

PRÊMIO JOVEM CIENTISTA 2011

Tema: Cidades Sustentáveis

Linha de Pesquisa: Políticas urbanas, ambientais e de saúde relacionadas com a questão do lixo, resíduos, tratamento de água e reciclagem de materiais.

Título: "Diminuição do impacto ambiental dos resíduos sólidos municipais: caracterização e quantificação de filmes plásticos rejeitados na reciclagem comercial e sua utilização em biocompósitos"

Autor: Cibele Rosa Oliveira – Aluna de Iniciação Científica

e-mail: cibele@debiq.eel.usp.br

Orientador: Dr. Adilson Roberto Gonçalves

e-mail: adilson@debiq.eel.usp.br

Instituição: Escola de Engenharia de Lorena EEL USP

Endereço: Estrada Municipal do Campinho, s/n

Bairro do Campinho – Lorena SP CEP:12602810

Fone: (12) 31595025

Índice

1. Introdução.....	3
1.1 Composição dos RSM.....	4
1.1.1 Materiais plásticos	5
1.1.2 Plástico filme.....	7
1.2 A coleta seletiva e a Reciclagem	8
1.3 Reciclagem do plástico filme.....	10
1.4 Compósitos.....	10
1.5 O Município de Lorena –SP	11
2. Objetivos	12
3. Materiais e Métodos	12
3.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos Municipais	12
3.1.1 Coleta de RSM no Município de Lorena –SP	12
3.1.2 Quantificação e Separação dos RSU.....	12
3.1.3 Limpeza dos filmes plásticos e determinação de Umidade.....	13
3.1.4 Quantificação e Separação dos filmes plásticos	13
3.2 Obtenção dos Compósitos	13
3.2.1 Matriz.....	13
3.2.2 Fibras in natura	14
3.2.3 Processamento em Homogeinizador de Plásticos de Laboratório (Misturador Termocinético).....	14
3.2.4 Processamento em Extrusora Mono Rosca	15
3.2.5 Processamento em Injetora	15
4. Resultados e Discussão	16
4.1 Coleta de RSM.....	16
4.2 Quantificação e Separação dos RSM.....	17
4.2.2 Caracterização dos RSM por Grupos Representativos Economicamente.....	18
4.2.3 Caracterização da fração polimérica dos RSM.....	19
4.3 Processos de Obtenção dos Compósitos.....	21
4.3.1 Preparação dos Compósitos Utilizando o Extrusora Mono-Rosca.....	21
4.3.2 Preparação dos Compósitos Utilizando o Misturador Termocinético....	22
4.3.3 Preparação dos Corpos de Prova Utilizando a Injetora.....	25
5. Conclusões	26
6. Referências Bibliográficas.....	28

Índice de Figuras

Figura 1. Participação de cada segmento na indústria de embalagem - IBGE.....	5
Figura 2. Composição gravimétrica da Coleta Seletiva - PESQUISA CICLOSOFT 2010.....	6
Figura 3. Filmes Plásticos utilizados na obtenção dos compósitos	14
Figura 4. Bagaço de cana-de açúcar utilizado na obtenção dos compósitos	15
Figura 5. Detalhamento da extrusora para processamento dos compósitos fibras/PP.....	16
Figura 6. Injetora JASOT IJ -300	17
Figura 7. Mapa dos pontos de coleta das amostras de RSM	18
Figura 8. Caracterização dos RSM	19
Figura 9. Quantificação dos RSM.....	19
Figura 10. Percentual de recicláveis, rejeitos, filmes plásticos e materiais orgânicos	19
Figura 11. Caracterização dos RSM por Grupos Representativos Economicamente.....	20
Figura 12. Representatividade dos Filmes Plásticos nos RSM	21
Figura 13. Percentual de Sujeira e Umidade nos Filmes Plásticos.....	21
Figura 14. Composição dos filmes plásticos nos RSM	22
Figura 15. Extrusora. No detalhe, as roscas de aquecimento, painel de controle e funil de alimentação.	23
Figura 16. A) funil de alimentação; B) motor e rotor do sistema de alimentação forçada.	24
Figura 17 – Grânulos dos compósitos obtidos após extrusão	24
Figura 18. Homogeneizador de plásticos de laboratório (misturador termocinético) e no detalhe, cápsula do compartimento mistura.....	25
Figura 19. Esquema de preparação dos compósitos BNT utilizando o misturador termocinético.	26
Figura 20. A) Moinho da RONE onde os compósitos foram moídos; B) Compósito 15% (m/m) moído.	26
Figura 21. corpos de prova provenientes do molde instalado na injetora: 1 - tração, 2 - impacto, 3 - flexão e 4 - cisalhamento.	27
Figura 22. Compósitos de polipropileno reforçados com bagaço (5, 10, 15, 20 e 25% (m/m) de fibras –esquerda para a direita) obtidos através da extrusora;	27

"Diminuição do impacto ambiental do resíduo sólido municipal: caracterização e quantificação de filmes plásticos rejeitados na reciclagem comercial e sua utilização em biocompósitos"

1. Introdução

Com o crescimento da população, e o aumento nos padrões de vida, a Gestão dos Resíduos Municipais, tem se tornado um problema cada vez maior. Com uma cultura capitalista, onde o consumismo está longe de ser uma prática sustentável, a solução para o volume de resíduos gerados e sua heterogeneidade, torna-se um grande desafio.

No Brasil a maior parte dos resíduos sólidos gerados, são despejados em vazadouros a céu aberto (lixões) e em aterros sanitários (IBGE, PNSB, 2008). Anualmente milhões são gastos com a coleta, transporte, mão de obra e com a manutenção dos aterros, sem contar os danos ambientais oferecidos por esse sistema.

A coleta seletiva dos materiais recicláveis, ainda enfrenta dificuldades, uma vez que, para se alcançar bons resultados nos sistemas de reciclagem, é preciso que os resíduos sejam separados na fonte o que exige a conscientização da população, operadores qualificados e uma sensibilização das autoridades, para que haja investimento, como empréstimos e redução de impostos para as empresas recicladoras. (SUTTIBAK et al., 2008).

Nos países desenvolvidos a reciclagem ainda enfrenta os altos custos de mão de obra, o que resulta na busca de novas soluções, como os processos térmicos e biológicos.

Os processos térmicos, que utilizam os resíduos na produção de energia, são viáveis para resíduos de alto poder calorífico.

Já os processos biológicos dependem de uma separação prévia, já que os materiais inertes (plásticos, metais e outros rejeitos), influenciam negativamente nos processos de compostagem (KUMAR et al., 2011).

No Brasil, nem todo o material que pode ser reciclado é coletado nas ruas. Por questões como a facilidade de transporte e a conveniência financeira, os materiais de maior interesse são latas de alumínio, garrafas PET, vidro, metais e papelão. Um estudo feito recentemente na Tailândia, país com contexto sócio econômico semelhante ao Brasil, comprova essa mesma realidade. (SUTTIBAK et al., 2008). Vale a pena lembrar, que cada

programa de reciclagem é sujeito ao seu contexto local, levando em conta a situação demográfica fatores políticos e culturais (TIMLETT e WILLIANS, 2008).

Portanto fazendo uma análise dos resíduos sólidos municipais RSM, podemos comprovar que muitos materiais recicláveis, de pouco interesse para reciclagem comercial, são descartados juntamente com os resíduos orgânicos, interferindo no processo de compostagem, aumentando o volume depositado nos aterros, e deixando de ser reutilizados. Quanto mais desenvolvido o país ou quanto mais alta é a classe social, menor é a proporção de resíduos orgânicos compostáveis e, maior a de recicláveis (papel, papelão, vidro, metais e plásticos), (CEMPRE, 2011).

1.1 Composição dos RSM

As embalagens compõem a maioria dos RSM, não compostáveis e de pouco interesse para reciclagem comercial. No Brasil, no ano de 2010, a indústria de embalagens obteve um faturamento de R\$ 40,5 bilhões (IBGE / Pesquisa Industrial Anual (PIA) 2008), número este que vem crescendo anualmente devido demanda gerada pelo alto consumismo. Do total de embalagens produzidas 33,2% são papéis, em seguida vêm os materiais plásticos que representam 29,7% da produção total.



Figura 2. Participação de cada segmento na indústria de embalagem - IBGE

Desse total são reciclados 46% papel, 80% papelão, 55,6% garrafas PET e 21,2% de outros plásticos (IBGE / Pesquisa Industrial Anual (PIA) 2008).

Uma pesquisa feita recentemente em 433 municípios brasileiros, revela que os resíduos orgânicos – restos vegetais e animais, e restos de jardinagem – representam 60% do RSM coletado, enquanto os materiais recicláveis podem ser representados pelo gráfico a seguir, confirmando a proporção entre embalagens produzidas e os resíduos gerados (CEMPRE - PESQUISA CICLOSOFT 2010).

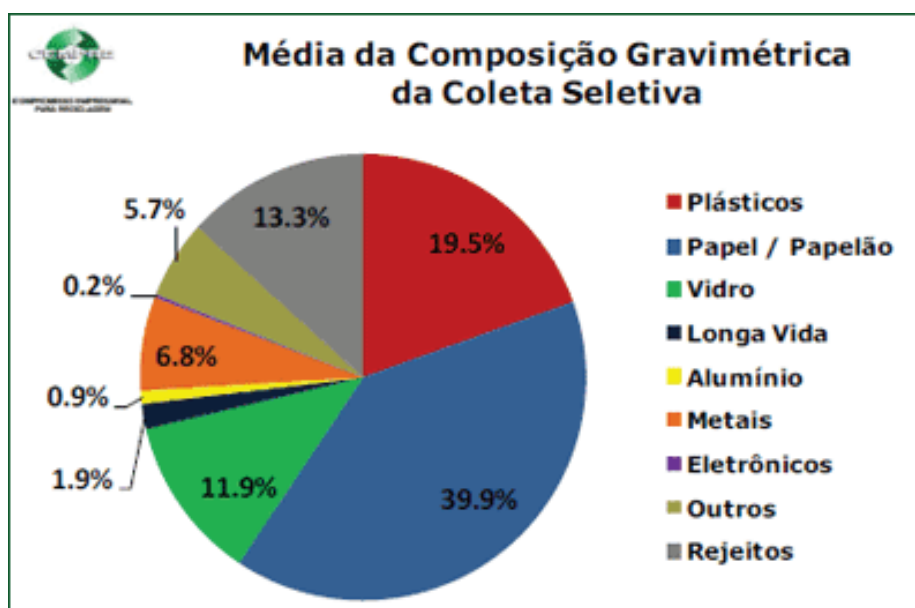


Figura 3 - Composição gravimétrica da Coleta Seletiva - PESQUISA CICLOSOFT 2010

1.1.1 Materiais plásticos

Plásticos são materiais formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas polímeros, que, por sua vez, são formadas por moléculas menores, chamadas monômeros. Os plásticos são produzidos através de um processo químico chamado polimerização, que proporciona a união química de monômeros para formar polímeros.

A matéria-prima dos plásticos é o petróleo. Este é formado por uma complexa mistura de compostos. Pelo fato de estes compostos possuírem diferentes temperaturas de ebulição, é possível separá-los através de um processo conhecido como destilação ou craqueamento.

A fração nafta é fornecida para as centrais petroquímicas, onde passa por uma série de processos, dando origem aos principais monômeros, como, por exemplo, o eteno.

Os diversos tipos de plásticos são utilizados em quase todos os setores da economia, tais como: construção civil, agrícola, de calçados, móveis, alimentos, têxtil, lazer, telecomunicações, eletroeletrônicos, automobilísticos, médico-hospitalar e distribuição de energia.

O setor de embalagens para alimentos e bebidas vem se destacando pela utilização crescente dos plásticos, em função de suas excelentes características, entre elas: transparência, resistência, leveza e atoxidade.

Os plásticos são classificados por suas resinas poliméricas e se dividem basicamente em:

Poliétileno tereftalato – PET

Produtos: frascos e garrafas para uso alimentício/hospitalar, cosméticos, bandejas para microondas, filmes para áudio e vídeo, fibras têxteis, etc.

Benefícios: transparente, inquebrável, impermeável, leve.

Poliétileno de alta densidade - PEAD

Produtos: embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, garrafeiras, tampas, tambores para tintas, potes, utilidades domésticas, etc.

Benefícios: inquebrável, resistente a baixas temperaturas, leve, impermeável, rígido e com resistência química.

Policloreto de vinila – PVC

Produtos: embalagens para água mineral, óleos comestíveis, maioneses, sucos. Perfis para janelas, tubulações de água e esgotos, mangueiras, embalagens para remédios, brinquedos, bolsas de sangue, material hospitalar, etc.

Benefícios: rígido, transparente, impermeável, resistente à temperatura e inquebrável.

Poliétileno de baixa densidade - PEBD e Poliétileno linear de baixa densidade – PELBD

Produtos: sacolas para supermercados e lojas, filmes para embalar leite e outros alimentos, sacaria industrial, filmes para fraldas descartáveis, bolsa para soro medicinal, sacos de lixo, etc.

Benefícios: flexível, leve transparente e impermeável.

Polipropileno – PP

Produtos: filmes para embalagens e alimentos, embalagens industriais, cordas, tubos para água quente, fios e cabos, frascos, caixas de bebidas, autopeças, fibras para tapetes e utilidades domésticas, potes, fraldas e seringas descartáveis, etc.

Benefícios: conserva o aroma, é inquebrável, transparente, brilhante, rígido e resistente a mudanças de temperatura.

Poliestireno – PS

Produtos: potes para iogurtes, sorvetes, doces, frascos, bandejas de supermercados, geladeiras (parte interna da porta), pratos, tampas, aparelhos de barbear descartáveis, brinquedos, etc.

Benefícios: impermeável, inquebrável, rígido, transparente, leve e brilhante.

Outros

Neste grupo encontram-se, entre outros, os seguintes plásticos: ABS/SAN, EVA e PA.

Produtos: solados, autopeças, chinelos, pneus, acessórios esportivos e náuticos, plásticos especiais e de engenharia, CDs, eletrodomésticos, corpos de computadores, etc.

Benefícios: flexibilidade, leveza, resistência à abrasão, possibilidade de design diferenciado. (REVIVERDE, 2011)

1.1.2 Plástico filme

Plástico filme é uma película plástica normalmente usada como sacolas de supermercados, sacos de lixo, embalagens de alimentos, lonas agrícolas e proteção de alimentos na geladeira ou microondas.

A resina de polietileno de baixa densidade (PEBD) e a de polipropileno (PP) são as mais usadas no Brasil, correspondendo cada uma a 23% dos polímeros consumidos no mercado brasileiro de plástico (CEMPRE).

Abandonados em vazadouros, esses sacos plásticos impedem a passagem da água — retardando a decomposição dos materiais biodegradáveis — e dificultam a compactação dos detritos (TRIGUEIRO, 2003). Segundo o Programa Ambiental das Nações Unidas, existem 46.000 fragmentos de plástico em cada 2,5 quilômetros quadrados da superfície dos oceanos. Isso significa que a substância já responde por 70% da poluição marinha por resíduos sólidos (NEIVA e LIMA, 2008).

1.2 A coleta seletiva e a Reciclagem

A reciclagem é um processo físico-mecânico que converte os materiais descartados (lixo ou matéria-prima secundária) em produto semelhante ao inicial ou outro. Reciclar é economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o que é jogado fora. Na reciclagem os resíduos são coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, antes feitos com matéria-prima virgem. Dessa forma, os recursos naturais ficam menos comprometidos.

O Brasil tem tradição em reciclar diversos materiais com alto nível de reaproveitamento e em igualar ou ultrapassar as taxas obtidas pelos países industrializados. Aproximadamente 95% das latas de alumínio e 55% das garrafas PET são recicladas. Cerca de metade de todo o papel e vidro é reaproveitado. A reciclagem no Brasil gera em torno de US\$ 2 bilhões e evita a emissão de 10 milhões de toneladas de gases de efeito estufa. Apesar dessa conquista, materiais recicláveis com valor de US\$ 5 bilhões ainda vão para os aterros. A reciclagem total valeria 0,3% do PIB. O gerenciamento de resíduos e a reciclagem empregam mais de 500 mil pessoas no Brasil, a maior parte como catadores individuais em trabalhos informais com ganhos baixos e instáveis e em más condições.

Com iniciativas de governos locais, cerca de 60 mil catadores organizaram-se em cooperativas ou associações e atuam de maneira formal com contrato de trabalho. Seus rendimentos são mais de duas vezes superiores aos dos catadores individuais, o que retira suas famílias da pobreza. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)— estabelecida por

uma lei de 2 de agosto de 2010— procura elevar esse potencial. Ela regula a coleta, disposição final e tratamento dos resíduos urbanos, industriais e perigosos no Brasil (PNUMA ONU, 2011).

No entanto, diversos materiais deixam de ser reciclados devido à falta de: informação em relação a possíveis tecnologias de reciclagem, mercado reciclador e consumidor, estímulo regional, rede logística que possibilite a reciclagem ou simplesmente um contato comercial que viabilize o processo.

Os plásticos recicláveis são: potes de todos os tipos, sacos de supermercados, embalagens para alimentos, vasilhas, recipientes e artigos domésticos, tubulações e garrafas de PET, que convertida em grânulos é usada para a fabricação de cordas, fios de costura, cerdas de vassouras e escovas.

Os não recicláveis são: cabos de panela, botões de rádio, pratos, canetas, bijuterias, espuma, embalagens a vácuo, fraldas descartáveis.

A reciclagem de plásticos apresenta muitas vantagens, quando reciclamos reduzimos o volume final dos resíduos e os conseqüentes problemas da sua disposição final, além disso, a recuperação dos resíduos e sua reutilização assegura a economia de matérias primas e de energia.

Isso pode ser entendido como uma alternativa para as oscilações do mercado abastecedor e também como preservação dos recursos naturais, o que pode reduzir, inclusive, os custos das matérias primas.

O plástico reciclado tem infinitas aplicações, tanto nos mercados tradicionais das resinas virgens, quanto em novos mercados.

O plástico reciclado pode ser utilizado para fabricação de:

- garrafas e frascos, exceto para contato direto com alimentos e fármacos;
- baldes, cabides, pentes e outros artefatos produzidos pelo processo de injeção;

- "madeira plástica"

- cerdas, vassouras, escovas e outros produtos que sejam produzidos com fibras;

- sacolas e outros tipos de filmes;

- painéis para a construção civil.

A reciclagem do plástico exige cerca de 10% da energia utilizada no processo primário.

1.3 Reciclagem do plástico filme

Após ser separado do lixo, o plástico filme é enfardado para a reciclagem. Na recicladora, o material passa pelo aglutinador, uma espécie de batadeira de bolo grande que aquece o plástico pela fricção de suas hélices, transformando em uma espécie de farinha. Em seguida, é aplicada pouca água para provocar um resfriamento repentino que resulta na aglutinação: as moléculas dos polímeros se contraem, aumentando sua densidade, transformando o plástico em grãos.

Assim, ele passa a ter peso e densidade suficientes para descer no funil da extrusora, a máquina que funde o material e o transforma em tiras.

Na última etapa, elas passam por um banho de resfriamento e são picotados em grãos chamados "pellets", que são ensacados e vendidos para fábricas de artefatos plásticos (CEMPRE, 2011).

1.4 Compósitos

A definição tradicional de um compósito é um material com pelo menos duas fases, uma fase contínua e uma fase dispersa. A fase contínua é responsável pelo recheio e volume e tem função de transferir carregamento à fase dispersa. A fase dispersa é usualmente responsável pelo aumento de uma ou mais propriedades do compósito. Muitos dos compósitos atingem um melhoramento das propriedades mecânicas assim como dureza e resistência, embora outras propriedades de interesse também podem ser atingidas, como estabilidade térmica, elétrica e baixa densidade (MANO, J.F. et al., 2004).

Estudos recentes indicam que os compósitos de fibras naturais são superiores ambientalmente em relação a fibras sintéticas, especialmente à fibra de vidro. Os componentes podem ter destinos finais semelhantes, após o uso, como reciclagem e incineração, no entanto, a incineração de componentes com fibras naturais consome menos energia (45%) em relação a componentes com fibras de vidro, resultando em menores emissões de gases na atmosfera (JOSHI et al., 2004). Além disso, é possível a biodegradação pois o ataque de microrganismos e fungos é mais favorável devido à presença das fibras naturais dentro dos polímeros (SILVA, J.L.G.; AL-QURESHI, 1999).

1.4.1 Processamento e Obtenção dos Compósitos

A temperatura de decomposição da fração celulósica define o limite superior da temperatura de processamento dos compósitos, permitindo que as quatro principais “commodities” plásticas (PE, PP, PVC e PS), sejam usadas sem problemas (LUZ, 2007).

O processamento via fusão consiste em uma profunda incorporação das fibras dispersas na matriz termoplástica, como resultado de um processo de mistura acima da temperatura de fusão do polímero. A mistura resultante pode ser processada subsequente para a fabricação de diversos produtos, utilizando-se de técnicas bem conhecidas como extrusão, injeção, protrusão e termo-formagem (BALATINECZ; WOODHAMS, 1993)

A extrusão é o processo de aplicar calor e pressão para derreter uma resina e forçá-la através de um orifício para continuamente produzir formas como filmes, lâminas, canos e outros formatos (KILLOUGH, 1996).

Outra técnica é o uso de um misturador termocinético de alta rotação (sistema batelada). Aqui a fonte de aquecimento é gerada pela energia cinética da alta rotação das palhetas.

No processo de injeção, os compostos são aquecidos, derretidos e homogeneizados formando um líquido viscoso. O líquido viscoso é então forçado para um molde relativamente frio, resfriado e ejetado do molde como uma peça pronta. O peso da peça injetada varia de poucos gramas a até quilogramas, dependendo do molde e da máquina injetora. Um dos parâmetros-chaves no processo de injeção é a viscosidade do líquido fundido sendo forçado através dos orifícios de entrada para o molde (TOBIN, 1996).

1.5 O Município de Lorena –SP

Lorena é um município brasileiro do estado de São Paulo, na Mesorregião do Vale do Paraíba. Sua população estimada é de 82.770 residentes. Sua área é 414 km², com densidade demográfica é de 211,4 hab/km² (CENSO IBGE 2010).

Lorena, assim como outras cidades vizinhas, não possui aterro sanitário e despeja seus RSM no aterro sanitário de Cachoeira Paulista, o que gera um gasto muito alto para o município. Segundo informações da Prefeitura Municipal, 55 toneladas de RSM são coletados na cidade diariamente.

Além disso, Lorena não possui nenhum sistema eficiente de coleta seletiva, a cidade conta apenas com uma cooperativa de catadores, alguns pontos informais de compra e venda de materiais recicláveis.

2. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo realizar o mapeamento dos resíduos sólidos urbanos do município de Lorena - SP, quantificando e classificando-os, a fim de propor o uso de filmes plásticos, que compõe os resíduos sólidos urbanos e que são de pouco interesse para reciclagem comercial, na obtenção de compósitos, utilizando fibras celulósicas, de bagaço de cana-de-açúcar, como reforço.

Estes compósitos serão obtidos através de dois métodos de mistura (misturador termocinético e extrusão) em diferentes proporções de materiais celulósicos e poliméricos.

3. Materiais e Métodos

3.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos Municipais

3.1.1 Coleta de RSM no Município de Lorena –SP

Para caracterização dos RSM, a cidade de Lorena foi dividida em quatro regiões, baseando-se nos dias e horários de coletas de RSM, realizadas pela Prefeitura Municipal.

Definidos os pontos representativos, as coletas foram feitas com o apoio de um carro cedido pela Universidade de São Paulo. Em cada região foram coletadas amostras, em domicílios representativos de cada região, somando um total de 39 amostras.

As amostras de RSM coletadas foram colocadas em sacos plásticos de 50L e identificadas por uma numeração seqüencial, correspondente a um cadastro de cada domicílio.

3.1.2 Quantificação e Separação dos RSU

Os RSM de cada amostra foram separados manualmente e quantificados, utilizando-se uma balança (FILIZOLA BP15) com precisão de 3 casas decimais. Após separação e quantificação, descartou-se as amostras, guardando apenas os filmes plásticos.

3.1.3 Limpeza dos filmes plásticos e determinação de Umidade

Os filmes plásticos foram lavados com uma solução de hipoclorito de sódio e detergente em água e foram secos em estufa a 50°C por 48 horas. Os filmes limpos e secos foram novamente pesados para determinação do percentual de sujeira e umidade.

3.1.4 Quantificação e Separação dos filmes plásticos

Os filmes plásticos limpos e secos foram separados e quantificados, de acordo com suas resinas poliméricas.

3.2 Obtenção dos Compósitos

3.2.1 Matriz

Como matriz dos compósitos foram utilizadas aparas de filmes de polietileno, gentilmente fornecidos pela empresa TECNOVAL. Os filmes foram picados e secos em estufa a 80°C por 1 hora.



Figura 3. Filmes Plásticos utilizados na obtenção dos compósitos

3.2.2 Fibras *in natura*

O bagaço de cana-de-açúcar utilizado no trabalho foi gentilmente fornecido pela Usina Vale do Rosário, hoje Santa Vale, localizada em Morro Agudo – SP. As fibras de bagaço de cana-de-açúcar foram lavadas com água e secas em estufa a 80°C por 3 horas.



Figura 4. Bagaço de cana-de-açúcar utilizado na obtenção dos compostos

3.2.3 Processamento em Homogêinizador de Plásticos de Laboratório (Misturador Termocinético)

Para obtenção dos compostos, os materiais secos foram pesados obedecendo as proporções de 5 a 25% (m/m) de fibras. Foram preparadas cerca de 500g de cada material composto (filmes de polietileno/bagaço) em bateladas de 50g (capacidade da cápsula bi-partida do misturador termocinético) no misturador termocinético (modelo MH- 50H) a 5250 rpm. Após mistura o material fundido passou entre rolos de aço inox, seguido de resfriamento com imersão em água. Depois de secos os compostos foram moídos em moinho granulador (RONE) até tamanho aproximado de 13 mm (LUZ,2007).

3.2.4 Processamento em Extrusora Mono Rosca

A pré-mistura foi adicionada lentamente ao funil da extrusora, por meio de sistema de alimentação forçada, fazendo com que o material passasse inteiramente pelo conjunto de roscas por 4 zonas de temperatura (195,190,190 e 190°C) com uma rotação de 35 rpm.

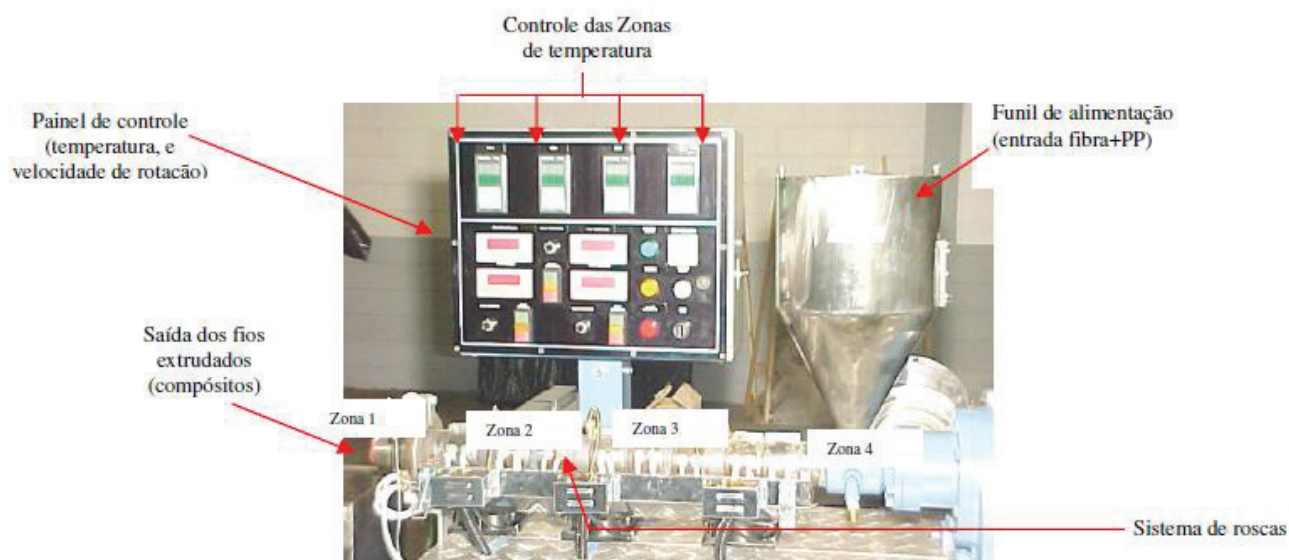


Figura 5. Detalhamento da extrusora para processamento dos compósitos fibras/PP

Foram obtidos 500 g de cada compósito extrudado. Como a mistura foi feita em extrusora mono rosca, a olho nu, o compósito inicialmente pode não ser homogêneo. A fim de garantir a homogeneidade foi feito um controle da massa adicionada de fibras e polímero, cuidando-se para que o material passasse inteiramente pela extrusora. Os fios extrudados (macarrões) foram granulados e misturados de forma a se obter compósitos homogêneos (LUZ,2007).

3.2.5 Processamento em Injetora

Os compósitos pré-misturados foram processados em uma injetora JASOT, modelo IJ -300/130 ton (Figura 6), para completa homogeneização e obtenção dos corpos de prova. A injetora JASOT é um equipamento de porte médio com capacidade de fechamento de 130 ton. A rosca possui 3 zonas de aquecimento e pode injetar peças de até 300 g. A injetora é munida com um software da empresa (SOLARES-JST 15102) podendo ser operada nos modos manual, semi-automático e automático.



Figura 6. Injetora JASOT IJ -300

4. Resultados e Discussão

4.1 Coleta de RSM

Para caracterização dos RSM, dividiu-se a cidade de Lorena em quatro regiões, baseando-se nos dias e horários de coletas de RSM, realizadas pela Prefeitura Municipal. Foram coletadas 39 amostras de RSM nos pontos representados no mapa da Figura 7.

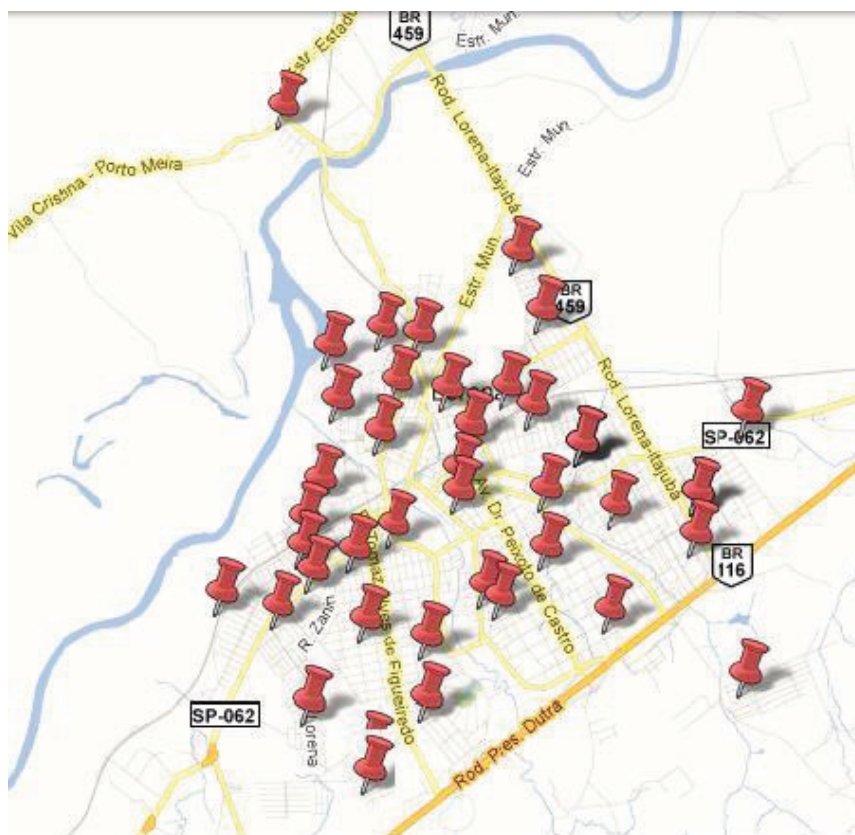


Figura 7. Mapa dos pontos de coleta das amostras de RSM

4.2 Quantificação e Separação dos RSM

Após a coleta das amostras, separou-se cada amostra de acordo com sua composição. De maneira geral as amostras de RSM apresentaram composição semelhante, portanto, separou-se os RSM em:

- papéis/papelão;
- embalagens plásticas (embalagens rígidas, garrafas, etc.);
- resíduos orgânicos (resíduos de varrição, papel higiênico, guardanapos, papel absorvente, folhas e fezes de animais);
- metais (lacs, latinhas de alumínio, etc.);
- isopor;
- rejeitos (fraldas descartáveis, tecidos, espumas, etc.);
- filmes plásticos (sacos de lixo, sacolas, etc.).



Figura 8. Caracterização dos RSM (amostra 19)

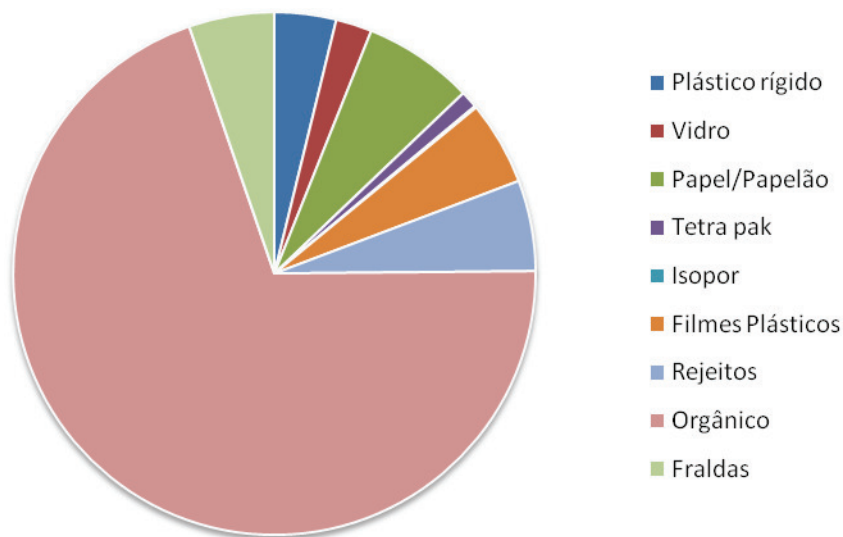


Figura 9. Quantificação dos RSM

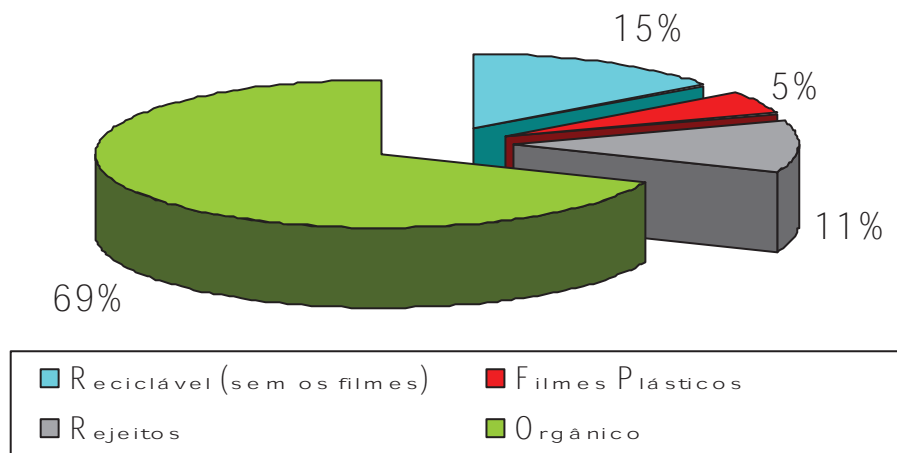


Figura 10. Percentual de recicláveis, rejeitos, filmes plásticos e materiais orgânicos

4.2.2 Caracterização dos RSM por Grupos Representativos Economicamente.

Para avaliar a variabilidade da composição dos RSM de acordo com o nível econômico de cada região, as amostras foram divididas em 3 grupos representativos. Alguns fatores como valorização imobiliária, posse de bens e poder aquisitivo foram considerados para diferenciar estes três grupos, baseando-se no método adotado pelo sistema Critério de Classificação Econômica Brasil que define as classes econômicas, a fim de estimar o poder de compra das pessoas e famílias urbanas (DATAVALE). Os grupos 1, 2 e 3 representam respectivamente os níveis sociais em ordem decrescente.

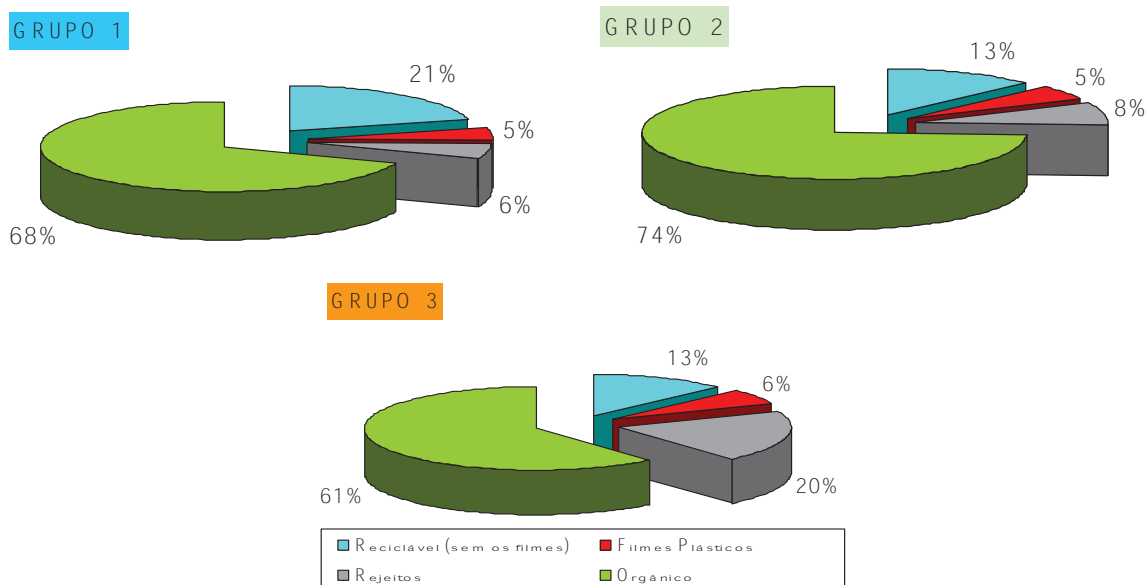


Figura 11. Caracterização dos RSM por Grupos Representativos Economicamente.

Mesmo com composição distinta, especialmente quanto à parte orgânica e aos rejeitos, a percentagem de filmes plásticos é muito semelhante, independente dos grupos sociais.

4.2.3 Caracterização da fração polimérica dos RSM

Os filmes plásticos corresponderam a 5% m/m dos RSM, valor esse, confirmado na análise das 39 amostras analisadas.

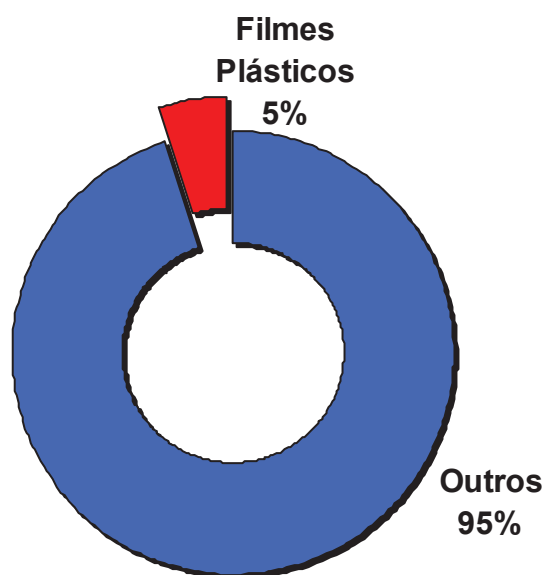


Figura 12. Representatividade dos Filmes Plásticos nos RSM

Depois de quantificados os filmes plásticos foram lavados com uma solução de hipoclorito de sódio e detergente em água e foram secos em estufa a 50°C por 48 horas. Os filmes limpos e secos foram novamente pesados para determinação do percentual de sujeira e umidade.

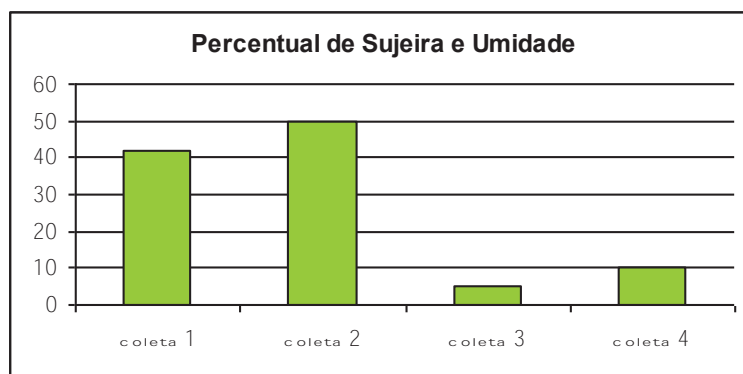


Figura 13. Percentual de Sujeira e Umidade nos Filmes Plásticos

Os filmes plásticos limpos e secos foram separados e quantificados, de acordo com suas resinas poliméricas. Determinou-se que 91% dos filmes são de polietileno PE e 9% são compostos por Polipropileno e outras resinas poliméricas.

O Polietileno (PE) compõe a maioria dos filmes plásticos encontrados nos RSM, sendo que 58% são filmes de PEAD que correspondem as sacolinhas plásticas oferecidas pelo varejo e sacos de lixo e 33% dos filmes são de PEBD que compõe os filmes transparentes e saquinhos de leite, açúcar, congelados, etc.

Composição dos Filmes Plásticos no RSM

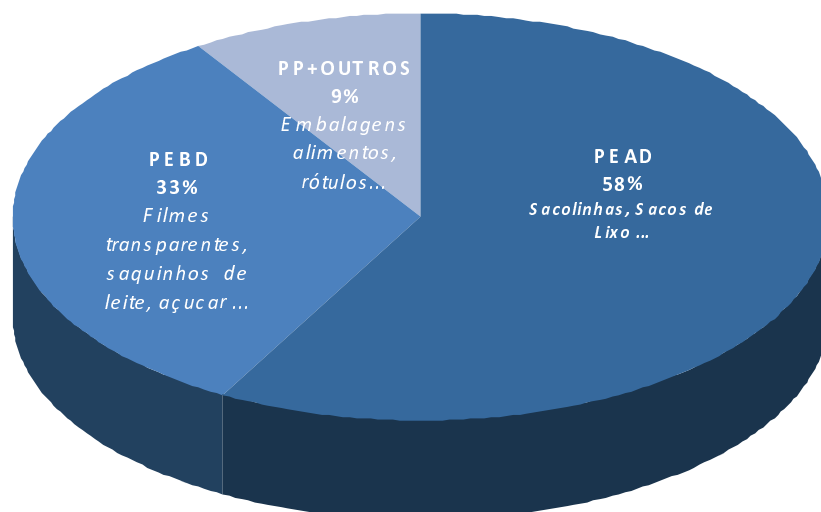


Figura 14. Composição dos filmes plásticos nos RSM

4.3 Processos de Obtenção dos Compósitos

4.3.1 Preparação dos Compósitos Utilizando o Extrusora Mono-Rosca

A extrusora mono-rosca da IMACOM (modelo MR 25:30 IF) é uma extrusora de laboratório (Figura 15). A seção de extrusão (rosca) possui 4 zonas de aquecimento (entrada, duas no centro e uma no bocal). A extrusora de laboratório é completa contendo calha de refrigeração e granulador. No detalhe da Figura 14 estão mostrados o painel de controle, o funil de alimentação e a região de extrusão.

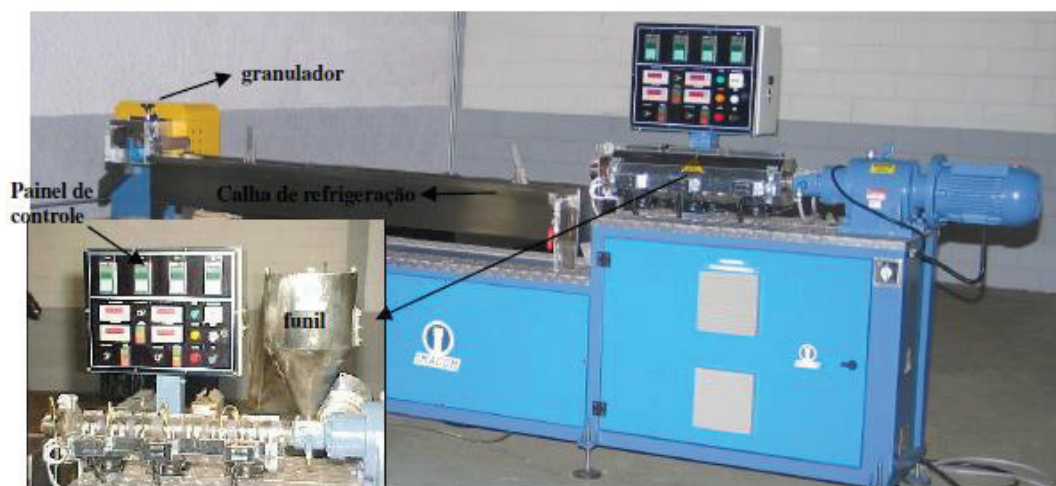


Figura 15 - Extrusora. No detalhe, as roscas de aquecimento, painel de controle e funil de alimentação.

A Figura 16 mostra em detalhe o funil de alimentação da extrusora. O funil de alimentação comporta outro acessório muito importante para a pré-mistura entre fibra e o termoplástico, o sistema de alimentação forçada, que se baseia em empurrar o material (fibra+ matriz) para dentro da rosca. Esse acessório foi necessário, pois quando a pré-mistura foi adicionada ao funil, a matriz tendeu a entrar primeiro na extrusora, devido a sua maior densidade, resultando em problemas de mistura. Entretanto, com o uso do acessório esse problema foi resolvido, pois a pré-mistura foi forçada em conjunto pelo sistema. Compósitos reforçados com 5 a 25% (m/m) de fibras de bagaço foram obtidos conforme descrito na metodologia (item 3.2.3) Para os compósitos ficarem homogêneos foi necessário: a) pesar o material a ser adicionado na composição estipulada; b) adicionar a pré-mistura através do funil com o sistema de alimentação forçada; c) assegurar que todo o material adicionado passasse inteiramente pela extrusora; e d) adicionar a mistura na injetora, a fim de melhorar a homogeneidade do compósito (LUZ,2007).

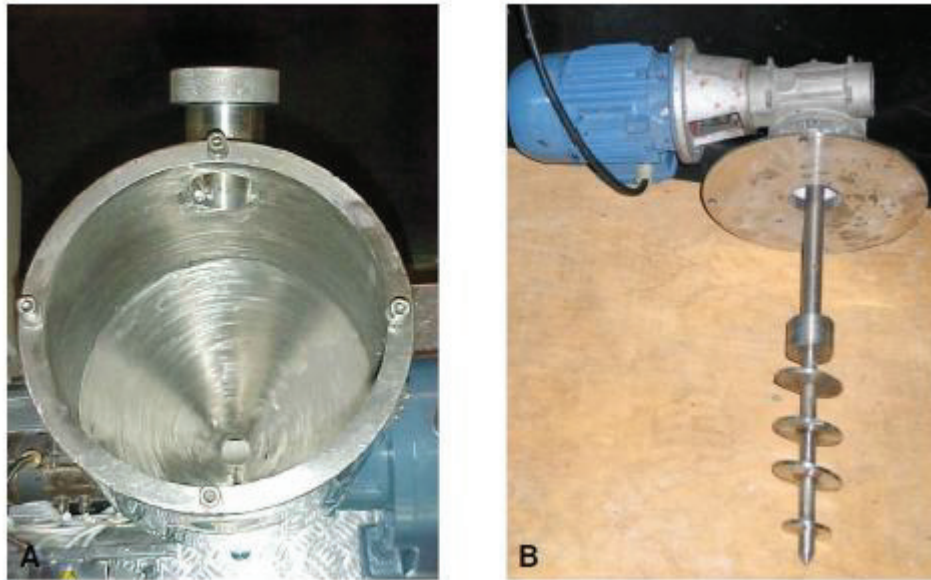


Figura 16. A) funil de alimentação; B) motor e rotor do sistema de alimentação forçada.

Depois da saída da extrusora, os grânulos mostraram que a mistura não foi aparentemente muito homogênea (Figura 17), mas com o auxílio da injetora foi possível obter corpos de prova com distribuição homogênea das fibras dentro da matriz. Portanto, durante a extrusão há somente uma impregnação das fibras pelo polímero, fazendo-se o ajuste da composição e da homogeneidade durante a etapa de injeção.



Figura 17 – Grânulos dos compósitos obtidos após extrusão

4.3.2 Preparação dos Compósitos Utilizando o Misturador Termocinético

Outro processo utilizado para mistura entre fibra e matriz foi o misturador termocinético (T). A Figura 5.11 mostra o homogeneizador de plásticos de laboratório da MH Equipamentos (modelo MH-50 H). Esse equipamento se trata de um misturador termocinético de alta intensidade.

Dentro dele, a mistura ocorre dentro da cápsula bi-partida (detalhe da Figura 18), com arrefecimento a água. As palhetas de homogeneização giram com aproximadamente 2600 rpm na primeira velocidade e 5250 rpm na segunda.

Essas velocidades tornam o processo de homogeneização extremamente rápido. A primeira velocidade destina-se apenas a tirar o motor e o eixo do ponto de inércia e na segunda a mistura ocorre. É nesse momento que o equipamento é desligado para que não ocorra degradação (queima) do material. Então esses polímeros com diferentes pontos de fusão ou amolecimento são fundidos por causa do atrito e chegam à temperatura necessária para isso. Retirando o material prontamente após fusão, evita-se que a temperatura se eleve muito e ocasione degradação térmica ao material.



Figura 18. Homogeneizador de plásticos de laboratório (misturador termocinético) e no detalhe, cápsula do compartimento mistura.



Figura 19. Esquema de preparação dos compósitos BNT utilizando o misturador termocinético.

A Figura 19 mostra a fibra e matriz previamente pesadas colocadas dentro da cápsula bi-partida do misturador e na figura ao lado é mostrado o material já misturado e fundido (etapas após velocidades 1 e 2). O material ainda "amolecido" é passado por um sistema de rolos (calandras) e imerso diretamente em água para resfriar o material compósito. As próximas etapas foram moagem (Figura 20) e moldagem por injeção.

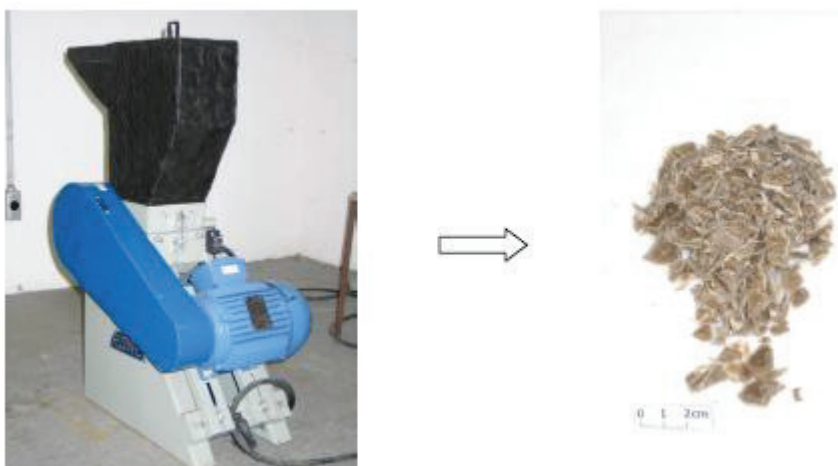


Figura 20. A) Moinho da RONE onde os compósitos foram moídos; B) Compósito 15% (m/m) moído.

O tempo de mistura dos compósitos foi cronometrado e variou com a composição e/ou tipo de fibra. Em geral, para composições mais baixas, 5 e 10% (m/m), o tempo de mistura para os compósitos de bagaço e palha não ultrapassou 100 s e 200 s, respectivamente. Aumentando a composição de fibras, o tempo de mistura é mais elevado. Enquanto nos compósitos de bagaço, o tempo de mistura não ultrapassou 750 s

Desta forma, o tempo de mistura está diretamente relacionado com o tamanho das fibras adicionadas. O aumento do tempo de mistura para uma maior quantidade de fibras se deve ao maior contato fibra/fibra, fazendo com que a matriz não entrasse facilmente em contato diretamente com as palhetas da cápsula bi-partida, propiciando assim a fusão da matriz e conseqüente incorporação da fibra. Os tempos de mistura elevados podem causar quebra excessiva e degradação térmica das fibras, afetando negativamente as propriedades intrínsecas dos compósitos.

4.3.3 Preparação dos Corpos de Prova Utilizando a Injetora

Na etapa de injeção foram obtidos compósitos mais homogêneos, na forma de corpos de prova. A injetora possui um molde contendo 4 cavidades com dimensões específicas (normas ASTM) de corpos de prova para ensaios de tração, flexão, cisalhamento e impacto (Figura 21).



Figura 21. corpos de prova provenientes do molde instalado na injetora: 1 - tração, 2 - impacto, 3 - flexão e 4 - cisalhamento.



Figura 22. Compósitos de polipropileno reforçados com bagaço (5, 10, 15, 20 e 25% (m/m) de fibras —esquerda para a direita) obtidos através da extrusora;

5. Conclusões

Com os resultados obtidos na caracterização dos RSM, pode-se concluir que o número de amostras analisadas e o método de amostragem utilizado foram bastante representativos. Confirma-se que os RSM são compostos majoritariamente por resíduos orgânicos 69%, seguidos pelos materiais recicláveis, onde os papéis são maioria, seguidos dos filmes plásticos que representam 5% m/m do RSM.

A determinação do percentual de sujeira e umidade dos filmes plásticos apresentou dados muito variados, não sendo possível determinar uma média precisa desses interferentes.

Caracterizando os filmes plásticos, conclui-se que 91% destes são compostos por Polietileno (PE) e 9% são compostos por filmes de Polipropileno e outras resinas especiais, os chamados filmes técnicos.

Considerando que o município de Lorena, com uma população de cerca de 82 mil habitantes, produz hoje 55 toneladas diárias de RSM, logo o município produz anualmente 990 toneladas de filmes plásticos.

Quanto à obtenção dos compósitos, comprovou-se a possibilidade de se obter novos materiais a partir dos filmes plásticos rejeitados pela coleta seletiva, promovendo uma maior valorização desses resíduos. Compósitos semelhantes, foram obtidos em nosso grupo de pesquisas e testados quanto a sua resistência mecânica, térmica e quanto à sua reciclabilidade, provando que os compósitos obtidos em misturador termocinético exibem maior resistência à tração do que os obtidos em extrusora. Os compósitos apresentaram estabilidade térmica intermediária entre a fibra e a matriz puras. Notou-se também que o tempo de mistura entre fibra e matriz em misturador termocinético aumentou com o aumento do teor de fibras adicionadas.

A reciclagem mecânica do compósito baseado em fibra de bagaço é possível sem afetar muito as suas propriedades de resistência mecânica. No entanto, a rigidez e a estabilidade térmica são afetadas consideravelmente e para que os compósitos reciclados possam ser aplicados sem nenhum prejuízo em termos de propriedades, o uso de aditivo antitermooxidativo deve ser então empregado (LUZ, 2007).

O reaproveitamento dos filmes plásticos, com a reciclagem ou na obtenção de compósitos geraria uma série de benefícios, tais como uma

grande economia com a disposição final desse volume de RSM, a manutenção dos aterros, a geração de empregos e renda e a diminuição dos impactos ambientais. Além disso, toneladas de plásticos virgens deixariam de ser produzidos, sendo substituídos pelos materiais reciclados e os novos compósitos.

Para viabilizar a separação e reaproveitamento dos RSM é necessário que os RSM sejam separados na fonte, para isso, é necessário que a população seja educada e conscientizada sobre o seu papel na melhoria da gestão dos RSM.

6. Referências Bibliográficas

BALATINECZ, J.; WOODHAMS, R.T. Wood-plastic composites - doing more with less. *Journal of Forestry*, v.91, n.11, p. 22-26, 1993.

CEMPRE Site http://www.cempre.org.br/ft_plastico.php acessado em 22/08/2011

CEMPRE - PESQUISA CICLOSOFT 2010; http://www.cempre.org.br/ciclosft_2010.php acessado em 16/06/2011

DATAVALE <http://www.datavale-sp.com.br/CCEB.pdf> acessado em 14:25 25/08/2011

IBGE / Pesquisa Industrial Anual (PIA) 2008; http://www.ibge.gov.br/questionarios/pia_empresa.html acessado em 06/07/2011

IBGE /CENSO; <http://www.censo2010.ibge.gov.br>, acessado em 05/07/2011

JOSHI, S.V.; DRZAL, L.T.; MOHANTY, A.K.; ARORA, S. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites: Part A - Applied Science and Manufacturing*, v.35, p. 371-376, 2004.

KILLOUGH, J.M. The plastics side of the equation. In: KILLOUGH, J.M. *Woodfiber- Plastics Composites - Virgin and Recycled Wood Fiber and Polymers for Composites*, 1996, p. 7-15.

KUMAR Sunil; *Composting of municipal solid waste*; Informa Healthcare USA, 2011; 114p.

LUZ, Sandra; *Estudo das propriedades mecânicas, interface e morfologia de compósitos de polipropileno reforçados com fibras de bagaço e palha de cana*; Lorena – SP 2007

MANO, J.F.; SOUSA, R.A.; BOESEL, L.F.; NEVES, N.M.; REIS, R.L. Bioinert,

biodegradable and injectable polymeric matrix composites for hard tissue replacement: state of the art and recent developments. *Composites Science and Technology*, v.64, p. 789–817,2004.

NEIVA P a u l a e L I M A R o b e r t a , O c e a n o d e p l á s t i c o : A s u b s t â n c i a j á r e s p o n d e p o r 70% d a p o l u i ç ã o m a r i n h a e s e a l a s t r a d o s l i t o r a i s p a r a o a l t o - m a r . R e v i s t a V e j a - 05/03/2008

P N U M A - P r o g r a m a d a s N a ç õ e s U n i d a s p a r a o M e i o A m b i e n t e ; " R u m o a u m a e c o n o m i a v e r d e : c a m i n h o s p a r a o d e s e n v o l v i m e n t o s u s t e n t á v e l e a e r r a d i c a ç ã o d a p o b r e z a - <http://www.pnuma.org.br>

R E V I V E R D E ; I n s t i t u t o A m b i e n t a l i s t a d a C i d a d e d o R i o d e J a n e i r o P e n s a n d o n o a m a n h ã , r e c i c l a m o s ; s i t e <http://www.reviverde.org.br/> a c e s s a d o e m 20/06/2011.

S I L V A , J . L . G . ; A L - Q U R E S H I , H . A . M e c h a n i c s o f w e t t i n g s y s t e m s o f n a t u r a l f i b r e s w i t h p o l y m e r i c r e s i n . *Journal of Materials Processing Technology*, v. 92-93, p. 124-128, 1999.

S U T T I B A K S a m o n p o r n , N i t i v a t t a n a n o n V i l a s ; A s s e s s m e n t o f f a c t o r s i n f l u e n c i n g t h e p e r f o r m a n c e o f s o l i d w a s t e r e c y c l i n g p r o g r a m s ; *Resources, Conservation and Recycling* 2008; 55p.

T O B I N , W . J . T r o u b l e s h o o t i n g I n j e c t i o n M o l d e d P a r t s . L o u i s v i l l e : W J T A s s o c i a t e s , 1996.84 p.

T R I G E U I R O A f a r r a d o s s a c o s p l á s t i c o s A n d r é T r i g u e i r o a g o s t o d e 2003 e m <http://www.mundosustentavel.com.br/category/artigos/page/3/> a c e s s a d o e m 23/08/2011.

T I M L E T T R E , W I L L I A N S I D . P u b l i c p a r t i c i p a t i o n a n d r e c y c l i n g p e r f o r m a n c e i n E n g l a n d : A c o m p a r i s o n o f t o o l s f o r b e h a v i o u r c h a n g e . *Resource Conservation & Recycling* 2008;52:622–34.