



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**PAULO ROBERTO DE OLIVEIRA BRITO**

**PERFIS DE POLIETILENO RECICLADO CARREGADO  
COM FIBRA DE AÇAÍ**

**BELÉM  
2012**

PAULO ROBERTO DE OLIVEIRA BRITO

**PERFIS DE POLIETILENO RECICLADO CARREGADO  
COM FIBRA DE AÇAÍ**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Área de concentração: Materiais e Processos. Orientadora: Profa. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias.

BELÉM  
2012

**Dados Internacionais de catalogação na publicação (CIP), Biblioteca do Mestrado em Engenharia Mecânica/ UFPA, Belém, PA.**

---

B862p Brito, Paulo Roberto de Oliveira

Perfis de Polietileno Reciclado Carregado com Fibra de Açaí./ Paulo Roberto de Oliveira Brito; Orientador: Prof. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias. – Belém, 2012.

46f. il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2012.

1. Polímero. 2. Fibras de Açaí. 3. Processo de Conformação. I. Dias, Carmen Gilda Barroso Tavares, orientador. II. Título.

CDD 23.ed. 669.94

PAULO ROBERTO DE OLIVEIRA BRITO

## PERFIS DE POLIETILENO RECICLADO CARREGADO COM FIBRA DE AÇÁI

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Área de concentração: Materiais e Processos.

Data de Aprovação: 19/05/2012

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias /(PPGEM/UFPA) - Orientadora

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fathi Ibrahim Darwish /(UFF) - Membro Externo

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fernando Antônio De Sá /(PPGEM/UFPA) - Membro interno

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Lobo Peralta /(IFPA) - Membro Convidado

## **AGRADECIMENTOS**

O primeiro agradecimento é para o meu grande mestre DEUS, sem ele, este trabalho dificilmente seria concluído.

Agradeço ainda a minha orientadora Profa. Dra. Carmen Gilda, pela orientação e pelos primeiros ensinamentos desta fascinante área de conhecimento que é a de polímeros.

Finalmente agradeço a meus familiares pela paciência e compreensão dos momentos difíceis pelos quais passei. E a todos os colegas que de alguma forma me ajudaram na elaboração deste trabalho.

## RESUMO

Foram obtidos perfis tubulares porosos de polietileno (PE) e de polietileno/fibra de açaí (PE/PA) 80/20 extrudados a partir de partículas granuladas de polietileno de alta densidade reciclado de embalagens pós-consumo de 600  $\mu\text{m}$ , e deste com fibra de açaí de 300  $\mu\text{m}$ . Para o processamento das peças foi desenvolvida uma extrusora mono-rosca de bancada, com sistema mecânico acionado por um motor elétrico de  $\frac{1}{2}$  CV (0,37 kw) controlado por um inversor de frequência, com canhões, roscas, matriz e sistema de aquecimento substituíveis. Para permitir uma visualização didática de condições de operação do equipamento de modo simplificado foram realizados testes com parafina em canhão de vidro variando-se a velocidade de rotação do parafuso e perfil de temperatura, ajustando vazão mássica e pressão na saída. Para a extrusão dos perfis porosos foram realizados ensaios reológicos de PE e PE/FA sendo selecionado rosca, barril e matriz de alumínio; rosca com passo de 9 mm e relação comprimento diâmetro (L/D) 22, composta de um elemento misturador e um elemento de flutuação na zona de controle de vazão; ângulo entre o filete e o eixo da rosca  $17^\circ$ , folga entre a rosca e o barril 0,15 mm; rotação de 1,3 rpm; aquecimento ao longo do canhão de  $120^\circ\text{C}$ ; matriz tubular com 21 mm de diâmetro interno e mandril de 19 mm de diâmetro externo. Os perfis PE e PE/FA apresentaram poros com diâmetros médios de 0,7 e 0,6 mm; densidade relativa à água a  $28^\circ\text{C}$  de 0,77 e 0,73; módulo de elasticidade de 1,002 e 2,601 GPa e máximo inchamento aparente do extrudado de 100 e 80%.

**Palavras-chave:** Polímero. Fibra natural. Processo de conformação.

## ABSTRACT

Were obtained porous tubular profiles, polyethylene (PE) and polyethylene/fiber açai (PE/PA) 80/20 extruded from granulated particles of high-density polyethylene packaging recycled post-consumer 600  $\mu\text{m}$ , and this with fiber açai 300  $\mu\text{m}$ . For parts processing was developed a mono-screw extruder bench, with System Mechanic powered by an electric motor of  $\frac{1}{2}$  HP (0.37 kw) controlled by a frequency inverter with cannons, bagels, array and replaceable heating system. To allow a preview of didactic equipment operating conditions so simplified were conducted tests with paraffin in glass ranging from Cannon-if the screw rotation speeds and temperature profile, adjusting mass flow and pressure in the output. For extrusion of profiles theological tests were conducted with porous of PE and PE/FA screw, barrel being selected and aluminum matrix; bagel with step 9 mm and length diameter ratio (L/D) 22, composed of an element mixer and a floating element in the zone of flow control; angle between the axis and thread screw 17 air gap between the screw and barrel 0.15 mm; 1.3 rpm rotation; heating along the cannon 120° C; tubular array with 21 mm internal diameter and Chuck 19 mm outside diameter. PE profiles and PE/FA showed average pore diameter 0.7 and 0.6 mm; specific gravity to water at a point 28° C 0.77 and 0.73; modulus GPa 1.002 and 2.601 and maximum apparent swelling of extruded 100 and 80%.

**Keywords:** Polymer. Natural fiber. Process conformation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição percentual dos materiais que compõem os resíduos sólidos urbanos .....	15
Figura 2 – Simbologia utilizada para identificação de reciclagem .....	15
Figura 3a – Polietileno .....	24
Figura 3b – Muinho TE – 625 .....	24
Figura 3c – Muinho NFA 1533 .....	24
Figura 4a – Fibra do açaí .....	25
Figura 4b – Digestor de fibras .....	25
Figura 5 – Corpos de prova do compósito .....	27
Figura 6 – Máquina de ensaio universal .....	28
Figura 7 – Equipamento de ensaio de impacto por pêndulo .....	29
Figura 8 – Cabeçote da extrusora .....	30
Figura 9 – Extrusora .....	31
Figura 10 – Extrusora com canhão de vidro .....	31
Figura 11 – Seção de rosca .....	32
Figura 12 – Rosca .....	33
Figura 13 – Detalhamento da rosca .....	34
Figura 14 – Conjunto de processamento .....	34
Figura 15 – Conjunto acoplado na extrusora .....	35
Figura 16 – Partículas de polietileno .....	36
Figura 17 – Perfil de polietileno .....	36
Figura 18 – Mistura de polietileno com a fibra do açaí .....	37
Figura 19 – Perfil de polietileno com a fibra do açaí .....	37
Figura 20 – Ensaio de tração .....	38
Figura 21 – Ensaio de compressão .....	39
Figura 22 – Ensaio de flexão .....	40
Figura 23 – Gráfico dos Ensaio de Traça, Flexão e Compressão .....	41



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nomenclatura da seção da rosca .....	32
Tabela 2 – Densidade .....	38
Tabela 3 – Ensaio de tração .....	39
Tabela 4 – Ensaio de compressão .....	39
Tabela 5 – Ensaio de flexão .....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PET	Poli(terefitalato de etileno)
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PE <sub>R</sub>	Polietileno reciclado
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
v	Volt
Hz	Hertz
MPa	Mega Pascal
rpm	Rotações por minuto
cv	Cavalo vapor
kw	Quilo watt
T <sub>c</sub>	Temperatura de cristalização
T <sub>m</sub>	Temperatura de fusão
mm	Milímetro
°C	Grau Celsius
PELBD	Polietileno linear de baixa densidade
PEUAPM	Polietileno de ultra-alto peso molecular
PEUBD	Polietileno de ultra-baixa densidade

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta$	Ângulo
L	Comprimento
D	Densidade
d	Diâmetro
E	Espessura
$\delta$	Folga
°	Grau
m	Massa
W	Passo
%	Percentual
p	Potência
$\eta$	Rotação
T	Temperatura
t	Tempo
$\tau$	Tensão de cisalhamento torcional

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
3.1 RECICLAGEM .....	14
3.2 POLIETILENO .....	16
3.3 FIBRAS VEGETAIS .....	18
3.4 EXTRUSÃO .....	19
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	22
4.1 MATERIAIS .....	22
<b>4.1.1 Materiais da extrusora</b> .....	22
4.1.1.1 Material da rosca .....	22
4.1.1.2 Material da matriz .....	23
4.1.1.3 Material do canhão .....	23
<b>4.1.2 Material do perfil</b> .....	23
4.1.2.1 Polietileno .....	23
4.1.2.2 Parafina .....	24
4.1.2.3 Fibra .....	25
4.2 MÉTODOS .....	25
<b>4.2.1 Montagem da extrusora</b> .....	26
<b>4.2.2 Construção da rosca</b> .....	26
<b>4.2.3 Obtenção dos perfis</b> .....	26
<b>4.2.4 Determinação da densidade</b> .....	27
<b>4.2.5 Propriedades dos perfis</b> .....	27
4.2.5.1 Ensaios destrutivos .....	28
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	30
5.1 EXTRUSORA .....	30
5.2 CONSTRUÇÃO DA ROSCA .....	32
5.3 CONJUNTO DE PROCESSAMENTO .....	34
5.4 PERFIL.....	35

<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	43
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	43
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45

## 1 INTRODUÇÃO

A reciclagem mecânica representa um meio de transformação bastante atual e versátil pela variedade de ferramentas e equipamentos que podem ser adequados a situações restritas.

O aproveitamento dos resíduos plásticos pode ser valorizado com a utilização de fibras naturais abundantes na região amazônica as quais vêm sendo intensamente utilizadas na fabricação de compósitos.

Percebe-se que a tendência mundial na valorização de produtos que minimizem custos de produção e sejam ambientalmente corretos têm estimulado as indústrias de transformação ao aproveitamento de rejeitos.

A utilização industrial de diversas fibras representa um avanço tecnológico no sentido de promover o desenvolvimento econômico sustentável, e a diminuição das desigualdades regionais, especialmente da região amazônica, que sofre as conseqüências do desequilíbrio econômico e ambiental.

Essa pesquisa envolve a confecção de uma extrusora de bancada, composta de rosca e canhão para reciclagem de polietileno carregado com fibras de açaí.

Faz-se um estudo da utilização das fibras vegetais e sua viabilidade industrial, demonstrando que a fibra do açaí pode ser também aproveitada como carga de peças extrudada.

Este estudo propõe alternativas industriais e tecnológicas para a obtenção de peças moldadas de baixo custo e ecologicamente recomendáveis. Além disso, espera-se demonstrar que a exploração da biodiversidade na região amazônica pode ser realizada de maneira sustentável, contribuindo para o desenvolvimento econômico da região sem agredir o meio ambiente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Confecção de uma extrusora de bancada para ser utilizada como material didático.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Obter perfis porosos de polietileno reciclado (PE<sub>R</sub>) carregado com fibras de açaí.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 RECICLAGEM

O meio ambiente é uma das maiores preocupações mundiais. Por exemplo, temos ainda hoje em pauta os assuntos como o Protocolo de Kioto sobre a redução das emissões de gases e em debate a proposta norte-americana de cumprimento das recomendações daquele protocolo. Notícias revelam diariamente, também, o alto grau de poluição dos mares, grande parte motivada pelas águas dos rios que neles desembocam (PACHECO et al, 2003).

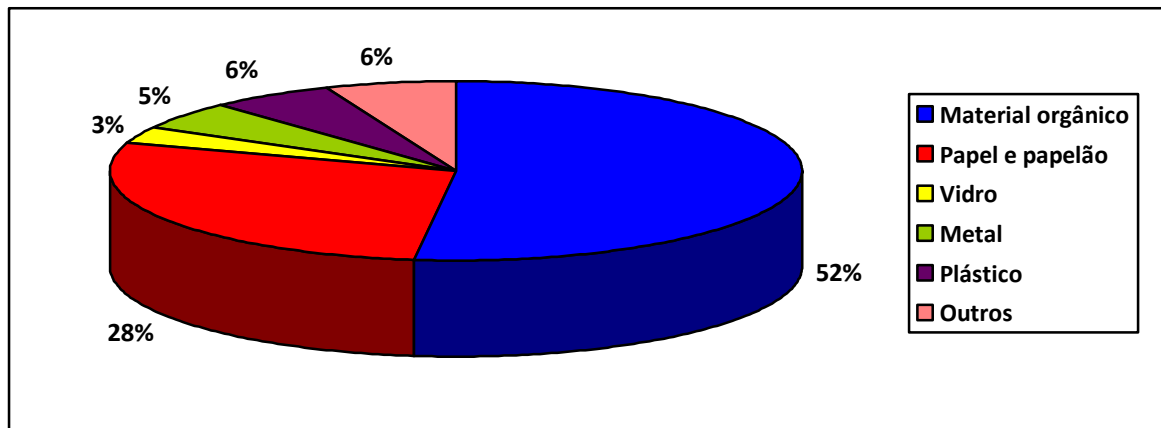
Muitas fontes de poluição existem e, passam despercebidas até por órgãos governamentais de defesa ambiental. Por exemplo, resíduos gerados em laboratórios de pesquisa, resultantes de experimentos, análises, subprodutos de reações químicas e de aulas práticas. Estes resíduos gerados especificamente em laboratórios de pesquisa na área de polímeros, que, vertidos no meio ambiente sem qualquer tratamento, podem gerar, ao longo do tempo, danos irreversíveis à natureza (PACHECO et al, 2003).

Uma contribuição importante que a cadeia produtiva pode promover é o uso de embalagens com menor número de resinas diferentes, o desenho de projetos que facilitem a separação de componentes das embalagens com resinas diferentes, evitando na medida do possível o uso de embalagens multicamadas, adesivos, aditivos e rótulos nas embalagens (SANTOS et al, 2004).

Atualmente são geradas diariamente aproximadamente 125 mil toneladas de resíduos domiciliares no Brasil, e a composição percentual dos materiais que compõem estes resíduos sólidos urbanos está representada na Figura 1 (YOSHIGA et al, 2004).



**Figura 1 - Composição percentual dos materiais que compõem os resíduos sólidos urbanos**

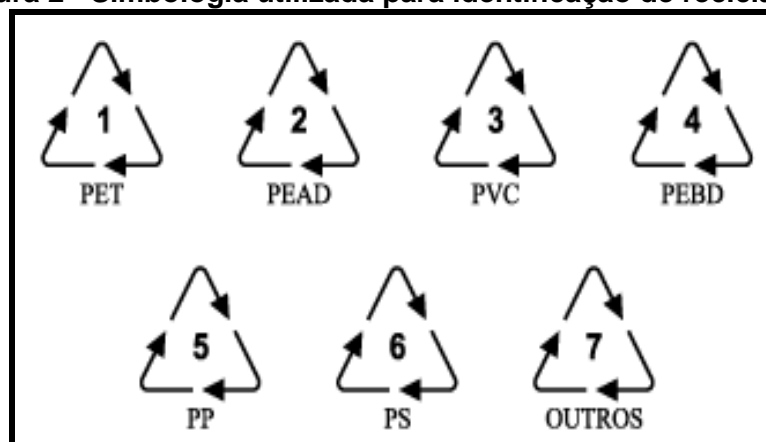


Fonte: Elaborada pelo autor.

A contribuição do plástico é pequena, como representado na figura 1, se comparada aos demais resíduos, como material orgânico papel e papelão, vidro, metais e entulhos de construção civil, entretanto o aspecto negativo é o seu volume ou chamado “lixo visual” e o tempo que este tipo de resíduo necessita para se decompor.

A simbologia apresentada na Figura 2 é utilizada na identificação e na separação de materiais plásticos no processo de reciclagem. Esta simbologia está regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em consonância com a regulamentação internacional, devendo ser observada pelos produtores de materiais plásticos (FORLIN; FARIAS, 2002).

**Figura 2 - Simbologia utilizada para identificação de reciclagem**



Fonte: FORLIN e FARIAS, (2002).

Significado dos símbolos: 1 – PET – poli(tereftalato de etileno); 2 – PEAD -

polietileno de alta densidade; 3 – PVC – poli(cloreto de vinila); 4 – PEBD – polietileno de baixa densidade; 5 – PP – polipropileno; 6 – PS - poliestireno; 7 – Outros.

Independente das peculiaridades regionais, o gerenciamento do resíduo sólido é de fundamental importância para a população mundial e deve ser desenvolvido para que seja um sistema auto-sustentável. Num curto e médio prazo há uma tendência a forçar o funcionamento operacional de uma logística de reversa por meio de Leis específicas e subsídios, a qual em longo prazo deve se tornar rentável (SANTOS et al, 2004).

### 3.2 Polietileno

O polietileno representa o maior volume de polímeros termoplásticos em uso na atualidade, é encontrado em ampla faixa de propriedades. Alguns são flexíveis, enquanto outros são rígidos, alguns têm pequena resistência a impactos e outros são virtualmente inquebráveis; alguns têm boa transparência, ao lado de outros que se apresentam opacos. As temperaturas de trabalho dos produtos de polietileno podem variar de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+90^{\circ}\text{C}$ . De forma geral, porém, os polietilenos se caracterizam por sua tenacidade, excelente resistência química, coeficiente de atrito baixo, absorção de umidade praticamente nula e por serem de fácil processamento, suas propriedades são influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa (estrutura desordenada) e cristalina (estrutura ordenada) (COUTINHO et al, 2003).

Entretanto, podem sofrer interações com alguns solventes, sofrendo inchamento, dissolução parcial, redução na resistência mecânica, aparecimento de cor ou, com o tempo, completa degradação do material; interação com agente tenso-ativos, resultando na redução da resistência mecânica do material por efeito de tenso-fissuramento superficial. Em condições normais os polietilenos não são tóxicos, podendo inclusive ser usado em contato com produtos alimentícios e farmacêuticos, no entanto certos aditivos podem ser agressivos (COUTINHO et al, 2003).

Os PEAD e PEBD são homopolímeros de etileno, o PEBD contém cadeias ramificadas oriundas de transferência de cadeia intermolecular, essas ramificações são tão longas quanto à cadeia principal do polímero; ou contém ramificações curtas devido à transferência de cadeia durante a formação. O PELBD é um copolímero de etileno com uma  $\alpha$ -olefina como propeno, 1-buteno, 1-hexeno ou 1-octeno e

apresenta estrutura molecular de cadeias lineares com ramificações curtas e distribuição de peso molecular estreita quando comparada com a do PEBD. Devido à cristalinidade e à diferença de índice de refração entre as fases amorfa e cristalina, filmes finos de PEAD são translúcidos, menos transparentes do que o PEBD, que é menos cristalino. Ramificações longas, como as do PEBD, por exemplo, aumentam a resistência ao impacto, diminuem a densidade e facilitam o processamento, enquanto que as ramificações curtas, presentes no PELBD, aumentam a cristalinidade e a resistência à tração em relação ao PEBD. O PEUAPM é similar ao PEAD convencional e ambos são de cadeia essencialmente linear. O peso molecular extremamente elevado do PEUAPM proporciona a esse polímero uma viscosidade no estado fundido tão alta que o índice de fluidez, medido a 190 °C com uma carga de 21,6 kg é quase zero. Assim, não é possível processá-lo por métodos convencionais de injeção, sopro ou extrusão. O PEUBD é um copolímero de etileno e 1-octeno, de ramificações longas e de principal uso como aditivo aos polietilenos e ao PP para melhorar a resistência ao impacto, a flexibilidade e a resistência ao rasgamento. PE produzido por catalisador metalocênico apresenta uma estreita distribuição de peso molecular e uma distribuição mais uniforme de comonômeros incorporados às cadeias poliméricas do que PE produzido por catalisadores Ziegler-Natta. Essas características propiciam uma melhora na resistência à tração do produto final (COUTINHO et al, 2003).

Foram preparada e avaliada termicamente e reologicamente misturas de PEBD com diferentes tipos e proporções de PELBD em extrusora de rosca simples e em extrusora de rosca dupla a fim de verificar a influência destes últimos na viscosidade e cristalinidade das misturas. Misturas com PELBD de comonômeros 1-buteno e 1-octeno, preparadas em extrusora de rosca simples ou dupla, não apresentaram diferenças no perfil das curvas reológicas. Entretanto, misturas com PELBD de comonômeros 1-hexeno apresentaram diferenças nas curvas de viscosidade (COUTINHO et al, 2003).

A viscosidade elongacional do fundido extrudado de PELBD aumenta em função da adição de copolímero etileno-octeno, independente da geometria do capilar (DANGTUNGEE et al, 2006).

Observa-se que a viscosidade nominal do fundido de diferentes PELBD produzidos por catalisador metalocênico, extrudados em capilar, não muda com a

temperatura, e mostra dependência do peso molecular e grau de ramificação, conseqüentes da quantidade de co-monomeros (LEE et al, 2006).

O PEAD é um material atrativo para tubulações por ser resistente a corrosão, leve e de baixo custo. Entretanto foram observadas falhas catastróficas em duto de diâmetro de 610 mm, com pouco uso em transportar de águas para agricultura, falhas que iniciaram em trincas nucleadas por numerosos tipos de defeitos de extrusão, mas que apresentaram velocidades de propagação de trincas diretamente relacionado ao número de reciclagens (SCHOUWENAARS et al, 2007).

### 3.3 Fibras Vegetais

As fibras naturais podem ser classificadas em vegetais, animais e minerais. Todas as fibras vegetais, como algodão, juta e sisal têm celulose em sua composição, enquanto fibras de origem animal, tais como lã e seda, consistem basicamente de proteínas. As vantagens de se utilizar fibras naturais em relação a materiais tradicionais reforçantes, tais como fibras de vidro, talco e mica, são: baixo custo; alta tenacidade; boas propriedades mecânicas e térmicas; redução do desgaste de máquinas; facilidade de separação e biodegradabilidade, dentre outras (FINKLER et al, 2005).

A fabricação de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais é uma tecnologia que vários grupos de pesquisa no Brasil e no mundo vêm estudando, em resposta à preservação ambiental. O Brasil destaca-se nessa área por possuir a maior biomassa e extensão territorial cultivável do mundo, e por isso, várias indústrias multinacionais, em particular dos setores automobilísticos, estão investindo no país para o desenvolvimento desses materiais (MATTOSO; FRAGALLE, 1996).

As fibras naturais de interesse tecnológico representam alternativa em substituição às fibras sintéticas como carga e reforço em compósitos poliméricos. O uso destas fibras possibilita a manufatura de produtos mais limpos e menos poluentes, desde a sua confecção e utilização, até o descarte final (JUNIOR, 2001).

O PE oriundo de resíduos sólidos urbanos quando carregado com fibra vegetal mostrou comportamento mecânico muito superior ao material virgem de composição correspondente (MARTINS et al, 2001).

A força de adesão interfacial entre a fibra e a matriz, uma adesão insuficiente entre o polímero e fibra resulta em propriedades mecânicas fracas. A camada do polímero em contato com a superfície da fibra tem diferentes propriedades de carga da matriz por causa da interação fibra/matriz devido à imobilização das cadeias da matriz, forças eletrostáticas ou ligações químicas na presença de tensões internas, vazios ou micro fissuras na camada intermediária (MOHANTY et al, 2006).

A utilização de farinha ou fibra de madeira como carga termoplástica, também já é conhecida desde a década de 70 pela indústria automobilística, que emprega compósitos de polipropileno com farinha de madeira. Trabalhos de cunho acadêmico, acompanhados por um grande número de patentes depositadas por grandes corporações do mercado civil e automobilístico, surgiram no EUA nos anos 90 relacionando a utilização de resíduos de papel e madeira como cargas para termoplásticos (COUTINHO et al, 2003).

Compósitos de polietileno reforço com a fibra do açaí possuem uma boa resistência ao impacto e baixa resistência a compressão pelo processo de rotomoldagem (SILVA, 2006).

Foi verificado também que a resistência a tração e a compressão diminuem e aumenta a resistência ao impacto em compósitos reforçado com fibra de açaí pelo processo de compressão (COSTA, 2004).

Vários tipos de compósitos poliméricos são amplamente usados na aplicação da aviação/automotiva, indústria esportiva, lazer, implantação médica, fixação e montagem de móveis, indústria de papel, maquinário agrícola e têxtil, etc., como material mecânico, funcional e resistente ao desgaste (WAMBUA et al, 2003).

### 3.4 EXTRUSÃO

No Brasil ao contrário dos países da Europa e do Japão que utilizam as reciclagens químicas e energéticas, a reciclagem mecânica vem crescendo em volume e aumentando a diversidade e qualidade dos produtos, devido à otimização dos processos. Ressaltam que o método de reciclagem a ser empregado, depende de vários fatores, como a quantidade e a qualidade do material, e que o investimento em pesquisas na área de reciclagem de polímeros é de fundamental importância para obtenção de produtos de melhor qualidade (SPINACÉ; PAOLI, 2005).

Entre os processos mecânico para transformação de materiais temos a

extrusão que pode ser usada para metais, cerâmicas e polímeros, entre os polímeros são extrudados os termoplásticos.

Através da extrusão foi obtido papel sintético de resíduos pós-consumo carregados com carbonato de cálcio extrudado com velocidade da rosca de 32 e 51 rpm em extrusora de matriz tubular com unidade de sopro de filme. Os filmes processados a 51 rpm apresentaram melhor resistência ao rasgo quando comparados àqueles processados a 32 rpm, diferenças que constataram depender da orientação molecular, espessura do filme e cristalinidade do polímero (SANTANA, MANRICH, 2005).

Em 2008 Dostál utilizou uma extrusora com rosca simples de 32 mm de diâmetro e 640 mm comprimento, rotação constante de 30 rpm, temperatura nas zonas intermediária e final de 150 e 170°C para avaliar a influência de repetidas extrusões na degradação de PEBD estabilizado com ionol. Acompanhando as mudanças estruturais causadas observou que após cisões de cadeia podem ocorrer formação de ramificações e ligações cruzadas, e que a cisão de cadeia é predominante no estágio inicial do processamento.

Valéria Ramos et al (2004) avaliando a reticulação de PELBD por peróxidos orgânicos sob condições controladas de extrusão reativa em rosca simples com 30 mm de raio e razão L/D de 32. Para obtenção de produto homogêneo descrevem que as mudanças na estrutura molecular ocorreram em função de três fatores: da concentração de peróxido avaliada até 0,7% w/w e efetiva a partir de 0,2% w/w; do perfil de temperatura mais eficiente quando do uso de diferentes temperaturas em diferentes zonas, 180, 190 e 200°C, em contraste a isotérmica a 200°C; e da rotação da rosca, gerando melhor produto a 10 rpm numa faixa de estudo de 10 a 30 rpm.

Elyashevich, Olifirenko e Pimenov (2005) elaboraram membranas porosas de polietileno e poliacrilonitrila (PAN/PE) para filtração de etanol. Os compósitos porosos foram formados por extrusão a 200°C com estágio de formação de poros sob no resfriamento sob extensão uniaxial a 130°C, a termofixação dos poros ocorreu a 110°C por 30 min.

No caso do processamento por extrusão é importante a utilização de um desenho específico de rosca, para promover uma plastificação do polímero reciclado de forma mais eficiente que as roscas convencionais, reduzindo assim a degradação dos polímeros durante o processamento.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 MATERIAIS**

#### **4.1.1 Material da extrusora**

O material utilizado para confeccionar rosca, matriz e canhão foi alumínio magnésio. Os materiais usados na estrutura em sua maioria foram obtidos em refugos de oficinas, sendo: tubos e chapa de aço carbono, perfis de aço doce, rolamentos de alternador, polias, correia e madeira. Foi usado motor elétrico EBERLE trifásico de ½ CV (0,37 kw), controlado por inversor de frequência TELEMECANIQUE ALTIRAR 11.

##### **4.1.1.1 Material da rosca**

A seleção do material para a rosca é um ponto crítico para proporcionar o nível adequado de resistência mecânica operacional. Esta seleção deve ser baseada no tipo de carga nas condições de processamento e no projeto da rosca.

A opção do material da rosca foi devido à carga ser de polietileno, que é um material de boa processabilidade. E o reforço é fibra do açai que possui a característica de não ser agressiva ao material da rosca e apresenta facilidade de processamento, por causa destas características foi utilizado o alumínio-magnésio, que não contaminará a massa fundida mantendo as características do produto final.

##### **4.1.1.2 Material da matriz**

A matriz foi fabricada com o mesmo material da rosca, possuindo parafusos de aço para fixar e centralizar o mandril no seu interior. O emprego deste material justifica-se pelas propriedades que ele apresenta, ótima resistência à corrosão e boa condutibilidade térmica condição necessária para facilitar a transferência de calor.

##### **4.1.1.3 Material do canhão**

Na escolha do material do canhão foram considerados alguns aspectos tais como: o desgaste, a corrosão e as pressões de trabalho, que no processamento será na ordem de 75 MPa. O canhão também foi construído de alumínio-magnésio, para minimizar o desgaste da rosca e facilitar a troca térmica que ocorrerá durante o processo do material.

#### 4.1.2 Materiais do Perfil

##### 4.1.2.1 Polietileno

O polietileno de alta densidade foi selecionado entre recipientes pós-consumo de detergentes e amaciante de roupas, conforme figura 3a. Foram transformados em partículas com granulação de 600  $\mu\text{m}$  nos moinhos de facas Cróton TE – 625 marca MARCONI e NFA.1533 marca RONE mostrados na figura 3b e 3c respectivamente.

**Figura 3a – Polietileno**



Fonte: Acervo do autor.

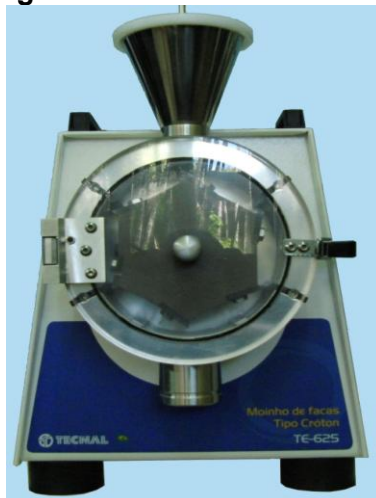
**Figura 3b – Moinho TE – 625**



Fonte: Acervo do autor.



**Figura 3c – Muinho NFA 1533**



Fonte: Acervo do autor.

#### 4.1.2.2 Parafina

Foi utilizada a parafina e o canhão de vidro para observar o comportamento da geometria da rosca durante o processamento.

#### 4.1.2.3 Fibra

O fruto do açaí apresenta apenas de 5 a 15 % de polpa, com esta percentagem flutuando segundo a variedade e o grau de maturidade do fruto, possui um teor de fibra de 63 a 81%. Os caroços são jogados em aterros, ou se constituem em adubo orgânico ou sua combustão serve de alternativa para gerar energia.

As fibras do caroço de açaí, proveniente do rejeito agroindustrial, foram retiradas no separador rotativo, figura 4a, o uso do material justifica-se por ser gerado em grande quantidade. Foram transformados em partículas com granulação de 300  $\mu\text{m}$  no digestor de fibras modelo MA 590 marca MARCONI apresentado na figura 4b.

**Figura 4a – Fibra do Açaí**

Fonte: Acervo do autor.

**Figura 4b – Digestor de Fibras**

Fonte: Acervo do autor.

## 4.2 MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em três etapas distintas. A primeira etapa foi montada a estrutura da extrusora. A segunda e a construção da rosca com uma geometria especial. A terceira consistiu na obtenção de perfis de polietileno reforçado com fibra de açai, e sua caracterização de acordo com os ensaios mecânicos.

### 4.2.1 Montagem da extrusora

Nesta etapa, foi construído o sistema mecânico, elétrico e eletrônico. A construção do sistema mecânico consistiu na fabricação e adaptação do cabeçote, do eixo, do acoplamento eixos-cabeçote, do sistema de transmissão de potência, motor e inversor de frequência.

O movimento realizado pelo eixo é através de um sistema mecânico composto de duas polias e uma correia, que é acionado por um motor elétrico de  $\frac{1}{2}$  CV (0,37 kw) e é controlado por um inversor de frequência.

### 4.2.2 Construção da rosca

A metodologia utilizada no cálculo dos parâmetros geométricos, e da resistência operacional da rosca, foi com base nas tensões que a mesma deverá suporta durante o processo em plena carga. Para determinar a capacidade de processamento da rosca sem o aparecimento de fraturas, foi usada como parâmetro a resistência mecânica.

A primeira etapa é determinar os parâmetros geométricos. Considerando uma rosca quadrada de passo constante.

A segunda etapa é calcular o valor máximo de torque que a rosca pode suportar com essa geometria, este calcula é baseado em um eixo sólido.

A rosca foi confeccionada através do processo de torneamento, sendo acoplados elementos misturadores para auxiliar no processo de homogeneização. Ao final foi realizado um acabamento superficial para a retirada das rebarbas.

#### **4.2.3 Obtenção dos perfis**

Para matriz usamos recipientes de detergentes e amaciante de roupas pós-consumos, obtidos pela coleta seletiva. Os mesmos foram limpos, cortados manualmente e depois triturados.

Como carga foi utilizada fibra vegetal retirada do caroço de açaí, obtida do resíduo encontrado como entulho nas ruas de Belém. Foi limpa, secada em uma estufa e trituradas.

Para a obtenção dos perfis foi realizada uma mistura do polietileno com a fibra de açaí na proporção em massa de 80 % de polietileno para 20% de fibra. Esta mistura foi realizada manualmente.

#### **4.2.4 Determinação da densidade**

Através do picnômetro e utilizando a norma ASTM D – 792 foi possível terminar a densidade relativa dos perfis.

#### **4.2.5 Propriedades dos perfis**

A caracterização das peças extrudada foi verificada através dos ensaios de tração, compressão e flexão.

As dimensões dos corpos de prova utilizados para o ensaio foram de 5x5x50 mm apresentados na figura 5. Os ensaios foram conduzidos em condições ambientais, sendo temperatura média do ambiente de 25° C e velocidade de 2 mm/ min.

**Figura 5 – Corpo de prova do compósito**



Fonte: Acervo do autor.

#### 4.2.5.1 Ensaios destrutivos

Para a realização dos ensaios mecânicos foi utilizada uma máquina universal Autograph modelo AG-IS 100 acoplada a um microcomputador, conforme a figura 6. Foram utilizadas 12 peças por ensaios sendo 6 peças produzidas de polietileno alta densidade, e 6 de polietileno alta densidade com a fibra de açáí.

**Figura 6 – Máquina de ensaio universal**



Fonte: Acervo do autor.

Todos os ensaios foram com base nas normas da ASTM, sendo que para o ensaio de tração foi usada a norma ASTM D 3039, para o de compressão a norma foi ASTM D 695 e para o de flexão foi a ASTM 790.

O ensaio de impacto de pêndulo foi realizado de acordo com a norma ASTM – D 256. O pêndulo foi lançado diretamente sobre a lateral dos corpos de provas pré-falhados. O ensaio foi conduzido no Equipamento de ensaio GUNT WP 410, 300 Nm. A Figura 7 apresenta o equipamento.

**Figura 7 – Equipamento de ensaio de impacto por pêndulo**



Fonte: Acervo do autor.

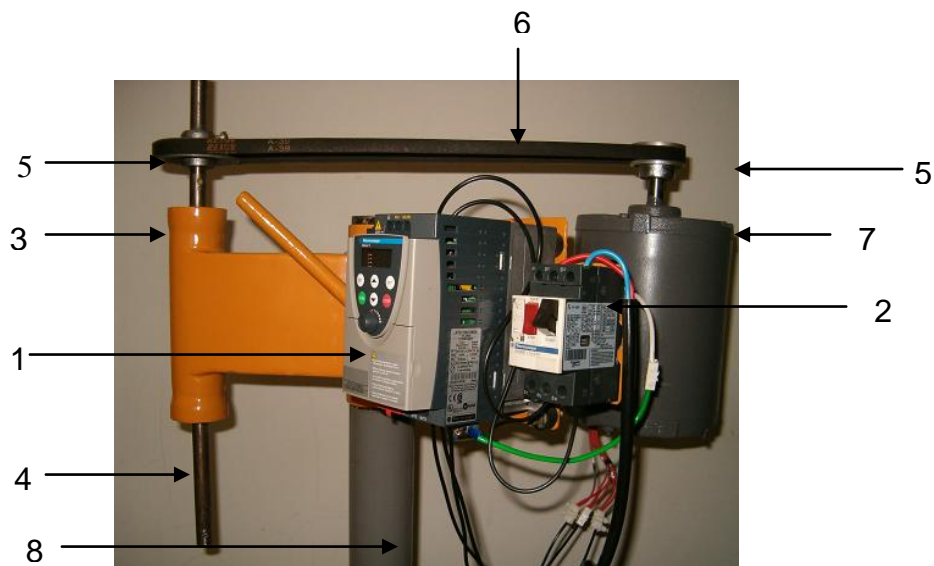
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, é apresentada a discussão dos resultados referentes à avaliação e funcionamento da extrusora, a eficiência da rosca no processo com também a caracterização dos perfis obtidos.

### 5.1 EXTRUSORA

Na figura 8 são observados os elementos que compõem o cabeçote da extrusão: (1) Inversor de frequência responsável pelo controle da RPM do motor, (2) Interruptor que liga e desliga o fornecimento de energia para o sistema, (3) Mancal que serve de suporte para os rolamentos, (4) Eixo onde em uma extremidade fica acoplado uma polia e na outra a rosca, (5) Polias servem de suporte para a correia, (6) Correia responsável pela transmissão do movimento do motor para o eixo, (7) Moto elétrico responsável em transformar energia elétrica em energia mecânica, (8) Estrutura metálica é o suporte de todo o conjunto, e fica acoplado em uma mesa conforme a figura 9.

**Figura 8 – Cabeçote da extrusora**



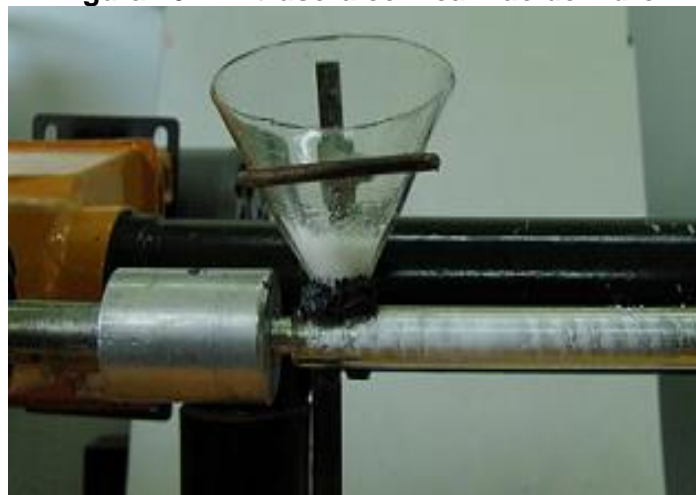
Fonte: Acervo do autor.

**Figura 9 – Extrusora**

Fonte: Acervo do autor.

No aspecto mecânico e estrutural obtivemos um desempenho satisfatório, atendendo as necessidades de processamento.

Quando foi utilizado o canhão de vidro, figura 10, foi possível observar o processo, devido ao excelente controle de rotação da rosca realizado pelo inversor de frequência

**Figura 10 – Extrusora com canhão de vidro**

Fonte: Acervo do autor.

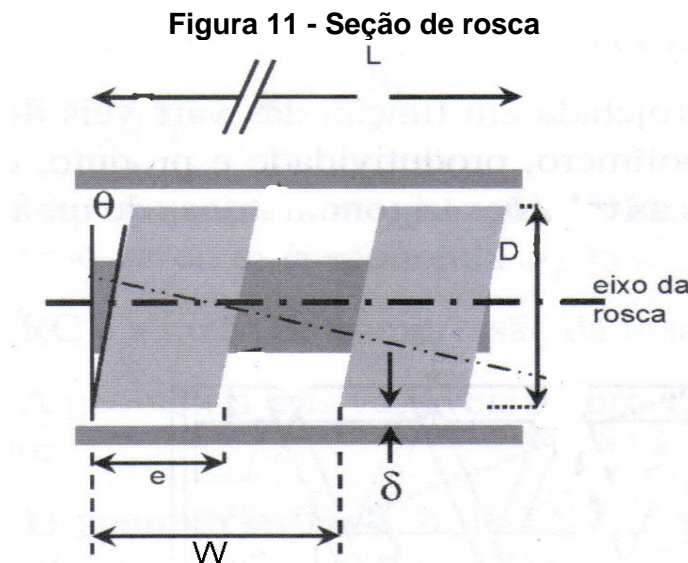
A extrusora mostrou-se um material didático eficiente, pois foi possível observar o processo, desde a alimentação até ao final do canhão.

O processo de extrusão com o canhão de vidro necessita de algumas correções na parte operacional do equipamento, tais como: a fixação do canhão na extrusora; substituir o modo de aquecimento por resistência pelo aquecimento por fluido, no qual poderemos controlar melhor a temperatura nas diferentes zonas da rosca e o sistema de resfriamento na saída do material extrudado.

## 5.2 ROSCA

Para determinar a capacidade de processamento da rosca sem o aparecimento de fraturas, foi usada como parâmetro a resistência mecânica.

A primeira etapa é determinar os parâmetros geométricos. Considerando uma rosca quadrada (passo igual ao diâmetro) de passo constante, na figura 11 temos o esquema de uma seção da rosca, onde a nomenclatura e os valores correspondentes estão na tabela 1.



Fonte: Acervo do autor.

**Tabela 1 – Nomenclatura da seção da rosca**

W	Passo	9 mm
E	Espessura do filete	3 mm
D	Diâmetro da rosca	9 mm
$\theta$	Ângulo entre o filete e o eixo da rosca	$17^\circ$
L	Comprimento da rosca	20 mm
$\delta$	Folga entre a rosca e o barril	0,15 mm

Fonte: Elaborada pelo autor.



A segunda etapa é calcular o valor máximo de torque que a rosca pode suportar com essa geometria, este calcula é baseado em um eixo sólido. A equação 2 determina o máximo valor de torque que a seção transversal da rosca pode suportar.

$$T_s = \frac{\tau \cdot J}{r} \quad (2)$$

Em que  $\tau$  é a tensão de cisalhamento torcional,  $r$  é o raio da rosca e  $J$  é o momento polar de inércia determinado pela equação 3.

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{32} \quad (3)$$

Assumindo a tensão de cisalhamento torcional igual 9.53 MPa, que é setenta e cinco por cento do limite de escoamento do alumínio, e o momento polar de inércia  $6,4 \times 10^{-2} \text{ m}^4$  determinado pela equação 3. Temos que a rosca suporta um torque máximo de 1,35 N.m obtido pela equação 2.

A este torque deve ser acrescido de dez por cento devido às espiras, sendo 1,48 N.m o máximo torque que a rosca pode suportar.

A terceira etapa consiste em determinar a rpm máximo de operação para que a rosca não se rompa, que é calculado pela equação 4. Com a potência 0,5 cv, temos que a máxima rpm deve ser de 2,38 para que a rosca não frature.

$$T = 9.554 \cdot \left( \frac{Pot}{rpm} \right); Nm \quad (4)$$

A rosca apresentada na figura 12, no aspecto da resistência mecânica suportou as tensões de operação, não apresentando fraturas durante a operação. No aspecto geométrico apresentou desempenho satisfatório na obtenção dos perfis.

**Figura 12 – Rosca**



Fonte: Acervo do autor.

Um problema também encontrado no material reciclado é a produção de gases durante o seu processamento, para estabelecer uma condição operacional

adequada e segura, foi confeccionado de gaseificadores conforme a figura 13, para solucionar o problema.

**Figura 13 – Detalhamento da Rosca**



Fonte: Acervo do autor.

No processo de fabricação da rosca encontramos dificuldades com material utilizado. Por ser a liga Al-Mg que possui boa maleabilidade apresenta dificuldade no processo de torneamento. Por causa do atrito entre a ferramenta de corte e a liga, ocorre uma elevada geração de calor provocando a flambagem da peça. Para solucionar o problema usamos uma velocidade de corte moderada e bastante fluido de corte para dissipar o calor gerado.

### 5.3 CONJUNTO DE PROCESSAMENTO

O conjunto de processamento é formado com o canhão, matriz, funil e resistência elétrica, como mostrada na figura 14.

**Figura 14 – Conjunto de processamento**



Fonte: Acervo do autor.

O material do canhão facilitou a troca de calor que ocorreu entre a resistência e o material em processo, porém não foi possível o controle da temperatura no processo por falta de um termostato no sistema.

Um funil de latão fixado na extremidade do canhão é responsável pela introdução do material que vai ser processado, algumas vezes apresenta problema de interrupção na alimentação necessitando de um agitador para auxiliar.

A matriz apresentou boa condutibilidade térmica, necessitando de atenção na fixação do mandril com os parafusos, para que o mesmo não fique descentralizado, provocando imperfeições no perfil.

Na saída da matriz necessita de um sistema de resfriamento, pois no processo ocorreu apenas um arrefecimento do material, figura 15.

**Figura 15 – Conjunto Acoplado na Extrusora**



Fonte: Acervo do autor.

#### 5.4 PERFIL

No preparo do compósito de termoplásticos contendo fibra natural apresenta diversos desafios. A sensibilidade da matriz termoplástica ao cisalhamento, à temperatura, a presença de umidade nas fibras são algumas delas.

Na produção dos perfis de polietileno foram colocadas partículas de polietileno de alta densidade, figura 16, no interior da extrusora.

**Figura 16 – Partículas de Polietileno**



Fonte: Acervo do autor.

Após quarenta minutos de processo com uma temperatura de 120° C e rotação 1,3 rpm, obtivemos com resultado o perfil apresentado na figura 17.

**Figura 17 – Perfil de Polietileno**



Fonte: Acervo do autor.

Podemos observar no perfil o aparecimento de poros, sendo que o mesmo não está distribuído de maneira não uniforme, isto ocorreu devido à dificuldade de manter uma distribuição adequada de temperatura nas zonas da rosca.

Para a obtenção dos perfis de polietileno carregado com a fibra do açáí foi usada a mistura conforme a figura 18.

**Figura 18 – Mistura de Polietileno com a Fibra do Açaí**



Fonte: Acervo do autor.

O perfil de polietileno carregado com a fibra do açaí, figura 19, foi obtido sob as mesmas condições de processamento. Neste perfil observamos que houve uma boa adesão da matriz com a fibra, apresentando menor porosidade do que no perfil de polietileno sem fibra, como a granulometria do polietileno é 50% maior que a fibra, ocorreu a influência da carga na porosidade.

**Figura 19 – Perfil de Polietileno Reforçado com a Fibra do Açaí**



Fonte: Acervo do autor.

Ambos os perfis foram obtidos com porosidade conforme o nosso objetivo. Para obter essa porosidade foi necessário fazer alterações em alguns fatores no processamento como a temperatura nas três zonas do canhão, que é constante e inferior a de fusão, e pela literatura a fundição do polietileno de alta densidade ocorre entre 130 a 135°C, em nosso caso utilizamos a temperatura de 120°C para que o polietileno não se fundisse completamente ocorrendo a porosidade no perfil.

Devido à temperatura do canhão, a taxa de cisalhamento e a viscoelasticidade do polietileno de alta densidade obtiveram o inchamento do extrudado em torno de 50%.

Na tabela 2 observamos os valores das densidades relativas para o perfil de polietileno e do compósito.

**Tabela 2 – Densidade**

$T_{H_2O} = 28^{\circ}C$	PEAD	PEAD + FIBRA
Densidade	0,7715	0,73455

Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos observa que os dois perfis possuem densidades abaixo da densidade do polietileno de alta densidade puro, que varia de 0,94 a 0,97 pela tabela 1. Isso devido à porosidade em ambos os perfis e a presença da fibra no perfil do compósito.

Em função do processamento e da característica do material, uma diversidade de propriedades podem ser alcançadas. Através dos ensaios mecânico obtivemos algumas dessas propriedades.

Os ensaios de tração foram realizados em corpos de prova obtidos dos perfis extrudado, e realizado na maquina universal conforme a figura 20.

**Figura 20 – Ensaio de tração**



Fonte: Acervo do autor.

As propriedades obtidas pelo ensaio de tração para o perfil de polietileno e do compósito são apresentadas na tabela 3.

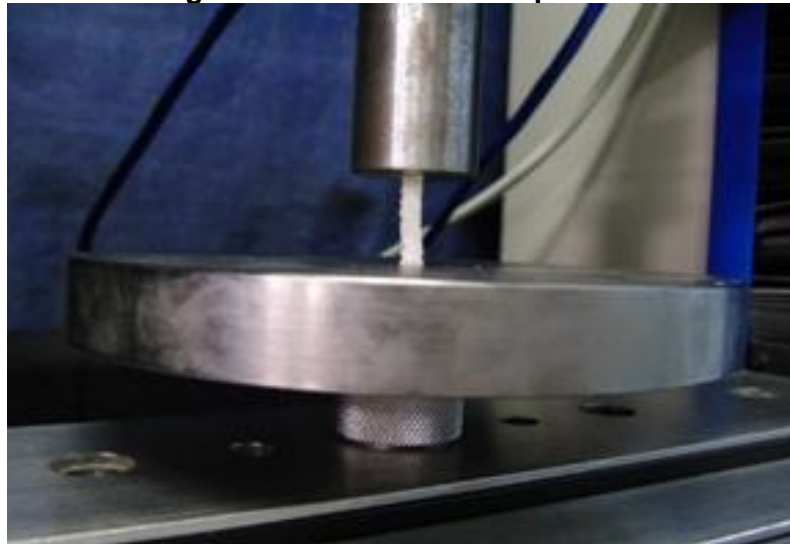
**Tabela 3 – Ensaio de tração**

Material	Tensão (MPa)	Alongamento (mm)	Mód. Elástico. (MPa)
PEAD	1.699	4.253	16.31
Compósito	0.6725	3.051	15.70

Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisando a tabela 3, é possível observar uma diminuição na tensão e no módulo de elasticidade do compósito em relação ao polietileno. Com isso, observamos que o decréscimo é em função da presença da fibra no perfil.

Os perfis foram ensaiados por compressão no mesmo equipamento universal com podemos observa na figura 21.

**Figura 21 – Ensaio de Compressão**

Fonte: Acervo do autor.

Observando a tabela 4 podemos analisar as propriedades dos perfis obtidas pelo ensaio de compressão.

**Tabela 4 – Ensaio de compressão**

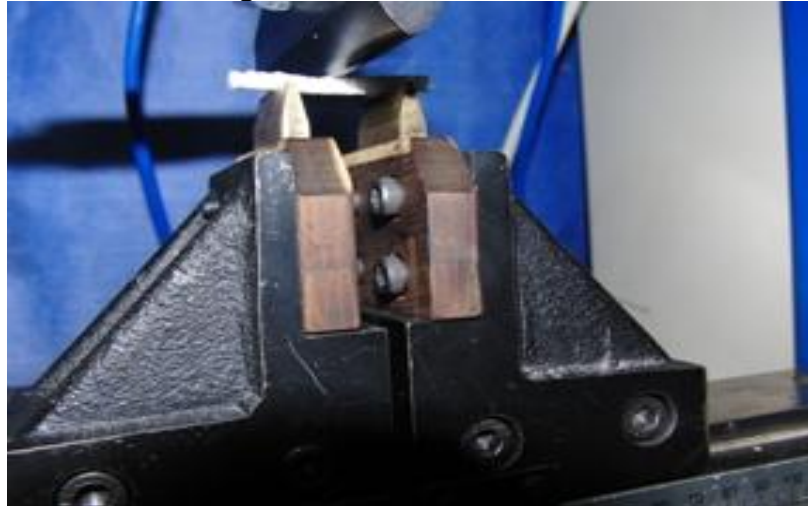
Material	Tensão (MPa)	Deformação (mm)	Mód. Elástico. (MPa)
PEAD	1.170	1.166	1471
Compósito	1.156	1.243	83.52

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela 4 verificou-se que ocorreu um aumento na deformação, porém foi observada uma diminuição no módulo da elasticidade do compósito em relação ao polietileno, isto pode estar relacionado com a morfologia do material.

No ensaio de flexão os corpos de prova foram avaliados nas condições ambientais, e no mesmo equipamento dos demais ensaios conforme a figura 22.

**Figura 22 – Ensaio de Flexão**



Fonte: Acervo do autor.

Na tabela 5 temos as propriedades obtidas através do ensaio de flexão, onde podemos analisá-las.

**Tabela 5 – Ensaio de flexão**

Material	Tensão (MPa)	Flecha (mm)	Mód. Elástico (MPa)	Alongamento (%)
PEAD	3.356	11.45	81.91	44.73
Compósito	1.713	9.477	51.32	40.66

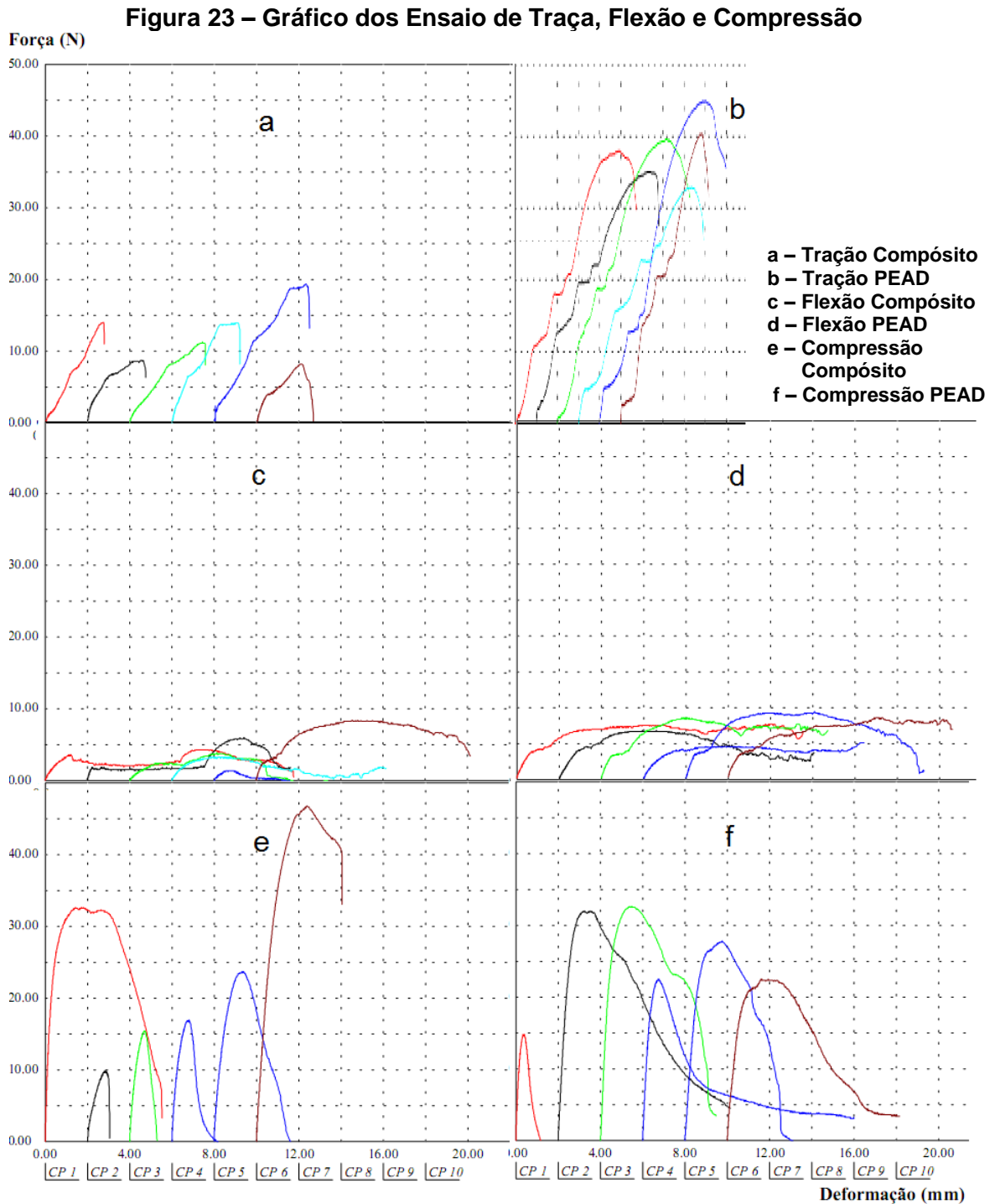
Fonte: Elaborada pelo autor.

Com os resultados obtidos nos ensaios de flexão, observou-se que ocorreu um decréscimo nas propriedades do compósito em relação ao polietileno.

As propriedades mecânicas dos compósitos dependem de diversos fatores, tais como tipo, volume, orientação, dispersão da fibra na matriz polimérica, bem como a afinidade química entre fibra e matriz. A melhora das propriedades do produto final pode ser conseguida através da incorporação de fibras tratadas superficialmente com agentes de acoplamento a fim de aumentar a adesão interfacial entre fibra e matriz (COSTA, 2004). Por causa de alguns desses fatores observamos que as propriedades mecânicas do compósito foram inferiores ao do polietileno.



Neste trabalho o que ocorreu com as propriedades mecânicas estar dentro do esperado. Como podemos observa no figura 23, que as curvas obtidas durante os ensaios estão compatíveis com a literatura (SILVA, 2006).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os resultados encontrados para resistência ao impacto de 37 J para o perfil de polietileno e de 40 J para o compósito, observa-se que ocorreu um aumento na resistência, diferente das demais propriedades. Isto porque a fibra funciona como carga e não como reforço, tornando o perfil mais resistente ao impacto do que os demais esforços.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho nos permitiu que fosse construída uma extrusora compacta de baixo custo, e que demonstrou ser eficiente para a moldagem dos corpos de prova e como material didático.

A extrusão desenvolvida permitiu que fossem preparadas perfis de polietileno reciclado com a fibra do açaí obtendo-se um compósito poroso, que poderão ser aplicados em diversos campos, como na fabricação de filtros ou material isolante.

O processo de reciclagem mecânico adotado neste trabalho constitui uma alternativa na redução de polietileno pós-consumo contribuindo com o meio ambiente, além de ser uma atividade para gerar emprego e renda.

A extrusora fabricada neste trabalho oferece um melhor nível de aprendizagem quando usada com material didático, pois nos dar a oportunidade de visualizar os processos que ocorrem na extrusão de um material.

O uso de fibra natural em produtos reciclados e uma maneira de preservar o meio ambiente, pois as mesmas são de fontes renováveis e apresentam boas características com carga.

Ao analisar os perfis observaram-se indicativos de uma forte adesão entre as partículas de polietileno e a fibras de açaí, pois não foram encontradas evidências de descolagem da matriz polimérica.

Dentro deste contexto, foi possível processar embalagens pós-consumo de polietileno com fibra do açaí, pois as mesmas apresentaram boa adesão mesmo sem serem tratadas superficialmente.

### 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar por análise térmica os perfis com e sem fibra de açaí em varredura térmica de forma estática, por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), e dinâmica, por análise mecânica dinâmica (DMA).
- Avaliar a morfologia cristalina em difração de raio-X quanto a percentagem de cristalitos e trans-cristalinidade.

- Verificar a processabilidade de utilizar outras fibras tais como coco, sisal, dendê e juta na produção de peças utilizando o mesmo processo.
- Comparar os resultados com os da extrusora comercial.

## REFERÊNCIAS

- COSTA, Clívia D. Pinho. **Polímeros recicláveis para fabricação de compósitos com fibras naturais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará. Belém, 2004.
- COUTINHO, F.M.B.; MELLO, I.L.; DE SANTA MARIA L.C. de S. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.
- DANGTUNGEE, Rapeephun; DESAI, Satyen S.; TANTAYANON, Supawan; Supaphol, Pitt. Melt rheology and extrudate swell of low-density Polyethylene / ethylene- octane copolymer blends. **Polymer Testing**, v. 25, p. 888-895, 2006.
- ELYASHEVICH, G.K.; OLIFIRENKO, A.S.; PIMENOV, A.V. Micro-and nanofiltration membranes on the base of porous polyethylene films. **Desalination**, v. 184, p. 273-279, 2005.
- FINKLER, M.; Scapini, P.; FREIRE, E.; ZATTERA, A.J.; ZENI, M. Compósitos de HDPE com resíduos de fibras têxteis. Parte I: caracterização mecânica. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 3, p. 171-175, 2005.
- FORLIN, F.J.; FARIAS, J.A.F. Considerações sobre reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 1 - 10, 2002.
- JUNIOR, W.K. Uso de fibras naturais na confecção de produtos biocompatíveis. Rio de Janeiro, **Estudos em Design - Fibras Naturais** . p. 79 - 85, 2001. Edição Especial.
- LEE, Hwi-yong; KIM, Dong Hak; SON, Younggon. Anomalous rheological behavior of polyethylene melts in the gross melt fracture regime in the capillary extrusion. **Polymer**, v. 47, p. 3929-3934, 2006.
- MARTINS, Agnes F.; SUAREZ, João Carlos M.; MANO, Eloísa B. Produtos poliolefínicos reciclados com desempenho superior aos materiais virgens correspondentes. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13 , n. 2, p. 235 – 247, 2001.
- MATTOSO, L.H.C.; FRAGALLE, E.P. Uso de fibras vegetais na industria automobilística: necessidade ecológica, oportunidade para o Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, ano VI, n. 1, p. 9 - 13, 1996.
- MOHANTY, S.; VERMA, S.K., NAYAK, S.K. Dynamic mechanical and thermal properties of mape treated jute/hdpe composites. **Composites Science and Technology**, v. 66, p. 538-547, 2006.
- PACHECO, E.V.; HEMIAS, C.A.; FONTOURA, G.A.T.; RODRIGUES, F.A. Tratamento de resíduos gerados em laboratórios de polímeros: um caso bem sucedido de parceria universidade – empresa. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 14-21, 2003.

RAMOS, Valéria D. et al. Study of low concentrations of dicumyl peroxide on the molecular structure modification of LLDPE by reactive extrusion. **Polymer Testing**, v. 23, p. 949-955, 2004.

SANTANA, R.M.C.; MANRICH, S. Filmes tubulares de compósitos de termoplásticos pós-consumo: análise térmica e mecânica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, p. 163-170, 2005.

SANTOS, A.S.F.; AGNELLI, J.A.M.; MANRICH, S. Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 5, p. 307 - 312, 2004.

SCHOUWENAARS, R.; JACOBO, V.H.; RAMOS, E.; ORTIZ, A. Slow crack growth and failure induced by manufacturing defects in HDPE-tubes. **Engineering Failure Analysis**, v. 14, p. 1124 – 1134, 2007.

SILVA, Benedito B. **Rotomoldagem de blendas de polietileno reciclado e de blendas de polietileno reciclado/fibra de açaí**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, Pará, 2006.

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

WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? **Composite Science and Technology**, v. 63, p. 1259 - 1264, 2003.

YOSHIGA, A.; TOFFOLI, S.M.; WIEBECK, H. Estudo do composto PVC reciclado/ $\text{CaCO}_3$  em pastas vinílicas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 3, p. 134-141, 2004.

