNICAMP. Instituto de Economia. **Estudo da competitividade das cadeias integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comercio**. Cadeia: Plásticos. Campinas, 2002.

VAN DAM, J. E. G. et al, **Process for production of high density/high performance binderless boards from hole coconut husk. Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin**. Industrial Crops and Products. v.19, n.3, p. 207-216, 2004.

CARVALHO, J. A. L. **Compósitos de resina benzoxazina / biomassa extraída do resíduo da lavagem do açaí: obtenção e caracterização**. 2019. 101 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Universidade de Volta Redonda -UniFOA, Volta Redonda, 2019.

COSTA, A.C.A. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina reforçados com fibra da casca de noz-macadâmia**. Dissertação de Mestrado profissional em materiais- UniFOA, Volta Redonda, 2018.

OLIVEIRA, J. C.; CASTRO, E. G.; MIRANDA, C. S.; GONÇALVES, A. P. B. **Avaliação térmica e espectroscópica da celulose, hemicelulose e lignina extraídas da fibra de Licuri (SYAGRUS CORONATA)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 21., Cuiabá, **Anais...** Cuiabá-MT: CBCiMat, 2014. Nov.2014.

QUELHO, P. E. Q. **Desenvolvimento de extrusora experimental e software para controle e supervisão das variáveis de extrusão do ABD**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais)- Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2018.

SILVA, S. S.; CARVALHO, R. R.; FONSECA, J. L. C.; GARCIA, R. B. **Extração e Caracterização de Xilanas de Sabugos de Milho**. **Polímeros**, São Carlos, v.8, no. 2, Apr./June 1998.

SUZUKI, M; WILKEI, C. A. **The thermal degradation of acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer as studied by TGA/FTIR**. **Polymer**, Amsterdam, Elsevier, v.47, Issue 2, p. 217-221, 1995.

Plastbrinq, 2018. **Injetora de Plástico**. Disponível em: <<https://plastbrinq.com.br/injetora-de-plastico/>> Acesso em 29 set. 2019.

Plastbrinq, 2018. **Como Funciona a Máquina Injetora de Plástico**. Disponível em: <<https://plasticovirtual.com.br/como-funciona-uma-maquina-injetora/>> Acesso em 29 set. 2019.

IBT, plástico, 2018. **Processo de Injeção**. Disponível em: <<http://www.ibtplasticos.ind.br/processo-de-injecao>> Acesso em 29 set. 2019.

IBT, plástico, 2018. **Processo de Injeção**. Disponível em: <<http://www.ibtplasticos.ind.br/processo-de-injecao>> Acesso em 29 set. 2019.

DALCIN, G.. **Ensaio de Materiais**, URI, Santo Angelo, Curso de Engenharia Industrial Mecânica. v.8, no. 2, Jan, 2007. Acesso em 12 out. 2019

BARRA,Guilherme. **Fundamentos da Reologia de Materiais Poliméricos**. Apostila de processos 4 do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia,2018.