

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

LAIZA GABRIELA SANCHES PERES

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS
DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE COM FIBRA DE COCO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2018

LAIZA GABRIELA SANCHES PERES

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS
DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE COM FIBRA DE COCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais na Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Cezar Ferreira

LONDRINA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

LAIZA GABRIELA SANCHES PERES

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE COM FIBRA DE COCO

Trabalho de conclusão de curso apresentado no dia 12 de março de 2018 como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Fábio Cezar Ferreira
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Química)

Prof.^a. Dra. Alessandra Stevanato
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Química)

Prof.^a Dra. Priscila Schroeder Curti
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Química)

Prof.^a Dr.^a Silvia Midori Higa
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)
Coordenador do Curso de Engenharia de Materiais

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que me deu forças e orientação para seguir até o momento.

Aos meus pais, Mauricio e Edi, e à minha irmã Nara por me ensinarem o que é Família, o que é Amor. À minha prima Letícia que sempre esteve presente mesmo a quilômetros de distância.

Às minhas amigas, Livea, Maria e Nicole que sempre me apoiaram e deram suporte nos piores momentos. Eu amo vocês.

À Casa das Princesas, Carol, Fran, Juliana, Larissa Campanha, Larissa Borges, Manu, Marina, onde vivi momentos de muita alegria. Eu amo vocês.

A todas as amigas que fiz durante o período de graduação e que me fizeram crescer cada dia mais.

Agradeço ao pessoal da Seicho-no-ie de Londrina, em especial às meninas do Seinen (Carla, Gisele, Lissa, Midori, Paty Fukushima, Paty Shinohara, Tiemi e Vanessa) que sempre me deram apoio, principalmente espiritual e me ajudaram a descobrir muito do meu potencial.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Fábio C. Ferreira, que dividiu comigo amizade e conhecimento.

As professoras da banca, Alessandra e Priscila, por aceitarem fazer parte desta etapa final e contribuírem para a minha formação.

Ao professor Dr. Carlos E. Cava, muito obrigada por me apresentar à pesquisa e me ajudar a descobrir minha admiração por polímeros.

Ao técnico Filippe Bernardino e estagiários Carlos e Vitor pelo apoio físico e pela amizade durante os dias de laboratório e ensaios.

Agradeço a Embrapa Instrumentação, Unidade São Carlos, que auxiliou na realização de alguns resultados. Agradeço também à pesquisadora Elaine C. Paris e aos doutorandos: Camila Sciena e João Otávio Malafatti pelo apoio.

Por fim, agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina por todo apoio estrutural durante os anos de graduação.

RESUMO

PERES, L.G.S. OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE COM FIBRA DE COCO. 2018. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso 2 – Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

Um meio de estabilizar a atual situação ambiental do planeta é incorporar cada vez mais materiais biodegradáveis em bens duráveis. Novas tecnologias utilizando como matéria-prima materiais reaproveitados de diversos setores da sociedade vem ganhando o olhar de pesquisadores e principalmente da indústria que tem como custo/benefício seu principal item de produção. Dessa forma, foram produzidos corpos de prova de compósitos com matriz de polietileno de baixa densidade reforçados com fibras de coco, pelo menor número de etapas possível, e submetidos a ensaios de tração e caracterização por espectroscopia de infravermelho, calorimetria exploratória diferencial e microscopia eletrônica de varredura a fim de quantificar e qualificar as propriedades do produto final. Ao fim deste trabalho conclui-se que os compósitos formados apresentaram baixa adesão devido à fibra não ter sofrido nenhum tratamento superficial, resultando no decréscimo das propriedades em módulo, bem como baixa homogeneidade devido à dispersão dos dois materiais ter sido feita manualmente. Dessa forma, com o tratamento superficial das fibras e com a mistura dos materiais feita por uma extrusora, espera-se que a resistência mecânica da fibra seja aumentada.

Palavra-chave: adesão, matriz, reforço, interface.

ABSTRACT

PERES, L. G. S. **OBTAINING AND CHARACTERIZING POLYSTYRENE COMPOSITES FROM COCONUT FIBER**. 2018. 60f. Qualification Examination of the course completion work - Department of Materials Engineering, Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2018.

A means of stabilizing a current environmental situation on the planet and incorporating more and more biodegradable materials into durable goods. New technologies, as raw material reused materials from various sectors of society has been gaining the look of researchers and industry companies that has as cost-benefit their main item of production. In this way, samples of low density polyethylene matrix reinforced with coconut fibers were produced by the smallest possible number of tapes and subjected to tensile tests and characterization by infrared spectroscopy, differential scanning calorimetry and electron microscopy. scan an order to quantify and qualify as property of the final product. At the end of this work, it is a problem that is a superficial problem, resulting in the decrease of properties in module, as well as low homogeneity due to the dispersion of the two materials printed manually. With the surface treatment of the fibers and with a mixture of the materials made by an extrusion, the mechanical strength of the optimum fiber is expected.

Keyword: adhesion, matrix, reinforcement, interface.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Imagem da parte interna da porta de um BMW i3 revestido com fibra natural.	12
Figura 2	– Cocos que se transformaram em rejeito após o consumo da própria água.	14
Figura 3	– Esquema de componentes da parede celular A – vista de um corte transversal e B – vista de um corte longitudinal.	15
Figura 4	– Estrutura da celubiose (unidade repetitiva da celulose).	16
Figura 5	– Formas de representação da molécula β -D-glucose.	17
Figura 6	– Representação esquemática da formação de celulose.	18
Figura 7	– Fórmulas de classificação de açúcares presentes na hemicelulose.	19
Figura 8	– Unidades aromáticas de lignina.	19
Figura 9	– Estrutura da lignina em madeira.	20
Figura 10	– Em A – coqueiro gigante e em B – coqueiro anão.	21
Figura 11	– Estrutura do coco.	22
Figura 12	– Fluxograma das três etapas para produção de plásticos.	24
Figura 13	– Esquema simplificado da polimerização por adição do polietileno.	26
Figura 14	– Comparativo de quantidade de ramificações entre a) PEBD e b) PEAD.	26
Figura 15	– Esquema de formação de um compósito.	27
Figura 16	– Padrão de deformação de uma matriz envolvendo uma fibra quando submetida a uma carga de tração.	28
Figura 17	– Representação dos conceitos de interface e interfase.	30
Figura 18	– Em a) compartimento de um DSC de fluxo de calor: 1) cadinho com amostra, 2) cadinho com material de referência, 3) forno, 4) aquecedores, 5) sensor, 6) entrada do gás de purga. Em b) curva típica de DSC com picos endo e exotérmicos.	31
Figura 19	– Representação do princípio de funcionamento de espectroscopia no IV por reflectância total atenuada (ATR).	33
Figura 20	– Diferentes sinais emitidos ao incidir feixe de elétrons primários.	34
Figura 21	– Curvas do comportamento mecânico de um material polimérico.	36
Figura 22	– Fluxograma do procedimento a ser seguido neste trabalho.	37
Figura 23	– Três etapas para obtenção da fibra no estado ideal para prensagem: A – fruto cortado; B – fibras extraídas e C – fibras picadas, aproximadamente, em 1 cm.	38
Figura 24	– Prensa hidráulica Marconi utilizada para produção das placas.	39
Figura 25	– Etapas do processo de prensagem - pré: A – PEBD puro, B – PEBD + Fibra; pós: C – PEBD puro, D – PEBD + Fibra.	40

Figura 26 – Produção dos corpos de prova. CPs destacados da placa, em A, com o estampo de aço; CP e estampo em B e CPs prontos para serem ensaiados, em C.....	41
Figura 27 – Infravermelho por ATR A – na fibra e B – no compósito PEBD com fibra.	42
Figura 28 – Espectros de infravermelho de fibra de coco ¹ (esquerda) e de polietileno de baixa densidade ² (direita).	44
Figura 29 – Espectro de infravermelho da fibra de coco e dos quatro compósitos. ...	45
Figura 30 – Espectro de infravermelho da fibra de coco.	45
Figura 31 – Espectros dos materiais analisados.	47
Figura 32 – Placas de compósito com 10% de fibra dispersas manual e aleatoriamente.	48
Figura 33 – Curvas de tensão x deformação do polietileno puro e do compósito com 2,5% de fibra de coco.	49
Figura 34 – Curvas de tensão x deformação do compósito com 5% e com 10% de fibra de coco.	49
Figura 35 – Em A- corpo de prova com 2,5% de fibra em alongamento da área útil (sinalizada) durante ensaio e em B- corpos de prova com 10% de fibra dispersas aleatoriamente.	51
Figura 36 – Imagem da microscopia eletrônica de varredura do compósito com 2,5% de fibra, em A* – com aumento de 50x e em B** – com aumento de 220x.	52
Figura 37 – Imagem de microscopia eletrônica de varredura do compósito com 5% de fibra, em A* – com aumento de 200x e em B** – com aumento de 1000x.	53
Figura 38 – Microscopia eletrônica de varredura do compósito de PEBD com 10% de fibra de coco A – in natura e B – tratada superficialmente.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação e tipos de fibras.	15
Tabela 2 – Composição de alguns tipos de fibras vegetais.	16
Tabela 3 – Exemplos de plásticos.	23
Tabela 4 – Propriedades dos dois principais tipos de polietileno.	27
Tabela 5 – Classificação dos ensaios mecânicos.	35
Tabela 6 – Especificação dos grupos funcionais de acordo com seu respectivo número de onda, analisados pelos espectros.	46
Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos quatro materiais ensaiados.	50

LISTA DE SIGLAS

ATR	<i>Attenuated Total Reflectance</i> – Reflectância Total Atenuada
BBC	British Broadcasting Corporation
BSE	<i>Backscattering Electron</i> – Elétrons Retroespalhados
CP	Corpo de prova
DSC	<i>Differential Scanning Calorimetry</i> – Calorimetria Exploratória Diferencial
FC	Fibra de coco
FTIR	<i>Fourier Transformed Infrared</i> – Infravermelho com Transformada de Fourier
IV	Infravermelho
KBr	Brometo de Potássio
LCB	<i>Long-chain branching</i> – Cadeia de Ramificação Longa
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PELBD	Polietileno linear de baixa densidade
PEUAPM	Polietileno de ultra alto peso molecular
PEUBD	Polietileno de ultra baixa densidade
SCB	<i>Short-chain branching</i> – Cadeia de Ramificação Curta
SE	<i>Secondary Electrons</i> – Elétrons Secundário

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1	Fibras Vegetais	15
4.2	Fibras de Coco	21
4.3	Polímeros	22
4.3.1	Polietileno	24
4.4	Compósitos	27
4.4.1	Compósitos Reforçados com fFibras.....	28
4.4.2	Matrizes Poliméricas	29
4.5	Técnicas de Caracterização	30
4.5.1	Calorimetria Exploratória Diferencial	30
4.5.2	Espectroscopia Absorção na Região do Infravermelho (iv)	31
4.5.3	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	33
4.6	Ensaio Mecânico	34
5	MATERIAIS E MÉTODOS	37
5.1.	Obtenção das Fibras Extraídas do Coco	38
5.2	Obtenção do Polietileno de Baixa Densidade	38
5.3	Secagem em Estufa	39
5.4	Prensagem	39
5.5	Produção dos Corpos de Prova	40
5.6	Caracterização	41
5.6.1	V – ATR.....	42
5.6.2	DSC	42
5.6.3	MEV	43
5.7	Ensaio de Tração	43
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6.1	IV - ATR	44
6.2	DSC	46
6.3	Ensaio de Tração	48
6.4	MEV	52
7	CONCLUSÃO	55
8	TRABALHOS FUTUROS	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Há algum tempo assuntos como alterações climáticas e aquecimento global, desastres ambientais e desequilíbrio do ecossistema são abordados com certa frequência a fim de enfatizar a importância e o cuidado que tais temas apresentam, visando o desenvolvimento sustentável (MARINELLI, *et al*, 2008). Tendo em vista a necessidade de minimizar tais problemas ambientais, a procura por novos materiais que respondam a essas especificações tem aumentado significativamente, provocando o desenvolvimento de compósitos que utilizem fibras naturais como reforço (ISHIZAKI, *et al*, 2006).

A biodiversidade do Brasil é uma das mais ricas do planeta, por isso, tem como destaque a produção de fibras, tais como de sisal, de coco, de rami, de algodão, de juta, dentre outras (SANTOS, *et al*, 2010). Fibras naturais são fontes renováveis, biodegradáveis e de baixo custo. Além de contribuir com o menor impacto ambiental, sua utilização também é empregada para obtenção de materiais com melhor desempenho mecânico. Fibras vegetais dispõem de menor densidade, além de provocar menor desgaste em comparação com as sintéticas (MATTOSO *et al*, 2008).

Na indústria automobilística a utilização de fibras vegetais é considerada uma alternativa valiosa visto que, em sua maioria, as fibras sintéticas são bastante empregadas em compósitos nos automóveis. A BMW é uma das empresas que já vem utilizando fibras naturais em seus veículos; estes materiais têm maior empregabilidade na parte interna das portas (Figura 1) (SANTOS, 2006). Para que o mercado receba carros elétricos com bom desempenho, como é o caso do BMW i3, faz-se necessário reduzir o peso do veículo para que haja melhor mobilidade elétrica e a utilização de fibras naturais é a melhor opção para alcançar tal resultado; a utilização dos compósitos permite uma redução de peso entre 20 e 50% nos carros (BMW GROUP, 2014).

Figura 1 – Imagem da parte interna da porta de um BMW i3 revestido com fibra natural.



Fonte: ATZ, 2014.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo das propriedades obtidas para um compósito polimérico de polietileno reforçado com fibra de coco.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Produzir e caracterizar um compósito polimérico com matriz de polietileno de baixa densidade reforçado com fibra de coco a fim de estudar suas propriedades mecânicas.

2.2 Objetivos Específicos

- Produzir corpos de prova com auxílio de um estampo de aço (cunha), através de placas planas prensadas a quente;
- Caracterizar todas as amostras por DSC, FTIR-ATR e MEV;
- Submeter todas as amostras ao ensaio de tração para análise de propriedades mecânicas.

3 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho exhibe o estudo da produção de compósitos constituídos de matriz polimérica, utilizando polietileno de baixa densidade reforçado com fibra de coco. Por se tratar de um fruto consumido não somente em regiões litorâneas, após o consumo da água de coco, a casca é rejeitada e não tem destinação correta e, devido à demora na decomposição, torna-se um problema ambiental.

De acordo com a BBC Brasil (2014), um coco possui entre 2 Kg e 2,5 Kg sendo 70% dessa massa encontrada na casca que, após o consumo da água, torna-se rejeito (Figura 2). Segundo Paula Idoeta, da BBC Brasil (British Broadcasting Corporation), 1 bilhão de cocos verdes foram produzidos em 2014 e, dessa quantidade, apenas 10% do rejeito foi reaproveitada. É válido lembrar que além do consumo da água direto do coco, empresas comercializam a água de coco depois de um processo industrial, o que justifica o alto número de produção do fruto em um ano.

Dessa forma, a utilização das fibras do coco na produção de bens duráveis contribui tanto com o meio ambiente quanto com a pesquisa em aplicações tecnológicas, como na área de compósitos, beneficiando a sociedade como um todo. No seguimento industrial, a aquisição de fibras naturais promoverá maior lucro em relação às fibras sintéticas, pois desde a sua obtenção até todo o processo de beneficiamento apresenta menos custo.

Figura 2 – Cocos que se transformaram em rejeito após o consumo da própria água.



Fonte: A autoria própria, 2017.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Fibras Vegetais

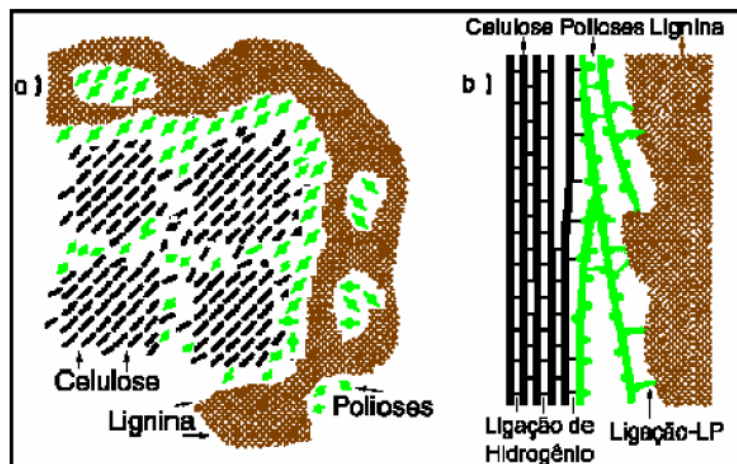
As fibras vegetais, apesar de serem todas naturais, são classificadas de acordo com a parte da planta de onde são retiradas, como mostra a Tabela 1. O que as tornam semelhantes é sua composição de modo que, celulose, lignina e hemicelulose (ou poliose), Figura 3, constituem todo tipo de fibra (RAZERA *et al*, 2006); logo, o que as diferenciam é o teor de cada componente, Tabela 2.

Tabela 1 – Classificação e tipos de fibras.

Fibras Vegetais			
Caule	Folha	Fruto	Tronco
Juta	Sisal	Coco verde	Madeira
Malva	Bananeira	Coco maduro	
Bagaço da Cana-de-açúcar	Abacaxi	Algodão	
Bambu	Curauá		

Fonte: Adaptado de RAZERA *et al*, 2006.

Figura 3 – Esquema de componentes da parede celular
A – vista de um corte transversal e B – vista de um corte longitudinal.



Fonte: RAZERA *et al*, 2006.

Tabela 2 – Composição de alguns tipos de fibras vegetais.

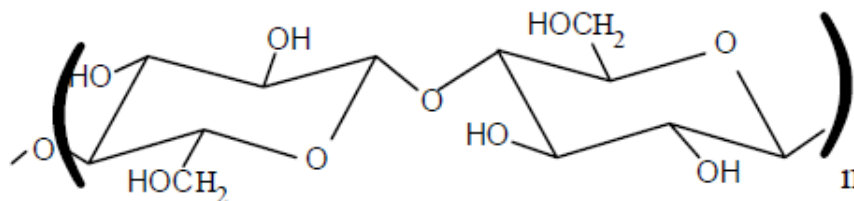
Fibra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Bagaço de cana	54,3 – 55,2	16,8 – 29,7	24 - 25
Bananeira	60 - 65	6,0 – 8,0	5 - 10
Coco	43,4 - 53	14,7	38 - 40

Fonte: Adaptado de TOMCZAK, 2010.

Segundo Oliveira (2010, p. 25) “materiais lignocelulósicos são produtos primários da fotossíntese de organismos em ambientes terrestres, sendo também o recurso natural renovável mais abundante. Sua disponibilidade para uso imediato é estimada em aproximadamente 100 bilhões de toneladas por ano”.

A celulose é um polissacarídeo com unidade repetitiva $(C_6H_{10}O_5)_n$. Dependendo do tipo de fibra, o grau de polimerização da cadeia polimérica da celulose sofrerá algumas variações, podendo influenciar nas propriedades mecânicas de tal fibra. Na Figura 4 é mostrada a unidade repetitiva da celulose, chamada de celubiose, na qual há grupos funcionais hidroxila (OH^-) e compostos orgânicos que possuem hidroxila, como álcoois primários (CH_2OH). Neste a hidroxila liga-se ao carbono na extremidade da cadeia. A celulose possui uma estrutura microcristalina proveniente de regiões altamente ordenadas (cristalinas) e desordenadas (amorfias) (RAZERA *et al*, 2006).

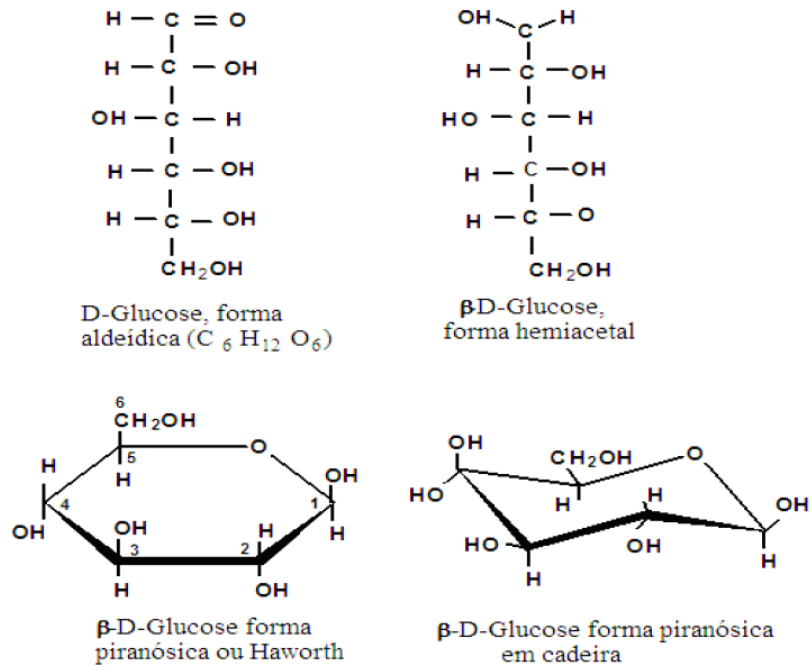
Figura 4 – Estrutura da celubiose (unidade repetitiva da celulose).



Fonte: RAZERA *et al*, 2006.

Essas unidades repetitivas derivam da condensação da D-glucose, um açúcar simples, monossacarídeo (Oliveira, 2010); cujas formas de representação são mostradas da Figura 5.

Figura 5 – Formas de representação da molécula β -D-glucose.



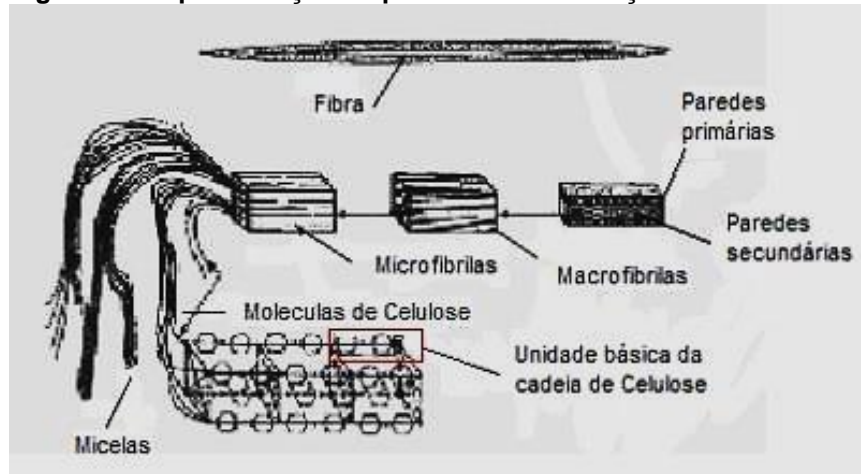
Fonte: OLIVEIRA, 2010.

Segundo Santos (2006), celulose trata-se da estrutura das fibras vegetais e o seu teor influencia diretamente na resistência à tração e no módulo elástico das fibras.

O comprimento das cadeias lineares confere à celulose capacidade de ser insolúvel em água, solventes orgânicos e ácidos, em temperatura ambiente, devido às ligações de hidrogênio que se formam entre os grupos hidroxilas, com isso, têm-se fibras compactas (OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Annunciado (2005), moléculas de celulose formam ligações de hidrogênio intramoleculares – entre unidade de glicose da mesma molécula – que são responsáveis pela rigidez das cadeias; há também ligações intermoleculares – entre unidade de glicose de moléculas vizinhas – sendo estas responsáveis por formar a fibra vegetal. Dessa forma, as moléculas são orientadas e formam microfibrilas que, como um todo, dá forma às fibrilas e, conseqüentemente, às paredes celulares das fibras. A Figura 6 mostra o esquema de formação da celulose.

Figura 6 – Representação esquemática da formação de celulose.

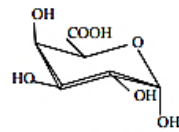


Fonte: Adaptado de FERREIRA, 2002.

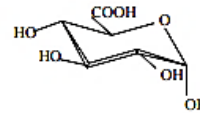
A hemicelulose é uma mistura de polissacarídeos de cadeia ramificada e baixa massa molecular; por sua vez, proporciona flexibilidade às plantas além de ser o componente que une celulose e lignina (RAZERA *et al*, 2006). Polioses são açúcares (Figura 7) classificados em xilanas, glucomanas e galactanas, sendo estes açúcares possíveis de serem combinados como pentoses, hexoses, ácidos hexurônicos e deoxiexoses (POGGI, 2014). Hemiceluloses são susceptíveis à hidrólise ácida por concederem maior acessibilidade aos minerais utilizados como catalisadores (SANTOS *et al*, 2012).

Fibras lignocelulósicas tem como agente limitante a temperatura, de modo que inicia-se perda de massa quando alcançam temperaturas muito próximas à 200 °C, tal desvantagem é proveniente da hemicelulose e, com isso, dependendo da aplicação, restringe alguns processamentos ou combinações com materiais específicos, poliméricos principalmente (MARINELLI *et al*, 2008).

Figura 7 – Fórmulas de classificação de açúcares presentes na hemicelulose.



Ácido
 α -D-galacturônico



Ácido
 α -D-glicurônico

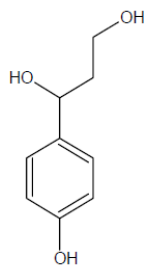


β -D-xilose

Fonte: MAGATON, 2009.

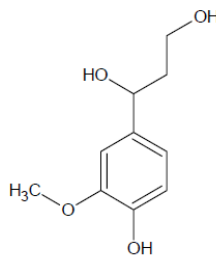
Considera-se lignina como o cimento das plantas, capaz de oferecer dureza e rigidez a elas. A rigidez da parede celular é obtida através da estrutura macromolecular aromática da lignina, garantindo resistência ao impacto, à compressão e dobra. O transporte de nutrientes e água no tecido celular é feito pela lignina e, com isso, os tecidos tornam-se resistentes ao ataque de micro-organismos e enzimas que destroem a parede celular. É um dos materiais orgânicos mais abundantes, sendo encontrada em várias plantas; porém, não possui a mesma composição. Dessa forma, é constituída por unidades de fenilpropanóide unidas por ligações carbono-carbono e éter, e é dividida em três classes (Figura 8): lignina p-hidroxifenila, lignina guaiacila e lignina guaiacila-siringila (possui unidades guaiacila e siringila em quantidades teóricas equivalentes) (RAZERA, 2006; SOUZA, 2006).

Figura 8 – Unidades aromáticas de lignina.

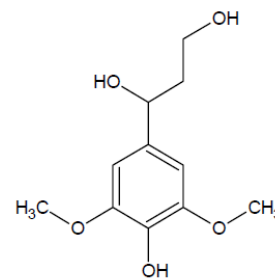


p-Hidróxifenila (H)

Fonte: SOUZA, 2006.



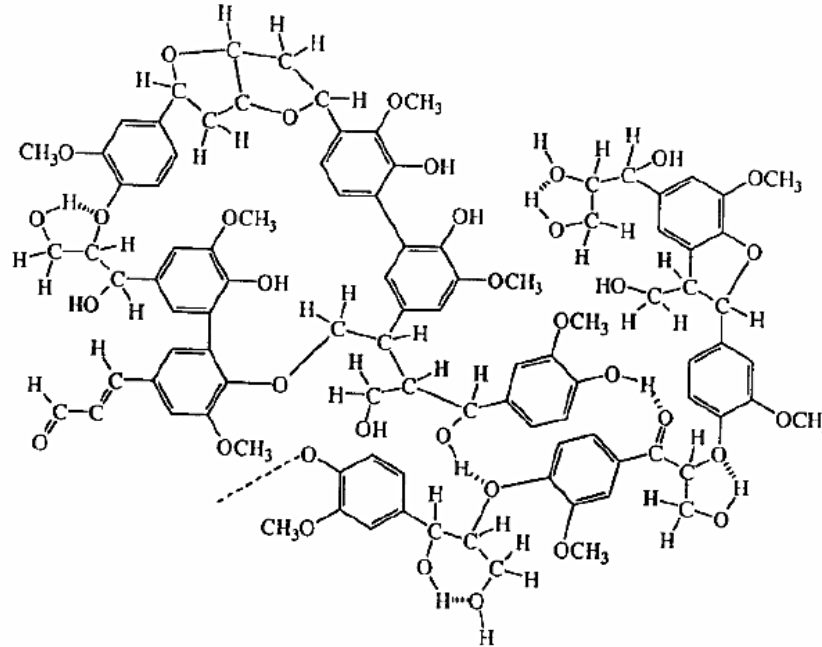
Guaiacila (G)



Siringila (S)

Ligninas p-hidroxifenílica são formadas por álcool p-cumarílico, guaiacílicas são formadas por álcool coniferílico e as siringílicas são compostas por álcool sinapil (SOUZA, 2006). Exemplificando sua estrutura, a Figura 9 ilustra a lignina em madeiras, contendo as unidades aromáticas.

Figura 9 – Estrutura da lignina em madeira.



Fonte: SOUZA, 2006.

Devido a composição da lignina, apresentada nas Figuras 8 e 9, é visto que a mesma é considerada uma macromolécula tridimensional com repetições monoméricas irregulares. Tendo uma estrutura com combinações diversificadas, a lignina pode ser subdividida em duas, como: lignina *core* e *não core*. Lignina *core*, é derivada de ácidos hidrocínâmicos que são compostos através de ligações interresistentes a hidrólise, resistente a degradação, sendo formadas pelas três unidades citadas acima. Ligninas *não core* também possuem ácidos hidrocínâmicos que se unem aos polímeros da parede celular através de ligações covalentes e são liberados durante a hidrólise. Tendo em vista esta subdivisão, é possível classificar o coco, de onde fibras são extraídas, como sendo do tipo *core*; a lignina presente neste fruto é formada por guaiacila e siringila (SILVA, KAMIYA, JUNIOR, 2010).

4.2 Fibras de Coco

De nome científico *Cocos nucifera L.*, o pé de coco, ou coqueiro, se desenvolve adequadamente em regiões tropicais, como é o caso do Brasil (RAZERA, *et al*, 2006). No território brasileiro são encontradas duas variedades de coqueiro: gigante e anão (Figura 10), podendo alcançar 35 e 12 metros, respectivamente. Coqueiros gigantes começam a dar frutos a partir de seis anos, com uma produção média de 70 cocos/planta/ ano; já o anão, inicia sua produção após dois anos de plantação com uma média de 120 cocos/ planta/ ano (SANTOS, 2006).

Figura 10 – Em A – coqueiro gigante e em B – coqueiro anão.



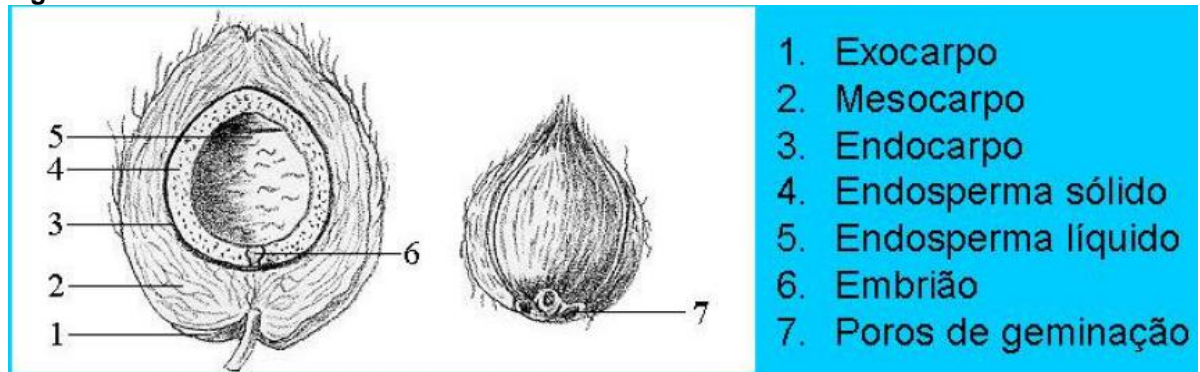
Fonte: Sistemas de produção Embrapa, 2014.

De acordo com Ishizaki, *et al*, (2006), fibras de coco maduro já vem sendo utilizadas na indústria e na agricultura, porém, o que torna-se novo, de certa forma, é a utilização da fibra da casca do coco verde que tem potencial para ser uma importante matéria-prima na produção de compósitos.

Cocos verdes possuem uma casca interna fibrosa, chamada de mesocarpo, revestida pela casca externa (exocarpo); juntamente com as fibras encontra-se pó de coco, provindo do processamento da casca do fruto. Há também uma espécie de caroço interno, o endocarpo, de aspecto duro, além de outras regiões que são apresentadas na Figura 11 (OLIVEIRA, 2010; SANTOS, 2006).

Materiais lignocelulósicos que compõem as fibras do coco e são obtidos do mesocarpo, possuem grande durabilidade devido ao alto teor de lignina, quando comparados a outras fibras naturais, alcançando uma faixa de 41 a 45%. O teor de lignina presente nas fibras das cascas de coco atinge de duas a quatro vezes maior que os valores existentes na juta e no sisal, dando-lhes um comportamento diferencial quando comparadas as outras fibras, ou seja, fibras mais rígidas. O teor de lignina nas fibras é determinado em função da idade do fruto, sendo um percentual de 20% encontrado em coco colhido com seis meses e 35% no coco já maduro, passados 11 meses de sua produção (SANTOS, 2006).

Figura 11 – Estrutura do coco.



Fonte: SOUZA, 2006.

4.3 Polímeros

Polímero, do grego, origina-se de *poli* (muitos) e *meros* (unidades de repetição), ou seja, polímeros são macromoléculas compostas por muitas unidades de repetição que se unem por ligações covalentes. A matéria-prima para produzir-se um polímero é chamada de monômero (uma molécula com uma unidade de repetição). O tipo de monômero, bem como o número médio de meros por cadeias e o tipo de ligação covalente formada direcionam o material a ser produzido para uma das três classes dos polímeros: plástico, borracha e fibras (CANEVAROLO JR., 2006).

De acordo com Callister (2008), plásticos são materiais que exibem rigidez determinada quando submetidos a uma carga, podem ser tanto naturais (madeira, látex) quanto sintéticos (produzidos através de petróleo). A subclassificação de plásticos envolve os termoplásticos e os termofixos.

Termoplásticos são definidos pela capacidade de amolecer e fluir quando sujeitos a um aumento de temperatura e pressão; são solúveis, fusíveis e recicláveis (o processo de amolecimento, quando aquecidos, pode se repetir sem grandes perdas de propriedades). Termofixos (ou termorrígidos) são plásticos que, quando submetidos à temperatura, amolecem uma vez só, sofre o processo de cura em que há uma transformação química irreversível, formando ligações cruzadas e tornando-se rígidos (CANEVAROLO JR., 2006). A Tabela 3 apresenta alguns tipos de plásticos de acordo com essa subclassificação.

Tabela 3 – Exemplos de plásticos.

Tipos de Plásticos	
Termoplásticos	Termorrígidos
PE (polietileno)	
PS (poliestireno)	Baquelite
PVC (policloreto de vinila)	Resina epóxi
PET (politereftalato de etileno)	PU (poliuretano)
PP (polipropileno)	

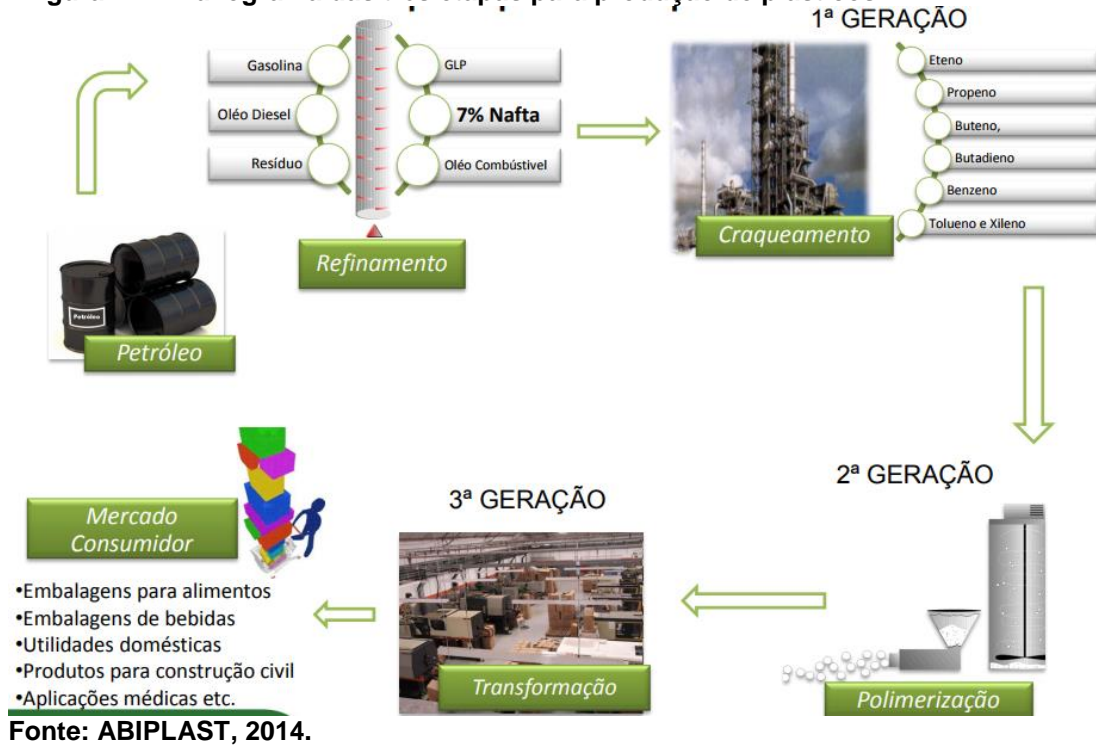
Fonte: Adaptado de CANEVAROLO JR., 2006.

De um modo geral, a produção do plástico se inicia após a extração do petróleo em que uma porção da coluna fracionada produz um componente chamado de nafta (aproximadamente 7% de todo o petróleo) é separada durante o refinamento do petróleo, na mesma coluna também é possível obter gasolina e óleo combustível (ABIPLAST).

Após o processo de refinamento três etapas são seguidas para chegar ao produto final. Iniciando com a primeira geração, é realizado o craqueamento da nafta e, posteriormente, produção de monômeros – etenos, butenos, benzenos são alguns exemplos. Após a formação dos monômeros realiza-se a polimerização, característica da segunda geração (ABIPLAST); nesta etapa, os meros são unidos por ligação covalente através do processo de polimerização por adição (reação encadeada) ou por condensação (reação em estágios), formando grandes cadeias que originam os polietilenos, polipropilenos, etc (BARBOSA *et al*, 2017). O polímero produzido em pó, grão ou líquido passa por transformação, terceira geração, em que o produto de desejo

pode ser finalizado (embalagens, produtos médicos, de construção civil, entre outros) (ABIPLAST), a Figura 12 ilustra todo o processo.

Figura 12 – Fluxograma das três etapas para produção de plásticos.



Segundo o Relatório Anual (2016) da Braskem®, a produção de polímeros no Brasil chegou a 4,9 milhões de toneladas. Trabalhando com produção de primeira geração, a quantidade de propenos produzida passou de 1 milhão de toneladas e a quantidade de etenos chegou próximo a 3,5 milhões de toneladas. Já para a segunda geração, a empresa Braskem, maior do Brasil neste ramo, atingiu o recorde na produção de polietileno, mais produzido, com 3,151 mil toneladas.

4.3.1 Polietileno

Classificado como um termoplástico, o polietileno (PE) é um homopolímero composto por grupos alcanos de fórmula $C_{2n}H_{4n+2}$, em que n corresponde ao grau de polimerização, ou seja, a quantidade de monômeros de eteno necessária para formar a cadeia polimérica (LIMA, 2014). Dependendo das condições da reação e do sistema

catalítico utilizado durante a polimerização, é possível obter até cinco tipos de polietileno, são eles (COUTINHO, MELLO, SANTA MARIA, 2003):

- Polietileno de baixa densidade (PEBD);
- Polietileno de alta densidade (PEAD);
- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD);
- Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM);
- Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD).

Toda essa diversificação de PE é dada, principalmente, pelas ramificações na cadeia e que influenciam nas propriedades finais do produto, como a cristalinidade, densidade e o empacotamento do polímero. A densidade do polietileno é dada pelo grau de ramificações que a cadeia pode apresentar, podendo ser ramificações curta (SCB – *short-chain branching*) ou longa (LCB – *long-chain branching*) (LIMA, 2014).

Polietileno de baixa densidade é o polímero de interesse para o presente trabalho. O PEBD foi o tipo de polietileno pioneiro na comercialização, seu processo de produção utiliza temperaturas entre 100 e 300 °C, a pressões entre 1000 e 3000 atm. A reação durante a produção é altamente exotérmica, por conta da alta pressão, resultando em uma significativa quantidade de ramificações curtas na cadeia (SCB). Estas ramificações impedem que as cadeias sejam totalmente empacotadas e, com isso, a densidade do polímero é diminuída, por isso o nome polietileno de baixa densidade. Como o empacotamento é dificultado, torna-se difícil controlar a orientação regular das cadeias, impedindo que haja uma estrutura totalmente cristalina (LIMA, 2014).

O meio de produção do PEBD é a poliadição, em que, durante a reação dos monômeros, no processo de formação do polímero, não há perda de massa, ou seja, o peso do polímero formado é o mesmo do monômero adicionado (CANEVAROLO JR. 2006). O esquema representado na Figura 13 simplifica esse procedimento.

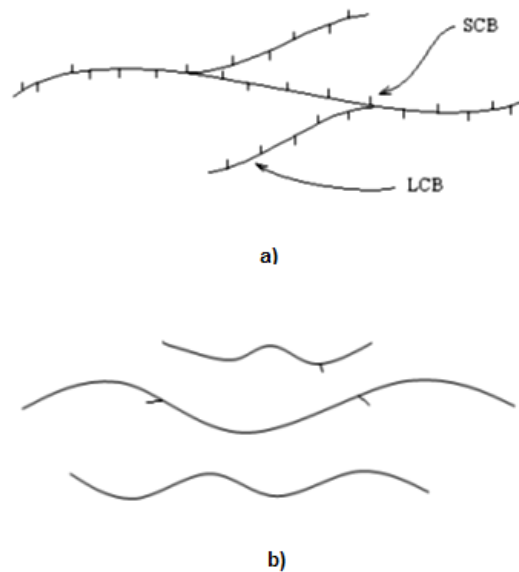
Figura 13 – Esquema simplificado da polimerização por adição do polietileno



Fonte: BARBOSA, *et al*, 2017.

Um outro tipo de polietileno bastante difundido nas empresas de poliolefinas é o polietileno de alta densidade – PEAD. Sua produção difere do PEBD devido a utilização de baixas temperaturas (20 a 80 °C) e baixas pressões (entre 10 e 15 atm) sobre o etileno. Devido a esta diferença de parâmetros, as cadeias se apresentam com menos ramificações, como mostra a Figura 14 em um comparativo entre cadeias de PEBD e PEAD (LIMA, 2014).

Figura 14 – Comparativo de quantidade de ramificações entre a) PEBD e b) PEAD.



Fonte: LIMA, 2014.

A Tabela 4 exhibe diferentes propriedades do polietileno fazendo um comparativo entre PEBD e PEAD.

De um modo geral, o processamento de termoplásticos requer uma etapa de aquecimento, quando ainda está sólido, até que a temperatura de amolecimento seja alcançada e, assim, possa ser conformado mecanicamente. Este procedimento também

se aplica ao PEBD, os diversos métodos de processamento, como extrusão, moldagem por sopro e por injeção permitem que este polímero seja aplicado em filmes para embalagens industriais e agrícolas, filmes para embalagens de alimentos líquidos e sólidos, filmes laminados e plastificados para alimentos, embalagens de produtos farmacêuticos e hospitalares, para brinquedos e utilidades domésticas, além de revestimento de fios e cabos, tubos e mangueiras (BARBOSA, 2017; COUTINHO, MELLO, SANTA MARIA, 2003).

Tabela 4 – Propriedades dos dois principais tipos de polietileno.

Material	Propriedades			
	Módulo Elástico E (GPa)	Limite de Resistência à Tração LRT (MPa)	Limite de Escoamento σ_e (MPa)	Temperatura de fusão (°C)
PEBD	0,17 – 0,28	8,3 – 31,4	9,0 – 14,5	102 – 115
PEAD	1,06 – 1,09	22,1 – 31,0	26,2 – 33,1	125 – 135

Fonte: Adaptado de Callister, 2008; Coutinho, Mello, Santa Maria, 2003.

4.4 Compósitos

Assim como cerâmicas, metais e polímeros, os materiais compósitos constituem mais uma classe de materiais que é cada vez mais estudada devido as suas características, como por exemplo o significativo aumento das mais variadas propriedades mecânicas, em módulo. De modo geral, um material compósito, segundo Callister (2008), é definido como um material multifásico que apresenta proporções significativas de propriedades das fases que o constitui, combinando tais propriedades da maneira mais adequada.

Diversos materiais compósitos são constituídos de duas fases, uma denominada matriz e a outra é denominada fase dispersa, ou reforço. A matriz é contínua e envolve o reforço (Figura 15) (CALLISTER, 2008).



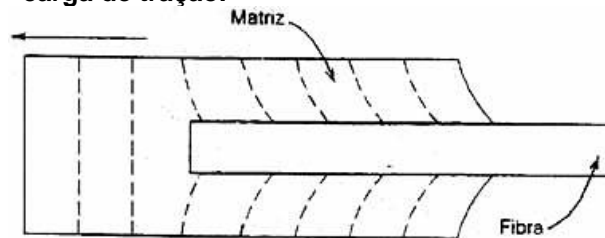
Fonte: Adaptado de HT-Fibras.

Os compósitos podem ser classificados em: reforçados com partículas, reforçados com fibras e os estruturais (CALLISTER, 2008).

4.4.1 Compósitos Reforçados Com Fibras

Há um grande interesse em compósitos quando estes possuem fibras em sua fase dispersa. Não são simplesmente as propriedades das fibras que determinam as características mecânicas de determinado compósito, mas como a carga aplicada é transmitida para as fibras através da matriz; a interação interfacial entre as duas fases é importante para o controle dessa transmissão de carga. Assim, quando uma tensão é aplicada, espera-se que a matriz se deforme sob a extensão da fibra e cesse tal deformação quando alcança as extremidades da fibra (CALLISTER, 2008), como apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Padrão de deformação de uma matriz envolvendo uma fibra quando submetida a uma carga de tração.



Fonte: SOUZA, 2007.

Outro fator importante a ser abordado trata-se da orientação e concentração das fibras. Tais parâmetros são importantes para os compósitos, pois influenciam na resistência e em algumas propriedades, por exemplo, em relação à orientação. Sobre a orientação das fibras, há dois modos de classificação: alinhamento paralelo do eixo longitudinal das fibras em uma única direção e alinhamento totalmente aleatório. Melhores propriedades são alcançadas quando o direcionamento das fibras é uniforme (CALLISTER, 2008).

Materiais fibrosos podem ser poliméricos ou cerâmicos e podem ser policristalinos ou amorfos, com pequenos diâmetros. O diâmetro, por sua vez, proporciona qualidade à fibra quando exibe-se bem menor em relação ao comprimento

da mesma, de modo que, pequeno, torna-se muito mais resistente do que um material de maior volume; isso é explicado devido a baixa probabilidade de fraturar se houver defeitos superficiais críticos (CALLISTER, 2008).

4.4.2 Matrizes Poliméricas

Compósitos são encontrados, em maior parte, de matriz polimérica devido às suas propriedades à temperatura ambiente, bem como a facilidade de produção e baixo custo em relação aos outros tipos de matrizes (CALLISTER, 2008).

Combinando matriz e reforço aos outros tipos de matrizes (metálicas e cerâmicas), o polímero e a fibra lignocelulósica, a função da matriz é distribuir a tensão aplicada a toda a estrutura; para haver um bom desempenho a escolha do material é fundamental de modo que o fator limitante é a temperatura de processamento. Temperaturas elevadas são capazes de degradar fibras lignocelulósicas. Com isso, faz-se necessário adequar material/ temperatura para que seja obtida uma mistura homogênea sem eventual degradação (ISHIZAKI, 2006).

As principais funções de uma fase matriz são (CALLISTER, 2008):

1) Unir as fibras umas às outras e intervir quando uma tensão aplicada é transmitida para as fibras. O material da matriz deve ser dúctil e seu módulo elástico é muito inferior ao da fibra;

2) Proteger as fibras de danos superficiais, como abrasão mecânica e reações químicas com o ambiente. Estes danos são capazes de desenvolver defeitos superficiais que tendem a formar trincas que levarão a falhas em baixos níveis de tensão;

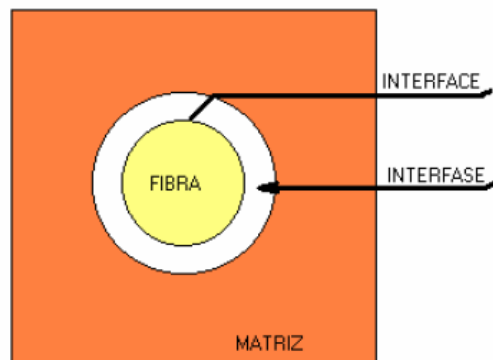
3) Como a matriz, que possui baixa dureza e plasticidade, separa as fibras, retarda a propagação de trincas frágeis de uma para a outra; caso isso ocorra, causará a falha catastrófica de todo o conjunto.

No contexto geral, Razera *et al*, (2006) considera um compósito eficiente quando o mesmo possui interação e adesão máximas entre as fases, além do que, garantir que o comprimento da fibra seja o maior possível também influi na eficiência do material; fibras longas proporcionam melhor distribuição de cargas. Por outro lado, o tamanho das fibras pode influenciar negativamente a eficiência do compósito caso seja

muito extensa, pois, parte do material de reforço irá se emaranhar em alguns pontos e parte do material da matriz ficará sem reforço, reduzindo a eficiência do compósito.

É importante mencionar também que, para garantir a eficiência do compósito controlando a adesão e interação entre as fases, é preciso ter conhecimento da interface e interfase (Figura 17) formadas (RAZERA *et al*, 2006).

Figura 17 – Representação dos conceitos de interface e interfase.



Fonte: RAZERA *et al*, 2006.

A interface corresponde a um suposto plano (devido à sua espessura ser igual a zero) que se encontra entre o reforço e a matriz e os une pelo mecanismo de adesão; já a interfase trata-se da área em que ocorrem ligações químicas entre reforço/matriz (RAZERA *et al*, 2006). Para tanto, algumas técnicas de caracterização possibilitam que sejam feitas análises em compósitos.

4.5 Técnicas de Caracterização

De acordo com Mansur (2014), a área de análise e caracterização de materiais desperta cada vez mais atenção no ramo da pesquisa devido à necessidade de seleção adequada do material com base no desempenho do sistema de estudo.

4.5.1 Calorimetria Exploratória Diferencial

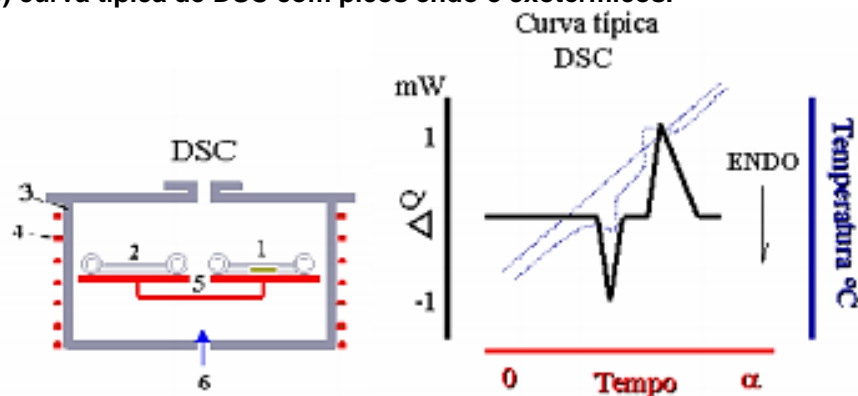
De acordo com Ionashiro (2004), esta é uma técnica que permite medir a diferença de energia fornecida à substância em estudo e a um material de referência,

energia essa em função da temperatura, enquanto o material de referência e a amostra são submetidos a uma programação controlada de temperatura.

Os resultados apresentam alterações físicas ou químicas da amostra que podem ser interpretados por eventos endotérmicos – originados por desidratação, redução, reações de decomposição e transição de fase (fusão) – e eventos exotérmicos – originados por cristalização e oxidação, por exemplo. Há dois meios de medida por DSC: com compensação de potência (a amostra e o material de referência são aquecidos individualmente) ou com fluxo de calor (tanto amostra quanto material de referência são aquecidos pela mesma fonte) (IONASHIRO, 2004). A Figura 18 mostra o esquema de um equipamento por fluxo de calor.

Alguns polímeros apresentam transições vítreas que, na técnica de análise DSC, são interpretadas como transições de segunda ordem, ou seja, uma leve descontinuidade na linha base (IONASHIRO, 2004).

Figura 18 – Em a) compartimento de um DSC de fluxo de calor: 1) cadinho com amostra, 2) cadinho com material de referência, 3) forno, 4) aquecedores, 5) sensor, 6) entrada do gás de purga. Em b) curva típica de DSC com picos endo e exotérmicos.



Fonte: Adaptado de Pereira, 2013.

O gás de purga é utilizado para retirar gases que são liberados durante o processo térmico.

4.5.2 Espectroscopia absorção na região do Infravermelho (IV)

Espectroscopia é o nome dado ao estudo da interação entre radiação eletromagnética e matéria. Há diferentes técnicas espectroscópicas, de acordo com as

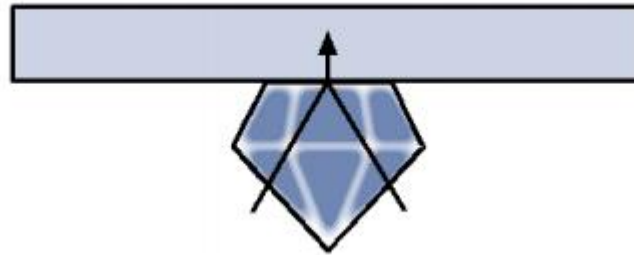
diferentes regiões de energia a que a radiação corresponde; as regiões do espectro são: micro-ondas ($<4 \text{ cm}^{-1}$), região infravermelho (entre 4 e 14000 cm^{-1}) e região ultravioleta e visível (entre 14000 e 40000 cm^{-1}). Na região do infravermelho há três classificações quanto ao comprimento: infravermelho próximo, médio e distante, sendo a região do infravermelho médio a que mais se utiliza para análises (PEREIRA, 2016).

Para que haja absorção da radiação infravermelha, é preciso que ocorra variação do momento de dipolo elétrico da molécula, provocado pelo movimento vibracional ou rotacional próprio. As vibrações moleculares podem ser classificadas por estiramentos (aumento e diminuição das distâncias internucleares entre os átomos) ou deformações angulares (provocadas pela mudança no ângulo de ligação com um grupo de átomos ou a movimentação de um grupo de átomos em relação a toda a molécula). Dos tipos de estiramentos encontram os simétricos e assimétricos, enquanto os tipos de deformação angular são: no plano (balanço ou tesoura) e fora do plano (torção e sacudida – *wagging*) (PEREIRA, 2016).

Espectroscopias no IV médio possuem dois tipos de técnicas: por transmissão/absorção e por reflectância total atenuada; no primeiro caso, o acessório mais utilizado inclui um suporte para pastilha em que a amostra é inserida no mesmo depois de ser misturada em um sal de haleto (comumente KBr – transparente na região do infravermelho) (PEREIRA, 2016). Enquanto que, para o segundo caso, utiliza-se uma técnica de Reflectância Total Atenuada (ATR), tendo como princípio de funcionamento uma amostra sobre um cristal com alto índice de refração em que, para ser analisada, o feixe infravermelho passa por regiões do cristal e é refletido internamente, retornando ao detector (UNIVERSAL ATR SAMPLING ACCESSORY, 2011).

A Figura 19 apresenta, de forma esquemática, um cristal utilizado no ATR.

Figura 19: Representação do princípio de funcionamento de espectroscopia no IV por reflectância total atenuada (ATR).



Fonte: UNIVERSAL ATR SAMPLING ACCESSORY, 2011.

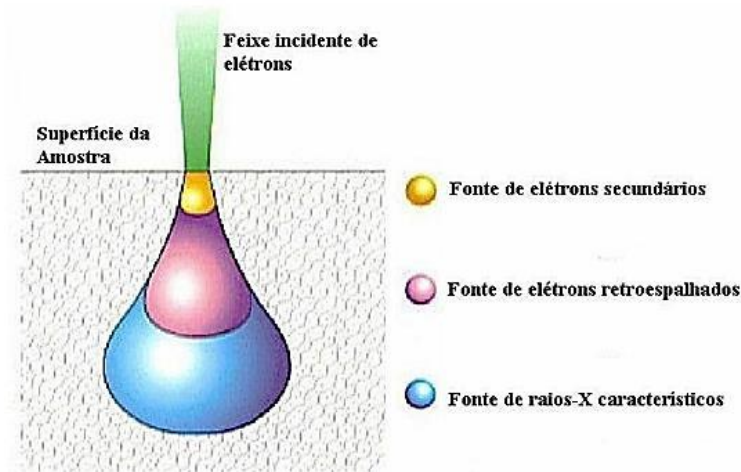
Nas regiões do espectro infravermelho em que a amostra absorve energia, ocorrerá a atenuação ou alteração da onda evanescente; a energia atenuada retorna para o feixe infravermelho que se move para a extremidade do cristal, alcançando o detector do espectrômetro, assim, o espectro de infravermelho é formado (ALISKE, 2010).

4.5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

Seu princípio de funcionamento, de modo simplificado, baseia-se na emissão de um feixe de elétrons através de um filamento de tungstênio aquecido que, ao atingir a amostra, parte dos elétrons forma um volume de interação que depende da tensão de aceleração e, também, do número atômico de elementos que compõem a amostra. A interação eletrônica entre feixe e material só podem ser detectada se as partículas e raios eletromagnéticos retornarem à superfície da amostra e atingirem o detector (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

O MEV é um equipamento que oferece informações quanto à morfologia e identificação de elementos químicos em uma amostra sólida. O principal motivo de solicitação desse microscópio é devido à alta resolução obtida durante a observação das amostras, alcançando valores da ordem de 1 nanômetro. Para formar a imagem, diferentes sinais podem ser emitidos pela amostra, como os secundários (SE) e os retroespalhados (BSE) (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007), identificados na Figura 20.

Figura 20 – Diferentes sinais emitidos ao incidir feixe de elétrons primários.



Fonte: LFF – Laboratório de Filmes Finos, 2013.

Para o MEV os elétrons secundários são originados da interação do feixe com a amostra, são de baixa energia, menor que 50 eV, capazes de formar imagens com alta resolução, da ordem de 3 a 5 nm. Os SE tem por característica formarem imagens que indiquem a topografia da superfície na posição analisada. Os BSE diferem do SE quanto a sua energia, variando de 50 eV até valores de energia correspondentes aos elétrons primários. Os sinais retroespalhados são obtidos devido a uma região do volume de interação que possui diâmetro maior que o diâmetro do feixe primário; assim, a imagem produzida por esse tipo de sinal apresenta informações de contraste em função do relevo e contraste em função do número atômico dos elementos que constituem a amostra (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

4.6 Ensaio Mecânico

Para que um projeto de engenharia seja disponibilizado ao mercado, é necessário conhecer as características do produto, bem como propriedades e o comportamento do mesmo. O levantamento das propriedades requeridas no ensaio é baseado no tipo de material e nos parâmetros a que o mesmo será submetido, seguindo normas específicas; essa normatização é importante de modo que estabelece uma linguagem comum entre fabricantes e fornecedores (GARCIA; SPIM; DOS SANTOS, 2008).

Os ensaios mecânicos podem ser classificados como *destrutivos* e *não-destrutivos*. No primeiro caso, com o ensaio ocorre a inutilização parcial ou total da peça, enquanto no ensaio não-destrutivo a funcionalidade da peça não é comprometida (GARCIA; SPIM; DOS SANTOS, 2008). A Tabela 5 mostra exemplos dessa classificação.

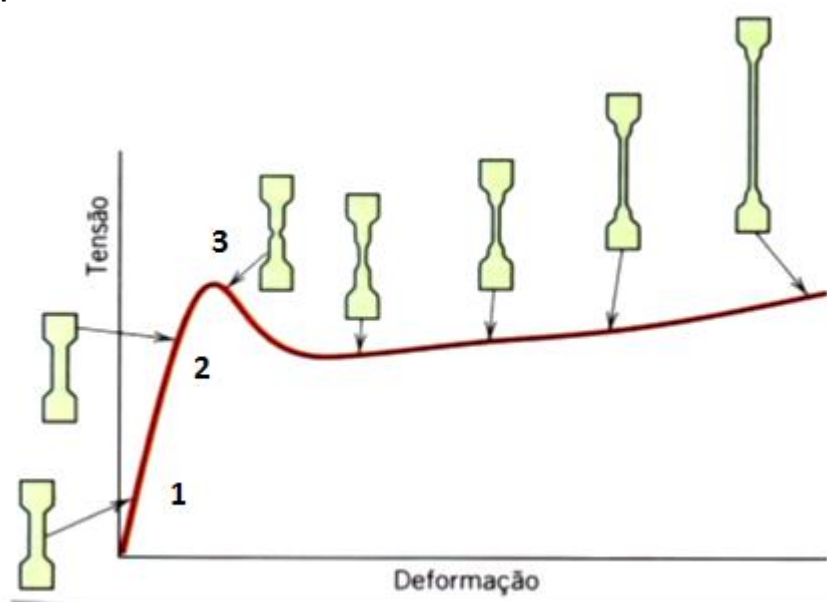
Tabela 5 – Classificação dos ensaios mecânicos.

Destrutivos	Não-destrutivos
Tração	Ultra-som
Dureza	Líquidos penetrantes
Fadiga	Partículas magnéticas
Torção	raios X
Fluência	raios γ
Flexão	

Fonte: Garcia; Spim; Dos Santos, 2008.

Dentre os ensaios destrutivos, o mais comum é o de tração. No ensaio de tração uma carga uniaxial é aplicada em um corpo de prova, com as devidas especificações, até a ruptura. O principal resultado deste ensaio consiste de um gráfico que apresenta tensão (ordenada), σ , e deformação (abscissa), ϵ . O ensaio de tração é o mais empregado, pois é possível obter dados quantitativos das características de determinado material, como: limite de resistência à tração – LRT – (σ_u), limite de escoamento (σ_e) e módulo de elasticidade (E), todos no mesmo ensaio. Por isso é muito utilizado em indústrias de componentes mecânicos. Os resultados fornecidos são influenciados pela temperatura ambiente, velocidade de deformação, bem como por condições ambientais diversas (GARCIA; SPIM; DOS SANTOS, 2008). A Figura 21 ilustra uma curva tensão x deformação com comportamento de um material polimérico.

Figura 21 – Curvas do comportamento mecânico de um material polimérico.



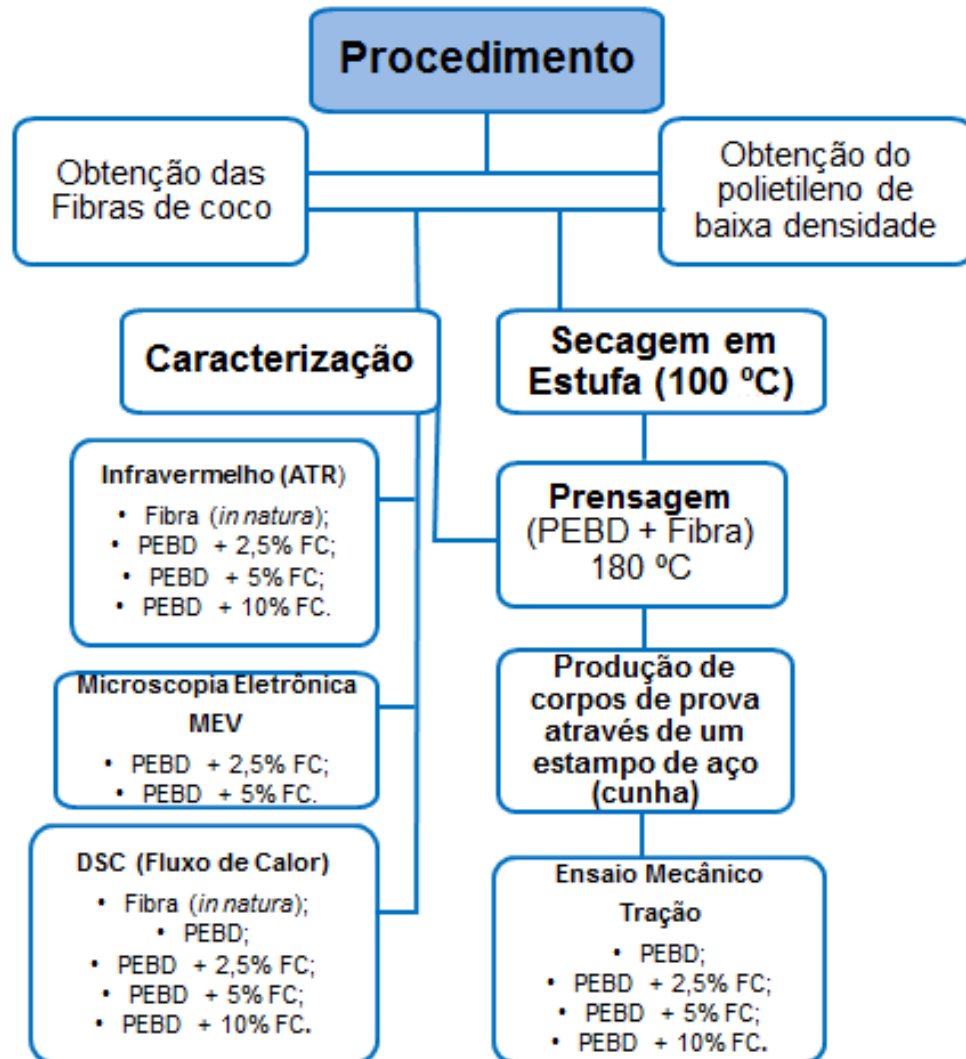
Fonte: Adaptado de Callister, 2008.

Iniciando a região linear, correspondente à deformação elástica do material, em 1, é possível encontrar o módulo elástico (E) da amostra ensaiada. Mais acima, em 2, encontra-se o limite de escoamento (σ_e), em que é determinado o fim da região elástica e início da região plástica. No topo da curva, em 3, correspondente ao limite de resistência à tração (LRT), onde a região plástica não permanente é cessada, iniciando o processo de estrição na região plástica permanente.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento deste trabalho será seguido pelo esquema resumido, apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Fluxograma do procedimento a ser seguido neste trabalho.

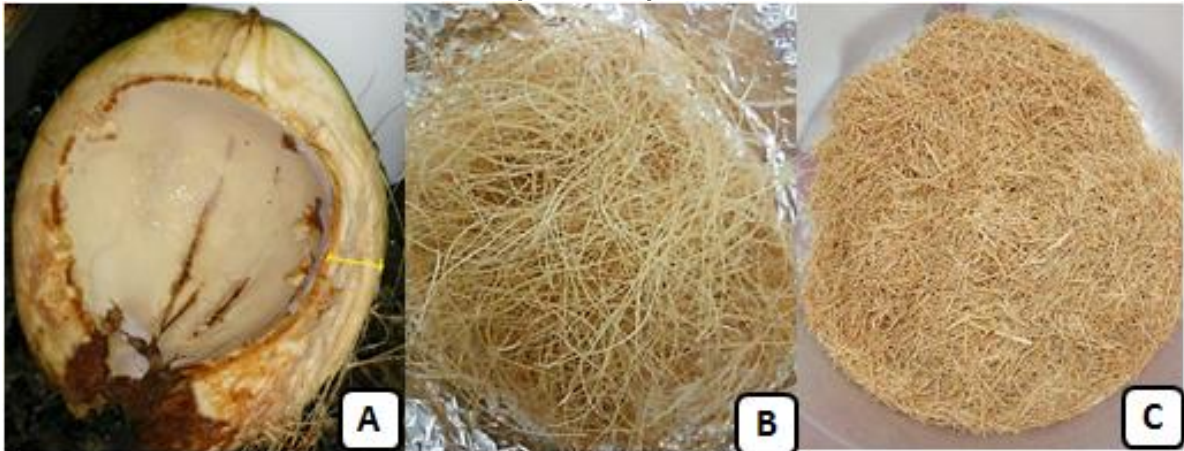


Fonte: Autoria própria, 2017.

5.1 Obtenção das fibras extraídas do coco

Ao todo foram necessários 10 cocos verdes para que fosse retirada, manualmente, a quantidade adequada de fibras, aproximadamente 24 gramas. Na Figura 23 estão organizadas as três etapas para obtenção da fibra de coco no estado ideal para prensagem; na primeira etapa, o coco foi dividido em partes para que fosse possível retirar as fibras da região do mesocarpo, como delimitado na imagem. A segunda etapa, as fibras já foram extraídas e ainda estão em seu tamanho original e, na terceira e última etapa, as fibras foram picadas, manualmente com auxílio de uma tesoura, em tamanho aproximado de 1 cm.

Figura 23 – Três etapas para obtenção da fibra no estado ideal para prensagem: A – fruto cortado; B – fibras extraídas e C – fibras picadas, aproximadamente, em 1 cm.



Fonte: Autoria própria, 2017.

5.2 Obtenção do Polietileno de Baixa Densidade

O polímero utilizado, PEBD, fabricado pela Braskem S/A, possui alta massa molecular que, por sua vez, proporciona alta resistência mecânica. Com densidade equivalente a $0,91 \text{ g/cm}^3$, pode ser submetido a várias aplicações devido à sua fácil processabilidade, como, por exemplo, moldagem por injeção e processamento via sopro (BRASKEM IDESA, 2017).

5.3 Secagem em estufa

Após a retirada das fibras do fruto, as mesmas foram encaminhadas para estufa microprocessada de circulação *Sterilifer* por 20 horas à 100 °C, juntamente com os *pellets* de polietileno e, posteriormente, conduzidos à prensagem.

5.4 Prensagem

Para produzir os corpos de prova (CP), foi utilizada a prensa hidráulica Marconi (Figura 24) pelo método de prensagem a quente. Para todas as placas produzidas, o material foi submetido à temperatura de 180 °C, sob pressão de 6 ton. por 5 minutos e, após breve alívio de carga, submetido novamente à pressão de 6 ton., por 3 minutos.

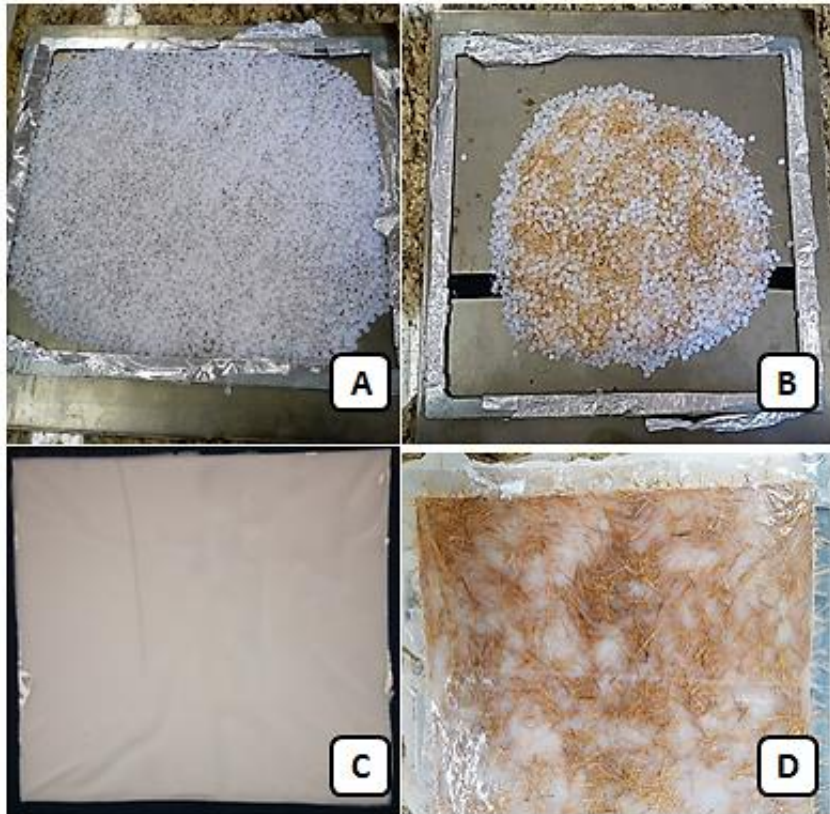
Figura 24 – Prensa hidráulica Marconi utilizada para produção das placas.



Fonte: Autoria própria, 2017.

A Figura 25 evidencia o processo de produção das placas e as placas prontas, tanto do PEBD puro (A e C) quanto do PEBD com uma quantidade determinada de fibras (B e D).

Figura 25 – Etapas do processo de prensagem - pré: A – PEBD puro, B – PEBD + Fibra; pós: C – PEBD puro, D – PEBD + Fibra.

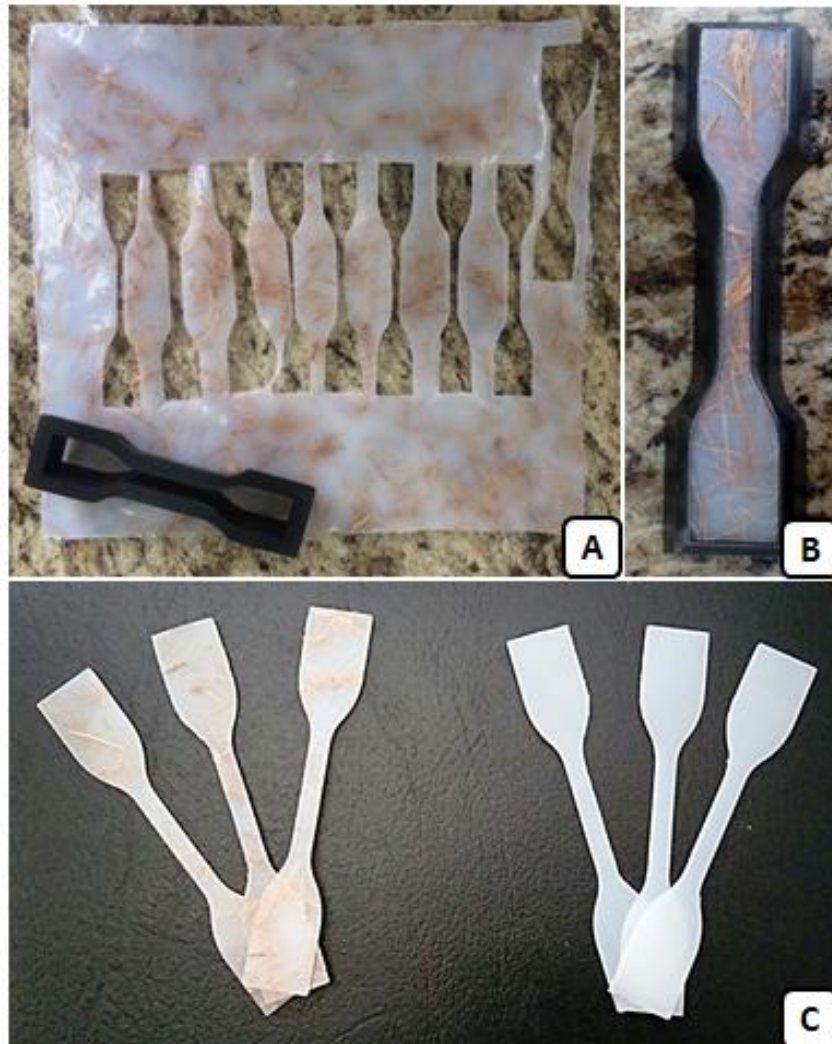


Fonte: Autoria própria, 2017.

5.5 Produção dos corpos de prova

Após a produção das placas, com o auxílio de um estampo de aço, ou cunha, corpos de prova em formato gravata, padronizados, foram retirados em todas as composições (Figura 26), para serem ensaiados mecanicamente.

Figura 26 – Produção dos corpos de prova. CPs destacados da placa, em A, com o estampo de aço; CP e estampo em B e CPs prontos para serem ensaiados, em C.



Fonte: Autoria própria, 2017.

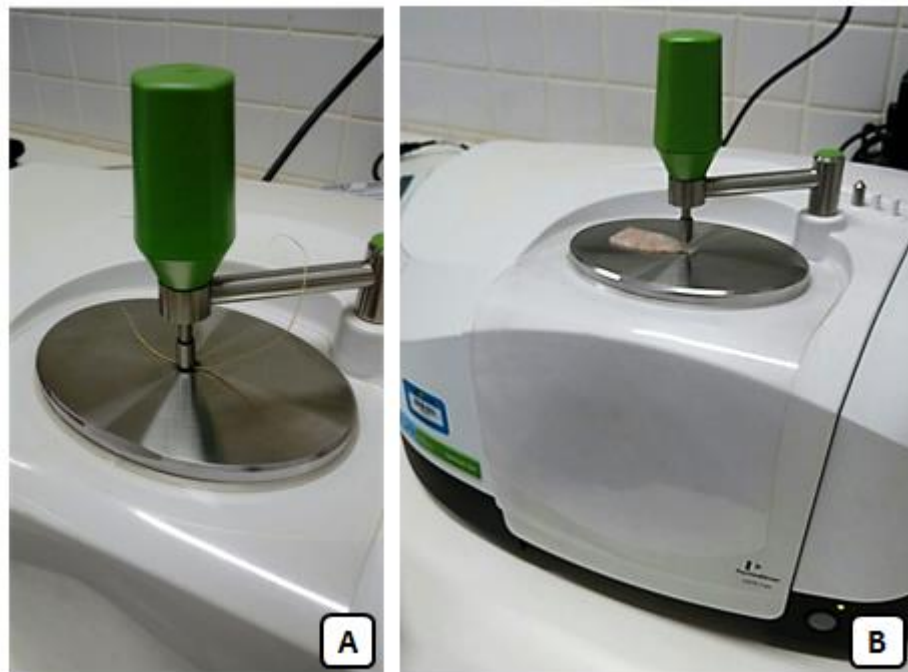
5.6 Caracterização

Todos os materiais utilizados (compósitos, polietileno puro e as fibras de coco) passaram por, pelo menos, duas técnicas de caracterização; sendo elas: FTIR, DSC e MEV. As técnicas de IV e DSC foram realizadas no laboratório de caracterização do Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina. O MEV foi realizado na Embrapa Instrumentação em São Carlos/ SP.

5.6.1 V – ATR

O PEBD puro, a fibra e os compósitos nas três composições: PEBD com 2,5% de fibra; PEBD com 5% de fibra e PEBD com 10% de fibra foram submetidos ao infravermelho pela técnica de reflectância total atenuada (ATR). Na Figura 27 é demonstrado o equipamento utilizado para realizar as análises com a fibra, em A, e com uma parte do corpo de prova do compósito, em B.

Figura 27 – Infravermelho por ATR A – na fibra e B – no compósito PEBD com fibra.



Fonte: Autoria própria, 2017.

O equipamento utilizado é da marca Perkin Elmer, modelo Spectrum Two, com cristal de diamante.

5.6.2 DSC

Para realização da calorimetria exploratória diferencial, o equipamento utilizado foi DSC – 60 SHIMADZU. As amostras foram submetidas a uma taxa de aquecimento de 5 °C/ min até 250 °C, pelo método DSC por fluxo de calor. Nitrogênio foi o gás de purga utilizado, com fluxo de 20 mL/ min.

5.6.3 MEV

As amostras contendo porcentagens de fibra foram recobertas com ouro, com potência de feixe equivalente a 10kV, através do microscópio eletrônico da marca JEOL®, modelo 6701F.

5.7 Ensaio de tração

Todos os corpos de prova produzidos foram ensaiados sob o mesmo parâmetro, na máquina universal de ensaios, modelo WDW – 100E. Disponível no laboratório de ensaios o Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina.

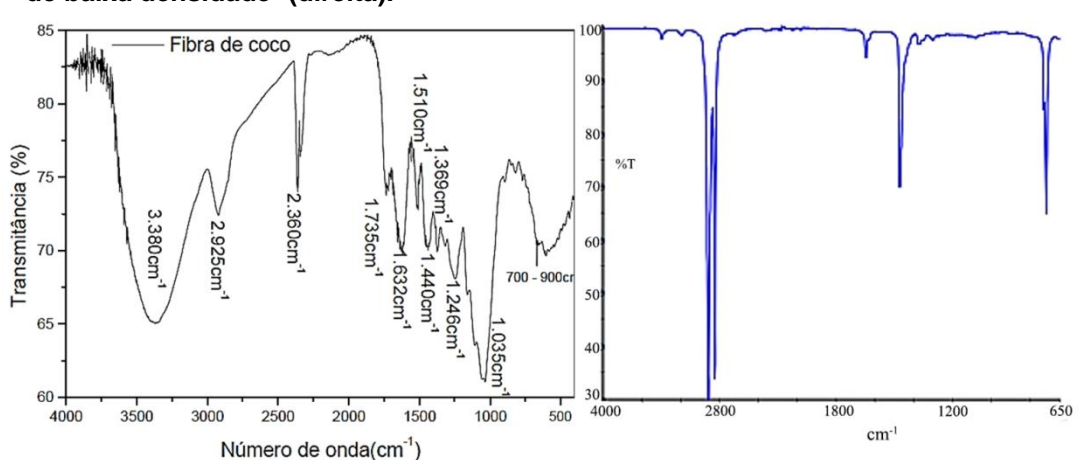
As curvas de tensão x deformação foram geradas através de dados fornecidos pela máquina de ensaios. A velocidade de ensaio correspondente a 5 mm/ min foi seguida pela norma ASTM D 638 – 08.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1IV - ATR

Esta técnica de caracterização foi inserida ao trabalho para identificação das substâncias orgânicas presentes nos materiais de estudo. A Figura 28 apresenta espectros da fibra de coco, (TOMCZAK, 2010), e do PEBD puro, (SOUZA, 2009); espectros tomados como base para análise do espectro de infravermelho obtido neste trabalho.

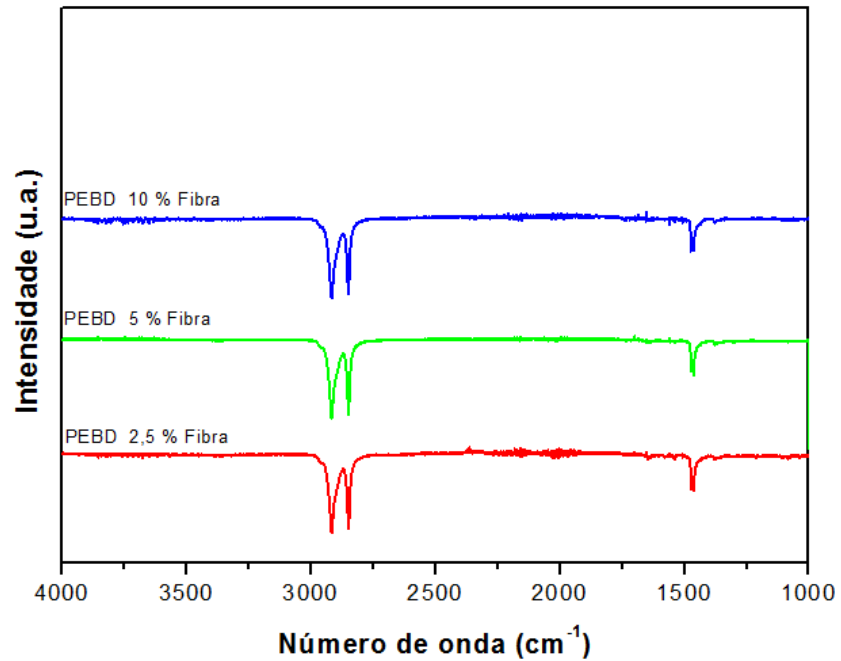
Figura 28 – Espectros de infravermelho de fibra de coco¹ (esquerda) e de polietileno de baixa densidade² (direita).



Fonte: 1 – TOMCZAK, 2010. 2 – SOUZA, 2009.

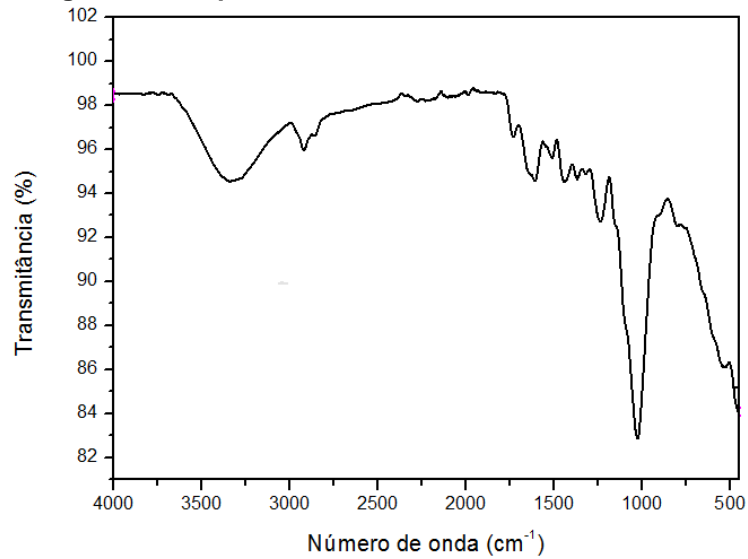
A Figura 29 aborda os espectros referentes aos quatro materiais submetidos ao IV – ATR, a fim de fazer comparações e observar modificações entre os espectros dos compósitos em relação ao da fibra. O espectro da FC, Figura 30, possui bandas de absorção que correspondem aos principais constituintes da fibra, como celulose, lignina e hemicelulose.

Figura 29 – Espectro de infravermelho da fibra de coco e dos quatro compósitos.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 30 – Espectro de infravermelho da fibra de coco.



Fonte: Autoria própria, 2018.

A Tabela 6 foi elaborada para que seja possível acompanhar os eventos dos espectros de forma simplificada.

Tabela 6 – Especificação dos grupos funcionais de acordo com seu respectivo número de onda, analisados pelos espectros.

Material	Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
Fibra de coco	3400 – 3200	-OH (hidroxila)
Compósito	2915 – 2847	CH ₂
Fibra de coco	1776 – 1715	C – C (aromáticas)
Fibra de coco	1604 – 1513	C = O (carbonila)
Compósito	1462	C – C
Fibra de coco	1270	C – O – C (éter)
Fibra de coco	1060 – 1050	C – O (álcool)

Fonte: Autoria própria, 2018.

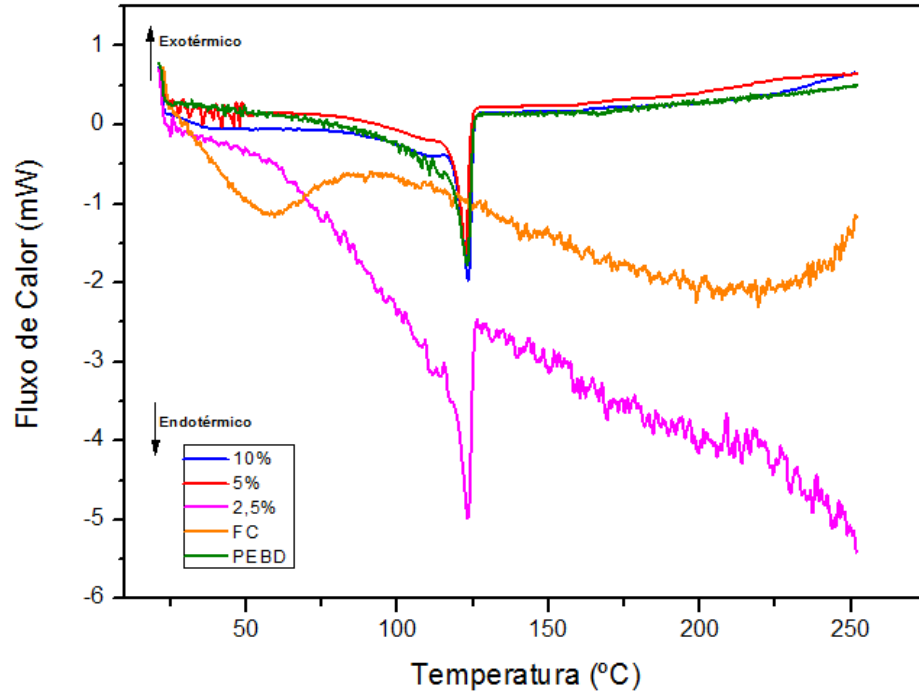
Segundo Tomczak (2010), bandas de absorção entre 1513 – 1604 cm⁻¹ apresentam ligações C-C aromáticas que, por sua vez, caracterizam a presença de lignina; anéis aromáticos presentes proporcionam o entrelaçamento da estrutura molecular, aumentando a rigidez e, assim, confere à fibra melhores propriedades mecânicas. Entre 1776 – 1715 cm⁻¹ são encontradas bandas de absorção referentes ao grupo carbonila (C=O) presente na hemicelulose. As bandas de absorção que caracterizam a presença de celulose na fibra de coco se encontram nos comprimentos de onda entre 1050 – 1060 cm⁻¹, em 1270 cm⁻¹ com o grupo éter (C-O-C) e entre 3200 e 3400 cm⁻¹ através do grupo hidroxila (-OH).

Ao analisar os espectros dos compósitos, constata-se que estes apresentam bandas de absorção bem próximas das apresentadas no PEBD puro, 2847 e 2915 cm⁻¹ (CH₂) e 1462 cm⁻¹ (C-C). Bandas de absorção características de lignina, hemicelulose ou celulose não foram encontrados nos espectros.

6.2 DSC

Analisando os resultados obtidos pelas curvas térmicas da Figura 31, é possível observar que, com exceção do compósito de 2,5%, as demais combinações de fibra com PEBD quanto o polímero puro tiveram um comportamento térmico bem parecido, produzindo picos endotérmicos.

Figura 31 – Espectros dos materiais analisados.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Picos endotérmicos, que são atribuídos a decomposições térmicas, podem representar diferentes transições de fase, entre elas, como observado na Figura 31, picos de início de fusão, a 123 °C.

Para execução da técnica de calorimetria exploratória, é necessário utilizar porções mínimas de material, em massa, da ordem de miligramas. Considerando os compósitos, constituídos por dois tipos de materiais, para os quais foram analisadas quantidades distintas, houve dificuldade em preparar as amostras que correspondessem às proporções de 2,5, 5 e 10% de fibra. Dessa forma, analisando o espectro da matriz de PEBD com 2,5% de reforço (linha rosa), é possível observar um comportamento diferente dos demais compósitos e bem próximo tanto do polímero puro (linha verde), quanto da fibra de coco (FC); tal resultado é um indicativo de que a amostra submetida ao DSC (2,5%) não estava homogênea. Os outros dois compósitos apresentaram comportamento bem próximo entre eles e parecido com o PEBD, sendo este um indício de que, mesmo com as fibras dispersas, havia maior quantidade de polietileno de baixa densidade nas amostras analisadas.

6.3 Ensaio de tração

A mistura da fibra com o polietileno, ainda sólido, foi executada manualmente, com isso, notou-se que haviam áreas com maior concentração de fibras e outras com menor concentração de fibras (Figura 32). A formação de bolhas também implicou em dificuldade na produção dos corpos de prova, visto que foi necessário realizar alguns desvios durante a confecção dos corpos de prova para não colidir com bolhas, evitando que os CP possuíssem concentradores de tensão. De acordo com Canevarolo Jr. (2006), tais concentradores (bolhas) propagam trincas mais rapidamente, diminuindo a resistência mecânica dos corpos de prova; além do que, resultados oriundos desse tipo de material não são qualitativos.

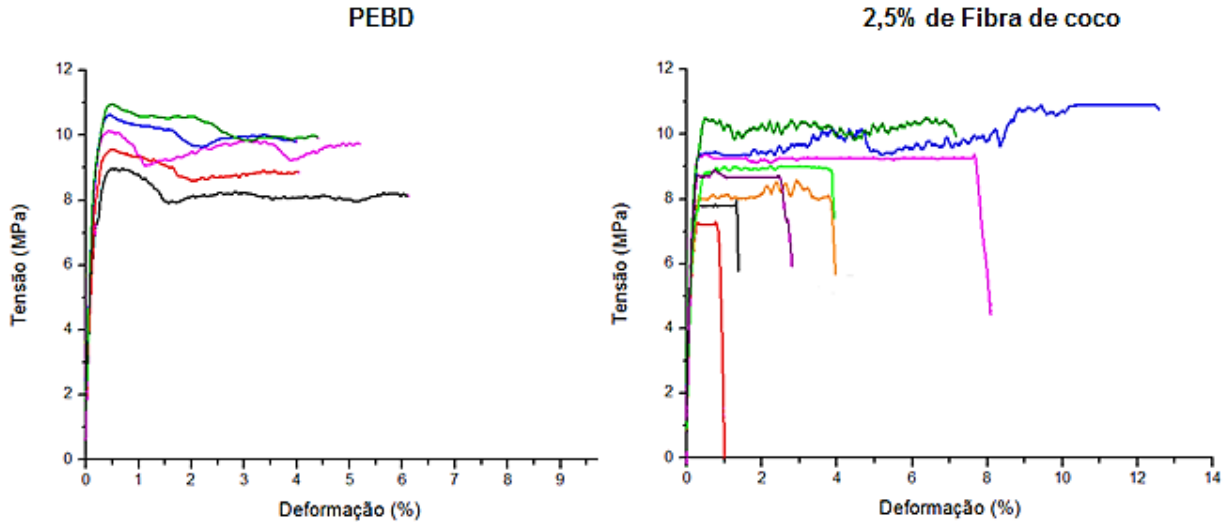
Figura 32 – Placas de compósito com 10% de fibra dispersas manual e aleatoriamente.



Fonte: Autoria própria, 2018.

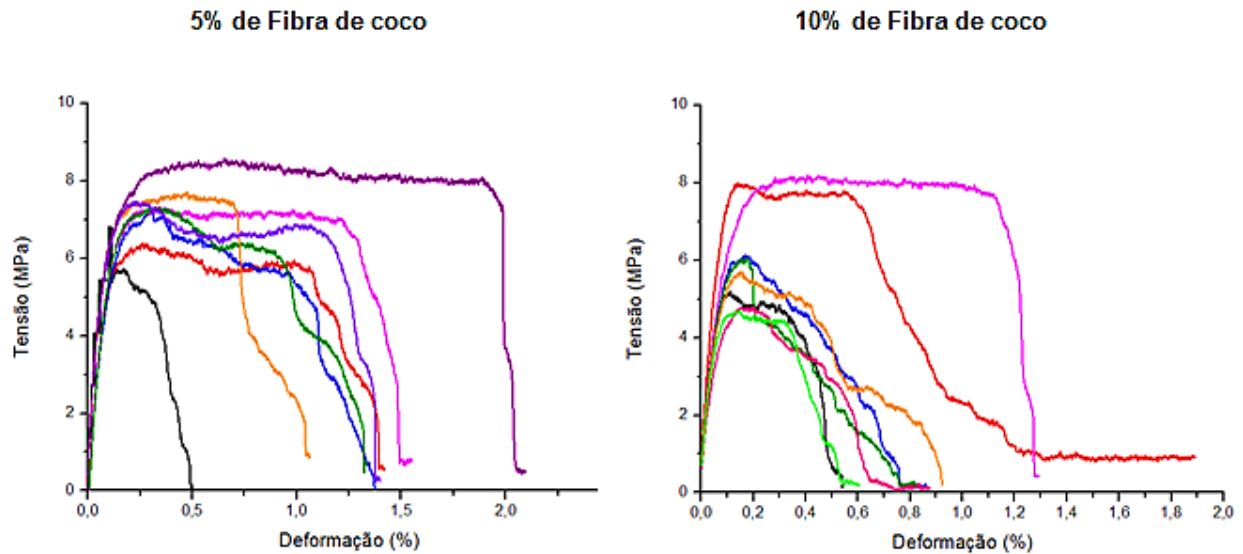
Analisando as curvas de tensão x deformação das Figuras 33 e 34, observa-se que há diminuição gradativa de resistência mecânica à medida que uma quantidade maior de fibra é acrescentada.

Figura 33 – Curvas de tensão x deformação do polietileno puro e do composto com 2,5% de fibra de coco.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 34 – Curvas de tensão x deformação do composto com 5% e com 10% de fibra de coco.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Todos os CPs de PEBD tiveram o ensaio interrompido; para este ensaio foi necessário alcançar somente a região de deformação plástica permanente (região posterior ao LRT) com o intuito de coletar dados para compor a Tabela 7. Ao sofrerem deformação plástica permanente, inicia-se o processo de redução da seção transversal, denominado de estricção, à medida que a estricção avança, para os polímeros, ocorre

a orientação molecular das cadeias e das estruturas cristalinas, provocando um aumento na resistência; tal acontecimento permite que a estrição seja estabilizada e, desse modo, observa-se o alongamento constante do corpo de prova em sua área útil.

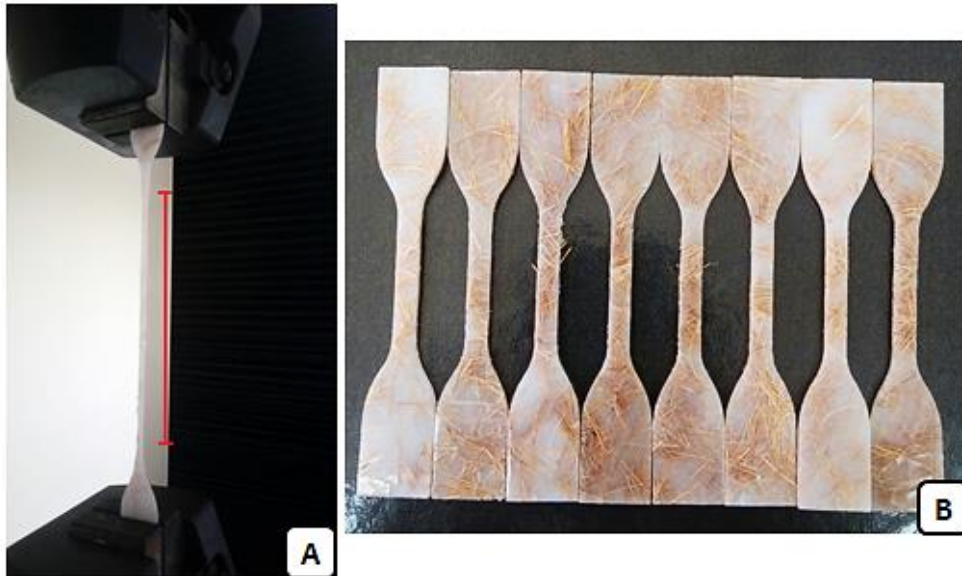
Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos quatro materiais ensaiados.

Material	Módulo elástico E (GPa)	Limite de escoamento σ_e (MPa)	Limite de resistência à tração – LRT (MPa)
PEBD	0,22	9,07	10,06
PEBD + 2,5% FC	0,19	7,90	9,06
PEBD + 5% FC	0,27	6,84	7,33
PEBD + 10% FC	0,21	5,80	6,12

Fonte: Autoria própria, 2018.

De modo geral, comparando o comportamento das curvas do polímero puro e dos três compósitos, juntamente com os valores das propriedades apresentadas na Tabela 7, foi possível inferir que a queda na resistência mecânica, bem como a diminuição da deformação foram causadas pelo aumento das fibras em massa; tendo algumas exceções de corpos de prova em que o alongamento se iniciou em regiões com maior percentual de polímero. As imagens apresentadas na Figura 35 ilustram exatamente esta situação: em A, mesmo contendo fibras (2,5%) ocorreu um alongamento estendido e, em B, observa-se a diferença em quantidade de fibras para a mesma porcentagem, 10%.

Figura 35 – Em A- corpo de prova com 2,5% de fibra em alongamento da área útil (sinalizada) durante ensaio e em B- corpos de prova com 10% de fibra dispersas aleatoriamente.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Comparando as Tabelas 4 e 7, observa-se que o módulo elástico dos quatro materiais tem valores aproximados e estão dentro do intervalo dado pela literatura (0,17 – 0,28 GPa). Na mesma região em que o módulo elástico é encontrado ocorre a deformação elástica. Se o material é tracionado com uma tensão menor que a tensão limite de escoamento, ao ser cessada a carga, a deformação provocada é totalmente recuperada.

Segundo Bedin (2014), partindo de uma quantidade de 20% de fibra, conforme esta quantidade é aumentada, o módulo de elasticidade também aumenta; dessa forma, é possível dizer que a quantidade de FC presente nos compósitos não foi suficiente para gerar qualquer alteração positiva quanto à resistência mecânica e, mais precisamente, quanto ao módulo de elasticidade (E).

Bedin (2014), em seu trabalho, averiguou que, para formular um compósito, o tamanho da fibra, bem como sua orientação são de suma importância para a qualidade do produto final, pois, dependendo do tamanho da mesma, durante a aplicação de uma carga de tração, sendo longa e tendo boa interface, mesmo que seja rompida continuará exercendo reforço sob a matriz; porém, se muito curta, este efeito não ocorrerá, provocando o destacamento da fibra na matriz. De qualquer modo a interface

do compósito deve ser considerada. Seguindo na pesquisa, o mesmo autor determinou que uma fibra que não sofreu tratamento superficial deve ter um comprimento limite de 0,9 cm.

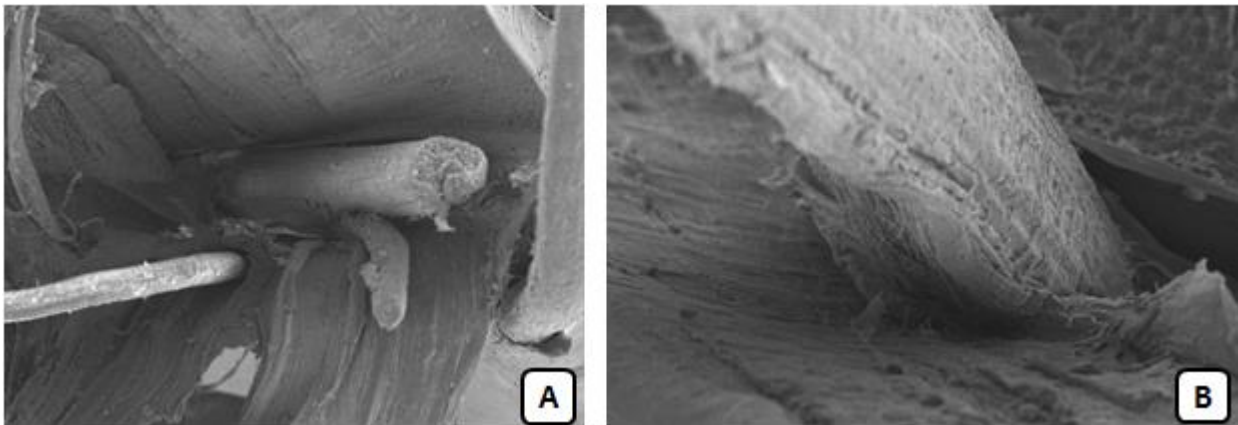
O tamanho da fibra utilizada no presente trabalho foi de 1 cm, aproximadamente, podendo haver fibras com tamanhos maiores.

6.4 MEV

As amostras do compósito de PEBD com 10% de fibra de coco não estavam disponíveis a tempo de serem submetidas à microscopia eletrônica de varredura e, por isso, a microscopia foi realizada somente para amostras com 2,5 e 5% de fibras. As amostras caracterizadas foram retiradas da superfície em que houve a fratura, nos CPs.

Esta caracterização teve por objetivo a análise de adesão entre fibra e polímero. Na Figura 36 estão dispostas imagens do compósito com 2,5% de fibra de coco.

Figura 36 – Imagem da microscopia eletrônica de varredura do compósito com 2,5% de fibra, em A* – com aumento de 50x e em B – com aumento de 220x.**



Fonte: Autoria própria, 2018.

*Escala: 500 μm .

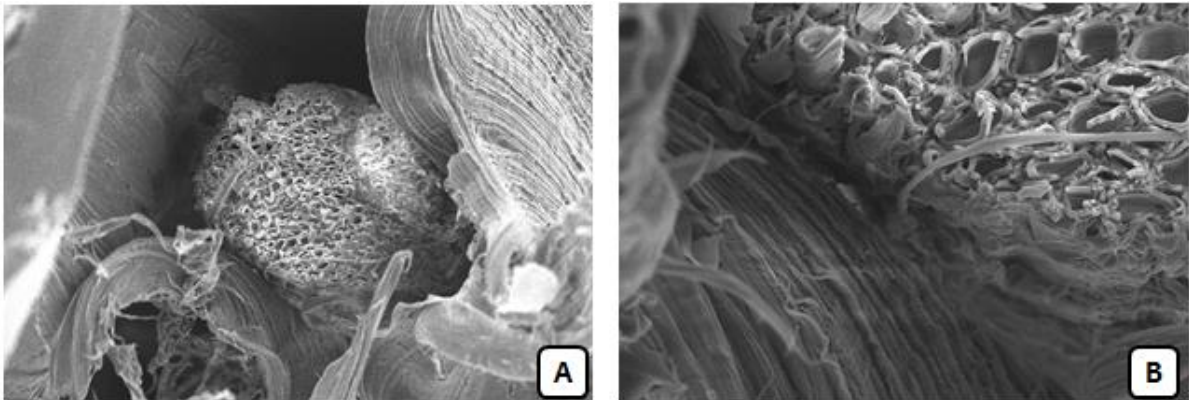
**Escala: 100 μm .

Devido à quantidade de ramificações existentes no polietileno de baixa densidade, desejava-se que houvesse boa adesão com a fibra, formando, conseqüentemente, um compósito com boas propriedades mecânicas. Observando as duas imagens da Figura 35, em A, é notável um espaço (interfase) entre os dois materiais, oriundo do deslocamento da fibra durante o ensaio de tração, ou seja, nesse

espaço não houve interação entre os materiais. Porém, em B, com uma magnificação adequada, nota-se que a interação necessária para qualificar um compósito existe, mesmo após ter sido tracionado; visto que a região analisada foi rompida durante o ensaio.

A Figura 37 ilustra a microscopia do compósito com 5% de fibra de coco.

Figura 37 – Imagem de microscopia eletrônica de varredura do compósito com 5% de fibra, em A* – com aumento de 200x e em B – com aumento de 1000x.**



Fonte: Autoria própria, 2018.

*Escala: 100 μm .

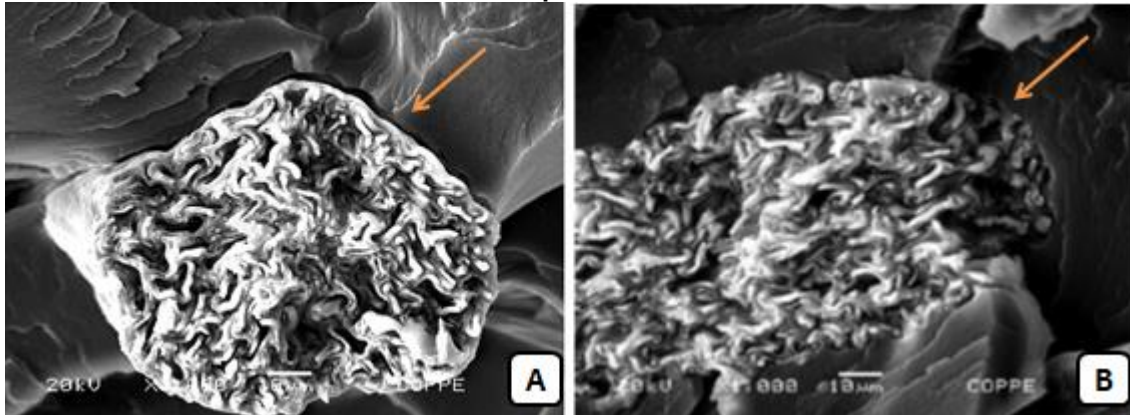
**Escala: 10 μm .

Assim como no primeiro caso, Figura 36, as imagens do compósito contendo 5% de FC também apresentam um destacamento da fibra, mas com a ampliação a interação é visualmente notada.

Há uma dependência sobre a formação de interface, pois mesmo com o rompimento da fibra por algum esforço mecânico, o compósito executa sua função normalmente visto que o reforço continua dando suporte necessário à matriz.

Bedin, 2014, realizou a microscopia de um compósito de PEBD com 10% de fibra de coco, Figura 38 A, também *in natura*, em que é possível observar uma grande área de interfase, mas quando a fibra passa por um tratamento superficial (Figura 38 B), esta área é substituída pela interface.

Figura 38 – Microscopia eletrônica de varredura do compósito de PEBD com 10% de fibra de coco A – *in natura* e B – tratada superficialmente.



Fonte: Adaptado de Bedin, 2014.

7 CONCLUSÃO

Através dos resultados apresentados foi possível concluir que o objetivo de produzir e caracterizar corpos de prova de compósitos com matriz de polietileno de baixa densidade reforçados com fibras de coco foi alcançado.

Nos espectros de infravermelho foram identificadas substâncias características como celulose, lignina e hemicelulose, na fibra; porém, para os compósitos não foi possível tal análise, pois, provavelmente o feixe não alcançou as fibras e algumas regiões submetidas a esta técnica não estavam bem homogêneas. Tal fato também pode ser observado no DSC, as curvas térmicas apresentaram um pico endotérmico à 123 °C além de um comportamento muito próximo do polietileno puro, comprovando a baixa homogeneidade. Através dos ensaios mecânicos observou-se que as propriedades mecânicas, em módulo, diminuíram à medida que uma quantidade de fibras, em porcentagem, foi adicionada, e, a partir disso, especulou-se que havia baixa adesão dos compósitos. Assim, as amostras de 2,5 e 5% foram submetidas à microscopia eletrônica de varredura onde constatou-se baixa adesão através de regiões de interfase.

Dessa forma, conclui-se que o principal motivo pelo qual os corpos de prova não apresentaram aumento na resistência mecânica, como era esperado, foi a falta de adesão entre reforço e matriz; as fibras utilizadas não foram submetidas a nenhum tipo de modificação superficial. Através do ensaio mecânico constatou-se também que a mistura entre os materiais (fibra e polietileno) pelo modo manual não é adequado visto que havia baixa quantidade de reforço em alguns pontos enquanto em outros notou-se uma alta quantidade.

8 TRABALHOS FUTUROS

Com isso, é proposto que as fibras sejam tratadas superficialmente para que a rugosidade seja diminuída e a interação com a matriz aumente, ocorrendo adesão. Outra proposta diz respeito à mistura entre os dois materiais. Considerando que todas as fibras tenham tamanho similar, 0,9 cm, como recomendado, testar a mistura dos materiais em uma extrusora é uma opção na tentativa de garantir que todas as fibras sejam dispersas de modo aleatório por toda a placa.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST – Conceitos básicos sobre materiais plásticos. Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 2014. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/materiais_plasticos_para_site_vf_2.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018.

ALISKE, M. A. **Medidas de espectroscopia no infravermelho médio para determinação d teor de biodiesel em óleo diesel**. 2010. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Parana, Curitiba, 2010.

ANNUNCIADO, T. R. **Estudo da *Chorisia speciosa* e outras fibras vegetais como sorventes para o setor de petróleo**. 2005. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BARBOSA, L. A. *et al.* Polietileno de baixa densidade – PEBD: Mercado, produção, principais propriedades e aplicações. **Revista Espacios**. v. 38, n. 17. 2017.

BBC Brasil – Indústria do coco cresce, mas alto desperdício gera desafio tecnológico. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/02/140207_coco_reciclagem_abre_pai>. Acesso em: 04 nov 2017.

BEDIN, M. G. **Compósito com polietileno de baixa densidade e fibra de coco *in natura* e modificada**. 2014. 99f. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goyatacazes, 2014.

BMW Group – Use of visible natural fibrers in vehicle interiors. **ATZ**. v. 116. p. 21-23. 2014.

BRASKEN - **Relatório Annual 2016**. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/relatorioanual2016>>. Acesso em: 20 jan 2018.

BRASKEN IDESA – Low Density Polyethylene – Technical Data Sheet. Junho de 2017.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CANEVAROLO Jr., S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2.ed. São Paulo: Artliber Editora, 2010.

COUTINHO, F. B. M., MELLO, I. L., SANTA MARIA, L. D. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e tecnologia**. v. 13, n. 1, p. 1-13, Rio de Janeiro, 2003.

DEDAVID, B. A., GOMES, C. I., MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos metálicos e semicondutores** – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

FERREIRA, F. C. **Preparação e caracterização de compósitos poliméricos de polipropileno e fibras de Sisal benziladas em diferentes condições**. Tese (Doutorado em Química) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

GARCIA, A., SPIM, J. A., DOS SANTOS, C. A. **Ensaio dos Materiais**. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

IONASHIRO, M. **Giolito: Fundamentos da termogravimetria, análise térmica diferencial, calorimetria exploratória diferencial**. Araraquara: Giz Editorial, 2004.

ISHIZAKI, M. H. *et al.* Compósitos de polipropileno/ fibras de coco verde. **Polímeros: Ciência e tecnologia**. v. 16, n. 3, p. 182-186, 2006.

LFF – Microscopia eletrônica de varredura com EDS e sistema de nanolitografia. Laboratório de filmes finos. Instituto de Física. Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://fap.if.usp.br/~lff/mev.html>>. Acesso em: 03 fev. 2018.

LIMA, R. N. T. **Estudo da pré-polimerização do catalisador Ziegler-Natta em uma planta comercial de produção**. 2014. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

MAGATON, A. S. **Estrutura anatômica e química da madeira.** Departamento de Engenharia Florestal, Laboratório de celulose e papel – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MANSUR, H. S. **Técnicas de caracterização de materiais.** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

MARINELLI, A. L. *et al.* Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade. **Polímeros: Ciência e tecnologia.** v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MATTOSO, L. H. C., *et al.* Utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos. **Embrapa Instrumentação.** n.3, pg. 1-4. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/27111/-utilizacao-de-fibras-vegetais-para-reforco-de-plasticos>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

OLIVEIRA, S. L. R. **Aproveitamento da casca do coco verde.** 2010. 86f. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

PEREIRA, E. **Desenvolvimento e validação de metodologia analítica para quantificação de urânio em compostos do ciclo do combustível nuclear por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).** 2016. 117f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

PEREIRA, T. M. M. **Caracterização térmica (TG/DTG, DTA, DSC, DSC-fotovisual) de hormônios bioidênticos (estriol e estradiol).** 2013. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

POGGI, E. S. **Simulação de processos e rendimentos esperados para produção de glicose a partir de diferentes híbridos de cana de açúcar.** 2014. 61f. Monografia (Graduação em Engenharia Bioquímica) – Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

RAZERA, I. A. T. **Fibras lignocelulósicas com agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica.** 2006. 189f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

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

SANTOS, E. F. *et al.* Extrusão de compósitos de PP com fibras curtas de coco: Efeitos da temperatura e agentes de acoplamento. **Polímeros**. Instituto de Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SANTOS, F. A. *et al.* Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**. v. 35, n. 5, São Paulo, 2002.

SILVA, I. S., KAMIYA, I. K., JUNIOR, C. C. M. F. Extração da lignina do mesocarpo do coco para construção de compósitos poliméricos. **VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. CONEM, Campina Grande, 2010.

Sistema de Produção Embrapa. Disponível em: <
https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column2&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaold=7703&p_r_p_-996514994_topicold=7829>. Acesso em: 21 jan. 2018.

SOUZA, C. S. **Derivatização química e caracterização de uma lignina do bagaço da cana de açúcar**. 2006. 92f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

SOUZA, R. M. ATR: Avanço da espectroscopia de infravermelho na análise de materiais plásticos. **Boletim de tecnologias e desenvolvimento de embalagens**. v.21, n.3. ITAL – Instituto de Tecnologia em Alimentos. 2009.

UNIVERSAL ATR SAMPLING ACCESORY – User's Guide – Perkin Elmer. Publicado em: março de 2011.