



# Aproveitamento do resíduo de casca da castanha de caju no desenvolvimento de materiais compósitos

Mirna Nunes Araújo

Monique da Silva dos Santos

Rodrigo Pimentel Fernandes

## Projeto de Final de Curso

Orientador

Prof. Daniel Weingart Barreto, *D.Sc.*

Coorientadora

Prof<sup>a</sup>. Leila Léa Yuan Visconte, *D.Sc.*

Setembro de 2013

# **APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE CASCA DA CASTANHA DE CAJU NO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS**

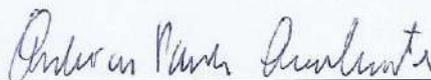
***Mirna Nunes Araújo***

***Monique da Silva dos Santos***

***Rodrigo Pimentel Fernandes***

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos.

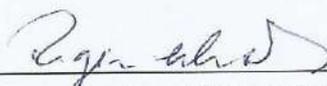
Aprovado por:



André de Paula Cavalcante, M.Sc.

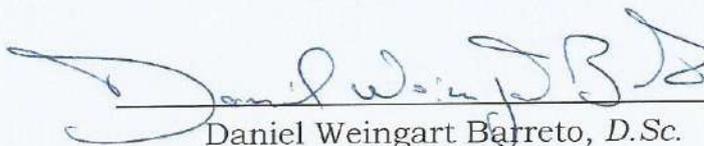


Estevão Freire, D.Sc.



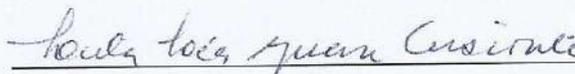
Regina Célia Reis Nunes, D.Sc.

Orientado por:



Daniel Weingart Barreto, D.Sc.

Coorientado por:



Leila Léa Yuan Visconte, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Setembro de 2013

Araújo, Mirna Nunes. dos Santos, Monique da Silva. Fernandes, Rodrigo Pimentel.

Aproveitamento do resíduo de casca da castanha de caju no desenvolvimento de materiais compósitos/ Mirna Nunes Araújo, Monique da Silva dos Santos e Rodrigo Pimentel Fernandes. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2013.

x, 85 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2013.

Orientador: Daniel Weingart Barreto.

Coorientadora: Leila Léa Yuan Visconte

1. Compósito. 2. Casca da castanha de caju. 3. Polipropileno. 4. Polietileno de alta densidade. 5. Eco-material. 6. Projeto Final. (Graduação – UFRJ/EQ). 7. Daniel Weingart Barreto, Leila Léa Yuan Visconte I. Título.

*A Deus, às nossas famílias e aos nossos amigos.*

*“Feliz é o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento; pois melhor é o lucro que ela dá do que o da prata, e melhor a sua renda do que o ouro mais fino.”*

*(Provérbios 3: 13-14)*

## AGRADECIMENTOS

*Nossos sinceros agradecimentos...*

A **Deus**, por iluminar os nossos passos e permitir esta conquista.

Às **nossas famílias**, por todo amor, dedicação e suporte, e por serem fundamentais para a nossa formação pessoal.

Aos **nossos amigos**, pelo apoio e presença nos momentos de alegria e tristeza da nossa caminhada.

Aos **nossos mestres**, pelos ensinamentos e experiências essenciais para o nosso desenvolvimento como profissionais.

Ao nosso orientador **Daniel Barreto**, pelas sugestões e motivação determinantes para o desenvolvimento deste trabalho.

À nossa coorientadora **Leila Visconte**, pela oportunidade, contribuição e por acreditar neste projeto.

Ao professor **Luiz Fernando Lopes**, pelo apoio e amizade durante nossa graduação e, principalmente, por ter acreditado em nós.

À **banca examinadora**, pela disponibilidade, interesse e presença na apresentação do trabalho.

À **RESIBRAS**, pela gentil doação do líquido e do resíduo de casca da castanha de caju.

À **Amanda**, pelas termogravimetrias, grande colaboração e amizade.

Ao **Júlio** e ao **Henrique**, pelo auxílio indispensável nos processos de extrusão e injeção.

À **Eduarda** do LMSCP/PEQ/COPPE/UFRJ, pela gentileza, disponibilidade e ajuda com a peneiração.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos.

## **APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU NO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS**

Mirna Nunes Araújo  
Monique da Silva dos Santos  
Rodrigo Pimentel Fernandes

Setembro, 2013

Orientador: Prof. Daniel Weingart Barreto, *D.Sc.*  
Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Leila Léa Yuan Visconte, *D.Sc.*

Os impactos antropogênicos, por sua dimensão e gravidade na natureza, têm impulsionado o desenvolvimento de “eco-materiais”. Dentre eles, estão os compósitos de matrizes termoplásticas preenchidas com cargas lignocelulósicas. Nesse contexto, o resíduo de casca da castanha de caju, proveniente do beneficiamento da castanha, apresenta grande potencial como carga em virtude de sua importância no cenário socioeconômico do Nordeste brasileiro, sua geração em grandes quantidades e seu pouco aproveitamento. Nessa perspectiva, este projeto final de curso objetivou avaliar o aproveitamento desse resíduo como carga em compósitos de matrizes de polipropileno e de polietileno de alta densidade. Os teores de carga foram de 10%, 20%, 30% e 40% (m/m). Os compósitos foram preparados por extrusão, moldados por injeção, e por fim, caracterizados em termos de propriedades físicas, térmicas e mecânicas. Foram obtidos compósitos de PP com índices de fluidez mais elevados que o do PP puro, e compósitos de PEAD com reduções pouco relevantes nos índices de fluidez se comparados ao do PEAD puro. Além disso, todos os compósitos revelaram maior flexibilidade que as poliolefinas puras, em paralelo a menor resistência à tração. Quanto à resistência ao impacto, a redução foi mais relevante nos compósitos de PEAD do que nos de PP. Diante desses resultados, os materiais desenvolvidos apresentaram propriedades singulares, podendo desencadear diversas pesquisas futuras e aplicações proveitosas – *e.g.* na fabricação de peças automobilísticas de acabamento, móveis, utensílios domésticos e tubos.

# ÍNDICE

1 - Introdução.....	1
2 - Objetivo.....	4
2.1 - Objetivo Geral.....	4
2.2 - Objetivos Específicos.....	4
3 - Revisão Bibliográfica.....	5
3.1 - Ecologia Industrial, <i>eco-design</i> e eco-materiais.....	5
3.2 - Materiais compósitos .....	6
3.3 - Matrizes poliméricas .....	10
3.3.1 - Polipropileno (PP).....	12
3.3.2 - Polietileno de alta de densidade (PEAD).....	15
3.4 - Cargas vegetais em compósitos de matrizes termoplásticas.....	17
3.5 - Agroindústria do caju.....	19
3.6 - Compósitos de cargas vegetais e matrizes termoplásticas na literatura .....	27
3.7 - Processamento e caracterização de compósitos .....	29
3.7.1 - Processo de mistura por extrusão.....	29
3.7.2 - Processo de moldagem por injeção.....	29
3.7.3 - Densidade .....	30
3.7.4 - Índice de fluidez (MFI) .....	30
3.7.5 - Termogravimetria (TG).....	31
3.7.6 - Distribuição granulométrica.....	32
3.7.7 - Propriedades mecânicas.....	32
3.7.7.1 - Ensaio de Tração .....	33
3.7.7.2 - Ensaio de Flexão.....	35
3.7.7.3 - Ensaio de Impacto .....	36
4 - Materiais e Métodos.....	39
4.1 - Materiais .....	39
4.1.1 - LCC técnico e resíduo de CCC .....	39
4.1.2 - Polipropileno.....	39
4.1.3 - Polietileno de Alta Densidade.....	39
4.2 - Métodos .....	40
4.2.1 - Preparo dos Compósitos.....	40

4.2.1.1 - Pré-preparo do resíduo de CCC.....	40
4.2.1.2 - Mistura do resíduo de CCC com as poliolefinas .....	40
4.2.1.3 - Moldagem dos corpos de prova .....	41
4.2.2 - Caracterização do resíduo de CCC .....	42
4.2.2.1 - Distribuição granulométrica .....	42
4.2.2.2 - Termogravimetria (TG).....	42
4.2.3 - Caracterização das poliolefinas e dos compósitos .....	43
4.2.3.1 - Determinação da densidade .....	43
4.2.3.2 - Determinação do índice de fluidez (MFI).....	43
4.2.3.3 - Termogravimetria (TG).....	44
4.2.3.4 - Ensaio das propriedades mecânicas.....	44
4.2.3.4.1 - Ensaio de resistência à tração .....	44
4.2.3.4.2 - Ensaio de resistência à flexão .....	45
4.2.3.4.3 - Ensaio de resistência ao impacto .....	45
5- Resultados e Discussão .....	46
5.1 - Caracterização do resíduo de CCC .....	46
5.1.1 - Distribuição granulométrica.....	46
5.1.2 - Termogravimetria (TG).....	46
5.2 - Caracterização dos compósitos .....	51
5.2.1 - Densidade .....	51
5.2.2 - Termogravimetria (TG) dos compósitos.....	52
5.2.3 - Índice de fluidez (MFI) .....	56
5.2.4 - Ensaio das propriedades mecânicas.....	58
5.2.4.1 - Ensaio de resistência à tração .....	58
5.2.4.2 - Ensaio de resistência à flexão .....	64
5.2.4.3 - Ensaio de resistência ao impacto .....	66
6- Conclusão .....	69
7- Próximos Passos.....	71
8- Referências Bibliográficas .....	73

## NOMENCLATURA

ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
aPP	Polipropileno atático
CCC	Casca da castanha de caju
CP	Corpo de prova
D	Diâmetro
DTG	Curva da termogravimetria derivada
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPS	Poliestireno expandido
EVA	Etileno acetato de vinila
HDPE	Polietileno de alta densidade
iPP	Polipropileno isotático
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
L	Comprimento
LCC	Líquido da casca da castanha de caju
MFI	Índice de fluidez
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEAD+CCC	Compósito de polietileno de alta densidade e resíduo de casca da castanha de caju

PEBD	Polietileno de baixa densidade
PELBD	Polietileno linear de baixa densidade
PET	Poli (tereftalato de etileno)
PEUAPM	Polietileno de ultra alto peso molecular
PEUBD	Polietileno de ultra baixa densidade
PP	Polipropileno
PP+CCC	Compósito de polipropileno e resíduo de casca da castanha de caju
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
sPP	Polipropileno sindiotático
TG	Termogravimetria

## 1 - Introdução

Hoje, o cenário mundial é caracterizado por mudanças aceleradas envolvendo aspectos tecnológicos, econômicos, políticos, organizacionais e sociais. Dentre os fatores impulsionadores dessas mudanças estão a globalização e a crescente competição entre as empresas. Nesse contexto, o conhecimento desempenha um papel estratégico e a busca por desenvolvimento e inovação é essencial.

Nos últimos anos, há uma percepção cada vez maior das empresas no que concerne à inovação como um diferencial competitivo (CANONGIA *et al.*, 2004). Dessa forma, gera-se uma grande demanda de novos processos e produtos que integrem alta qualidade e segurança, excelência no desempenho e baixo custo. Contudo, além dessas variáveis tradicionais, atualmente é imprescindível considerar os aspectos ambientais, visto que os impactos antropogênicos são alarmantes. A sociedade tem reconhecido o quanto suas atividades interferem na natureza e, conseqüentemente, a urgência de reduzir os aspectos negativos dessa intervenção.

Nesse sentido, a eco-concepção, do inglês *eco-design*, ganha destaque. O *eco-design* é uma nova maneira de projetar produtos agregando variáveis ambientais às variáveis técnicas e econômicas tradicionais já citadas. Esse conceito aplicado a materiais originou o termo *eco-material* (HALADA; YAMAMOTO, 2001).

Os eco-materiais, também chamados de materiais “verdes”, são desenvolvidos a fim de minimizar os efeitos ambientais adversos, mantendo seu desempenho e preço competitivo (FERREIRA *et al.*, 2007). Nessa perspectiva, materiais produzidos a partir de fontes renováveis de matéria-prima e energia, ou a partir do reaproveitamento de resíduos, são exemplos de eco-materiais bastante interessantes.

Teixeira e César (2006) trabalham com a abordagem de que o *eco-design* e os eco-materiais são ferramentas da Ecologia Industrial, um conceito que objetiva prevenir a poluição através da diminuição não só da demanda de matérias-primas e energia, mas também da devolução de resíduos e poluentes à natureza.

Seguindo essa linha, muitos estudos têm sido desenvolvidos para reduzir os impactos ambientais decorrentes do descarte de resíduos no ambiente. Uma alternativa que tem despertado o interesse dos cientistas e que envolve eco-materiais é o aproveitamento de resíduos agroindustriais lignocelulósicos como cargas na produção de compósitos com matrizes termoplásticas.

A produção de compósitos de matrizes termoplásticas preenchidas com cargas lignocelulósicas tem sido bastante incentivada desde aproximadamente 1980, sendo os compósitos com cargas derivadas de madeira, os WPCs (do inglês *Wood-Plastic Composites*), os que eram majoritariamente produzidos nos anos iniciais. Depois, outras fontes de material lignocelulósico passaram a ser pesquisadas, tais como casca e palha de arroz, bagaço de cana, coco, sisal, juta, rami e curauá (CORREA *et al.*, 2003; MARINELLI *et al.*, 2008).

O uso de resíduos agroindustriais apresenta vantagens em relação às cargas tradicionais inorgânicas, particularmente as de origem mineral – *e.g.* fibra de vidro, talco e carbonato de cálcio – em virtude de sua natureza renovável, capacidade de sequestro de dióxido de carbono, propriedades não abrasivas e menor custo (CORREA *et al.*, 2003; FERRAN *et al.*, 2006).

Nesse contexto, a casca da castanha de caju é uma fonte interessante de material lignocelulósico, podendo ser aplicada como carga na produção de materiais compósitos. Seu grande potencial se deve à importância da agroindústria do caju no cenário econômico e social no Nordeste do Brasil.

A casca é um resíduo desse agronegócio gerado em grandes quantidades e que encontra pouca aplicação hoje, sendo utilizada apenas como combustível na maioria das vezes (PAIVA; GARRUTI; SILVA NETO, 2000). Sendo assim, sua utilização como matéria-prima no desenvolvimento de compósitos poliméricos é uma alternativa para dar uma utilização mais nobre a esse resíduo, de forma a reduzir o consumo de matéria-prima não renovável (polímero sintético), obtendo assim um produto de menor custo e com apelo ambiental.

Diversas fábricas industrializam produtos do caju no Brasil. O ramo de beneficiamento da castanha visa, basicamente, a obtenção da amêndoa e, em menor escala, a extração do líquido da casca da castanha (LCC), aplicado na produção de tintas, vernizes, resinas, inseticidas, fungicidas, materiais elétricos, isolantes e adesivos. O processo de obtenção da amêndoa e extração do LCC origina o resíduo de casca da castanha (PAIVA; GARRUTI; SILVA NETO, 2000).

No que diz respeito à matriz dos compósitos, diversos tipos de polímeros podem ser empregados. Os mais utilizados são os polímeros termorrígidos, dentre eles, os poliésteres insaturados, epóxi e fenólico; e os polímeros termoplásticos como polipropileno, polietileno e policloreto de vinila (PVC). Escolher os materiais termoplásticos como matrizes oferece vantagens sobre os materiais termorrígidos como maior processabilidade, dureza e facilidade de moldagem (LEVY NETO; PARDINI, 2006; MALKAPURAM; KUMAR; YUVRAJ, 2009).

Neste projeto final de curso foi estudado o desenvolvimento de materiais compósitos utilizando duas diferentes matrizes termoplásticas, polipropileno (PP) e polietileno de alta densidade (PEAD), e o resíduo da casca da castanha de caju proveniente do agronegócio do caju como carga. Os teores de carga variaram entre 10 e 40 % (m/m). Foram avaliadas as propriedades físicas, térmicas e mecânicas dos materiais produzidos com o intuito de encontrar aplicações alinhadas aos resultados obtidos.

## **2 - Objetivo**

### **2.1 - Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho foi avaliar, sob o ponto de vista técnico, o aproveitamento do resíduo de casca da castanha de caju como carga em materiais compósitos de matrizes poliméricas de polipropileno e de polietileno de alta densidade, considerando suas propriedades físicas, térmicas e mecânicas.

### **2.2 - Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar as características do resíduo de casca da castanha de caju;
- Processar os compósitos e os termoplásticos;
- Avaliar as propriedades físicas, térmicas e mecânicas dos compósitos produzidos;
- Identificar possíveis aplicações para os compósitos alinhadas às propriedades obtidas.

### **3 - Revisão Bibliográfica**

#### **3.1 - Ecologia Industrial, *eco-design* e eco-materiais**

O avanço tecnológico tem vindo acompanhado de uma severa degradação da natureza. É evidente a necessidade de novas tecnologias para a produção de materiais ambientalmente adequados. Por isso, o conceito de eco-materiais está se difundindo rapidamente (HALADA; YAMAMOTO, 2001).

O termo *eco-materiais* passou a ser difundido a partir dos anos 90. Em linhas gerais, um eco-material deve ser compatível com o avanço tecnológico para que a expansão das fronteiras humanas ocorra de forma tão segura quanto eficiente (HALADA; YAMAMOTO, 2001; YAGI; HALADA, 2002; FERREIRA *et al.*, 2007).

Alguns exemplos de eco-materiais são: materiais atóxicos; materiais fabricados a partir de fontes renováveis de matéria-prima e energia, ou fabricados a partir do reaproveitamento de resíduos cumulativos no ambiente; materiais produzidos com baixo consumo de energia e de água, e sem emissões tóxicas; materiais que substituam outros de impacto ambiental negativo; e materiais com aplicações voltadas para despoluição, tratamento de resíduos ou estabilização dos mesmos (YAGI; HALADA, 2002; HALADA, 2003; UMEZAWA; HALADA; SUGI, 2005; HSIEN; LEE, 2001 *apud* FERREIRA *et al.*, 2007).

O desenvolvimento de eco-materiais faz parte da eco-concepção, do inglês *eco-design*, uma nova maneira de projetar produtos agregando variáveis ambientais às variáveis técnicas e econômicas tradicionais do projeto, dentre elas, qualidade, desempenho, segurança e custo (HALADA; YAMAMOTO, 2001).

O *eco-design* é uma ferramenta de um conceito mais abrangente: a Ecologia Industrial. Esta objetiva prevenir a poluição através da

redução não só da demanda de matérias-primas e energia, mas também do descarte de resíduos e poluentes na natureza (TEIXEIRA; CÉSAR, 2006).

Para atingir esse propósito, procura utilizar os recursos em ciclos fechados, analogamente aos processos naturais, nos quais não cabem os conceitos de resíduos e matéria-prima; além de compatibilizar os rejeitos com a natureza, quando sua eliminação não for possível. Desse modo, a Ecologia Industrial enfatiza o uso de sistemas integrados de processos ou indústrias, de forma que resíduos ou subprodutos de um processo possam servir como matéria-prima de outro (KIPERSTOK; MARINHO, 2001).

### **3.2 - Materiais compósitos**

Os compósitos são materiais que a cada dia adquirem mais importância tecnológica. No entanto, o seu desenvolvimento não é recente (ROCHA; AMARO; MONTEIRO, 2009).

O homem descobriu empiricamente nos tempos antigos, que ao usar em conjunto dois ou mais materiais de naturezas diferentes, muitas vezes era possível obter um material com desempenho superior e diferente dos componentes de origem. Foi dessa forma que os antigos egípcios confeccionaram tijolos de argila misturados com palha, mais resistentes à abrasão se comparados aos tijolos só de argila (VENTURA, 2009).

Os materiais compósitos, também conhecidos como conjugados ou compostos, não possuem uma definição universalmente aceita (PADILHA, 2007; VENTURA, 2009). No geral, pode-se dizer que os compósitos são materiais multifásicos com proporção significativa de pelo menos dois componentes com propriedades diferentes, e que apresentam uma combinação dessas propriedades. Contudo, os

constituintes retêm suas identidades, isto é, um não dissolve totalmente no outro, embora atuem em conjunto (CALLISTER, 2002).

Um exemplo de compósito é o concreto armado utilizado na construção civil, que une a resistência à compressão do concreto com a considerável resistência à tração do aço. Outro exemplo típico é a prancha de surfe, que agrega fibras de vidro a um polímero. A fibra de vidro confere resistência mecânica à prancha, enquanto o polímero é responsável pela flexibilidade do compósito (PADILHA, 2007).

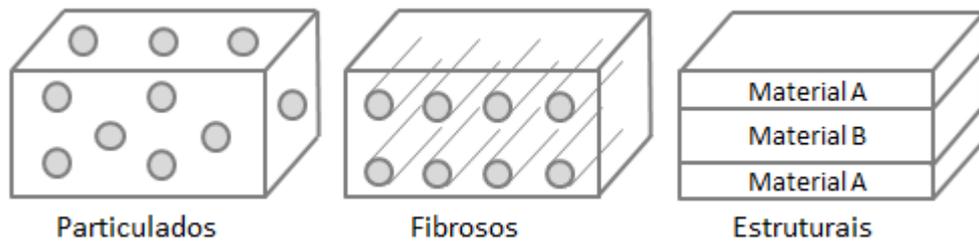
A natureza também apresenta inúmeros casos onde compósitos estão presentes. Dentre eles, está a madeira, constituída de uma matriz de lignina e pectina reforçada com fibras de celulose; e os ossos, compostos por uma matriz mineral reforçada por fibras de colágeno (ROCHA; AMARO; MONTEIRO, 2009; HIDALGO-LÓPEZ, 2003 *apud* VENTURA, 2009).

Uma grande parte dos materiais conjugados é produzida por mistura física de duas fases: a fase contínua (matriz) e a fase dispersa (carga). As duas fases são combinadas para atingir um sistema com propriedades estruturais ou funcionais mais úteis, inatingíveis pelos componentes individualmente. Às vezes, por causa das interações químicas ou outros efeitos de processo, uma fase adicional, chamada de interfase, existe entre a carga e a matriz (DANIEL; ISHAI, 1994; REIFSNIDER, 1994; VENTURA, 2009).

As propriedades dos compostos formados são determinadas pelas propriedades dos constituintes, por sua proporção, pela geometria da fase dispersa (tipo das partículas, quantidade, tamanho, forma, distribuição e orientação), e pela adesão entre as fases (CHENEMISINOFF, 1989; CALLISTER, 2002).

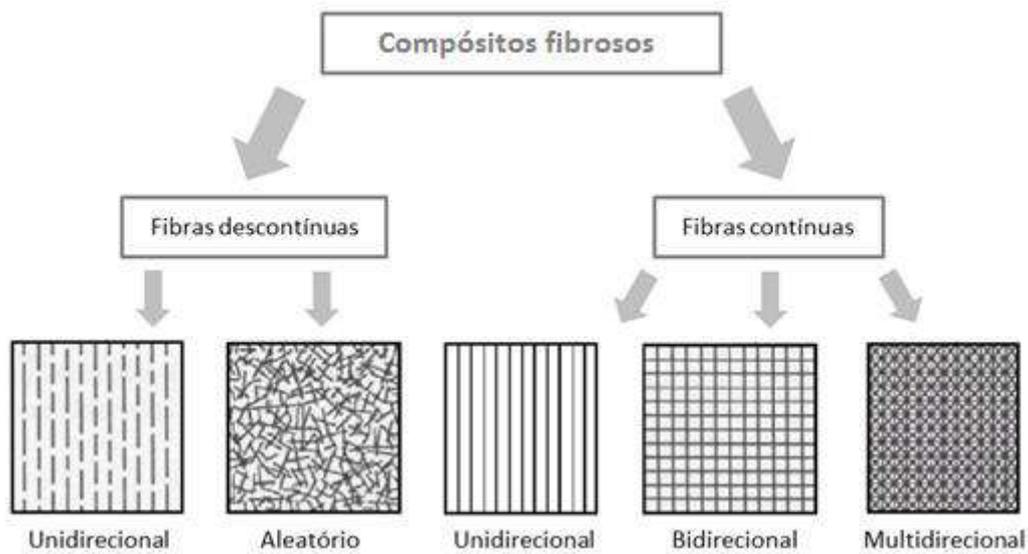
Quanto à classificação dos compósitos, ainda não há um padrão aceito por toda comunidade científica. É consenso que tais materiais podem ser alocados em categorias em função do tipo de matriz ou do tipo de carga (VENTURA, 2009).

Em conformidade com a maioria dos autores sobre o assunto, os compósitos são divididos, em geral, em três classes referentes à carga: compósitos particulados, compósitos fibrosos e compósitos estruturais – laminares ou do tipo sanduíche (BUNSELL; HARRIS, 1974; CALLISTER, 2002; VENTURA, 2009).



**Figura 3.1:** Classificação dos materiais compósitos segundo o tipo de carga: particulados, fibrosos e estruturais. Fonte: Adaptado de VENTURA, 2009.

Geralmente, os compósitos fibrosos são separados entre fibras contínuas, podendo estas ser unidirecionais, bidirecionais ou multidirecionais, e fibras descontínuas, podendo estas ser unidirecionais ou dispostas aleatoriamente (DANIEL; ISHAI, 1994).



**Figura 3.2:** Classificação dos compósitos reforçados com fibras. Fonte: Adaptado de DANIEL; ISHAI, 1994.

Os compósitos estruturais apresentam em sua composição multicamadas. Os laminares ou laminados, possuem sucessivas camadas de fibras impregnadas em resina segundo uma orientação. A estrutura sanduíche é formada por um material leve (núcleo) entre duas contra placas (faces) com alta rigidez (KRISHNAMURTHY, 2009; GAGLIARDO; MASCIA, 2010).

As cargas ainda podem ser classificadas como cargas de reforço ou cargas de enchimento. As de reforço, como o próprio nome sugere, permitem a produção de um compósito com propriedades mecânicas superiores às da matriz pura – *e.g.* aumento da resistência ao impacto. Já as de enchimento são normalmente utilizadas para preencher uma matriz, reduzindo os custos do produto final. O preenchimento com esse tipo de carga modifica as propriedades mecânicas da matriz, sem obrigatoriamente lhe conferir propriedades superiores de resistência. Essa classificação depende do tipo de matriz empregada e da interação dela com a carga. Desse modo, uma mesma carga pode atuar como reforço em determinada matriz, e enchimento em outra (CHAWLA, 1987; AGARWAL; BROUTMAN, 1990; ROSATO, 1997; RABELLO, 2000).

Como já dito, os materiais compostos também costumam ser classificados de acordo com o tipo de matriz. Esta pode ser um metal, um polímero ou um cerâmico. O grupo mais importante em termos de desempenho e campo de aplicações é o de matriz polimérica (VENTURA, 2009).

Para Ventura (2009), a crescente necessidade de novas tecnologias, principalmente aquelas que combinam propriedades de materiais, coloca os compósitos em evidência. Segundo a autora, eles são largamente utilizados na indústria com o fim de reduzir custos, aumentar a produtividade e facultar diferentes propriedades aos materiais. Ela ainda ressalta que os compósitos substituem cada vez mais os materiais convencionais.

Hoje, eles já encontram diversas aplicações, dentre elas, nas indústrias aeroespacial e aeronáutica, na construção civil, na medicina e odontologia, na indústria automobilística, na indústria de equipamentos esportivos, na indústria naval, e na fabricação de móveis (TEIXEIRA; CÉSAR, 2006; MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2009).

### **3.3 - Matrizes poliméricas**

Os polímeros são macromoléculas formadas por unidades químicas ligadas covalentemente que se repetem ao longo da cadeia (monômeros). Em alguns casos, as ligações formam uma cadeia linear, com ou sem ramificações, e em outros, cadeias ligadas entre si, gerando estruturas tridimensionais. Eles podem ser naturais, como a seda, a celulose e as fibras de algodão, ou sintéticos, como o polipropileno, o poli(tereftalato de etileno) (PET) e o polietileno. (BLASS, 1985; WAN; GALEMBECK; GALEMBECK, 2001).

O homem vem se beneficiando dos polímeros desde aproximadamente 1600 a.C., quando a borracha natural foi utilizada para confeccionar bolas e outros objetos. Nos anos seguintes, passou-se

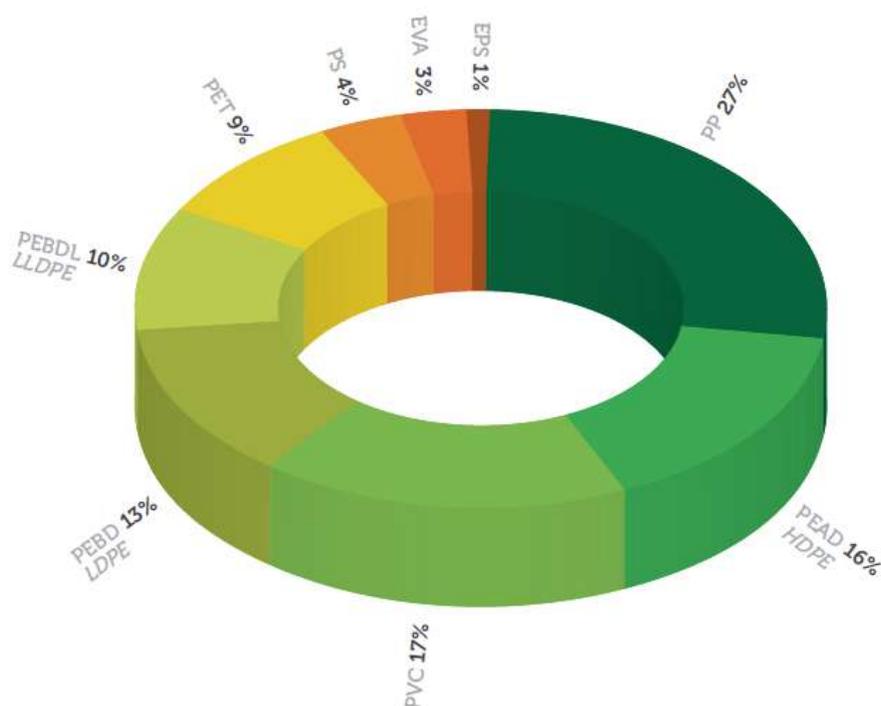
a utilizar cada vez mais a borracha e os plásticos, primeiro os naturais, até o século XIX, quando o desenvolvimento dos termoplásticos modernos se iniciou (HOSLER; BURKETT; TARKANIAN, 1999).

Hoje, os materiais poliméricos possuem várias aplicações, dentre elas, em embalagens, tubulações, pneus, estruturas na construção civil, automóveis, produtos eletrônicos, próteses médicas, utensílios domésticos e compósitos (ABIPLAST, 2012).

Ressalta-se que a matriz em um compósito pode ser polimérica, metálica ou cerâmica, e que, dentre esses tipos, o primeiro é o mais utilizado. Diversos polímeros podem ser empregados. Os mais comuns são os termorrígidos – *e.g.* poliésteres insaturados, epóxi e fenólico – e os termoplásticos – *e.g.* polipropileno, polietileno, poliestireno e policloreto de vinila (PVC). Os termoplásticos oferecem vantagens sobre os materiais termorrígidos como maior processabilidade, dureza e facilidade de moldagem (MALKAPURAM; KUMAR; YUVRAJ, 2008).

Os termoplásticos são capazes de ser moldados diversas vezes por se tornarem fluidos com o aumento da temperatura e/ou da pressão, e depois, se solidificarem com a redução das mesmas. Uma vez resfriados, conservam a forma geométrica na qual foram moldados. A nível molecular, à medida que a temperatura aumenta, a força das ligações intermoleculares reduz, de forma que o movimento relativo de cadeias adjacentes se torna mais fácil quando uma tensão é aplicada (CHENEMISINOFF, 1989).

No Brasil, das matérias-primas do setor de transformação do plástico, os termoplásticos são as mais utilizadas na indústria, principalmente o polipropileno, o polietileno e o policloreto de vinila (PVC), que em 2012, representavam 83% do total, conforme a Figura 3.3 (ABIPLAST, 2012).



**Figura 3.3:** Principais termoplásticos utilizados no Brasil em 2012. Fonte: ABIPLAST, 2012.

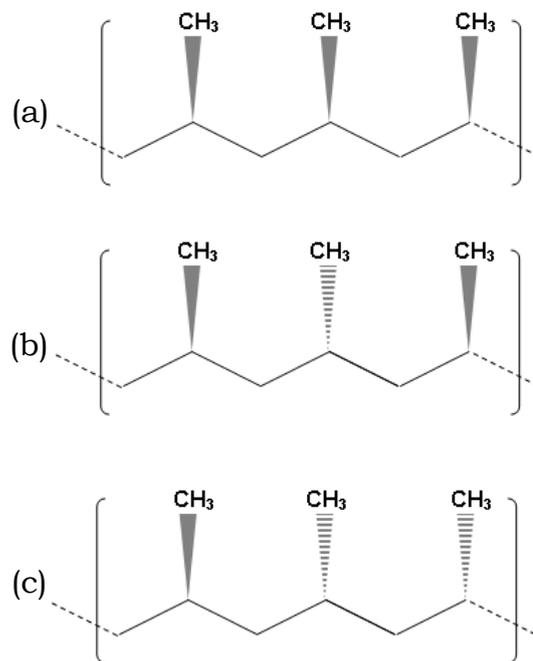
### 3.3.1 - Polipropileno (PP)

O polipropileno é atualmente um dos materiais poliméricos mais amplamente utilizados, apresentando uma excelente combinação de performance e custo, e ótimas propriedades, incluindo resistência química e à umidade, razoável ductilidade, boa rigidez e baixa densidade. É um dos mais versáteis dentre os polímeros, sendo adequado aos mais variados processos de transformação. Além disso, há tecnologias limpas para a sua produção. (MOORE, 1996).

O PP é produzido a partir da polimerização do propeno, também chamado de propileno, um subproduto gasoso do refino do petróleo, na presença de um catalisador e sob condições controladas de pressão e temperatura. O propeno é um hidrocarboneto insaturado, contendo três átomos de carbono e seis átomos de hidrogênio (RAM, 1997).

O PP pode apresentar microestruturas diferenciadas em função da técnica empregada em sua polimerização. A polimerização com catalisadores Ziegler-Natta, que é a mais usada hoje, possibilita a produção de três tipos de configurações – isotático (iPP), sindiotático (sPP) ou atático (aPP) – dependendo da configuração do carbono que contém o grupo metila pendente (MARK *et al.*, 1986; PAUKKERI; VÄÄNÄNEN; LEHTINEN, 1993; MAIER; CALAFUT, 1998).

Um alto grau de isotaticidade significa alta regularidade no arranjo sequencial dos monômeros do PP. Uma sucessão de unidades de monômeros regularmente alternados leva à formação de moléculas sindiotáticas. Por outro lado, uma sucessão desordenada de unidades forma moléculas atáticas. A Figura 3.5 apresenta a estrutura das três configurações das cadeias de polipropileno (MARK *et al.*, 1986; PAUKKERI; VÄÄNÄNEN; LEHTINEN, 1993; MAIER; CALAFUT, 1998).



**Figura 3.4:** As diferentes configurações de PP. (a) PP isotático; (b) PP sindiotático; (c) PP atático. Fonte: PAUKKERI; VÄÄNÄNEN; LEHTINEN, 1993.

As proporções de segmentos iPP, sPP e aPP no polímero são determinadas pelo tipo de catalisador utilizado na reação, assim como

pelas condições de polimerização. A grande maioria dos polímeros de PP é formada predominantemente por PPs isotáticos com pequenas quantidades de segmentos atáticos. Devido a sua conformação, o polipropileno isotático apresenta alto grau de empacotamento de suas cadeias, resultando em um material com maior cristalinidade, rigidez e opacidade se comparado ao sindiotático e ao atático. O sPP tem menor rigidez que os isotáticos, mas melhor resistência ao impacto. Devido à estrutura irregular, a forma atática, com menor cristalinidade, resulta em material amorfo com relativa rigidez (MARK *et al.*, 1986; MAIER; CALAFUT, 1998).

O polipropileno isotático possui boas propriedades físicas, mecânicas, térmicas e morfológicas. Por ser semicristalino, o iPP apresenta as fases cristalina e amorfa, onde as proporções dependem de fatores estruturais, estereoquímicos e do modo de preparação (KARIAN, 2003). É possível a obtenção de diferentes propriedades por meio da alteração da regularidade das cadeias (taticidade), de modo que se pode observar que o iPP apresenta propriedades mecânicas bastante características, tais como sua rigidez, resistência à tração e resistência ao impacto. O módulo de elasticidade, o qual está intrinsecamente relacionado com a rigidez, tende a aumentar com a cristalinidade. A baixa densidade do PP é outro atrativo, visto que sua aplicação produz peças e produtos relativamente leves (CHANDA; ROY, 2007).

Conforme exposto, o PP é produzido em diferentes formas, dependendo das propriedades desejadas. Além de variações no sistema catalítico e no processo de polimerização, podem ser realizadas modificações na sua estrutura, alterando assim suas propriedades. Uma maneira de se modificar a estrutura é introduzir um comonômero na cadeia principal de PP, geralmente eteno (MARK *et al.*, 1986).

Polipropilenos que contêm somente o monômero propeno na cadeia polimérica são chamados PPs homopolímeros. Polipropilenos que contêm o monômero propeno na cadeia polimérica e o comonômero

eteno introduzido de forma aleatória são chamados copolímeros randômicos (MAIER; CALAFUT, 1998).

Os principais parâmetros que governam as propriedades de polipropilenos homopolímeros são a estereoregularidade da cadeia e a massa molar. Esses parâmetros afetam significativamente o grau de cristalinidade e também a processabilidade e o desempenho do material (PHILLIPS; WOLKOWICZ, 2005).

O PP é aplicado na fabricação de recipientes, na embalagem de alimentos, fármacos, cosméticos, entre outros; na indústria automobilística, para confecção principalmente de painéis internos e para-choques; no setor têxtil, na composição de fibras e filmes; e em diversos outros ramos, como o de brinquedos, o de eletrodomésticos e o de produtos descartáveis (WAN; GALEMBECK; GALEMBECK, 2001).

### **3.3.2 - Polietileno de alta densidade (PEAD)**

O polietileno (PE), produzido através da polimerização do eteno, é um polímero largamente usado devido às suas características estruturais e propriedades. O que diferencia os principais tipos de polietileno é a presença de ramificações na cadeia polimérica. Essas ramificações podem ser geradas por diferentes mecanismos. Um fator importante é a escolha do catalisador, a partir do qual se pode controlar o tipo e a distribuição de ramificações, características estas que influenciam diretamente a densidade, a cristalinidade, as propriedades e, conseqüentemente, as aplicações desses polímeros (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

Dependendo das condições reacionais e do sistema catalítico empregado na polimerização, cinco tipos diferentes de PE podem ser produzidos (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003):

- Polietileno de baixa densidade (PEBD ou LDPE);

- Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE);
- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE);
- Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM ou UHMWPE);
- Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD ou ULDPE).

Quando a síntese do PE é conduzida em altas pressões e temperaturas, são provocadas, além da reação normal de polimerização, reações secundárias de transferência de cadeia intramoleculares e intermoleculares. As transferências intramoleculares dão origem a ramificações curtas, de dois a cinco átomos de carbono, principalmente. As transferências intermoleculares dão origem a ramificações longas, de comprimento médio semelhante ao de meia molécula do polímero. Portanto, condições experimentais drásticas produzem um PE de cadeia ramificada (GUITIÁN, 1995).

Em contrapartida, no PE obtido em condições brandas de pressão e temperatura, com o auxílio de catalisadores de coordenação, ocorre, praticamente, apenas a reação normal de polimerização. Portanto, na ausência quase total de reações de transferência, forma-se um PE de cadeia linear (GUITIÁN, 1995).

As cadeias do PE ramificado não tem tanta capacidade de empacotamento quanto as do PE linear. Por conseguinte, o PE ramificado apresenta uma baixa densidade, enquanto o PE linear apresenta uma alta densidade. Dessa forma, no PEAD, as forças intermoleculares (van der Waals) atuam mais intensamente, levando a uma cristalinidade maior que a do PEBD e, conseqüentemente, um maior ponto de fusão. Por esse motivo, o PEAD conserva uma maior rigidez e opacidade, enquanto o PEBD apresenta maior flexibilidade e transparência (GUITIÁN, 1995).

Os polietilenos são inertes face à maioria dos produtos químicos comuns, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina (NEVES, 1999). Em condições

normais, os polímeros etilênicos não são tóxicos, podendo inclusive ser usados em contato com produtos alimentícios e farmacêuticos (MARTINS, 1999).

O PEAD é aplicado em diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, como, por exemplo, na confecção de baldes e bacias, bandejas, banheiras infantis, brinquedos, potes para alimentos, assentos sanitários, engradados, caixas d'água, embalagens para detergentes, redes para embalagem de frutas, fitas decorativas, sacos para lixo, sacolas de supermercados, no isolamento de fios telefônicos e no revestimento de tubulações metálicas (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

### **3.4 - Cargas vegetais em compósitos de matrizes termoplásticas**

Materiais de origem vegetal têm sido amplamente utilizados como cargas de enchimento ou de reforço em compósitos de matrizes termoplásticas. Na grande maioria das aplicações, as cargas atuam como material de enchimento e não de reforço. Nos últimos anos, o uso desses compósitos se intensificou devido ao aumento da preocupação ecológica e à busca por maior aproveitamento dos resíduos agroindustriais e dos recursos naturais renováveis, em resposta aos problemas ambientais antropogênicos (SAIN, 2004; SANTOS *et al.*, 2007; MANO *et al.*, 2010).

No entanto, é de conhecimento geral que as cargas vegetais já eram utilizadas na fabricação de compósitos, tendo aplicações na indústria de aeronaves desde 1940. Porém, devido à indisponibilidade de dados completos e à inexistência de tecnologia de processamento adequada, o seu uso diminuiu até a década de 1980. Desde então, a sua aplicação é incentivada (SATYANARAYANA, 2009).

As cargas vegetais também podem ser chamadas de lignocelulósicas, uma vez que, geralmente, a celulose é o seu principal

componente químico, e que elas também contêm lignina, um polímero polifenólico. Além desses dois constituintes, elas contêm hemicelulose e outras substâncias solúveis em água. Dessa forma, seus principais componentes químicos são substâncias polares (PUKANSKY, 2005 *apud* MARINELLI *et al.*, 2008).

Nguyen; Zavarin; Barral (1981) analisaram o efeito da temperatura sobre a celulose, a hemicelulose e a lignina. Foi constatado que a decomposição térmica da celulose tem início na faixa de 210°C a 260°C, e que seus picos variam de 310°C a cerca de 450°C. A hemicelulose decompõe-se a partir de 200°C até no máximo 290°C, enquanto a decomposição da lignina se dá no intervalo de 280 a 520°C.

No Brasil, há grande variedade de cargas lignocelulósicas, com diferentes propriedades químicas, físicas e mecânicas. Alguns exemplos comentados na literatura como potenciais fases dispersas em compostos com termoplásticos são: fibra de sisal, de coco, de juta, de rami, de curauá, de abacaxi, de bananeira, de bagaço de cana-de-açúcar, de bambu e de bucha vegetal; casca e palha de cereais, como arroz e trigo; serragem e pó de madeira (TEIXEIRA; CÉSAR, 2006, ROSA, 2007; MARINELLI *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2009).

Essas cargas orgânicas, especialmente as provenientes de resíduos agroindustriais, apresentam vantagens em relação às inorgânicas tradicionais, particularmente as de origem mineral – *e.g.* fibra de vidro, talco e carbonato de cálcio – como natureza renovável, propriedades não abrasivas, e menor custo. São também mais seguras durante o manuseamento e afetam menos a saúde humana durante seu processamento e uso (CORREA *et al.*, 2003; PERVAIZ; SAIN, 2003).

Vale destacar também que a preocupação com o aquecimento global leva ao interesse crescente em utilizar materiais naturais para a produção de produtos “verdes” e para a redução das emissões de dióxido de carbono por todos os meios possíveis. Nesse contexto, as cargas naturais vegetais têm um excelente potencial para reduzir as

emissões de dióxido de carbono, ou, como muitas vezes dito, sequestrar o CO<sub>2</sub> (PERVAIZ; SAIN, 2003).

Além disso, os resíduos agroindustriais geralmente são gerados em grande quantidade e são pouco aproveitados. Sendo assim, sua utilização no desenvolvimento de compósitos poliméricos é uma alternativa bastante interessante para lhes agregar valor, para reduzir o consumo de matéria-prima não renovável (polímero sintético), e para obter um produto de menor custo. Além do mais, como enfatizado anteriormente, tem-se um material “verde”, alinhado ao conceito de Ecologia Industrial, pois os resíduos de um processo servirão de matéria-prima para outro (KIPERSTOK; MARINHO, 2001; COLOM *et al.*, 2003).

Nessa perspectiva, não só o Brasil, mas também outros países em desenvolvimento (*e.g.* Índia, Malásia, Indonésia, Filipinas e alguns países da África) possuem projetos de utilização de resíduos. Antes vistos como rejeitos, gerando custos extras de descarte e tratamento, quando utilizados em compósitos, podem inserir esses países na indústria global de compósitos como desenvolvedores e fabricantes (SATYANARAYANA, 2009).

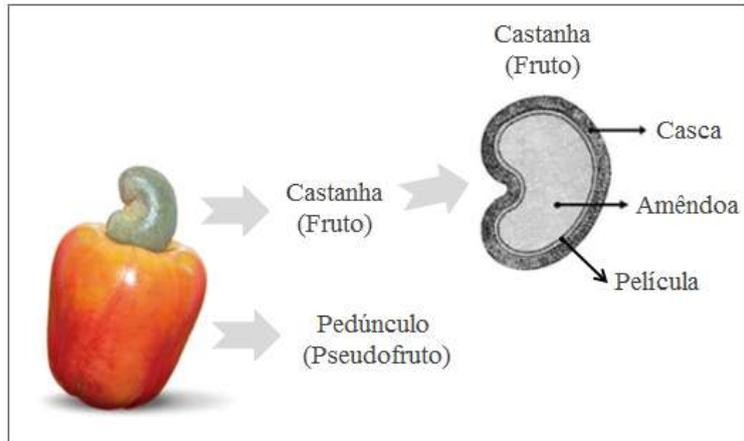
### **3.5 - Agroindústria do caju**

No Brasil, a agroindústria do caju possui importante papel econômico e social no Nordeste, especialmente no Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, onde se encontram os maiores plantios do país (BARROS, 2002). Nestes locais, a cajucultura destaca-se pelo valor nutritivo e comercial dos seus produtos, que garantem uma expressiva renda, já que o cajueiro é adaptado às condições de seca e é produtivo mesmo com baixa precipitação pluviométrica. A área total plantada no país em agosto de 2012 era de 779.351 ha (OLIVEIRA *et al.*, 1998 *apud* OLIVEIRA; BARROS; LIMA, 2003; IBGE, 2012).

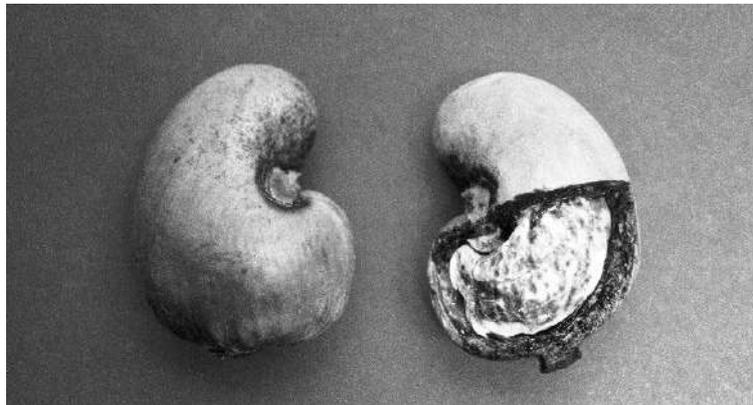
A castanha de caju ocupa o primeiro lugar no *ranking* das exportações de frutas nacionais. Em 2012, sete estados brasileiros exportaram esse fruto. O estado do Ceará teve uma participação de destaque, exportando aproximadamente 80,0 % do total, seguido pelo Rio Grande do Norte, que registrou participação de 19,7 %, e pelo Piauí, com participação de 0,2%. A atuação conjunta desses três principais estados exportadores de castanha de caju totalizou 99,9% no referido ano (IPECE, 2013).

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta encontrada em praticamente todos os estados brasileiros, no entanto melhor adaptada ao clima do litoral nordestino. Sua origem ainda é discutida. Contudo, é mais provável que o Brasil, ou todo o Norte da América do Sul e parte da América Central, sejam os locais de procedência dessa espécie. Ela pertence à família *Anacardiaceae*, que possui outras espécies de grande importância e amplamente cultivadas, como, por exemplo, a mangueira (*Mangifera indica* L.) (PAIVA; BARROS, 2004; LOPES *et al.*, 2010).

O caju é constituído pela castanha, verdadeiro fruto, e pelo pedúnculo, pseudofruto de cor amarela, alaranjada ou vermelha. A castanha corresponde a 10% do peso do caju, sendo formada por três partes: casca, amêndoa e película (PAIVA; GARRUTI; SILVA NETO, 2000).



**Figura 3.5:** Estrutura do caju. Fonte: Adaptado de MAZZETTO; LOMONACO; MELE, 2009.



**Figura 3.6:** Corte longitudinal da castanha de caju. Fonte: PAIVA; GARRUTI; SILVA NETO, 2000.

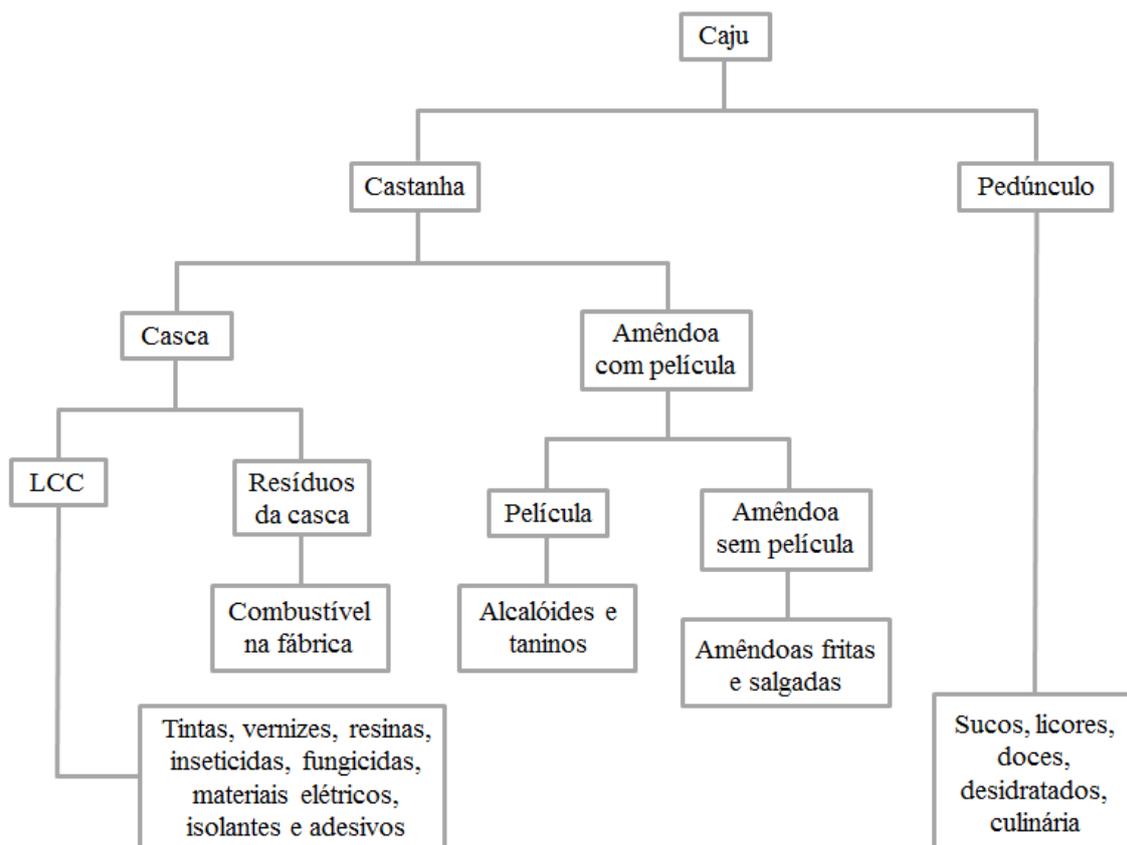
O agronegócio do caju engloba diversos segmentos em decorrência da variedade dos produtos que podem ser obtidos. Entretanto, ele pode ser dividido em dois grandes ramos: o de beneficiamento da castanha e o de transformação do pedúnculo (NETO, 2006).

No primeiro ramo, além da amêndoa, principal produto da cadeia do caju, são obtidos o líquido da casca da castanha de caju (LCC); e alcaloides e taninos com grande aplicação na indústria química, provenientes da película. O LCC é utilizado na fabricação de tintas, vernizes, resinas, inseticidas, fungicidas, materiais elétricos, isolantes,

adesivos e outros produtos. O resíduo da casca, quando aproveitado, torna-se combustível nas caldeiras da própria indústria (PAIVA; GARRUTI; SILVA NETO, 2000).

No segundo ramo, o pedúnculo pode ser utilizado na fabricação de grande quantidade de produtos, tanto através do processamento industrial quanto de forma artesanal, dentre eles, sucos, licores, doces e desidratados. Além disso, pode ser usado *in natura* para o consumo de mesa e na culinária (PAIVA; GARRUTI; SILVA NETO, 2000).

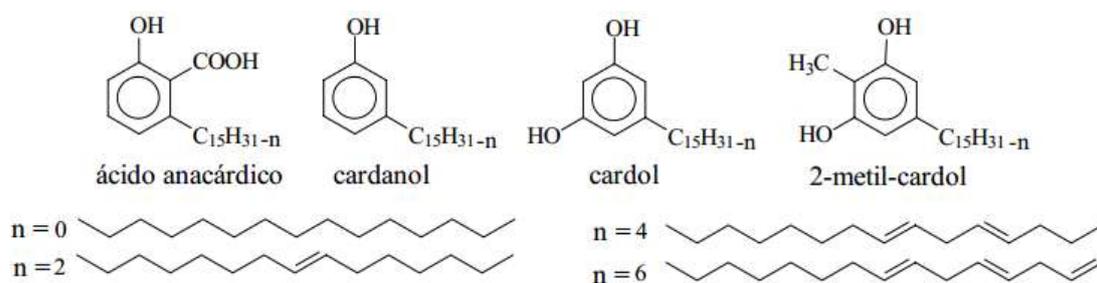
A Figura 3.7 apresenta os principais produtos derivados da industrialização do caju.



**Figura 3.7:** Principais produtos da industrialização do caju. Fonte: Adaptado de PAIVA; GARRUTI; SILVA NETO, 2000.

A agroindústria nacional está centrada quase que exclusivamente no beneficiamento da castanha voltada para o mercado externo. São poucas empresas que realizam a transformação do pedúnculo. Além do mais, em relação à castanha, o aproveitamento industrial ainda é bastante limitado à produção da amêndoa inteira e salgada, para ser consumida como aperitivo, ou da amêndoa partida, insumo nos segmentos de confeitaria e panificação. Porém, há alternativas que podem agregar valores significativos à cadeia (PAIVA *et al.*, 2003).

Dentre elas, a extração do LCC é a que mais se destaca. Esse líquido está presente na casca da castanha e é um fluido viscoso, castanho escuro, que corresponde a aproximadamente 25 % do peso da castanha, e é constituído por compostos fenólicos, principalmente, ácido anacárdico, cardanol, cardol e 2-metil-cardol. Após a sua extração, gera-se uma grande quantidade de resíduo da casca, que conforme já exposto, é pouco aproveitado e apenas como combustível (PAIVA; GARRUTI; SILVA NETO, 2000; BELEN; NIEVA, 2008).



**Figura 3.8:** Estruturas químicas dos componentes do LCC. Fonte: Adaptado de MOTHÉ; MILFONT, 1994 *apud* MOREIRA; GONZÁLEZ; LUCAS, 1998.

De acordo com Paiva; Garruti; Silva Neto (2000) e Paiva *et al.* (2003), o beneficiamento da castanha do caju compreende diversas operações. Focando nas etapas que afetam ou envolvem a casca de castanha do caju, podemos ressaltar:

## 1. A secagem da castanha

A safra da castanha é curta, ocorrendo no período de agosto a dezembro. Por isso, é necessário que os beneficiadores formem estoques para que as fábricas trabalhem o ano inteiro. Para evitar problemas de deterioração no período de estocagem, principalmente por fungos, as castanhas são secas.

## 2. O cozimento

Etapa de preparação para o corte das castanhas.

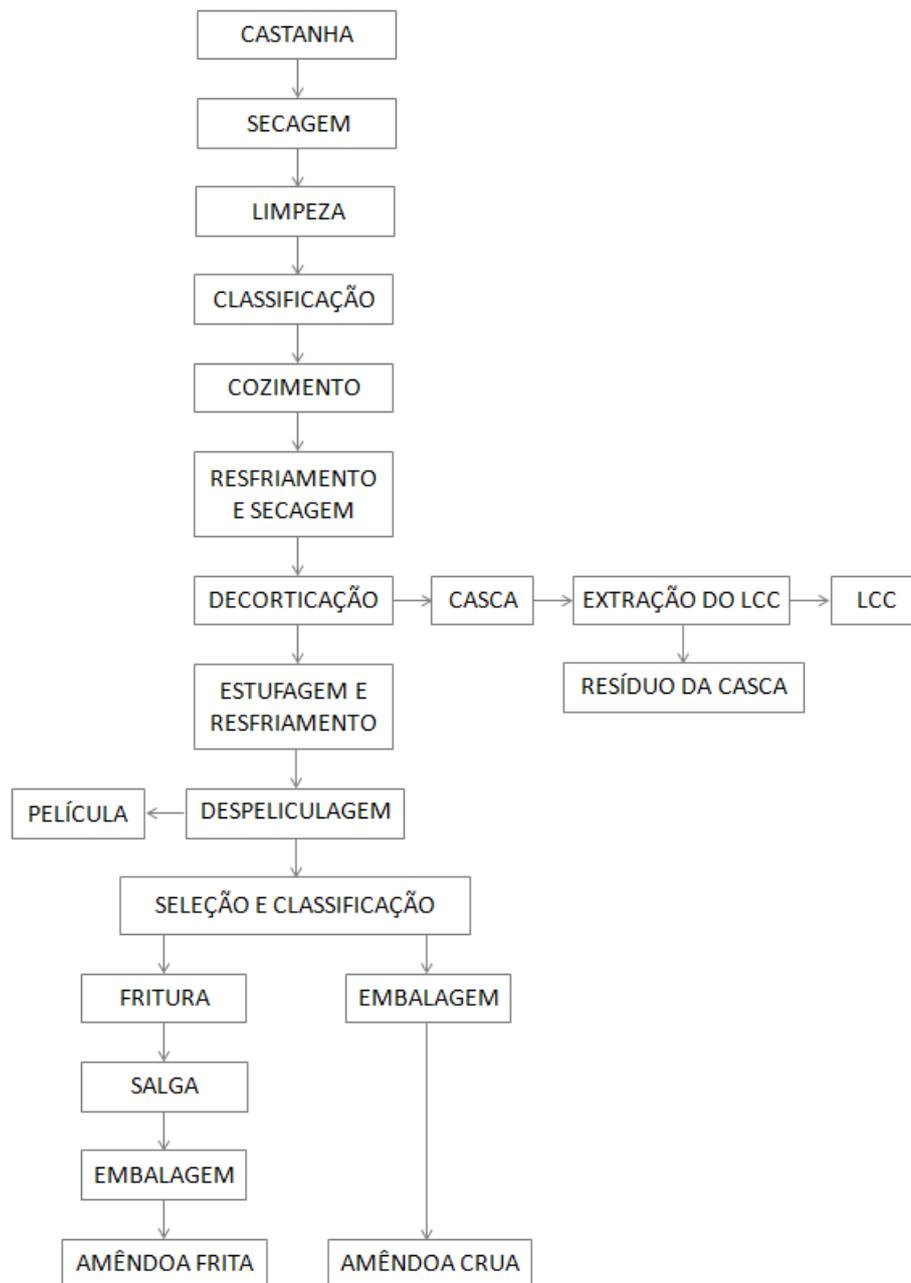
## 3. O resfriamento e a secagem

Após o cozimento, as castanhas são colocadas em local arejado, para resfriamento e secagem, facilitando a quebra durante o corte.

## 4. A decorticação

Operação de corte para retirada da casca, que é realizada em máquinas ajustadas aos tipos classificados anteriormente.

A Figura 3.9 mostra as etapas do beneficiamento da castanha do caju, incluindo a extração do LCC a partir da casca proveniente da decorticação.



**Figura 3.9:** Etapas do beneficiamento da castanha de caju. Fonte: Adaptado de PAIVA *et al.*, 2003.

Como já citado, da operação de decorticação da castanha obtém-se como subproduto a casca, matéria-prima para extração do LCC, que pode ser com solvente, a frio ou a quente. Nas extrações com solvente e a frio, é obtido o LCC natural. Na extração a quente, o ácido anacárdico, submetido a altas temperaturas (180°C a 200°C), sofre reação de descarboxilação convertendo-se a cardanol, produzindo o denominado

LCC técnico. (ATTANASI *et al.*, 1996; LOPES, 2005; MELE; VASAPOLLO, 2008; RIOS, 2008 – *apud* MAZZETTO; LOMONACO; MELE, 2009) .

Nesse sentido, o LCC natural e o LCC técnico possuem composições químicas diferentes. O primeiro apresenta uma grande quantidade de ácido anacárdico e não contém material polimérico. O segundo possui elevado percentual de cardanol devido à reação de descarboxilação do ácido anacárdico, além de apresentar material polimérico, pois o aquecimento contínuo promove reações de polimerização nos constituintes insaturados (GEDAM; SAMPATHKUMARAN, 1986; RODRIGUES, 2006; OLIVEIRA, 2007 – *apud* MAZZETTO; LOMONACO; MELE, 2009).

A composição do LCC natural e do LCC técnico já foi estudada através de diferentes técnicas analíticas. Os resultados foram compilados na Tabela 3.1 (GEDAM; SAMPATHKUMARAN, 1986 *apud* MAZZETTO; LOMONACO; MELE, 2009).

**Tabela 3.1:** Componentes químicos do LCC natural e do LCC técnico. Os percentuais se referem aos limites inferior e superior encontrados na literatura.

<b>Componentes</b>	<b>LCC natural (%)</b>	<b>LCC técnico (%)</b>
Ácido anacárdico	71 — 82	0 — 1,8
Cardanol	1,6 — 9,2	63 — 95
Cardol	13,8 — 20,3	3,8 — 18,9
2-metil-cardol	1,6 — 3,9	1,2 — 5,2
Material polimérico	---	0 — 21,63
Componentes minoritários	0 — 2,2	0 — 4

YU; ZHENG (2006); ALMEIDA (2007) e SANZANI *et al.* (2008), relataram que os compostos fenólicos sintetizados nas plantas apresentam ação antibacteriana e antifúngica. Nesse contexto, há na literatura trabalhos sobre o potencial do LCC como bactericida e fungicida. Na EMBRAPA, por exemplo, Freire *et al.* (2011) iniciaram um projeto de desenvolvimento de um fungicida a partir do LCC.

### **3.6 - Compósitos de cargas vegetais e matrizes termoplásticas na literatura**

Diversos pesquisadores já determinaram as propriedades de compósitos de termoplásticos com cargas naturais e seus resultados estão disponíveis na literatura.

Rosa (2007) estudou as propriedades de compósitos de PP com farinha de casca de arroz. Os teores de carga foram de 10 a 40 % em massa. Os compósitos foram produzidos com a utilização de uma extrusora dupla-rosca co-rotacional e, após peletização, os corpos de prova foram moldados por compressão. Os resultados mostraram que com o aumento dos teores de carga houve redução do índice de fluidez. Além disso, o módulo de elasticidade por tração aumentou em todas as amostras se comparado ao PP puro. Os resultados do teste de tração revelaram que a adição de carga leva a redução na tensão máxima. Por fim, foi verificado o aumento da resistência ao impacto nos compósitos.

Geralmente, a introdução de carga na matriz polimérica leva a redução da mobilidade das cadeias macromoleculares na vizinhança da carga. Isso se reflete na obtenção de um composto com menor índice de fluidez e maior módulo de elasticidade por tração (RANA *et al.*, 1998; JOSEPH *et al.*, 2003).

Yuan *et al.* (2008) produziram compósitos de PP e PEAD com diferentes comprimentos de fibra de madeira de carvalho, inferiores a 1 mm, através de extrusão com dupla-rosca seguida de injeção, para a mistura do material e obtenção dos corpos de prova, respectivamente. A fibra foi usada na proporção de 50 % em massa.

Os pesquisadores observaram redução do índice de fluidez e aumento do módulo de elasticidade por tração para todos os compósitos se comparados aos polímeros puros. No que tange à resistência ao impacto, os compósitos com matriz de PEAD apresentaram redução em relação ao PEAD puro. Já os compósitos com matriz de PP mostraram

aumento da resistência em relação ao PP puro. No que concerne à resistência à tração, todos os compósitos tiveram desempenho inferior ao dos polímeros puros. Por fim, foi verificado que os compósitos possuem densidade superior à dos termoplásticos.

Spinacé *et al.* (2011) estudaram o comportamento de compósitos de fibra de curauá e de sisal (comprimentos inferiores a 235  $\mu\text{m}$  e 65  $\mu\text{m}$ , respectivamente) com PP e PEAD, produzidos através de extrusão com dupla-rosca seguida de injeção. Seus resultados mostraram acréscimo nos valores do módulo de elasticidade por tração para os compósitos com curauá, e redução para os com sisal, tanto com o PP quanto com o PEAD. Em relação à resistência ao impacto, foi observado um aumento considerável para todos os compósitos produzidos.

Gomes *et al.* (2013) produziram compósitos de PEAD com fibra de bananeira com 10, 20, 30 e 40% (m/m) de fibra. Os materiais foram obtidos em extrusora dupla-rosca co-rotacional, e os corpos de prova foram preparados por injeção. Foi observado que a adição da fibra de bananeira ao PEAD conduz a um acréscimo no módulo de elasticidade por tração tomando como base o polietileno puro. Além disso, houve um aumento considerável da resistência ao impacto do compósito.

## **3.7 - Processamento e caracterização de compósitos**

### **3.7.1 - Processo de mistura por extrusão**

A extrusão é um processo contínuo com o objetivo primário de moldagem de materiais termoplásticos e alguns termorrígidos. No entanto, sua versatilidade permitiu a expansão do seu campo de aplicação, atuando também como câmara de mistura ou de homogeneização de composições poliméricas moldáveis (MANO, 1999).

No processo de mistura por extrusão, o polímero é impulsionado continuamente por uma rosca através de regiões com alta temperatura e pressão, onde é fundido e compactado, e finalmente forçado por uma matriz para dar forma ao material. A rosca de uma extrusora é dividida em quatro regiões (alimentação, compressão, medida, e saída ou matriz), cada uma delas com uma função distinta (BILLMEYER, 1984).

As extrusoras podem ser de rosca simples ou dupla, dependendo do objetivo do processamento. De acordo com Canevarolo (2002), em extrusoras dupla-rosca, o material é transportado de uma rosca para a outra, gerando uma melhor dispersão e maior taxa de cisalhamento quando comparadas às de rosca simples, eliminando regiões com material ainda sólido e gerando uma melhor homogeneização.

### **3.7.2 - Processo de moldagem por injeção**

A moldagem por injeção é o mais comum dos processos empregados na fabricação de termoplásticos. É um processo descontínuo (MANO, 1999), no qual um material finamente dividido é forçado, pela aplicação de alta temperatura e pressão, contra um molde, o preenchendo e tomando a forma da sua cavidade (BILLMEYER, 1984).

Uma vantagem do processo de injeção é a velocidade com a qual as peças podem ser produzidas. Ciclos de produção de 10 a 30 segundos são comuns, bem como moldes com múltiplas cavidades, o que permite a produção de várias peças simultaneamente (BILLMEYER, 1984).

A injeção é utilizada em diversos setores da indústria de plásticos, sendo fabricados brinquedos, para-choques, gabinetes de computadores, capacetes, dentre outros (BARRA, 2003).

### **3.7.3 - Densidade**

A densidade de uma substância é definida pela razão entre a massa e o volume que a massa ocupa. Sofre variações com a temperatura e a pressão, de modo que essa variação é tipicamente pequena em sólidos e líquidos, mas consideravelmente grande em gases (MARQUES; UETA, 2007).

É uma das medidas mais utilizadas para descrever termoplásticos pelo fato de que, frequentemente, pode-se prever propriedades físicas desses polímeros baseando-se apenas nessa propriedade. Os fatores que afetam a densidade de termoplásticos são os mesmos que afetam a cristalinidade, tais como o teor de ramificações, a massa molecular, o grau de orientação e a taxa de cristalização (MARQUES; UETA, 2007).

### **3.7.4 - Índice de fluidez (MFI)**

O índice de fluidez, chamado em inglês de *Melt Flow Index* (MFI) ou *Melt Flow Rate* (MFR), é definido como a massa em gramas de polímero extrusado através de um capilar padrão sob uma carga fixa durante um determinado tempo e em uma determinada temperatura. Este parâmetro é uma característica muito importante no que diz respeito à processabilidade do material. Ele possui uma relação inversa à viscosidade; logo, quanto

mais fluido for um material, menor a sua viscosidade e mais fácil o seu escoamento, tornando-o melhor para processar (MANCINI, 1998).

### **3.7.5 - Termogravimetria (TG)**

A TG é definida como um processo contínuo que mede a variação de massa de uma amostra em função da temperatura, ou do tempo a uma temperatura constante, em atmosfera controlada. Dependendo do intuito do teste, pode-se aquecer ou resfriar a amostra, a uma taxa pré-determinada, ou manter a mesma à temperatura constante. A partir das curvas de massa *versus* temperatura obtidas com a TG, é possível avaliar a estabilidade térmica e oxidativa e a composição de diferentes sistemas (SANTOS, 2010).

Aplicações típicas incluem a avaliação da estabilidade térmica e da temperatura de decomposição, da extensão da cura em polímeros de condensação, da composição de polímeros com enchimento, entre muitas outras (BILLMEYER, 1984).

A partir do resultado da TG é possível construir um gráfico do percentual de massa da amostra *versus* temperatura, chamado de curva TG. A curva mostra de forma simples os pontos de temperatura onde ocorreu a degradação ou volatilização das frações da amostra. É possível ainda a construção de um gráfico da derivada da perda percentual de massa *versus* temperatura, que apresenta picos de degradação, através dos quais é possível avaliar entre outros dados importantes, as temperaturas de degradação máxima do material em determinadas regiões (SANTOS, 2010).

É possível conduzir a análise termogravimétrica em dois diferentes tipos de atmosferas: a inerte (hélio ou nitrogênio) e a oxidativa (ar e oxigênio). A escolha da atmosfera utilizada na análise influencia diretamente nos resultados termogravimétricos das cargas naturais. Além disso, como diferentes gases conduzem calor a diferentes taxas, os

termogramas obtidos em atmosfera de nitrogênio podem ser significativamente distintos dos obtidos em atmosfera de hélio (NGUYEN, 1981).

### **3.7.6 - Distribuição granulométrica**

A granulometria tem por objetivo caracterizar um sistema particulado em relação aos tamanhos de partícula. A partir desse teste, é possível analisar a distribuição de tamanhos de partícula da amostra, o que vai influenciar na incorporação da carga na matriz polimérica e pode causar mudanças nas propriedades obtidas pelo produto. A peneiração é uma análise que pode ser realizada em qualquer tipo de material, e é muito utilizada para caracterização de solos, areias, carvão, cinzas, entre outros (FERNLUND, 1998).

### **3.7.7 - Propriedades mecânicas**

A viabilização de um material para utilização em um projeto de engenharia requer um vasto conhecimento de suas características, propriedades e comportamento (CALLISTER, 2002).

No caso de termoplásticos e seus compósitos, os valores das propriedades mecânicas, tais como resistência à tensão, módulo de elasticidade, alongação, entre outros, podem servir como base de comparação do desempenho mecânico de diferentes polímeros, assim como para avaliação dos efeitos decorrentes da modificação do polímero-base (reforços, cargas, aditivos, plastificantes) e para especificações. Em termos práticos, a análise das propriedades mecânicas destes materiais é uma das considerações essenciais a serem feitas no processo de seleção dos materiais poliméricos para o projeto de uma peça ou de um produto. Estes valores de propriedades mecânicas são obtidos através de ensaios mecânicos padronizados, dentre os quais

se destacam os ensaios de resistência à tração, flexão (CANEVAROLO; CANTO; PESSAN, 2003) e impacto.

Dessa forma, a determinação das propriedades mecânicas permite a compreensão do comportamento do material quando submetido à ação de esforços, sendo expressas em função de tensões e/ou deformações (CALLISTER, 2002).

Tensão é definida genericamente como a resistência interna a uma força externa aplicada sobre um corpo, por unidade de área. Deformação é definida como a variação de uma dimensão qualquer desse corpo, por unidade da mesma dimensão, quando esse corpo é submetido a um esforço qualquer (CALLISTER, 2002).

O comportamento mecânico de um material depende em grande medida de sua resposta (ou deformação) a carga ou força a que é submetido. A propriedade que correlaciona à deformação elástica com a tensão e o módulo de elasticidade, que tem diferentes definições dependendo do tipo de esforço aplicado (HIBBELER, 2004).

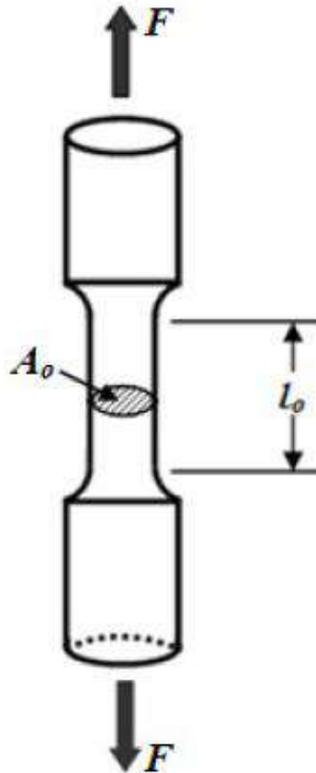
#### **3.7.7.1 - Ensaio de Tração**

A relação entre as tensões e as deformações para um determinado material é encontrada por meio de um ensaio de tração. Um corpo de prova, que pode ser uma barreta circular ou retangular, é colocado na máquina de ensaio e deformado conforme a carga de tração aumenta. Esta é aplicada uniaxialmente, em paralelo ao eixo mais longo do corpo de prova. A força atuante e as deformações resultantes são medidas à proporção que a carga aumenta. Obtêm-se as tensões dividindo as forças pela área da seção transversal da barra, e a deformação específica dividindo o alongamento pelo comprimento ao longo do qual ocorre deformação. Deste modo, obtém-se o diagrama tensão *versus* deformação referente ao material em estudo (BEER *et al.*, 2006).

Ao atingir a tensão de escoamento no diagrama, a deformação aumenta ocorrendo diminuição da carga até que aconteça, finalmente, a ruptura do corpo de prova. Durante o alongamento da barra, há uma contração lateral, que resulta na diminuição da área de seção transversal. Isto não tem efeito no diagrama tensão *versus* deformação até o ponto da tensão de escoamento. Porém, deste ponto em diante, a diminuição da área afeta de maneira apreciável o cálculo da tensão, pois ocorre um estrangulamento (estricção) na barra, formando um "pescoço" e reduzindo a área da seção transversal. Ao considerar esse fenômeno no cálculo da tensão, dever-se-ia usar a nova área da seção, que, no entanto, é desconhecida. A carga total que a barra suporta diminui depois de atingir a tensão de escoamento, porém tal diminuição decorre da redução da área e não por perda da resistência do material. Este, na realidade, resiste a um acréscimo de tensão até o ponto de ruptura (BEER; JOHNSTON; DEWOLF, 2006).

No caso de materiais poliméricos, as cadeias moleculares se orientam na região do pescoço, o que leva a um aumento localizado de resistência. Em consequência, a deformação prossegue em uma região vizinha à do pescoço (de menor resistência), resultando em um aumento do comprimento do pescoço. A tensão então aumenta devido ao aumento da resistência do polímero (alinhamento de cadeias) (CALLISTER, 2002).

O módulo de elasticidade,  $E$ , é uma grandeza proporcional à rigidez do material quando este é submetido a uma tensão externa de tração. Basicamente, é a razão entre a tensão aplicada e a deformação sofrida pelo corpo, quando o comportamento é linear (HIBBELER, 2004).

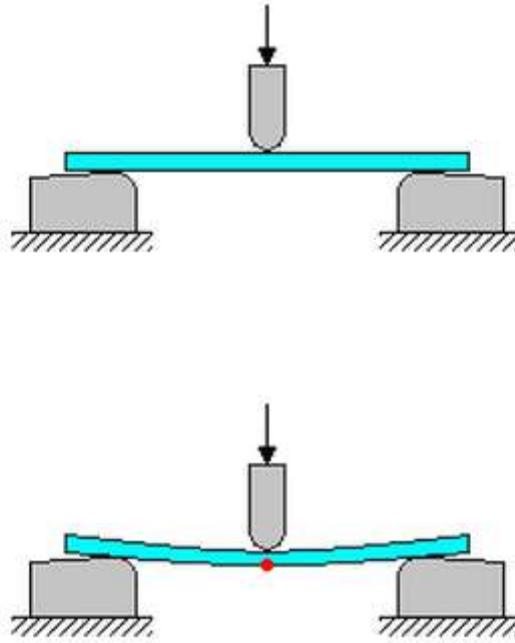


**Figura 3.10:** Desenho esquemático de um corpo de prova submetido à carga de tração.

### 3.7.7.2 - Ensaio de Flexão

Flexão é um esforço físico onde a deformação ocorre perpendicularmente ao eixo do corpo, paralelamente à força atuante. A linha que une o centro de gravidade de todas as seções transversais constitui-se no eixo longitudinal da peça, o qual é submetido a cargas perpendiculares (BEER; JOHNSTON; DEWOLF, 2006).

Analogamente ao ensaio de tração, no ensaio de flexão são obtidas curvas do tipo tensão e deformação. Este método consiste em fixar horizontalmente uma barra de seção transversal retangular em dois apoios e em seguida aplicar contra o corpo de prova uma carga perpendicular (no sentido da aceleração da gravidade) centralizada entre os dois apoios (CANEVAROLO; CANTO; PESSAN, 2003).



**Figura 3.11:** Desenho esquemático de um corpo de prova sendo submetido ao ensaio de flexão. Fonte: ASTM D790.

A resistência à flexão está diretamente relacionada à tensão máxima suportada por um material sob flexão. Também pode ser mensurada pelo módulo de elasticidade na flexão, que é a razão entre a tensão de flexão e a deformação correspondente (CANEVAROLO; CANTO; PESSAN, 2003).

### **3.7.7.3 - Ensaio de Impacto**

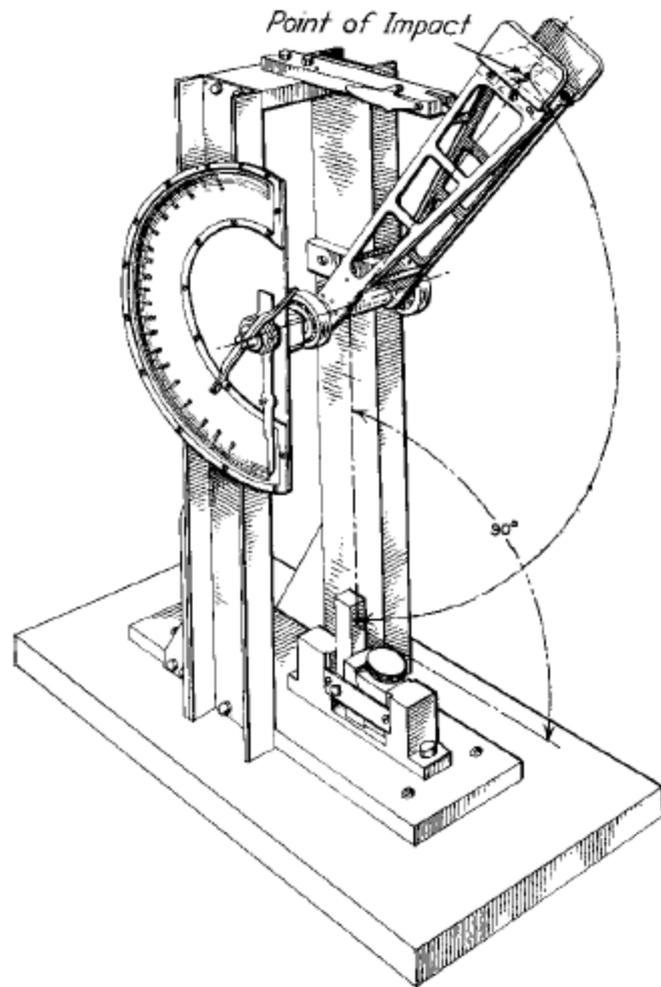
A resistência ao impacto é uma importante propriedade para diversas aplicações finais, e o entendimento das relações entre estrutura, morfologia e o fenômeno de deformação é necessário para o desenvolvimento de sistemas poliméricos com boas propriedades mecânicas (KIM, 1996; SEKI, M., YAMAUCHI, S., MATSUSHITA, 1999).

A resistência ao impacto é uma das propriedades mais requisitadas para a especificação do comportamento mecânico de plásticos. A capacidade de um material suportar choques é essencial

para a determinação das suas possíveis aplicações. Apesar da importância deste comportamento para o desempenho de um material polimérico, esta propriedade mecânica é uma das menos confiáveis num processo de seleção de materiais. Embora a maioria dos plásticos seja caracterizada através de um teste de impacto padronizado, os valores correspondentes à sua resistência podem ser de pouca valia por não ser uma propriedade intrínseca do material. Entretanto, na prática, são obtidos bons projetos utilizando os dados de ensaio de impacto. Assim, dados de resistência ao impacto, obtidos através de ensaios padronizados, podem ser usados como uma etapa inicial de seleção de um material polimérico, com base num nível desejável de tenacidade sob impacto (CANEVAROLO; HAGE, 2003).

A tenacidade é a propriedade que representa a capacidade de um material absorver energia sem sofrer ruptura durante uma solicitação mecânica. Esta propriedade é quantificada através da energia necessária para deformar um determinado material. Muitas vezes a tenacidade de um material solicitada sob impacto é conhecida como resistência ao impacto. Materiais com elevado valor de tenacidade são classificados como dúcteis, enquanto que os de baixa tenacidade são classificados como frágeis (CANEVAROLO; HAGE, 2003).

A resistência ao impacto depende, então, da força máxima que um material pode suportar sob impacto sem se romper. Esta força multiplicada pela deformação correspondente proporciona o valor de energia gasto para romper o corpo de prova (CANEVAROLO; HAGE, 2003).



**Figura 3.12:** Desenho esquemático do ensaio de impacto. Fonte: ASTM D256-10.

## **4 - Materiais e Métodos**

### **4.1 - Materiais**

#### **4.1.1 - LCC técnico e resíduo de CCC**

O LCC técnico foi fornecido pela empresa RESIBRAS (Fortaleza-CE, Brasil). O resíduo de CCC utilizado no projeto, também cedido pela RESIBRAS, foi obtido já torrado e quebrado, proveniente do processo de separação da amêndoa no ramo de beneficiamento da castanha de caju. Foi necessário um pré-processamento do resíduo antes de utilizá-lo para a produção do compósito.

#### **4.1.2 - Polipropileno**

O polipropileno escolhido para a fabricação dos compósitos foi o H605, do tipo homopolímero, com índice de fluidez de 2,1 g/10min e densidade 0,905 g/cm<sup>3</sup>, da BRASKEM. As especificações técnicas foram obtidas através da folha de dados de cada produto fornecida pela BRASKEM.

#### **4.1.3 - Polietileno de Alta Densidade**

O polietileno utilizado foi o HD7255LS-L, com índice de fluidez de 4,5 g/10min e densidade 0,954 g/cm<sup>3</sup>, também da BRASKEM. As especificações técnicas foram obtidas através da folha de dados de cada produto fornecida pela BRASKEM.

## **4.2 - Métodos**

### **4.2.1 - Preparo dos Compósitos**

#### **4.2.1.1 - Preparo do resíduo de CCC**

O processamento foi feito por moagem, com o objetivo de reduzir e uniformizar o tamanho de partícula do resíduo de CCC a ser utilizado como carga. O material bruto foi inserido no triturador Commercial Blender da WARING, com capacidade de 1 L, e moído por cerca de dois minutos. Em seguida, o material foi peneirado com uma peneira de Mesh Tyler 12, e o peneirado foi encaminhado para secagem em estufa a 80°C por 24h.

#### **4.2.1.2 - Mistura do resíduo de CCC com as poliolefinas**

As matérias-primas para a produção do compósito foram misturadas através do processo de extrusão. Uma extrusora dupla-rosca co-rotacional, com rosca modular e interpenetrante, diâmetro de 20 mm e uma razão L/D = 36, da TECK TRIL, modelo DCT-20, foi utilizada para efetuar a mistura da carga com a matriz. Foram preparadas misturas com 10%, 20%, 30% e 40% (m/m) de resíduo de CCC com PP e PEAD. O PP e o PEAD puros também foram processados nas mesmas condições que as misturas, para que a comparação com os polímeros puros não fosse afetada por variações das propriedades do material geradas pelo processamento.

Para o PP, foi utilizado um perfil de temperatura de 160 a 200°C e velocidade de 200 rpm na extrusora, enquanto que para o PEAD o perfil de temperatura foi de 140 a 180°C na velocidade de 300 rpm.

#### **4.2.1.3 - Moldagem dos corpos de prova**

Para a moldagem dos corpos de prova (CPs) foi escolhido o processo de injeção, utilizando uma injetora Arburg Albrounder 270S-400-170, com 30 mm de diâmetro e razão  $L/D = 20$ . O processamento foi realizado seguindo as orientações contidas na Norma ASTM D3641, que divide o mecanismo nas seguintes etapas:

- Alimentação do material na máquina;
- Definição das variáveis de moldagem, como temperatura de fusão, temperatura de moldagem, pressão de moldagem e velocidade de injeção;
- Início da injeção e recolhimento dos CPs moldados depois de alcançado o equilíbrio entre os ciclos;
- Esfriamento dos CPs em temperatura ambiente, mantendo as mesmas condições para todos, de forma a evitar diferenças nos resultados dos ensaios posteriores.

Para a moldagem dos CPs foram utilizados um perfil de temperatura de 185°C a 215°C e pressão de 900 bar para PP+CCC e para PP puro, e um perfil de temperatura de 160 a 205°C e pressão de 1200 bar para PEAD+CCC e para PEAD puro. Foram produzidos CPs tendo em vista a realização de três testes diferentes. Para todos os testes foram utilizados moldes de CPs conforme determinado pelas Normas ASTM D638 (CPs de tração), ASTM D790 (CPs de flexão) e ASTM (CPs de impacto).

## 4.2.2 - Caracterização do resíduo de CCC

### 4.2.2.1 - Distribuição granulométrica

O processo de peneiração foi realizado em um agitador eletromagnético quadrado Bertel com duas hastes, com capacidade para seis peneiras. Foram utilizadas no teste seis peneiras, com Mesh Tyler entre 16 e 80, e suas especificações estão descritas na Tabela 4.1. Uma amostra de 50 g do resíduo de CCC moído foi colocada sobre a peneira do topo, e o conjunto foi levado ao agitador, onde foi mantido em agitação com intensidade constante por dez minutos. Após esse tempo, foram pesadas as partículas retidas em cada uma das peneiras. A partir das massas foi possível montar a distribuição de tamanhos, calculada em porcentagens da massa total de resíduo de CCC utilizado no teste.

**Tabela 4.1:** Especificações das peneiras utilizadas na análise granulométrica.

ABNT/ASTM USS	MESH TYLER	Abertura ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	Tolerância da malha ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	
			De	Até
18	16	1000	970	1030
30	28	600	579	621
40	35	425	409	441
50	48	300	288	312
70	65	212	203,3	220,7
80	80	180	172,4	187,6

### 4.2.2.2 - Termogravimetria (TG)

A análise foi realizada em um analisador termogravimétrico, de acordo com a Norma ASTM E1131. O equipamento utilizado nos ensaios foi TGA Q500 da TA Instruments, e foram seguidos os procedimentos padronizados pela norma. Foram utilizadas amostras de 13-15 mg de CCC e LCC, sob atmosfera inerte de nitrogênio e a uma taxa de

aquecimento constante de 10°C/min, com uma variação de temperatura de 35 a 700°C. Os dados coletados foram processados no software Universal Analysis da TA Instruments.

### **4.2.3 - Caracterização das poliolefinas e dos compósitos**

#### **4.2.3.1 - Determinação da densidade**

O ensaio de densidade foi realizado utilizando o método de ensaio B da ASTM D792, que usa o princípio de Arquimedes (empuxo) é indicado para plásticos sólidos com densidade inferior a da água. O equipamento deste ensaio consiste em utilizar uma balança analítica, equipada com um suporte metálico para imergir o corpo de prova no líquido contido em um bquer. O líquido utilizado no ensaio foi etanol, que apresenta densidade de 0,787g/cm<sup>3</sup> (a 23°C). O ensaio consiste em medir a massa seca do corpo de prova (ao ar) e em seguida medir a massa do corpo de prova imerso no líquido (etanol).

#### **4.2.3.2 - Determinação do índice de fluidez (MFI)**

Foi seguida no ensaio a Norma ASTM D1238, específica para MFI. A norma separa o teste em quatro tipos, tendo sido utilizado no projeto o do tipo A, para termoplásticos com índice de fluidez entre 0,15 e 50 g/10min, com medidas de tempo automáticas feitas pelo próprio plastômetro e cortes manuais.

O plastômetro utilizado foi do modelo LMI 4003, marca Dynisco. As temperaturas de processo foram definidas também com base na norma, sendo a do PP de 230°C e a do PEAD de 190°C. A carga utilizada no ensaio foi de 2,16 kg para todas as amostras.

#### **4.2.3.3 - Termogravimetria (TG)**

A análise foi realizada seguindo o mesmo padrão dos ensaios com o resíduo da CCC e o LCC. Foram utilizadas amostras de todos os compósitos produzidos, bem como dos polímeros puros reprocessados. As massas utilizadas variaram de 7-16 mg, a taxa de aquecimento foi de 10°C/min, variando a temperatura de 35°C a 700°C, sob atmosfera inerte de nitrogênio.

#### **4.2.3.4 - Ensaio das propriedades mecânicas**

As propriedades mecânicas foram determinadas em corpos de prova injetados, de acordo com ASTM D3641.

Dimensões dos corpos de prova injetados:

- Tração - corpo de prova em forma de gravata com espessura em torno de 3,1 mm e largura em torno de 12,5 mm.
- Flexão - corpo de prova retangular, com dimensões de acordo com a norma.
- Impacto Izod - corpo de prova em forma de barra com espessura em torno de 3 mm e largura de 10 mm. O entalhe dos corpos de prova foi realizado em entalhadeira (CEAST, modelo Notchvis) segundo a Norma ASTM D256.

##### **4.2.3.4.1 - Ensaio de resistência à tração**

Os ensaios foram conduzidos na máquina universal de ensaios da EMIC DL-3000, fixando-se os corpos de prova verticalmente por garras inicialmente afastadas por 115 mm, com célula de carga de 10kN e uma

velocidade de afastamento de 25 mm/min, com a ruptura dos corpos de prova ocorrendo dentro do intervalo de tempo recomendado pelo método ASTM D638.

#### **4.2.3.4.2 - Ensaio de resistência à flexão**

Os módulos de elasticidade sob flexão das poliolefinas e dos compósitos foram determinados pelo método ASTM D790. Os testes foram realizados na máquina universal de ensaios da EMIC DL-3000. Para determinação do módulo de flexão, os corpos de prova foram colocados horizontalmente no equipamento em dois pontos de apoio. A flexão do corpo de prova foi realizada por uma célula de carga de 1,0 N à velocidade de 14 mm/min.

#### **4.2.3.4.3 - Ensaio de resistência ao impacto**

A resistência ao impacto IZOD foi determinada de acordo com o método ASTM D256. Os testes foram realizados no equipamento CEAST Resil Impactor Tester a temperatura de 23°C em corpos de prova com entalhe, segundo o procedimento de ensaio descrito na Norma ASTM D256 (Izod), usando o martelo com energia de 2J e um ângulo de 150° de distância. Para realização do teste, o corpo de prova foi fixado verticalmente pela parte inferior e o martelo em forma de pêndulo foi liberado a 150° de distância angular, chocando-se contra o CP.

## 5- Resultados e Discussão

### 5.1 - Caracterização do resíduo de CCC

#### 5.1.1 - Distribuição granulométrica

Na Tabela 5.1 é apresentada a distribuição de tamanhos de partícula obtida pela peneiração do resíduo de CCC moído. Foi constatado que mais de 99% das partículas possui tamanho inferior a 1 mm, estando cerca de 54% na faixa de 0,425 mm a 1 mm.

**Tabela 5.1:** Distribuição granulométrica do resíduo de CCC moído.

<b>Mesh</b>	<b>Tamanhos de partícula (µm)</b>	<b>Porcentagem de partículas (%)</b>
> 16	> 1000	0,66 ± 0,16
16 – 28	600 a 1000	38,00 ± 0,51
28 – 35	425 a 600	16,25 ± 0,80
35 – 48	300 a 425	20,30 ± 0,94
48 – 65	212 a 300	7,58 ± 0,30
65 – 80	180 a 212	9,32 ± 0,25
80 >	180 >	7,90 ± 0,69

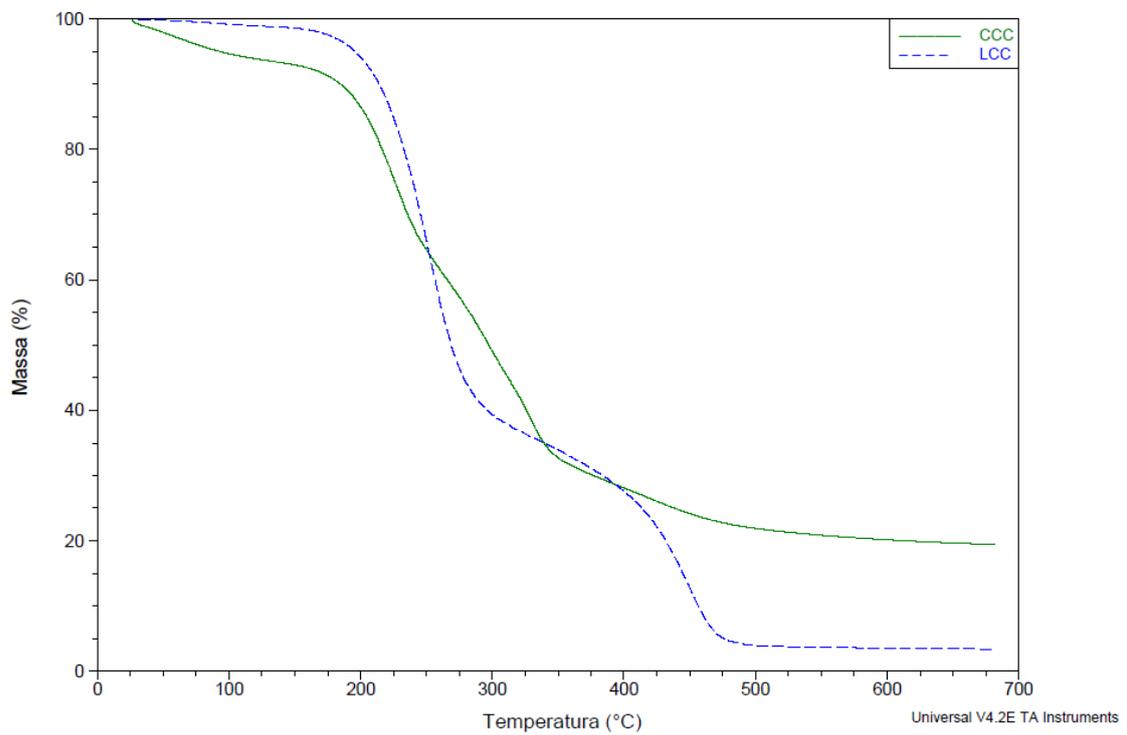
#### 5.1.2 - Termogravimetria (TG)

Foram realizadas, como forma de caracterização térmica, termogravimetrias da carga (resíduo de CCC), utilizada no processamento dos compósitos, e do líquido da casca da castanha de caju (LCC). Estas análises serviram como parâmetro para a caracterização do resíduo de CCC, avaliando sua temperatura de decomposição máxima e a possível presença residual de LCC. Os resultados foram obtidos na forma de dois tipos diferentes de curvas:

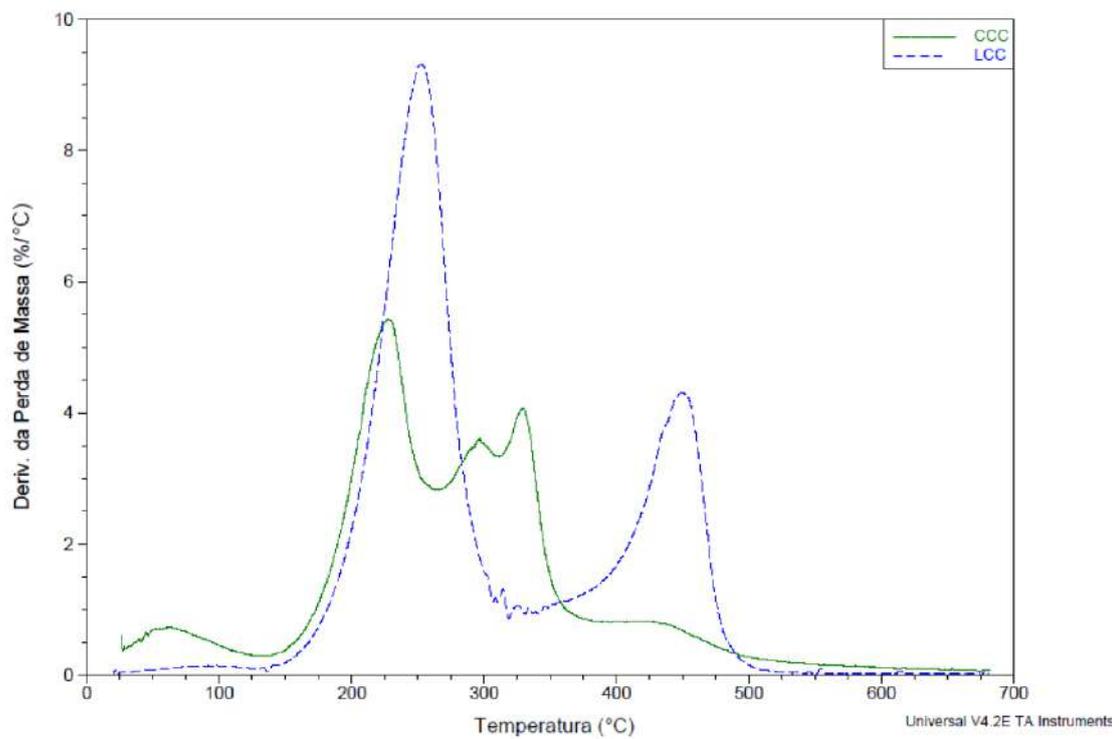
- A curva de termogravimetria (TG), referente à massa percentual do resíduo de CCC e de LCC em função da temperatura; e
- a curva da termogravimetria derivada (DTG), referente ao módulo da derivada da massa percentual de resíduo de CCC e de LCC em função da temperatura.

As curvas obtidas são apresentadas na Figura 5.1.

a)



b)



**Figura 5.1:** a) TG do resíduo de CCC e do LCC; b) DTG do resíduo de CCC e do LCC.

A partir das curvas da TG e da DTG, obteve-se o perfil de degradação de ambos materiais em função da temperatura.

**Tabela 5.2:** Resultados do TG e DTG para o resíduo de CCC e para o LCC.

	<b>CCC</b>	<b>LCC</b>
<b>Perda de massa relativa à umidade (%)</b>	6	0
<b>Temperatura do 1° pico</b>	229	253
<b>Perda de massa no 1° pico (%)</b>	34	63
<b>Temperatura do 2° pico</b>	296	451
<b>Perda de massa no 2° pico (%)</b>	15	33
<b>Temperatura do 3° pico</b>	330	-
<b>Perda de massa no 3° pico (%)</b>	16	-
<b>Temperatura do 4° pico</b>	437	-
<b>Perda de massa no 4° pico (%)</b>	10	-
<b>Teor de cinzas (%)</b>	19	4

Nas curvas referentes ao do resíduo de CCC, a perda de massa ocorrida até 100°C está relacionada à umidade do ar absorvida pelo material. Verificou-se que o início da decomposição efetiva do resíduo dá-se em torno de 150°C. Além disso, na curva da DTG, destacaram-se quatro picos expressivos de degradação efetiva do resíduo de CCC. O primeiro pico teve uma temperatura de degradação máxima de aproximadamente 230°C, com uma perda de massa de cerca de 34%. O segundo e terceiro picos revelaram uma considerável sobreposição na faixa de 250°C a 350°C, com seus respectivos máximos a 296°C e 330°C, aproximadamente, tendo juntos uma degradação de cerca de 31% (m/m). Já o quarto pico, bem menos acentuado que os demais, teve uma perda de massa em torno de 10% com uma temperatura máxima de degradação por volta de 437°C. Por fim, observou-se um percentual de cinzas (material inorgânico) de aproximadamente 19% (m/m).

Enquanto isso, a curva da DTG do LCC apresentou picos de degradação máxima nas temperaturas de 253°C e 451°C,

aproximadamente. O primeiro teve uma perda de massa de cerca de 63%, enquanto o segundo, 33%. Levando em consideração que o LCC analisado é técnico, pode-se relacionar o pico inicial ao seu principal componente, o cardanol – segundo Bruce *et al.* (1990), também o componente mais volátil –, e o pico seguinte aos cardóis e demais componentes do LCC. Já as cinzas representaram em torno de 4% (m/m) do líquido.

Segundo Nguyen *et al.* (1981), as temperaturas de decomposição máxima da hemicelulose, celulose e lignina estão, respectivamente, nas faixas de 200-290°C, 310-450°C e 280-520°C. A partir dessa alegação, sugere-se que o primeiro pico da DTG do resíduo de CCC seja, ao menos em parte, resultado da degradação da hemicelulose, enquanto o segundo e o terceiro picos provavelmente correspondem à degradação da celulose e da lignina.

Quanto ao quarto pico do resíduo do CCC, observou-se que sua temperatura de degradação máxima (437°C) é equiparável à do segundo pico do LCC (451°C). Paralelamente, a temperatura do primeiro pico do resíduo de CCC (230°C) apresenta um valor significativamente próximo à do primeiro pico do LCC (253°C). Tais constatações insinuam a presença de LCC no resíduo de CCC. Vale ressaltar que o provável LCC contido no resíduo de CCC é técnico, assim como o LCC utilizado para comparação. Sabendo que este resíduo de CCC é proveniente da torragem da castanha de caju, o LCC contido nele nada mais é que o resíduo do LCC extraído durante o processo, ou seja, o LCC técnico.

Como o quarto pico do resíduo de CCC corresponde a cerca de 10% de sua massa e o segundo pico do LCC corresponde a 33% de sua massa, supõe-se um teor de até 30% (m/m) de LCC no resíduo de CCC. A partir dessa premissa, presume-se que o primeiro pico do resíduo de CCC seja resultado não apenas da degradação da hemicelulose, mas também de parte do LCC, relativa ao cardanol. Sendo assim, é possível que os 34% (m/m) degradados no primeiro pico do resíduo de CCC sejam resultado da degradação simultânea de cerca de 19% (m/m) de

cardanol e 15% (m/m) de hemicelulose.

Seguindo a premissa de que o resíduo de CCC é constituído de 30% (m/m) de LCC e 19% (m/m) de material inorgânico (cinzas), pode-se concluir que o resíduo de CCC é composto de cerca de 51% (m/m) de material lignocelulósico, sendo 15% (m/m) referentes à hemicelulose e 36% (m/m) à celulose e à lignina somadas. Logo, de todo o material lignocelulósico presente no resíduo, cerca de 29% (m/m) correspondem à hemicelulose, enquanto os 71% (m/m) restantes englobam a celulose e a lignina.

É conveniente fazer a ressalva de que nada impede que o quarto pico de degradação do resíduo de CCC tenha a participação não apenas do LCC, mas também da lignina e/ou até mesmo da celulose. Os valores discutidos acima têm apenas o intuito de estimar os possíveis teores dos principais componentes do resíduo de CCC, considerando a presença de LCC no maior teor possível e relevando as limitações do próprio método de análise.

Vale destacar que outro indício da presença de LCC no resíduo de CCC são as características oleosas percebidas no resíduo ao tato.

## **5.2 - Caracterização dos compósitos**

### **5.2.1 - Densidade**

Avaliando os resultados apresentados na Tabela 5.3, observou-se que a adição do resíduo de CCC nas matrizes poliméricas foi acompanhada de um aumento na densidade do compósito em relação às poliolefinas puras. Segundo Caraschi; Leão (2002), a densidade aumenta em função da adição de cargas vegetais em compósitos, o que de fato foi comprovado pelos resultados apresentados na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3:** Densidade das poliolefinas puras e dos compósitos com resíduo de CCC.

Densidade [g/cm <sup>3</sup> ]			
PEAD puro	0,922 ± 0,000	PP puro	0,886 ± 0,002
PEAD + 10% CCC	0,948 ± 0,003	PP + 10% CCC	0,892 ± 0,005
PEAD + 20% CCC	0,979 ± 0,005	PP + 20% CCC	0,907 ± 0,001
PEAD + 30% CCC	0,991 ± 0,005	PP + 30% CCC	0,904 ± 0,005
PEAD + 40% CCC	1,018 ± 0,006	PP + 40% CCC	0,955 ± 0,005

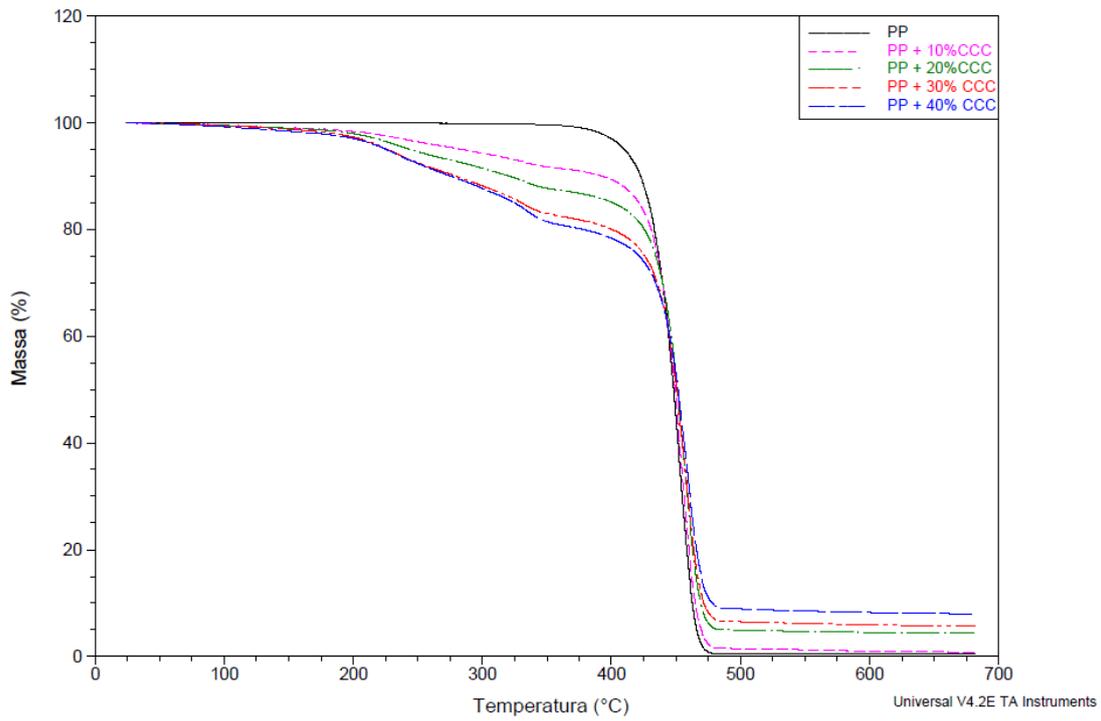
Nos compósitos à base de PP, verificou-se um aumento máximo de 7,5% na densidade, referente ao compósito com 40% de resíduo de CCC. Já os compósitos à base de PEAD apresentaram um aumento máximo de 10,4%, também referente ao compósito com 40% de carga.

### 5.2.2 - Termogravimetria (TG) dos compósitos

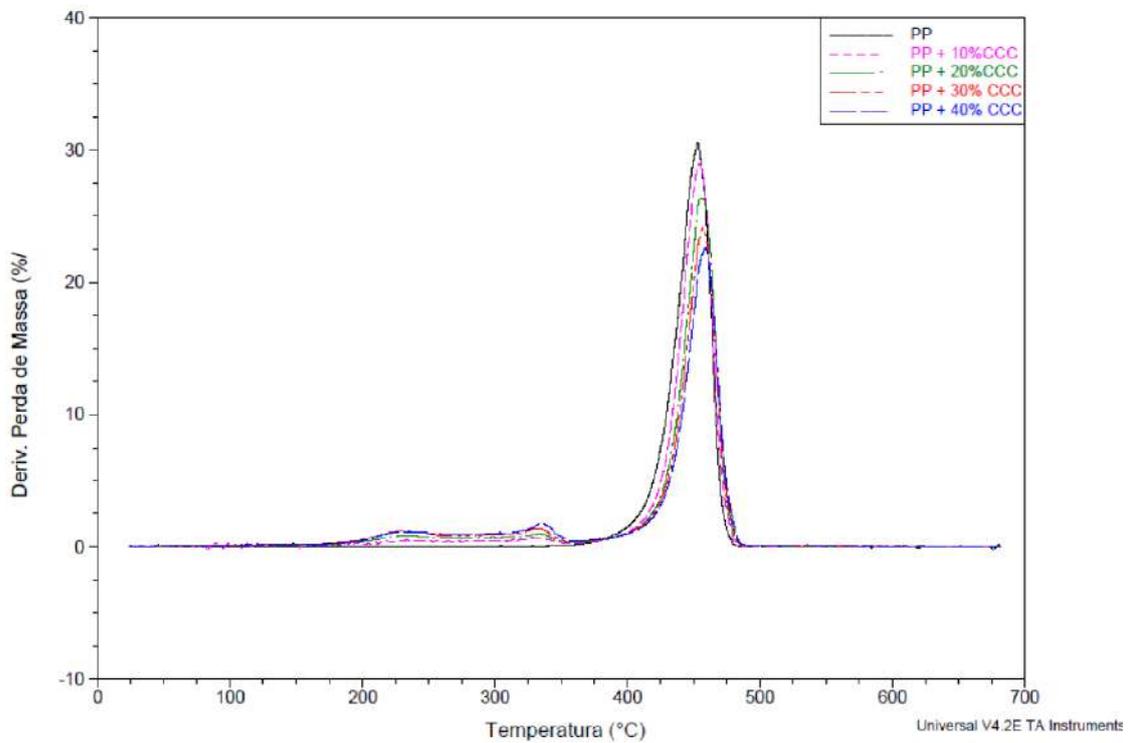
Para caracterização térmica e comparação das curvas de degradação, foram realizadas termogravimetrias das poliolefinas e dos compósitos produzidos. A partir das curvas da TG e DTG (definidas em 5.1.2) obtidas, avaliou-se as temperaturas referentes à decomposição dos materiais e o grau de incorporação efetiva da carga natural nas matrizes poliolefinicas.

As curvas obtidas são apresentadas nas Figuras 5.2 e 5.3.

a)

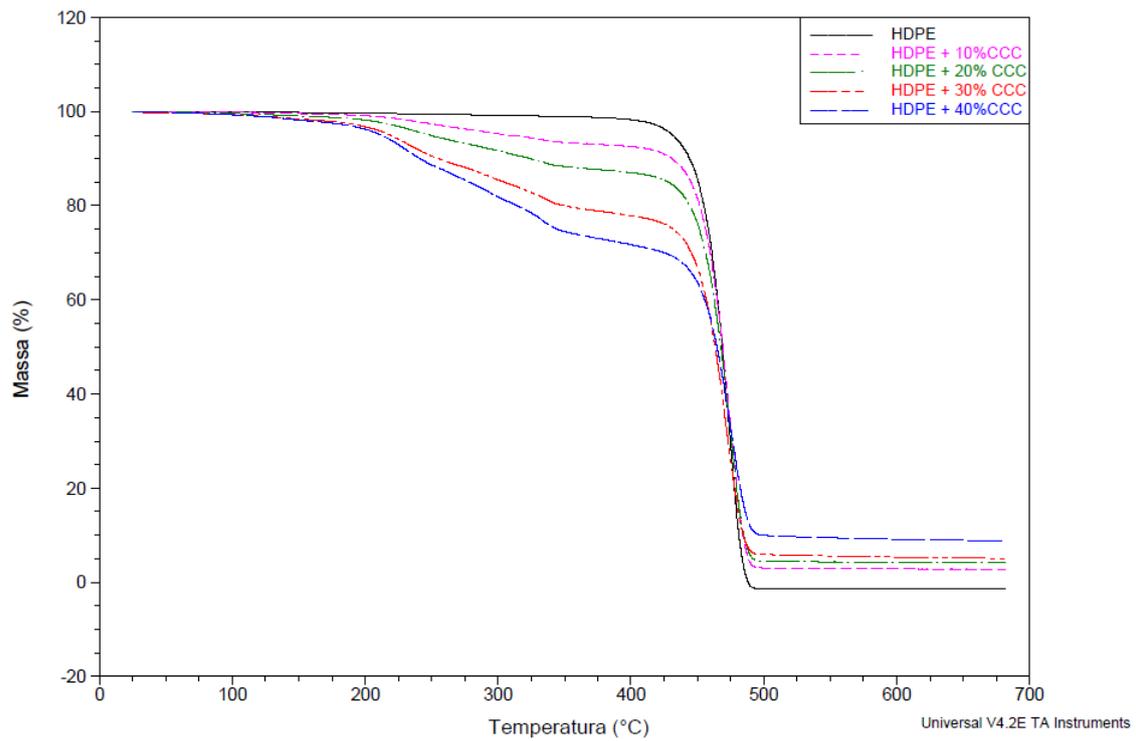


b)

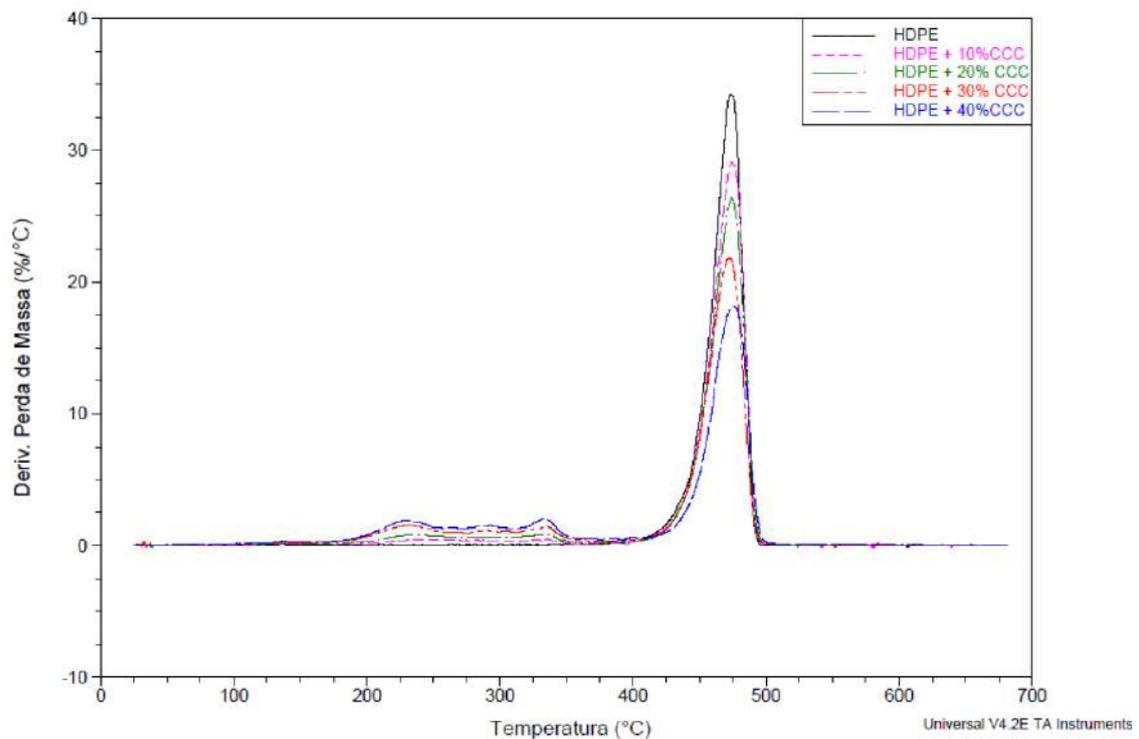


**Figura 5.2:** a) TG do PP puro e do PP com 10%, 20%, 30%, 40% de resíduo de CCC; b) DTG do PP puro e do PP com 10%, 20%, 30%, 40% de resíduo de CCC.

a)



b)



**Figura 5.3:** a) TG do PEAD puro e do PEAD com 10%, 20%, 30%, 40% de resíduo de CCC; b) DTG do PEAD puro e do PEAD com 10%, 20%, 30%, 40% de resíduo de CCC.

A partir das curvas da TG e da DTG, obteve-se o perfil de degradação dos materiais em função da temperatura.

Primeiramente, constatou-se que não houve perda de massa em temperaturas abaixo de 100°C, o que indica a ausência de umidade nos compósitos. Sabendo que as amostras não foram secas antes de serem encaminhadas para a análise por TG, evidenciou-se uma baixa tendência dos compósitos produzidos em absorver a umidade do ar.

Observa-se que o PP e o PEAD puros possuem temperaturas de degradação máxima de aproximadamente 455°C e 475°C, respectivamente. Constatou-se ainda que suas temperaturas iniciais de decomposição são em torno de 375°C e 410°C. Ao adicionar as cargas, os picos referentes à decomposição máxima das poliolefinas não sofreram deslocamentos relevantes. No entanto, foi averiguado que a degradação dos compósitos, tanto de PP quanto de PEAD, começou em temperaturas significativamente mais baixas que as das poliolefinas puras. Esse resultado refere-se à decomposição da carga lignocelulósica incorporada precedendo a decomposição das matrizes.

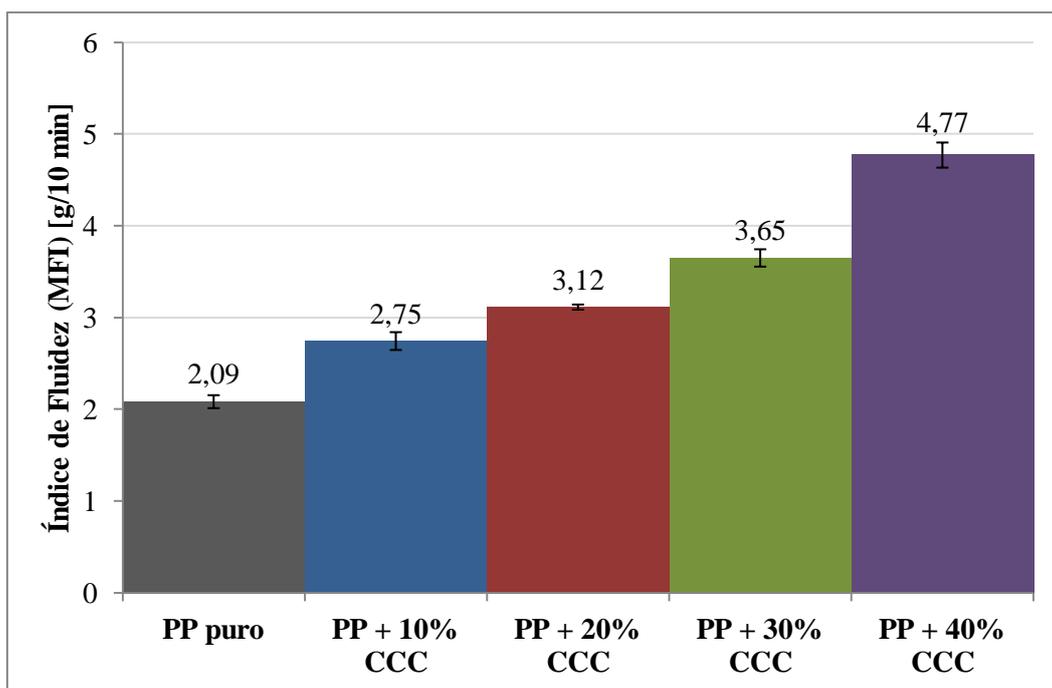
Nos compósitos com matriz de PP, observou-se uma incorporação de 10%, 18%, 24% e 28% (m/m), referentes às concentrações de 10%, 20%, 30% e 40% (m/m) de resíduo de CCC adicionadas no momento inicial do processamento das misturas. Já nos compósitos com matriz de PEAD, observou-se uma incorporação de 10%, 17%, 27% e 37% (m/m), referentes às concentrações de 10%, 20%, 30% e 40% (m/m) de resíduo adicionadas ao iniciar o processamento dos compósitos. A partir destes resultados, foram verificados, para teores de 10% e 20% (m/m) de resíduo de CCC, graus de incorporação equivalentes para o PP e o PEAD. No entanto, em proporções maiores, 30% e 40% (m/m), o PEAD apresentou uma maior capacidade de incorporação do resíduo que o PP.

Os compósitos de PEAD foram extrusados e injetados em faixas de temperatura mais baixas que os compósitos de PP (140-180°C e 160-200°C para a extrusão, 160-205°C e 185-215°C para a injeção,

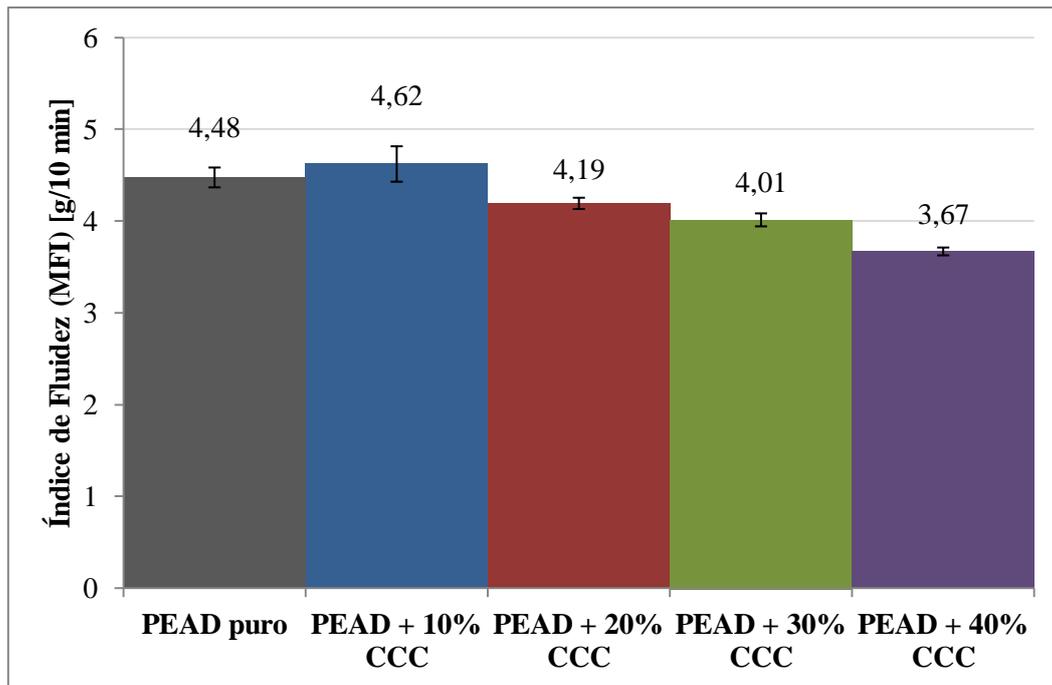
respectivamente). Levando em consideração que o resíduo de CCC começa a se decompor em cerca de 150°C, presume-se que, durante o processo, parte da carga tenha sofrido uma degradação em um grau tão maior quanto mais alta a temperatura de processamento. Esta constatação justifica a redução mais acentuada da incorporação na matriz de PP, comparada à de PEAD, no que se refere aos compósitos com maiores proporções de resíduo de CCC.

### 5.2.3 - Índice de fluidez (MFI)

Os valores obtidos nos ensaios de índice de fluidez estão expostos na Figuras 5.4 e 5.5.



**Figura 5.4:** Índices de fluidez do PP puro e seus compósitos.



**Figura 5.5:** Índices de fluidez do PEAD puro e seus compósitos.

Pode-se observar que, em comparação com a poliolefina pura, os compósitos de PP apresentaram um crescimento do índice de fluidez com o aumento da quantidade de carga utilizada na mistura. No entanto, quanto aos compósitos de PEAD, foi evidenciada uma ligeira queda em relação ao MFI do PEAD puro.

Para os compósitos de PP, foi possível observar aumentos por volta de 32%, 49%, 75% e 129% nos índices de fluidez referentes às proporções de 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC, respectivamente. Já para os compósitos de PEAD, apesar de ter sido verificado um aumento insignificante (cerca de 3%) no compósito com concentração de 10% de resíduo, foram constatados decréscimos em torno de 6%, 10% e 18% para as concentrações de 20%, 30% e 40%, respectivamente.

Ao contrário do que já foi registrado na literatura (RANA *et al.*, 1998; JOSEPH *et al.*, 2003) e demonstrado experimentalmente em muitos trabalhos (ROSA, 2007; YUAN *et al.*, 2008; entre outros), os índices de fluidez dos compósitos à base de PP aumentaram significativamente com a adição da carga lignocelulósica. Esse resultado

incomum pode estar relacionado à presença de LCC no resíduo de CCC. Considerando o caráter oleoso e anfifílico do LCC, é plausível supor que este esteja atuando como uma espécie de plastificante.

A IUPAC define os plastificantes como “substâncias incorporadas aos plásticos ou elastômeros com a finalidade de aumentar sua flexibilidade, processabilidade ou capacidade de alongamento. A ação de um plastificante modifica importantes propriedades do material base podendo reduzir a viscosidade (...) e o módulo de elasticidade no estado fundido.” Uma das características mais importantes de um plastificante é a sua compatibilidade com a matriz (RABELLO, 2000), interagindo fisicamente com o material e preenchendo os espaços entre as cadeias.

Dessa forma, supõe-se que, na matriz de PP, a atuação do LCC como plastificante tenha prevalecido sobre o efeito da carga lignocelulósica no aumento da viscosidade. Já na matriz de PEAD, a presença de LCC não foi suficiente para evitar o acréscimo na viscosidade. Entretanto, a redução de apenas 18% no índice de fluidez com a adição de 40% de carga indica que, possivelmente, a ação do LCC atenuou o efeito do resíduo.

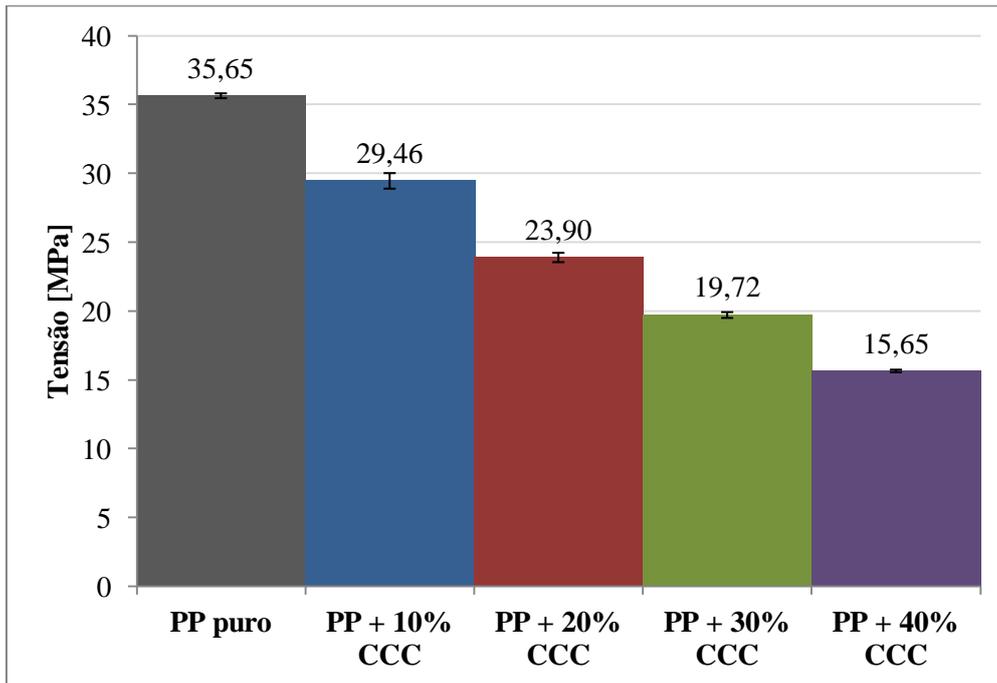
#### **5.2.4 - Ensaio das propriedades mecânicas**

##### **5.2.4.1 - Ensaio de resistência à tração**

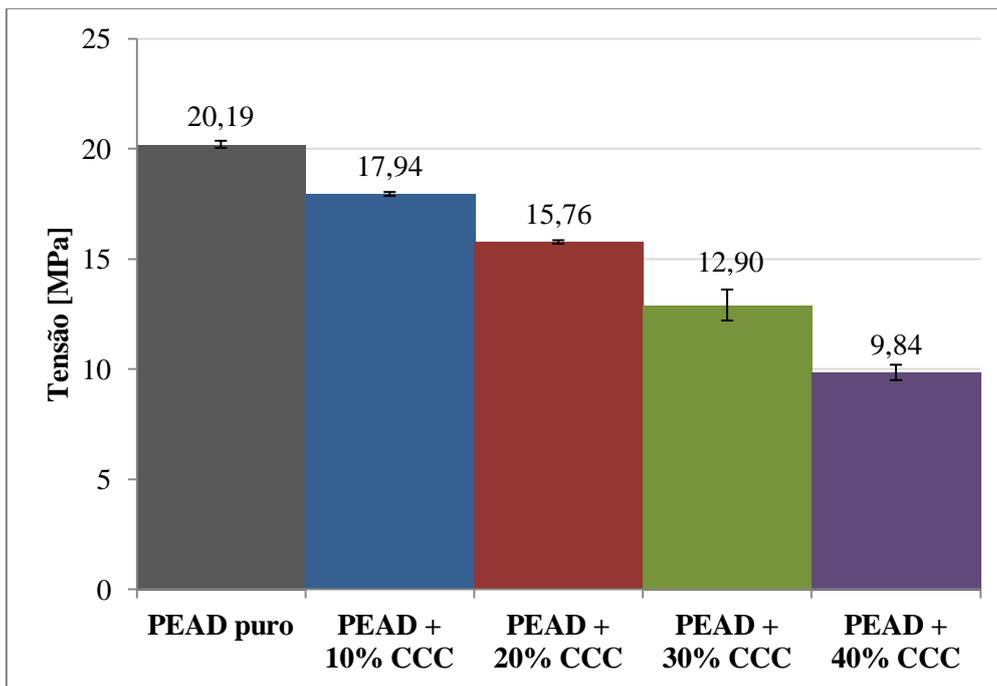
A partir dos ensaios de tração foram obtidos os valores da tensão de escoamento, da deformação na tensão de escoamento e do módulo de elasticidade das poliolefinas e dos compósitos.

Os resultados referentes à tensão de escoamento são mostrados na Figura 5.6.

a)



b)



**Figura 5.6:** Resistência à tração (tensão de escoamento). a) PP puro e PP com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC; b) PEAD puro e PEAD com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC.

A Figura 5.6 apresenta os valores da tensão de escoamento, em MPa, correspondentes às poliolefinas e aos compósitos. Tal tensão

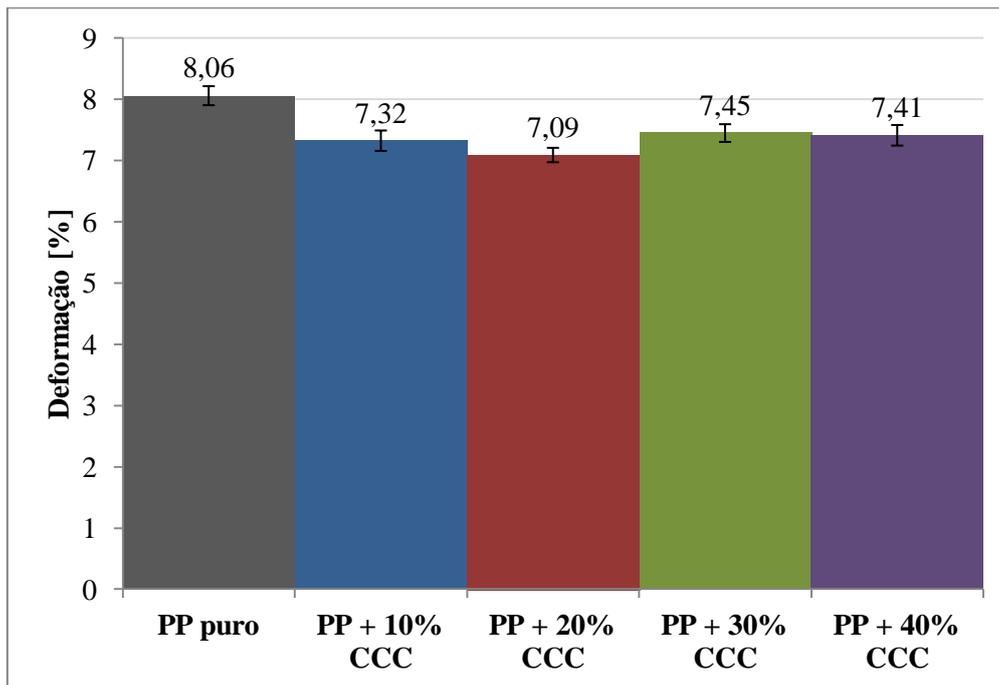
medida no ensaio de tração é o parâmetro que caracteriza a resistência à tração do material. Essa tensão fornecida pelo equipamento é a maior tensão (ou carga) suportada pelo material até o momento imediatamente antes da formação do “pescoço”, ou seja, é o ponto que delimita a divisão entre a deformação elástica e a deformação plástica.

Observou-se para todos os compósitos a redução da resistência à tração em relação aos polímeros puros. No caso dos compósitos à base de PP, foram verificadas reduções de 17%, 33%, 45% e 56% na tensão de escoamento, referentes, respectivamente, aos compósitos com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC. Da mesma forma, nos compósitos à base de PEAD, foram verificadas reduções de 11%, 22%, 36% e 51% referentes aos compósitos com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo.

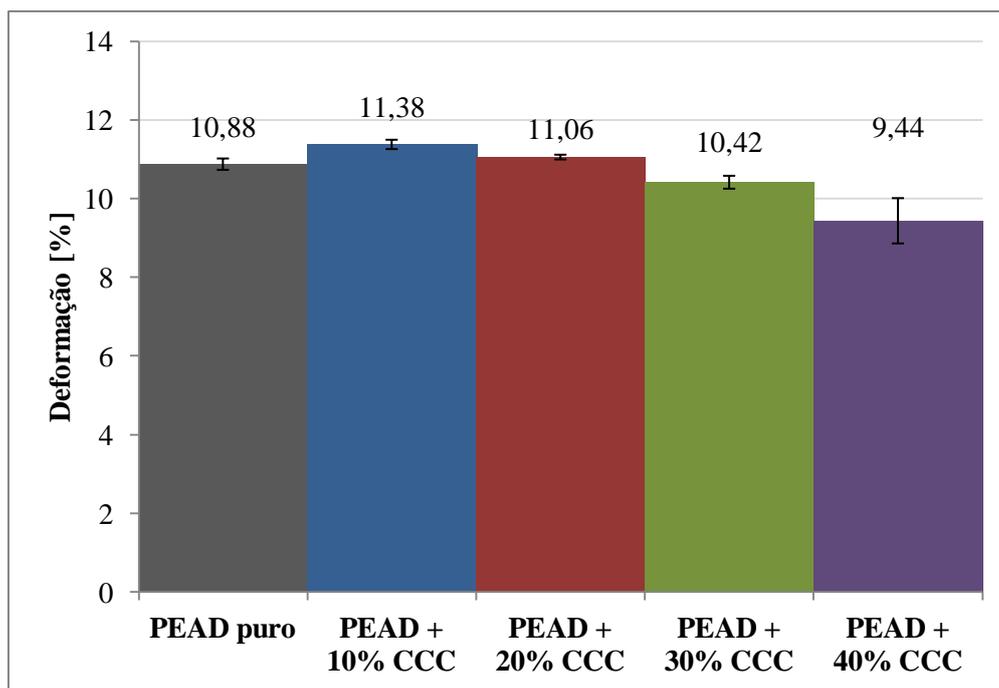
Conforme registrado em diversos trabalhos na literatura, a resistência à tração diminuiu com a adição da carga lignocelulósica. Muitos estudos têm sido feitos a respeito da melhora desta propriedade utilizando fibras naturais longas e/ou agentes de acoplamento (compatibilizantes). No entanto, o processamento de compósitos utilizando fibras longas é mais complexo e o uso de agentes de acoplamento, em geral, encarece o produto.

A Figura 5.7 exhibe os valores da deformação, em %, correspondentes às poliolefinas e aos compósitos. Tal deformação é a razão entre a diferença dos comprimentos final e inicial do corpo de prova e seu comprimento inicial. Essa deformação fornecida pelo equipamento corresponde ao ponto da tensão de escoamento suportada pelo material.

a)



b)



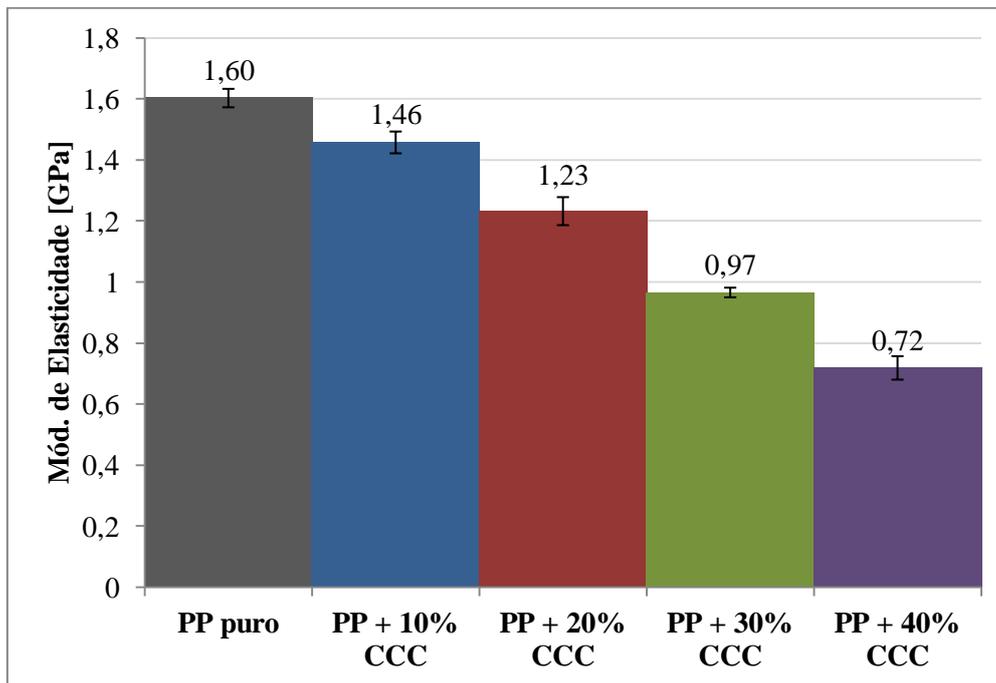
**Figura 5.7:** Deformação (na tensão de escoamento). a) PP puro e PP com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC; b) PEAD puro e PEAD com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC.

Em quase todas as amostras foi observada uma pequena redução da deformação em relação aos polímeros puros. No caso dos compósitos à base de PP, foram verificadas reduções de 9,1%, 12%, 7,6% e 8% na deformação, referentes, respectivamente, aos compósitos com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC. Para os compósitos à base de PEAD, apesar de terem sido verificados ligeiros aumentos de 4,6% e 1,7% na deformação dos compósitos com 10% e 20% de carga, nos compósitos com maiores teores (30% e 40%), foram verificadas reduções de, respectivamente, 4,2% e 13% na deformação.

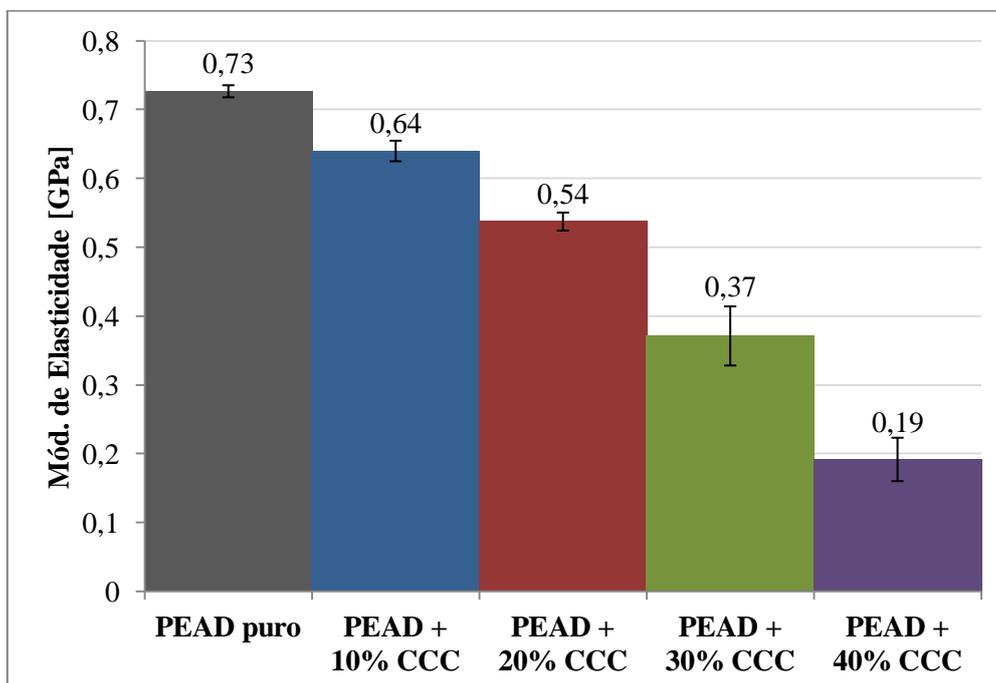
Considerando o erro experimental, no geral, a adição do resíduo de CCC não afetou significativamente a capacidade de deformação original das poliolefinas.

A Figura 5.8 mostra os valores do módulo de elasticidade, em GPa, correspondentes às poliolefinas e aos compósitos. O módulo de elasticidade é a razão entre a tensão e a deformação relativas ao ponto de escoamento.

a)



b)



**Figura 5.8:** Módulo de elasticidade. a) PP puro e PP com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC; b) PEAD puro e PEAD com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC.

Observou-se, para todos os compósitos, uma redução do módulo de elasticidade em relação aos polímeros puros. No caso dos compósitos à base de PP, foram verificadas reduções de 9%, 23%, 40% e 55%, referentes, respectivamente, aos compósitos com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC. Da mesma forma, nos compósitos à base de PEAD, foram verificadas reduções de 12%, 26%, 49% e 74% referentes aos compósitos com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo.

O módulo de elasticidade é um parâmetro diretamente proporcional à rigidez dos materiais e, conseqüentemente, inversamente proporcional à flexibilidade destes. Sendo assim, constatou-se que a adição da carga ocasionou o aumento da flexibilidade dos compósitos.

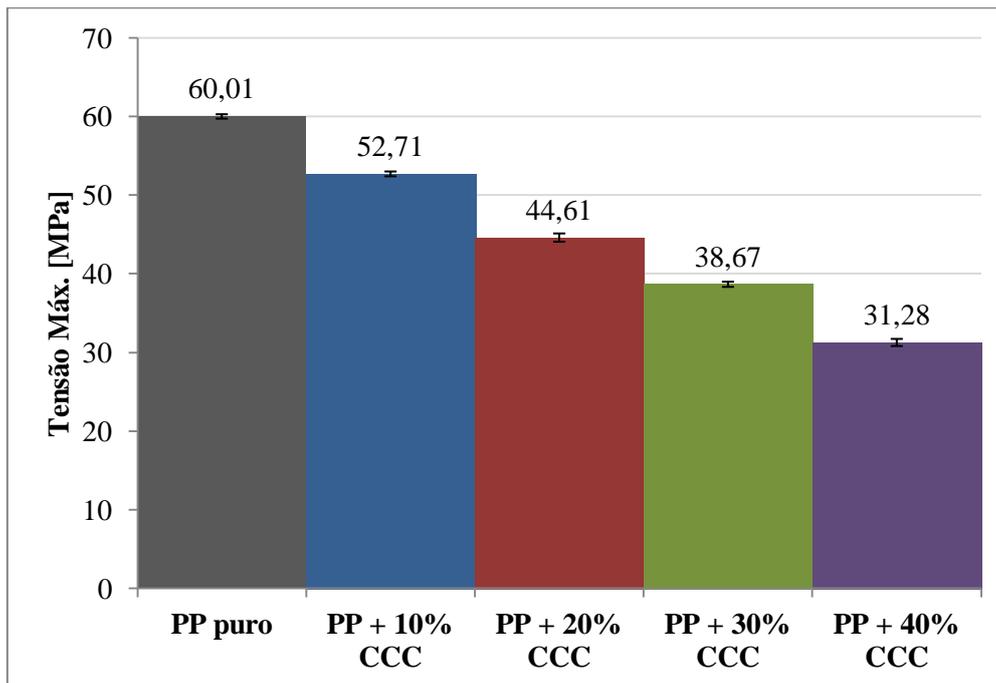
Pesquisas anteriores relataram o aumento do módulo de elasticidade, isto é, da rigidez, do PP e do PEAD com a adição de diversas cargas lignocelulósicas. Desse modo, os compósitos produzidos com o resíduo de CCC apresentaram um comportamento antagônico à tendência mencionada na literatura.

Assim como discutido em relação ao índice de fluidez, essa performance pode estar associada à presença de LCC atuando como uma espécie de plastificante, que além de influenciar positivamente na fluidez e na processabilidade, leva ao aumento da flexibilidade dos plásticos.

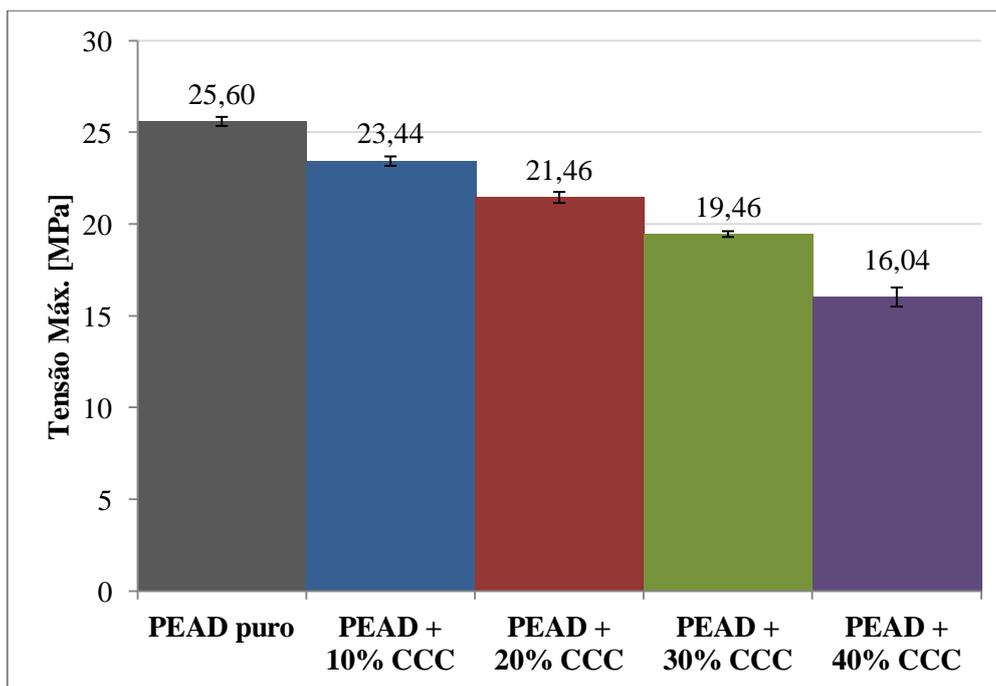
#### **5.2.4.2 - Ensaio de resistência à flexão**

A partir dos ensaios de flexão foram obtidos os valores da tensão máxima sob flexão sustentada pelo corpo de prova durante o ensaio. Os resultados referentes à tensão máxima são mostrados na Figura 5.9.

a)



b)



**Figura 5.9:** Resistência à flexão (tensão máxima). a) PP puro e PP com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC; b) PEAD puro e PEAD com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC.

A Figura 5.9 apresenta os valores da tensão máxima, em MPa, correspondentes às poliolefinas e aos compósitos. A tensão medida no

ensaio de flexão é o parâmetro que caracteriza a resistência à flexão (contrária à flexibilidade) do material.

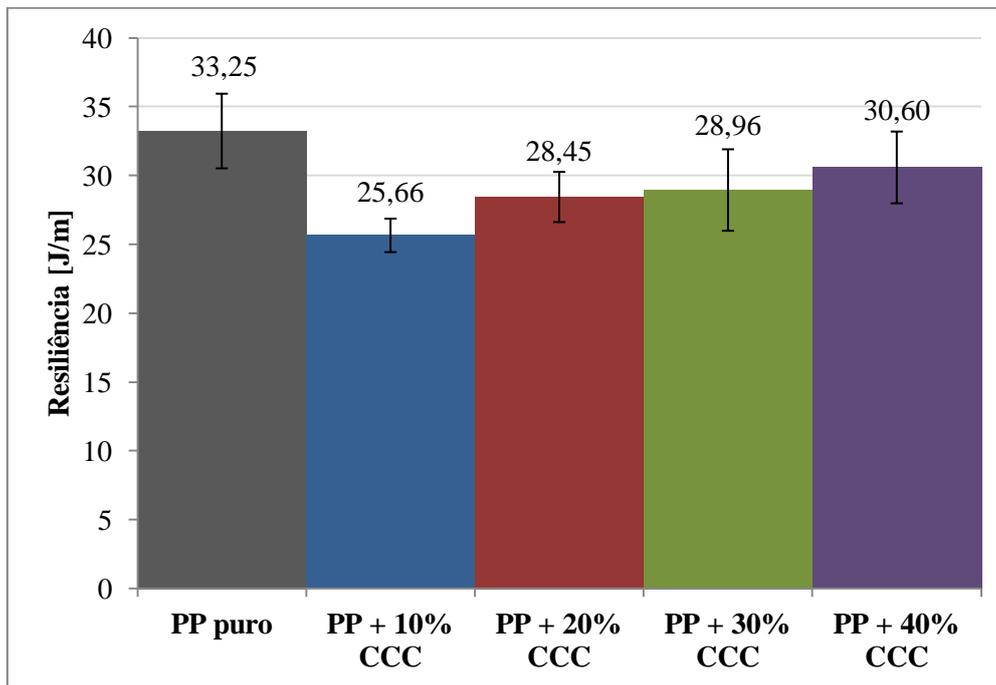
Observou-se a redução da resistência à flexão para todos os compósitos em relação aos polímeros puros. No caso dos compósitos à base de PP, foram verificadas reduções de 12%, 26%, 36% e 48% na resistência à flexão, referentes, respectivamente, aos compósitos com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC. Da mesma forma, nos compósitos à base de PEAD, foram verificadas reduções de 8%, 16%, 24% e 37% referentes aos compósitos com 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo.

Os resultados confirmaram o aumento da flexibilidade dos compósitos verificado no ensaio de tração. Apesar dos compósitos exibirem o mesmo comportamento nos dois ensaios, numericamente, não é possível comparar os resultados obtidos pelos diferentes métodos.

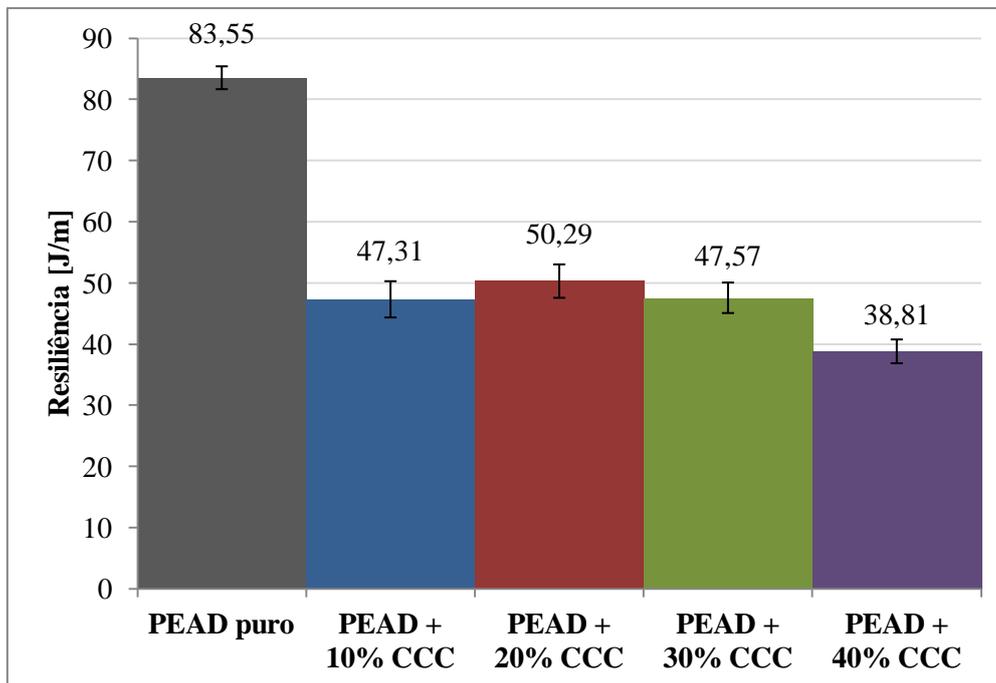
#### **5.2.4.3 - Ensaios de resistência ao impacto**

Os valores fornecidos pelos ensaios de impacto são referentes à razão da energia necessária para promover a ruptura (quebra) do material pela espessura do mesmo quando submetido ao impacto de uma carga. Os valores de resistência ao impacto, em J/m, obtidos nos ensaios para as poliolefinas e os compósitos são apresentados na Figura 5.10.

a)



b)



**Figura 5.10:** Resultado do ensaio de impacto para a) PP e seus compósitos; e b) PEAD e seus compósitos.

A partir dos resultados obtidos, constatou-se a redução da resistência ao impacto da maioria dos compósitos em relação aos

polímeros puros.

Nos compósitos de PP foi observada uma relação inversa entre a resistência ao impacto e o teor de carga no material. Para teores de 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de CCC, foram verificadas reduções de 23%, 14%, 13% e 8% na resistência ao impacto, respectivamente. Considerando os erros experimentais, a resistência ao impacto dos compósitos de PP não foi afetada significativamente se comparada à do PP puro.

Entretanto, nos compósitos de PEAD, foram atingidas reduções de 43%, 40%, 43% e 54% na resistência, para as proporções de 10%, 20%, 30% e 40% de carga.

Estudos encontrados na literatura apresentam resultados de aumento da resistência ao impacto com a adição de fibras naturais aos polímeros. No entanto, quando utilizadas cargas em pó (particuladas), ou em fibras curtas, o resultado encontrado é, na maioria dos casos, de redução dessa propriedade em relação aos plásticos puros.

Diante disso, constatou-se, neste ensaio, que o comportamento dos compósitos foi semelhante aos de análogos relatados em estudos prévios. No entanto, vale destacar o resultado singular para os compósitos à base de PP, os quais demonstraram uma possível tendência à recuperação da resistência ao impacto com a adição de maiores teores de carga.

## 6- Conclusão

Constatou-se que além de ser possível produzir compósitos de matrizes termoplásticas utilizando o resíduo de casca da castanha de caju como carga, esta alternativa apresenta grande potencial. Isso porque, empregando o PP e o PEAD como matrizes, foram obtidos materiais com propriedades interessantes, sem a necessidade do uso de um agente compatibilizante. Vale ressaltar que esses compósitos são atraentes não só sob o ponto de vista técnico, mas também ambiental e econômico.

Na caracterização térmica dos compósitos, evidenciou-se uma baixa tendência de absorção de umidade do ar por parte destes materiais. Também foi observado que os compósitos de PEAD apresentaram maior incorporação da carga em relação aos de PP, o que pode estar associado às temperaturas de processamento mais elevadas para os compósitos de PP, possivelmente ocasionando uma maior degradação da carga.

No que tange às propriedades dos materiais produzidos, foi detectado que os compósitos de PP apresentam maior índice de fluidez que o PP puro, e que, apesar dos compósitos de PEAD apresentarem menor MFI que o PEAD puro, essa diferença é pouco relevante. Além disso, os compósitos de PP e de PEAD são mais flexíveis que as poliolefinas puras, apesar de menos resistentes à tração. Quanto à resistência ao impacto, nos compósitos de PEAD houve uma redução mais relevante do que nos de PP. Em virtude desses resultados, verificou-se que o resíduo de CCC atua como carga de enchimento nos compósitos.

Esses materiais “verdes”, devido à sua boa processabilidade e flexibilidade, podem ser aplicados na fabricação de peças extrusadas e/ou injetadas e de objetos com formato mais elaborado, dos quais não se exija resistência ao impacto e à tração. Exemplos promissores são:

peças automobilísticas de acabamento; móveis; utensílios domésticos, como baldes e lixeiras; e tubos.

Após a caracterização da carga, concluiu-se que há fortes indícios da presença de LCC nesse resíduo. É provável que esse líquido, de caráter anfifílico e constituído de compostos fenólicos, possua influência significativa nas propriedades dos compósitos obtidos, atuando, principalmente, como uma espécie de plastificante.

Considerando que haja de fato LCC no resíduo, expande-se o campo de utilização dos materiais produzidos, tendo em vista a capacidade fungicida e bactericida de compostos fenólicos relatada na literatura. Nessa perspectiva, uma finalidade importante para esses compósitos seria a de exercer efeito biocida na estrutura de reservatórios de água em plataformas petrolíferas e em diversas fábricas.

Ainda focando nos componentes fenólicos do LCC, há a chance de que, além de possuir ação biocida, estes atuem como repelentes de crustáceos marinhos – *e.g.* craca – que são um grande problema para estruturas e objetos flutuantes e submersos em água. Dessa forma, os materiais compósitos poderiam ser empregados em plataformas, barcos, boias, pontes, casas e outros.

Por fim, destaca-se que os materiais desenvolvidos neste trabalho apresentaram propriedades singulares, podendo desencadear diversas possibilidades de pesquisas futuras e de aplicações proveitosas.

## 7- Próximos Passos

Este projeto pode ser a base para uma série de trabalhos futuros sobre compósitos termoplásticos com resíduo de CCC como carga de enchimento. É interessante estudar mais a fundo as propriedades e características desses materiais, além de suas potenciais aplicações, que podem ser bastante úteis para a sociedade. Alguns passos importantes são:

- Avaliação das curvas termogravimétricas em ar oxidante para determinar perfis de degradação mais realistas;
- Análise da espectroscopia de absorção no infravermelho do LCC e do resíduo de CCC, e comparação com os resultados da termogravimetria;
- Avaliação da presença de LCC no resíduo da casca através de HPLC e extração com solvente;
- Análise morfológica do compósito utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Estudo das propriedades dos compósitos com o resíduo de CCC sem a presença de LCC;
- Avaliação de compósitos com outros teores de carga;
- Estudo do efeito de diferentes granulometrias do resíduo de CCC nas propriedades dos compósitos;
- Estudo das propriedades dos compósitos, considerando a absorção de água pelos mesmos (inchamento);
- Avaliação do potencial biocida dos compósitos;
- Avaliação do potencial dos compósitos para repelir crustáceos marinhos;
- Avaliação do potencial de sequestro de carbono pelos compósitos;
- Avaliação da biodegradabilidade dos compósitos;
- Avaliação do efeito do envelhecimento nas propriedades dos compósitos;
- Determinação da condutividade térmica e elétrica dos compósitos;

- Avaliação do perfil reológico dos compósitos em reômetro de placas paralelas;
- Otimização das variáveis de processamento.

## 8- Referências Bibliográficas

ABIPLAST (2012). **Perfil 2012**: Indústria brasileira de transformação de material plástico. Disponível na Internet em:

<[http://file.abiplast.org.br/download/estatistica/perfil2012\\_versao\\_eletronica.pdf](http://file.abiplast.org.br/download/estatistica/perfil2012_versao_eletronica.pdf)> Acesso em 14 de agosto de 2013.

AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J. **Analysis and Performance of Fiber Composites**. 2ª Ed., New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990.

ALMEIDA, A. A. P. Atividade antimicrobiana de extratos e de compostos fenólicos e nitrogenados do café: avaliação in vitro e em modelo alimentar. 2007. 137 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, Minas Gerais.

BARRA, G. Apostila de Processos 4: Parte 1. Santa Catarina: UFSC, 2003.

BARROS, L. M. Caju. Produção: aspectos técnicos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 148p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Frutas do Brasil, 30).

BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. R.; DEWOLF, J. T. **Resistência dos Materiais**. 4ª Ed., São Paulo: Mcgraw-hill Interamericana, 2006.

BELEN B. B.; NIEVA B. L. Utilization of cashew nut shell residue for charcoal briquettes and activated carbon production. **Journal of Wood Science**, 44, p. 56-61, 2008.

BILLMEYER JR., F. W. **Textbook of polymer science**. New York: Wiley, 1984.

BLASS, A. **Processamento de Polímeros**. Editorial da UFSC, 1985.

BLEDZKI A. K.; SPERBER V. E.; FARUK, O. **Natural wood and fiber reinforcement in polymers**. Shrewsbury: Smithers Rapra; 2002.

BRUCE, I. E.; LONG, A.; PAYNE, P. B.; TYMAN, J. H. P. Preparative HPLC Separation of the Unsaturated Constituents of Cardanol and Cardol. **Journal of Liquid Chromatography**, Brunel University: Marcel Dekker, 13(10), p. 2103-2111, 1990.

BUNSELL, A. R.; HARRIS, B. Hybrid carbon and glass fibre composites. **Composites**, v. 5, n. 4, p. 157-164, jul. 1974.

CALLISTER Jr., W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. 5ª Ed., Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2002.

CANEVAROLO Jr, S. V.; CANTO, L. B.; PESSAN, L. A. Capítulo Resistência à tração, flexão e compressão, em **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Artliber, São Paulo, 2003.

CANEVAROLO Jr., S.V., HAGE Jr., E. Capítulo Resistência ao Impacto, em **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Artliber, São Paulo, 2003.

CANONGIA, C.; SANTOS, D. M.; SANTOS, M. M.; ZACKIEWICZ, M. *Foresight*, Inteligência Competitiva e Gestão do Conhecimento:

Instrumentos para a Gestão da Inovação. **Gestão & Produção**, v.11, n. 2, p. 331-238, mai.-ago. 2004.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. Sugar Cane Bagasse Fiber as Reinforcement of Polypropylene. In: Natural Polymers and Composites, 4, 2002, São Pedro. Anais.

CHANDA M., ROY S. K. **Plastic Technology Handbook**. New York: Taylor Francis Group, 2007.

CHAWLA, K. K. **Composite Materials**. New York: Springer-Verlag, 1987.

CHENEMISINOFF, N. P. **Handbook of Polymer Science and Technology, Composites and Specialty Applications**, v. 4. Editado por Nicholas P., New York, p. 265, 1989.

COLOM, X.; CARRASCO, F.; PAGES, P.; CAÑAVATE, J. Effects of different treatments on the interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites. **Composites Science and Technology** 63, p. 161–169, 2003.

CORREA, C. A.; FONSECA, C. N. P.; NEVES, S.; RAZZINO, C. A.; HAGE JR, E. Compósitos Termoplásticos com Madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 154-165, 2003.

COUTINHO, F. M. B., MELLO, I. L., SANTA MARIA, L. C. de. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

DANIEL, I.M.; ISHAI, O. **Engineering Mechanics of Composite Materials**. 2. ed. Nova Iorque: Oxford University Press. 1994.

FERNLUND, J. M. The effect of particle form on sieve analysis. **Engineering Geology** (50), p. 111-124, 1998.

FERRAN, M. F.; VILAPLANA, F.; AMPARO, R. G.; BORRÁS; B. A.; CONCHA, S. B. Flour rice husk as filler in block copolymer polypropylene: Effect of different coupling agent. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 99, n. 4, p. 1823-1831, fev. 2006.

FERREIRA, O. P.; ALVES, O. L.; MACEDO, J. S.; GIMENEZ, I. F.; BARRETO, L. S. Ecomateriais: Desenvolvimento e aplicação de materiais porosos funcionais para proteção ambiental. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 464-467, 2007.

FREIRE, F. das C. O.; DANTAS; J. D. P.; ALVES, C. R.; GUEDES, M. I. F. Desenvolvimento e Eficiência de um Fungicida Triazol a partir do Líquido da Casca da Castanha (LCC) do Cajueiro. Fortaleza: EMBRAPA, 2011.

GAGLIARDO, D. P.; MASCIA, N. T. Análise de estruturas sanduíche: parâmetros de projeto. Porto Alegre: **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 247-258, out./dez. 2010.

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

GUITIÁN, R. Os Polietilenos. **Plástico Moderno**, São Paulo, n. 257, agosto, p. 45-48, 1995.

HALADA, K. Progress of ecomaterials toward a sustainable society. **Current Opinion in Solid State and Materials Science**, v. 7, n. 3, p. 209-216, 2003.

HALADA, K.; YAMAMOTO, R. The Current Status of Research and Development on Ecomaterials around the World. **MRS Bulletin**, v. 26, n. 1, p. 871-879, nov. 2001.

HIBBELER, R. C., **Resistência dos Materiais**, 5ª Edição, Pearson Education, São Paulo, 2004.

HOSLER, D.; BURKETT, S. L.; TARKANIAN, M. J. Prehistoric Polymers: Rubber Processing in Ancient Mesoamerica. *Science*, v. 284, n. 5422, p. 1988-1991, 1999. Disponível na Internet em: <<http://www.sciencemag.org/content/284/5422/1988.full>> Acesso em 25 de julho de 2013.

IBGE (2012). Levantamento sistemático da produção agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Disponível na Internet em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201208.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201208.pdf)> Acesso em 14 de agosto de 2013.

IPECE. Evolução das Exportações Cearenses de Castanha de caju - 2007 a 2012. *Enfoque Econômico*, n. 60, março de 2013. Disponível na Internet em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/enfoqueeconomico/EnfoqueEconomicoN60\\_07\\_03\\_2013.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/enfoqueeconomico/EnfoqueEconomicoN60_07_03_2013.pdf)> Acesso em 14 de agosto de 2013.

JOSEPH, P. V.; MATHEW, G.; JOSEPH, K.; GROENINCKX, G.; THOMAS, S. Dynamic mechanical properties of short sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Composites: Part A*, v. 34, p. 275-290, 2003.

KARIAN, H.G. **Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites**. New York: Marcel Dekker Inc., 2003.

KIM, G. M.; MICHLER, G. H.; GAHLEITNER, M.; FIEBIG, J.; *Journal of Polymer Science*, 1996, 60, 1391.

KIPERSTOK, A.; MARINHO, M. *Ecologia Industrial e Prevenção da Poluição: Uma Contribuição Ao Debate Regional. Bahia Análise & Dados*, Salvador, SEI, v.10, n. 4, p. 271-279, mar. 2001.

KRISHNAMURTHY, K. S. (2009). *Advanced Composites as High-End Engineered Materials*. Disponível na Internet em: <[http://www.itcinfotech.de/Uploads/GUI/knowledgecentre/Advanced\\_Composites.pdf](http://www.itcinfotech.de/Uploads/GUI/knowledgecentre/Advanced_Composites.pdf)> Acesso em 05 de junho de 2013.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais. Ciência e Tecnologia**. Editora Edgard Blücher, 2006.

LIMA, A. C. *Análise de desempenho de um novo catalisador para a produção do polipropileno. Projeto final (graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, RS, 2011.*

LOPES, M. M. de A.; ENÉAS FILHO, J.; MOURA, C. F. H.; SILVEIRA, M. R. S. da. *Qualidade de pedúnculos de clones de cajueiro anão precoce BRS 189 e BRS 265 em diferentes estádios de maturação cultivados no município de Pacajus-CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21, 2010, Natal. Anais... Natal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2010.*

MACEDO, J. S. *Aproveitamento dos resíduos do beneficiamento de fibras de coco na obtenção de um eco-material: carbono ativado mesoporoso. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Pós-Graduação em Química, SE, 2005.*

MAIER, C.; CALAFUT, T. **Polypropylene - The Definitive User's Guide and Databook**. William Andrew Publishing/Plastics Design Library, 1998.

MALKAPURAM, R.; KUMAR V.; YUVRAJ, S. N. Recent development in natural fibre reinforced polypropylene composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 28, n.10, p. 1169–1189, 2009.

MANO, E.B., MENDES, L.C. **Introdução a polímeros**. Editora Edgard Blücher, 2a ed., 1999.

MANO, B.; ARAÚJO, J. R.; SPINACÉ, M. A. S. DE PAOLI, M.-A. Polyolefin composites with curaua fibres: Effect of the processing conditions on mechanical properties, morphology and fibres dimensions. **Composites Science and Technology**, v. 70, p. 29-35, 2010.

MANCINI, S. D.; BEZERRA, M. N.; ZANIN, M. Reciclagem de PET advindo de garrafas de refrigerante pós-consumo. **Polímeros [online]**, v.8, n.2, p. 68-75, 1998.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MARK, H.F.; BIKALES, N.M.; OVERBERGER, C.G.; MENGES, G.; KROSCWITZ, J.I., **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**, John Wiley & Sons: New York, 1986.

MARQUES, G. C.; UETA, N. (2007). **Hidrostática**. Disponível na Internet em:

<<http://efisica.if.usp.br/mecanica/basico/hidrostatica/densidade/>>

Acesso em 05 de setembro de 2013.

MARTINS, G. A. S. Informações sobre Manuseio e Estocagem de Polietilenos e Polipropilenos. Boletim Técnico n. 14, OPP Petroquímica S.A., agosto, 1999.

MAZZETO, S. E.; LOMONACO, D.; MELE, G. Óleo da castanha de caju: Oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 732-741, 2009.

MEDEIROS, O. M. Alternativas de Ultimação de Resíduo Plástico Termofixo. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, RN, 2005.

MOORE, E. P. **Polypropylene Handbook:** Polymerization, Characterization, Properties, Applications. Hanser-Gardner, 1996.

MOREIRA, L. F. B; GONZÁLEZ, G.; LUCAS, E. F. Estudo da Interatividade entre Macromoléculas Asfálticas e Compostos Estabilizantes: LCC e Cardanol. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, jul.-set. 1998.

MOURA, M. F. S. F. de; MORAIS, A. B. de; MAGALHÃES, A. G. de. **Materiais Compósitos:** Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico. 2ª Ed., Editora Publindústria, 2009.

NETO, J. C. A. Competitividade na pequena produção agroindustrial: estudo na agroindústria da castanha do caju. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Engenharia de Produção, RN, 2006.

NEVES, C. J. A. Resistência Química de PE's a Vários Reagentes Químicos. Boletim Técnico n. 13, OPP Petroquímica S.A., agosto, 1999.

NGUYEN, T.; ZAVARIN, E.; BARRAL, E. M. Thermal analysis of lignocellulosic materials. Part I - Unmodified materials. **J Macromol Sci - Rev Macromol Chem**; C 20:1-65; 1981.

NGUYEN, T.; ZAVARIN, E.; BARRAL, E. M. Thermal analysis of lignocellulosic materials. Part II - Modified materials. **J Macromol Sci - Rev Macromol Chem**; C 21:1-60; 1981.

OLIVEIRA, V. H.; BARROS, L. M.; LIMA, R. N. Influência da irrigação e do genótipo na produção de castanha em cajueiro-anão-precoce. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 61-66, jan. 2003.

PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia: Microestrutura e Propriedades**. São Paulo: Editora Hemus, Edição Eletrônica, 2000. v. 01.

PAIVA, F. F. de A.; GARRUTI, D. dos S.; SILVA NETO, R. M. da. Aproveitamento industrial do caju. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT/SEBRAE/CE, 2000. 88p. il. (EMBRAPA-CNPAT. Documentos, 38). Disponível na Internet em: <  
[http://www.cnpat.embrapa.br/home/docs/Aproveitamento\\_caju.pdf](http://www.cnpat.embrapa.br/home/docs/Aproveitamento_caju.pdf)>  
Acesso em 10 de maio de 2013.

PAIVA, J. R.; BARROS, L. M. Clones de Cajueiro: Obtenção, Características e Perspectivas. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004.

PAUKKERI, R; VÄÄNÄNEN, T; LEHTINEN, A. Microstructural analysis of polypropylenes produced with heterogeneous Ziegler-Natta catalysts. **Polymer**, v. 34, n. 12, p. 2488-2494, 1993.

PEACOCK; A. J. Handbook of polyethylene structures, properties, and applications. New York: Marcel Dekker; 2000.

PERVAIZ, M; SAIN, M. M. Carbon storage potencial in natural fiber composites. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 39, p. 325-340, 2003.

PHILLIPS, R.; WOLKOWICZ, M. **Polypropylene Morphology**. In: PASQUINI. Polypropylene Handbook. 2<sup>a</sup> Ed., Ohio: Hanser, Cap. 3, p. 147-244, 2005.

RABELLO, M. S. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo: Artiber Editora, 2000.

RAM, A. **Fundamentals of Polymer Engineering**. Springer – Verlag, 1997.

RANA, A. K.; MANDAL, B. C.; MITRA, R.; JACOBSON, R.; ROWELL, A.; BANERJEE, N. Short jute fiber reinforced polypropylene composites: Effect of compatibilizer. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 69, p. 329-338, 1998.

REIFSNIDER, K. L. Modelling of the Interphase in Polymer-Matrix Composite Material Systems. **Composites**, v. 25, n. 7, p. 461-469, 1994.

ROCHA, E.; AMARO, A. M.; MONTEIRO, J. M. Detecção de defeitos em placas compósitas submetidas a impacto a baixa velocidade. **Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões, Mecânica Experimental**, v. 17, p. 109-115, 2009.

ROSA, D. S.; LOTTO, N. T.; GUEDES, C. G. F. **Polym. Test**, 23, 3. 2004.

ROSA, S. M. L. **Estudo das propriedades de Compósitos de Polipropileno com Casca de Arroz**. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Rio Grande do Sul.

ROSATO, D. V. **Designing with Reinforced Composites – Technology-Performance Economics**. New York: Hanser Publishers, 1997.

SAIN, M. PS. Green Fiber Thermoplastic Composites. Cambridge: Baillie C (Edt.), 2004.

SANTOS, A. M. Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PR, 2006.

SANTOS, E. F.; MORESCO, M.; ROSA, S. M. L.; NACHTIGALL, S. M. B.. Extrusão de compósitos de PP com fibras curtas de coco: efeito da temperatura e agentes de acoplamento. **Polímeros [online]**, v.20, n.3, 2010.

SANTOS, P. A.; SPINACÉ, M. A. S.; FERMOSELLI, K. K. G., DE PAOLI, M-A. Polyamide-6/vegetal fiber composite prepared by extrusion an injection molded. **Compos. Part. A** 38, p. 2404-2411, 2007.

SANZANI, S. M., et al. Control of Penicillium expansum and patulin accumulation on apples by quercetin and umbelliferone. **European Food Research and Technology**, n. 228, p. 381 – 389, 2008.

SATYANARAYANA, K. G., ARIZAGA, G. G.; WYPYCH, F. Biodegradable Composites Based on Lignocellulosic Fibers - An overview. **Progress in Polymer Science**, p. 982-1021, 2009.

SEKI, M.; YAMAUCHI, S.; MATSUSHITA, Y.; *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 1999, 60,1333.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K. ; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v.32, n. 3, p. 661-671, 2009.

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

TEIXEIRA, M. G.; CÉSAR, S. F. Produção de Compósito com Resíduo de Madeira no Contexto da Ecologia Industrial. **Madeira Arquitetura & Engenharia**, v. 7, n. 19, jul.-dez. 2006. Disponível na Internet em: <<http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/219/pdf>> Acesso em 19 de julho de 2013.

UMEZAWA, O.; HALADA, K.; SUGI, Y. Preface. **Materials Transactions**, v.46, n. 12, p.2549, 2005.

VENTURA, A. M. F. M. Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 21, n. 3/4, p. 10-19, 2009.

WAN, E.; GALEMBECK, E.; GALEMBECK, F. **Polímeros Sintéticos**. Em: *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, 2001. Disponível na Internet em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/02/polimer.pdf>> Acesso em 25 de julho de 2013.

YAGI, K.; HALADA, K. Em **European White Book on Fundamental Research in Materials Science**; Rühle, M.; Dosch, H.; Mittemeijer, E.;

Van de Voorde, M. H., eds.; Max-Planck Institute für Metall-forschung: Stuttgart, Cap.6, 2002.

YUAN, Q.; WU, D.; GOTAMA, J.; BATEMAN, S. Wood Fiber Reinforced Polyethylene and Polypropylene Composites with High Modulus and Impact Strength. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 21, n. 3, p 195-208, mai. 2008.

YU, T.; ZHENG, X. D. Salicylic acid enhances biocontrol efficacy of the antagonist *Cryptococcus laurentii* in Apple fruit. **Journal of Plant Growth Regulation**. v.25, p. 166 – 174, 2006.