

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE QUÍMICA

JOSIANE HEYDE DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL PARA  
FRALDAS DESCARTÁVEIS**

Porto Alegre, 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE QUÍMICA

JOSIANE HEYDE DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL PARA  
FRALDAS DESCARTÁVEIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto à atividade de ensino “Projeto Tecnológico” do Curso de Química Industrial, como requisito parcial para a obtenção do grau de Químico Industrial.

Prof. Dra. Itefani Carísio de Paula  
Orientador

Prof. Dr. Ricardo Vinícius Bof de Oliveira  
Co-orientador

Porto Alegre, 2011

*“Madness is like gravity.*

*All it takes is a little push.”*

(The Joker)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço às pessoas mais importantes da minha vida, José e Miriam, pelo apoio e carinho de forma incondicional durante toda minha vida. À minha irmã Juliane, pela compreensão.

Agradeço ao meu namorado, Sidiney Kühn, pelo apoio durante os anos de graduação, pelos dias e noites de estudos, pelo carinho e pela paciência nos últimos meses.

Agradeço aos meus “filhos”, pela compreensão, pelo carinho, pela companhia nas noites de estudos, e por sempre me escutarem.

À Prof. Dra. Istefani Carísio de Paula, por ter me acolhido no projeto e pela ajuda durante os meses de trabalho.

Ao pessoal do LOPP, Samanta Viana e Tânia Aulestia, pela colaboração no projeto, e à Liziane Seben, pelo companheirismo, pelos meses de trabalho e por toda ajuda prestada, sem a qual este projeto teria sido muito mais complicado em sua realização.

Ao Prof. Dr. Ricardo Vinícius Bof de Oliveira, e aos mestrandos Renan Demori e Filipe Ornaghi, sem os quais a execução do projeto não seria possível.

À professora Ângela Danileviks, que me apresentou ao projeto e possibilitou a realização deste trabalho.

À Tecnicare, por toda ajuda e compreensão, em especial ao Orfeu de Lucia e à Ana Lucia Ghilardi.

À equipe da Basf, Julio Harada, David Eidelchtein e Karina Daruich, que foram muito atenciosos com o pessoal do projeto.

À Andressa Thais Seefeldt, por toda ajuda prestada durante o projeto, pela amizade e compreensão.

À química industrial Diana Finkler, pela amizade e apoio no projeto.

Aos colegas Gabriel Cardoso, Rodrigo Menger, João Paulo Lopes e Ana Maria Fornari, pela colaboração no projeto.

Ao Felipe Kessler, pelos espectros de IV.

Ao Roberto Fonseca Silveira Filho, pelos testes de tração.

À Eliane Maria Manara Rossoni, pela compreensão e colaboração.

Aos meus amigos e colegas, pelos momentos de estudo e de diversão.

Aos professores do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que foram essenciais na minha formação, em especial à Emilse Maria Agostini Martini.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho.

## SUMÁRIO

I	ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
II	ÍNDICE DE TABELAS.....	8
	RESUMO .....	9
1	APRESENTAÇÃO .....	10
2	ESTADO DA ARTE.....	12
2.1	FRALDAS DESCARTÁVEIS .....	12
2.1.1	Análise dos componentes de uma fralda descartável .....	13
2.2	CONCEITOS E MATERIAIS POLIMÉRICOS .....	15
2.2.1	Polietileno – PE .....	16
2.2.2	Poli (butileno adipato-co-tereftalato).....	18
2.2.3	Poli lactato – PLA .....	19
2.2.4	Blendas poliméricas - PBAT/PLA .....	20
3	SITUAÇÃO ATUAL .....	22
4	OBJETIVOS.....	24
5	PROPOSTA TECNOLÓGICA .....	25
6	METODOLOGIA .....	26
6.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	26
6.2	BUSCA DE POSSÍVEIS FORNECEDORES DE FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL PARA FRALDAS DESCARTÁVEIS .....	26
6.2.1	Identificação de fornecedores.....	26
6.2.2	Estabelecimento de contato com fornecedor .....	27
6.2.3	Solicitação de amostra para testes .....	27
6.2.4	Solicitação de orçamento.....	27
6.2.5	Aquisição do filme .....	27
	PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE.....	28
	FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL.....	28
6.3	28	
6.3.1	Identificação de fornecedores de matéria-prima para filmes biodegradáveis ....	28
6.3.2	Identificação de laboratório parceiro para desenvolvimento de amostras.....	28

6.3.3	Planejamento e realização dos ensaios .....	29
6.3.4	Desenvolvimento de filme biodegradável .....	29
6.3.5	Testes de caracterização .....	31
6.3.5.1	Espectroscopia no Infravermelho .....	31
6.3.5.2	Medida da espessura do filme.....	32
6.3.5.3	Gramatura .....	33
6.3.5.4	Resistência à Tração .....	33
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
7.1	BUSCA DE POSSÍVEIS FORNECEDORES DE FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL PARA FRALDAS DESCARTÁVEIS .....	35
7.2	PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL .....	37
7.2.1	Desenvolvimento do filme biodegradável.....	37
7.2.2	Testes de caracterização .....	38
7.2.2.1	Espectroscopia no infravermelho.....	38
7.2.2.2	Medida da espessura do filme.....	40
7.2.2.3	Gramatura do filme .....	41
7.2.2.4	Resistência à tração.....	42
7.3	ANÁLISE DE CUSTOS.....	43
8	CONCLUSÃO CRÍTICA .....	44
9	PESPECTIVAS.....	45
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46

## I - ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes da fralda .....	13
Figura 2 - Estutura molecular do polietileno.....	17
Figura 3 - Estrutura dos diferentes polietilenos – PEAD, PEBD e PEBDL .....	17
Figura 4 - Estrutura molecular do poli (butileno adipato co-tereftalato).....	13
Figura 5 - Estrutura molecular do PLA. ....	20
Figura 6: Extrusora de rosca simples AX 16:26 .....	30
Figura 7 - Medidor de espessura REGMED.....	32
Figura 8 - Equipamento universal de ensaios EMIC .....	33
Figura 9 - Corpo de prova sendo tracionado. ....	34
Figura 10 - Espectro no IV do Ecoflex – Tabela 1 .....	39
Figura 11 - Espectro no IV do Filme 6 – Tabela 1.....	40



## II - ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Condições de extrusão e composição das blendas. ....	31
Tabela 2 - Empresas encontradas e resultados. ....	36
Tabela 3 - Características do filme utilizado pela Tecnicare/PR.....	38
Tabela 4 - Determinação da espessura. ....	41
Tabela 5 - Determinação gramatura do filme. ....	41
Tabela 6 - Tensão máxima e alongamento. ....	42

## RESUMO

A criança que utiliza apenas fraldas descartáveis, ao longo de sua vida, gera cerca de 1.000 kg de lixo, o qual leva em torno de 500 anos para se decompor. Aliando alto consumo deste produto com o descarte incorreto, tem-se um transtorno ambiental provocado pela lenta decomposição do plástico. A ideia de fralda biodegradável não é totalmente nova, mas a implementação em indústrias brasileiras é uma inovação, visto que ainda não há nenhum produto como este atualmente no mercado. A proposta tecnológica deste trabalho é a obtenção de filmes poliméricos biodegradáveis com propriedades semelhantes às dos filmes tradicionais utilizados em fraldas descartáveis comercializadas no mercado atual.

A escolha dos materiais utilizados foi definida considerando-se a biodegradabilidade atestada pelo fornecedor dos polímeros e pela facilidade no processamento destes materiais, que podem ser processados nos mesmo equipamentos que os polímeros convencionais. Os filmes foram processados em uma extrusora de rosca simples pela disponibilidade do equipamento, mas existem outras formas de processar filmes poliméricos, como extrusão seguida de sopro.

A pesquisa está em fase de desenvolvimento, sendo que muitas análises ainda devem ser feitas com a finalidade de aproximar as características do filme produzido com as características do filme utilizado na indústria de fraldas, seu tempo de degradação, entre outros, entretanto a proposta tecnológica se mostrou promissora.

## 1 APRESENTAÇÃO

Os materiais poliméricos derivados do petróleo têm dominado o mercado mundial, devido ao seu baixo custo, excelentes propriedades mecânicas e térmicas, além da alta resistência a ataques biológicos <sup>1</sup>. Plásticos produzidos com diferentes propriedades têm sido empregados para diversos tipos de aplicações, oferecendo um potencial que dificilmente poderá ser atingido com qualquer outro tipo de material. Entre os tipos mais comercializados no mercado doméstico e industrial, destacam-se os polietilenos, os polipropilenos, os poliésteres, entre outros <sup>2</sup>.

Por outro lado, a resistência a ataques biológicos torna os produtos elaborados a partir de materiais poliméricos grandes vilões para o meio ambiente. O alto consumo de materiais plásticos, muitos deles descartáveis, induz à geração de um volume alto de resíduos que frequentemente são deixados em aterros sanitários. A produção de transformados plásticos em 2010 foi de 5,9 milhões de toneladas <sup>3</sup>, enquanto que no mesmo ano a quantidade de plásticos pós-consumo reciclada foi de apenas 19,4% <sup>4</sup>. O descarte destes materiais no meio ambiente gera danos ao mesmo, pois em vista das suas propriedades físico-químicas, pode ser ressaltada a resistência a ataques biológicos, e dificuldade de decomposição.

Face à diversidade de produtos que utilizam diferentes materiais plásticos em sua composição, como embalagens, produtos de higiene, sacolas, peças de carros, entre outros, e a problemática do descarte inapropriado dos mesmos, cabe estudar alternativas de concepção de novos produtos contendo componentes menos agressivos ao meio-ambiente, como materiais poliméricos biodegradáveis. Um setor que utiliza grande quantidade de plástico em seus produtos é o de higiene e limpeza, tanto para fabricação de embalagens, quanto para revestimento de produtos. Esta é a motivação deste estudo, que visa dar enfoque ao uso de polímeros biodegradáveis para a fabricação de fraldas descartáveis.

A criança que utiliza apenas fraldas descartáveis gera cerca de 1.000 kg de lixo, o qual leva em torno de 500 anos para se decompor <sup>5</sup>. A ideia de fralda com maior grau de biodegradabilidade não é totalmente nova, mas a implementação em indústrias brasileiras é uma ideia nova, visto que ainda não há nenhum produto como este atualmente no mercado. O Brasil vem caminhando para uma maior consciência ambiental, levando os gestores das empresas à busca de novas alternativas a esses materiais versáteis, mas a produção nacional

ainda é incipiente, abaixo de um ponto percentual no mercado brasileiro de resinas termoplásticas<sup>6</sup>.

O processo de desenvolvimento de uma fralda com propriedades integralmente biodegradáveis pode se proceder por etapas, frente às restrições tecnológicas e técnicas<sup>7</sup>. Em uma primeira etapa a fralda pode ser projetada de tal forma a ter seu tempo de degradação reduzido se comparado com as fraldas comuns<sup>8</sup>. Idealmente, sob condições de compostagem, como altas temperaturas, alta umidade e níveis de oxigênio e nitrogênio definidos, os componentes poliméricos deveriam ser completamente convertidos a água e dióxido de carbono por fungos e bactérias. Esta é a grande vantagem de um material biodegradável, embora tenha que ser observado se o comportamento e desempenho durante o uso da fralda se compara ao dos plásticos convencionais.

O material biodegradável ainda tem outra grande vantagem: pode ser produzido através de fontes renováveis ao invés de ser de fonte petroquímica, que não é renovável em tempo plausível.

*Palavras-chave:* biodegradável, compostável, fraldas, poli lactato, poli (butileno adipato – co-tereftalato).

## 2 ESTADO DA ARTE

Serão abordados dois temas distintos no estado da arte: a identificação/seleção de fornecedores; e o desenvolvimento da fralda, onde serão abordadas características e componentes da fralda, com foco no filme que reveste a parte absorvente e as propriedades dos polímeros a serem utilizados para a concepção do mesmo. Durante o desenvolvimento de novos produtos é necessário identificar potenciais fornecedores de insumos essenciais. No caso de um produto inovador a dificuldade de localização de fornecedores pode ser tornar um fator limitante, especialmente quando a tecnologia de fabricação de algum componente ainda não esteja suficientemente madura ou quando o componente não é ainda produzido em larga escala, em virtude da baixa procura. Estes aspectos serão tratados no primeiro tema. O segundo tema trata das características que o filme polimérico biodegradável deve possuir para o projeto de uma fralda descartável.

### 2.1 FRALDAS DESCARTÁVEIS

As fraldas descartáveis têm crescente importância entre itens de consumo da sociedade moderna; a produção anual de fraldas descartáveis infantis no país está em torno de 5,5 milhões de unidades, resultando em 4,5 milhões de metros cúbicos de lixo por ano <sup>10</sup>. A criança que utiliza apenas fraldas descartáveis, ao longo de sua vida, gera cerca de 1 tonelada de lixo, que leva em torno de 500 anos para se decompor <sup>5</sup>.

As fraldas descartáveis são constituídas basicamente de uma camada de celulose especial de fibra longa, que corresponde a cerca de 80% do peso da fralda, a qual é adicionada uma quantidade de gel seco (em torno de 10% do peso da fralda); a celulose e o gel são então revestidos por um filme *transfer*, que tem a finalidade de impedir o refluxo de umidade. Esse filme de *transfer* é revestido por uma fina camada de não-tecido, utilizada para melhorar o contato com a pele do usuário. Por último, um filme de polietileno é dobrado e costurado a quente na forma da fralda, e a mesma é finalizada com alguns acessórios, como velcro e adesivos.

Não foram encontradas especificações claras sobre as quantidades de cada componente, de forma que este é o diferencial das empresas fabricantes. Dependendo da

quantidade e da proporção do material utilizado, a qualidade e o valor agregado serão diferentes.

### 2.1.1 Análise dos componentes de uma fralda descartável

A análise dos componentes de uma fralda pode ser visualizada na Figura 1, e seus materiais são brevemente descritos a seguir <sup>11</sup>.

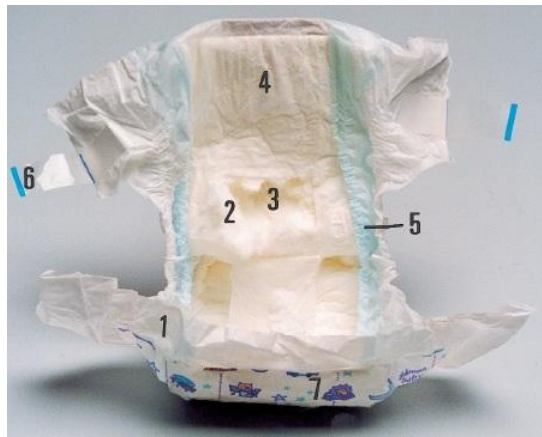


Figura 1 - Componentes da fralda <sup>11</sup>.

#### (1) Filme de polietileno (PE)

Polímero sintético e hidrofóbico que tem a função de evitar vazamentos de líquidos para fora da fralda.

#### (2) Polpa de celulose

Polímero natural e hidrofílico que auxilia na retenção da umidade, geralmente produzido a partir de material lignocelulósico da madeira. Existe a possibilidade de

substituição da polpa obtida da madeira por material celulósico extraído de resíduos vegetais, reduzindo o impacto do consumo de madeira.

(3) Poliacrilato de sódio

Polímero sintético superabsorvente, utilizado na forma de pequenos cristais juntamente à celulose. Tem a função de absorver os líquidos depositados na fralda, devido à sua capacidade de retenção de água.

(4) Não tecido de polipropileno

Polímero sintético hidrofóbico, que recebe tratamento com surfactantes para ter sua tensão superficial reduzida e tornar-se hidrofílico. Esse tratamento é necessário para que o não tecido permita o escoamento de líquidos para a camada absorvente.

(5) Elásticos

Polímeros sintéticos; normalmente são utilizados fios de poliuretanas, borrachas ou lycras. Auxiliam a fralda a ter um melhor ajuste no corpo do usuário.

(6) Adesivos termoplásticos

São constituídos de polipropileno impregnado com adesivos; sua finalidade é o fechamento das fraldas. Algumas vezes os adesivos são substituídos por velcros.

(7) Faixa de ajuste frontal

É constituída de filmes de polipropileno, colada com adesivos sobre a fralda. A finalidade desta faixa é permitir que a fralda possa ser aberta e fechada quantas vezes for desejado, sem danificá-la ou perder a adesão entre adesivo e fralda.

## 2.2 CONCEITOS E MATERIAIS POLIMÉRICOS

Por definição, de acordo com a norma de biodegradabilidade ASTM D6400 ‘Polímero biodegradável’ é todo material cujo conteúdo orgânico se transforma em húmus, água e gás carbônico em até 180 dias (tempo padrão para filmes de 120 micras de espessura em ambiente compostável – quantidade máxima de húmus deve ser de 10% do conteúdo orgânico) <sup>12</sup>. Microrganismos como bactérias, fungos e algas são capazes de degradar esse material completamente, gerando dióxido de carbono, água, energia e biomassa.

‘Polímero compostável’, por sua vez, é o material que se biodegrada e gera húmus com ausência de metais pesados e substâncias nocivas ao meio ambiente. Os Institutos certificadores fazem testes no húmus gerado e também ensaios de crescimento de plantas <sup>13</sup>. Refere-se a polímeros que são totalmente biodegradáveis em ambiente de compostagem, como definido pelas atuais normas e padrões EN13432<sup>[14]</sup>, ASTM D 6400 <sup>12</sup> e Japanese GreenPla <sup>15</sup>.

‘Materiais oxi-biodegradáveis’ são aqueles que precisam sofrer degradação oxidativa, para que grupos oxigenados possam ser metabolizados por microrganismos. Refere-se a materiais que têm em sua composição aditivos com metais, onde a finalidade dos aditivos é auxiliar na degradação oxidativa do polímero. Os custos de polímeros oxi-biodegradáveis são semelhantes aos de polímeros tradicionais <sup>16</sup>, mas sua biodegradabilidade é limitada, pois deixam resíduos tóxicos ao se decomporem, não sendo certificados pelas normas que regem os materiais compostáveis.

‘Os biopolímeros’ são aqueles desenvolvidos/encontrados a partir de fontes renováveis (como milho, trigo, madeira, e outras fontes). Um biopolímero não necessariamente é um material biodegradável; a biodegradabilidade vai depender da habilidade de microrganismos quebrarem a cadeia polimérica, e não necessariamente da fonte a partir da qual ele é produzido.

A ‘compostagem’ é praticada desde a história antiga, no entanto, somente a partir de 1920 essa técnica começou a ser estudada e praticada de forma científica. A compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico sólido, caracterizado pela produção de CO<sub>2</sub> e água, liberação de substâncias minerais e a formação de uma matéria orgânica estável, conhecida como composto <sup>17</sup>. Na compostagem, a matéria



orgânica é transformada por microrganismos em um material semelhante ao solo, sem cheiro, de cor escura e homogêneo, podendo assim ser usado como adubo.

Tanto os materiais de origem petroquímica quanto os materiais de fontes renováveis podem ser biodegradáveis. O que caracteriza um material como biodegradável é a capacidade dos microrganismos conseguirem quebrar a cadeia polimérica em fragmentos e utilizarem os mesmos como fonte de energia. Para que a biodegradação ocorra, os materiais devem ser dispostos em um ambiente específico, que é o ambiente de compostagem. Somente neste ambiente que os materiais terão as condições ideais para a degradação, como aeração, nutrientes (principalmente carbono e nitrogênio), temperatura e umidade, uma vez que esses parâmetros são fundamentais no crescimento bacteriano. A técnica de compostagem é relativamente fácil de ser aplicada, entretanto, o processo bioquímico resultante é um sistema altamente complexo, devido à ação de diversos grupos de microrganismos <sup>18</sup>.

Com respeito aos materiais poliméricos, estes podem ser divididos em dois grupos: os naturais, como a celulose, o amido, entre outros; e os sintéticos, que são aqueles obtidos por processos industriais. Esse último, ainda pode ser dividido em dois outros grupos: os que são obtidos através de fontes não renováveis, como petróleo, gás e carvão; e os de fontes renováveis, também conhecidos como biopolímeros.

### **2.2.1 Polietileno – PE**

O PE é uma das resinas termoplásticas mais utilizadas e comercializadas atualmente, participando com cerca de 45% do consumo mundial de termoplásticos <sup>19</sup>.

O PE é um polímero de moléculas longas (2), com baixa polaridade e pouca solubilidade em água, havendo uma grande resistência à biodegradação. Apresenta moléculas na fase cristalina, que estão protegidas das enzimas degradativas; nessa fase, oxigênio e água não conseguem penetrar na molécula, não havendo degradação por oxidação e hidrólise <sup>16</sup>.

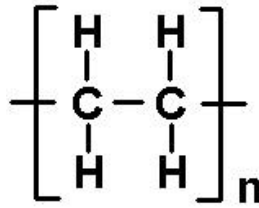


Figura 2 - Estrutura molecular do polietileno.

As resinas de polietileno são normalmente classificadas pela sua densidade e estrutura molecular (Figura 3), sendo conhecidas como PEAD (polietileno de alta densidade); PEBD (polietileno de baixa densidade) e PEBDL (polietileno de baixa densidade linear). O PEAD apresenta poucas ramificações; o PEBD apresenta muitas ramificações curtas e longas, e o PEBDL apresenta muitas ramificações curtas e poucas longas <sup>16</sup>. A demanda do polietileno encontra-se dividida entre a maior rigidez do PEAD e a flexibilidade do PEBD. O PEBD e o PEBDL competem entre si, cada um apresentando vantagens específicas - o PEBD apresenta maior transparência enquanto que o PEBDL tem maior resistência. O PEAD, sendo rígido e pouco fluido, presta-se à produção de filamentos, moldagem a sopro e artigos como engradados, caixas, estrados e tambores. O PEBD é bem mais flexível e fluido devido ao impedimento espacial provocado pelas ramificações, que dificulta o "empilhamento" das cadeias poliméricas, o que o torna adequado a filmes para sacos plásticos, garrafas, brinquedos e revestimentos de fios/cabos. Por sua vez, o PEBDL possibilita produzir fios e películas mais finas, resistentes e recicláveis, tendendo a substituir o PEBD tradicional <sup>19</sup>. O PE é o componente não bioegradável que se buscará substituir por plásticos biodegradáveis, tais como o poli (butileno adipato – co – tereftalato) e o poli lactato.

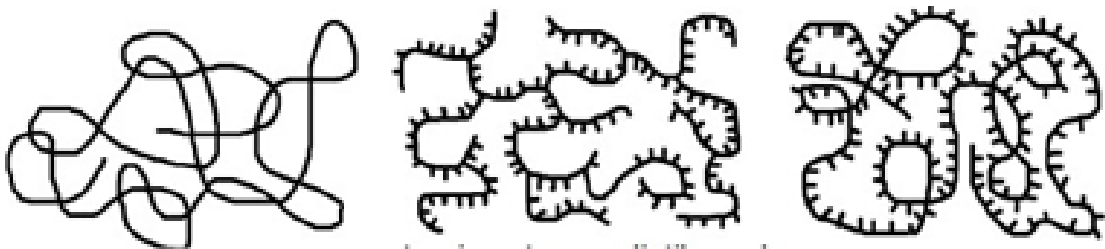


Figura 3 - Estrutura dos diferentes polietilenos – PEAD, PEBD e PEBDL <sup>19</sup>.

### 2.2.2 Poli (butileno adipato-co-tereftalato)

O poli (butileno adipato co-tereftalato) - PBAT (Figura 2) é um copoliéster sintético alifático-aromático de cadeia linear e biodegradável, produzido através da polimerização randômica dos oligômeros de diésteres de ácido adípico/butanodiol e ácido tereftálico/butanodiol.

O material tem propriedades similares às do PEBD, devido ao alto peso molecular e sua estrutura com uma longa cadeia ramificada, porém os custos tornam o polímero pouco competitivo. Pode se considerar ainda como ponto positivo deste polímero o fato dele apresentar excelente compatibilidade com o poli lactato, sendo flexível para produção de materiais poliméricos com diversas propriedades <sup>20</sup>.

Na degradação dos polímeros biodegradáveis estão envolvidas as reações oxidativas, enzimáticas e hidrolíticas; a biodegradação de polímeros biodegradáveis em geral ocorre com a colonização de sua superfície por microrganismos, com formação de biofilme <sup>16</sup>.

Os poliésteres podem ser considerados hidro biodegradáveis, já que a ligação éster pode sofrer hidrólise. Essa ligação suscetível a ataques químicos e/ou biológicos transforma a molécula inicial em fragmentos menores, capazes de atravessar a membrana celular de organismos. O PBAT apresenta na sua cadeia polimérica uma estrutura aromática, porém, a existência de heteroátomos e carbonila favorecem a ação de degradação <sup>16</sup>. A degradação do PBAT ainda é favorecida pelo polímero ser linear, uma vez que quanto maior o número de ramificações, menor ou mais lenta é sua degradação.

As aplicações já relatadas para este material são: filmes para embalagens, filmes para agricultura e sacolas compostáveis. Na literatura pesquisada não foi encontrado nenhum relato sobre a utilização deste polímero em fraldas descartáveis.

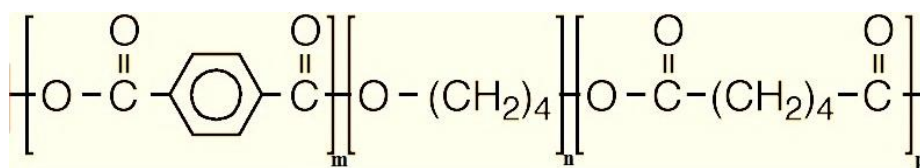


Figura 2 - Estrutura molecular PBAT.

### 2.2.3 Poli lactato – PLA

O poli lactato (PLA) - Figura 3 - caracteriza-se como o polímero biodegradável mais estudado atualmente. Há diversos motivos para que o PLA seja foco de estudos e pesquisas: o ácido láctico (ácido 2-hidroxi propiônico), monômero do poli lactato, pode ser obtido em um processo biotecnológico, que é relativamente barato. O PLA ainda é comercialmente interessante pelas suas propriedades de resistência, transparência, biodegradabilidade, biocompatibilidade, processabilidade e viabilidade econômica. Pode ser processado através de técnicas já conhecidas e utilizadas para outros termoplásticos <sup>21</sup>.

O PLA é um poliéster alifático que apresenta ramificações curtas laterais. É um termoplástico de alta força e módulo que pode ser produzido a partir de fontes renováveis, como beterraba, cana-de-açúcar, milho, batata, entre outros. Por ser um poliéster, pode ser considerado hidro biodegradável, assim como o PBAT. Assim como o PBAT, a ligação éster é suscetível a ataques químicos e/ou biológicos transformando a molécula inicial em fragmentos menores, como monômeros e oligômeros, capazes de atravessar a membrana celular de organismos.

Sua gama de aplicações é limitada devido à dificuldade em controlar as taxas de hidrólise, a alta rigidez e a cristalinidade <sup>21</sup>; uma maneira de contornar essa restrição é formando blendas com o PLA, que servem não somente para melhorar certas propriedades do polímero como também reduzir seu custo.

É importante salientar que o PLA é biodegradável em condições favoráveis a isso, como em ambiente de compostagem. A degradação do PLA irá ocorrer quando a ligação éster for hidrolisada, sem a necessidade de enzimas para catalisar a hidrólise. Os produtos da degradação do PLA não causam problemas ao meio ambiente e aos seres humanos <sup>21</sup>. O tempo de degradação do PLA no ambiente varia de seis meses a dois anos, enquanto que os plásticos convencionais, como por exemplo o PE, levam de 500 a 1000 anos para se degradar<sup>22</sup>.

As aplicações mais comuns no uso do PLA são as embalagens, produtos farmacêuticos, suturas, próteses e nos tecidos de engenharia, não sendo encontrado na literatura pesquisada o uso em fraldas descartáveis.

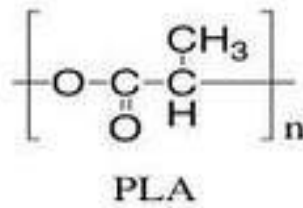


Figura 3 - Estrutura molecular do PLA.

#### 2.2.4 Blendas poliméricas - PBAT/PLA

A mistura de dois ou mais polímeros torna possível alcançar as propriedades desejadas e a reduzir os custos do material final (há a possibilidade de se misturar um material economicamente viável com outro de maior valor agregado), o que dificilmente é obtido com apenas um material. Geralmente as blendas tem um melhor custo-benefício do que o desenvolvimento de um polímero totalmente novo, pois a pesquisa e desenvolvimento de novos materiais acarretam em custos elevados <sup>23</sup>.

As blendas poliméricas são misturas físicas ou mecânicas de dois ou mais polímeros, onde não há um elevado grau de reação química entre os componentes. Para serem considerados como blendas, os compostos devem ter concentração acima de 2% em massa do segundo componente <sup>24</sup>.

As blendas abrangem diversas aplicações, uma vez que permitem adaptação às necessidades requeridas devido ao uso de diversos polímeros que oferecem propriedades distintas. Como as blendas são a mistura de dois ou mais polímeros, surge a desvantagem na reciclagem dos mesmos, uma vez que diferentes materiais são dispostos juntamente; no caso das blendas biodegradáveis ou compostáveis, esse problema pode ser contornado dispondo o material em um ambiente de compostagem.

O PBAT e o PLA são polímeros termoplásticos biodegradáveis que podem ser processados utilizando métodos convencionais de processamento de polímeros. Enquanto que o PLA apresenta alto módulo e fragilidade, o PBAT é flexível e resistente <sup>25</sup>, tornando a blenda PBAT/PLA uma excelente alternativa para se conseguir um material semi-flexível e resistente a impactos, já que o filme produzido apenas com PLA é rígido e quebradiço. Essa

combinação de propriedades favorece o uso da blenda na produção de filmes sem comprometer a biodegradabilidade do produto final.

### 3 SITUAÇÃO ATUAL

A área de polímeros biodegradáveis é recente e está em desenvolvimento, mas apresenta um grande potencial frente ao panorama atual de consumo de materiais poliméricos; nesta área estão concentrados diversos temas de estudos, como compostos, blendas, biodegradação, entre outros <sup>26</sup>.

O maior campo de aplicação para os materiais biodegradáveis está na área médica, devido à sua biocompatibilidade e suas propriedades mecânicas, adequadas a essas aplicações; entretanto, a tendência é que sua aplicabilidade seja expandida a outros setores. O principal fator limitante para que isso ocorra está ligado aos custos mais elevados quando se utiliza materiais biodegradáveis. Assim, a inserção em novos mercados está ligada ao investimento em pesquisas que permitam reduzir seus custos de obtenção, e a conscientização da importância em se usar materiais deste tipo e minimizar impactos ambientais.

A análise da balança comercial das principais matérias primas mostrou que em janeiro de 2011 o Brasil exportou 6,7 mil toneladas de PEBD, o equivalente a US\$13,1 milhões FOB (Free On Board); no mesmo período o Brasil importou 5,6 mil toneladas do mesmo polímero, o equivalente a US\$9,3 milhões FOB <sup>3</sup>. O número de empregados no setor de transformados plásticos em 2010 foi de aproximadamente 350 mil, representando um aumento de 7,7% em relação ao ano de 2009. A produção de transformados plásticos no Brasil foi de quase 6 mil toneladas; se comparada com a quantidade exportada, podemos concluir que apenas uma pequena parte da produção do Brasil é consumida no mercado interno. Estes dados mostram o quanto importante é a produção de PEBD em questões de mercado <sup>3</sup>.

O PLA é produzido por um número razoável de indústrias, apesar da maioria delas produzi-lo em uma escala bem menor que outros produtos; os principais fabricantes de PLA atualmente são: Cargill (EUA e Japão), Shimadzu (Japão), Mitsui Chemicals (Japão), Chronopol (EUA), Dainippon Ink Chemicals (Japão) e Galactic (Bélgica). A produção de PBAT é relativamente nova, contando com poucos fabricantes; os principais são: Eastman Chemical (EUA), Basf (Alemanha), Dupont (EUA) e Novamont (Itália) <sup>27</sup>.

Para diversos tipos de plásticos biodegradáveis as plantas de produção industrial foram recém-estabelecidas, e a otimização das mesmas bem como seus processos ainda estão em andamento. Com o crescente aumento na demanda de plásticos biodegradáveis, é provável que seja apenas uma questão de tempo para que plantas com capacidades maiores sejam comercialmente viáveis, reduzindo assim o custo do produto final. A capacidade global de plásticos biodegradáveis foi estimada em 360 mil toneladas métricas no final de 2007; isso corresponde a aproximadamente 0,3% da produção mundial de plásticos <sup>28</sup>.

Entre os desafios que devem ser vencidos para que os biopolímeros se tornem competitivos com os plásticos convencionais estão o desempenho inferior destes materiais, o alto custo de produção e processamento e a necessidade de minimizar o uso de produtos agrícolas na sua produção, de forma a não competir com a produção de alimentos e evitar impactos ambientais <sup>28</sup>. Pode-se considerar que os plásticos biodegradáveis estão em sua infância; há histórias de sucesso em sua utilização e pesquisas promissoras, mas falhas e sérios problemas ainda existem.

Quanto ao mercado das fraldas descartáveis, pode-se considerar um mercado crescente, uma vez que o índice de penetração (razão entre o número de usuários e o número de consumidores potenciais deste produto) no mercado tem aumentado a cada ano. Algumas soluções alternativas na redução da quantidade de fraldas descartáveis já vêm sendo tomadas, como a utilização de fraldas de tecido e as fraldas ecológicas; no entanto, além dessas soluções não serem práticas e atrativas, ainda há uma forte discussão sobre o impacto ambiental dessas fraldas, uma vez que as lavagens necessárias no seu uso consomem água e despejam produtos de limpeza no sistema de água e esgoto.



#### 4 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi a substituição de materiais não-biodegradáveis por biodegradáveis, em um produto de larga aplicação, como as fraldas descartáveis.

Para alcançar o objetivo proposto, houve desdobramento em duas etapas: (i) a procura de fornecedores que comercializassem diretamente o filme biodegradável para uso na produção piloto de fraldas descartáveis, atendendo propriedades descritas por uma empresa fabricante de fraldas parceira do projeto da Engenharia de Produção (Edital MCT/CNPq 06/2008), a Tecnicare (localizada no estado do Paraná); e (ii) desenvolvimento de um filme biodegradável para as fraldas, a partir de material polimérico biodegradável (matéria-prima). Nesta etapa faz-se necessária a busca de fornecedores da matéria-prima polimérica e de um laboratório parceiro que disponha de equipamento apropriado para o desenvolvimento do filme, em escala de bancada.

Visando atender os parâmetros de processo de filme polimérico usado tradicionalmente em fraldas descartáveis, as amostras de filme biodegradável obtidas de fornecedores ou processados em laboratório específico deverão ser submetidas a testes de caracterização.

## 5 PROPOSTA TECNOLÓGICA

A proposta tecnológica deste trabalho é a obtenção de filmes poliméricos biodegradáveis com propriedades semelhantes às dos filmes tradicionais, feitos de PE, utilizados em fraldas descartáveis comercializadas no mercado atualmente.

A escolha dos materiais utilizados foi definida considerando-se a biodegradabilidade atestada pelo fornecedor dos polímeros e pela facilidade no processamento destes materiais. A busca por materiais que atendessem especificações de biodegradabilidade aliada a facilidade de processamento foi realizada à medida que se selecionaram os fornecedores, e ainda, se os materiais comercializados pelos mesmos atendiam os preceitos do projeto. Diversos materiais avaliados continham no nome comercial o prefixo “bio”, no entanto, na avaliação de suas fichas técnicas pôde-se observar que o conceito de biodegradabilidade não era atendido.

Anterior à escolha do material, foi feita a seleção de um produto que apresentasse alto consumo no mercado e utilizasse em sua formulação materiais poliméricos. O setor de higiene e limpeza, por apresentar grande variedade de produtos que requerem estes materiais para o uso em embalagens ou revestimentos, foi onde se viu a maior necessidade de se propor melhorias e ainda considerar aspectos ligados à preservação do meio ambiente. Isso porque, uma vez consumidos e/ou utilizados estes tipos de materiais, o descarte é considerado uma etapa crítica, já que a maior parte é destinado a aterros sanitários ou deixado no meio ambiente, onde leva um longo período até se decompor.

Produtos higiênicos são amplamente consumidos em todas classes sociais e faixas etárias, entretanto o foco deste trabalho volta-se especificamente para um deles, as fraldas descartáveis. A produção anual de fraldas descartáveis infantis no país está em torno de 5,5 milhões de unidades; aliando o alto consumo deste produto com ao descarte incorreto, tem-se um transtorno ambiental provocado pela lenta decomposição do plástico.

Dentre seus principais componentes estão a polpa de celulose e diferentes materiais poliméricos. A motivação deste trabalho está em minimizar os danos ambientais causados pelo descarte de materiais não biodegradáveis no meio ambiente, utilizando-se materiais biodegradáveis ao invés dos convencionais na composição de fraldas descartáveis.

## **6 METODOLOGIA**

### **6.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA**

A escolha do produto a sofrer a inovação foi feita levando em conta a quantidade comercializada, o grande público alvo e a quantidade de resíduos gerada. O produto escolhido foram as fraldas plásticas; por serem descartáveis e não bio-degradáveis, se acumulam no meio ambiente e em aterros sanitários, se tornando um problema ambiental. A substituição do material utilizado por um material biodegradável pode ser realizada se o material substituto atender à todas especificações de resistência, flexibilidade e processamento que o material convencional atende.

Quanto ao método de trabalho foram realizadas duas etapas: (6.1) identificação de fornecedores de filme polimérico biodegradável para fraldas descartáveis e (6.2) desenvolvimento de filme polimérico biodegradável.

### **6.2 BUSCA DE POSSÍVEIS FORNECEDORES DE FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL PARA FRALDAS DESCARTÁVEIS**

Foram previamente estabelecidas algumas etapas que deveriam ser seguidas, para que o processo de identificação de fornecedores ocorresse de forma igualitária para todos os possíveis concorrentes. Se a empresa atendesse aos requisitos da primeira etapa, seguia-se com a segunda etapa, e assim por diante.

#### **6.2.1 Identificação de fornecedores**

O levantamento de prováveis fornecedores foi realizado através de buscas pela internet, em sítios de buscas e em sítios específicos para fornecedores de matérias-primas. Essa etapa foi uma pré-seleção, onde apenas os dados principais, como a possível fabricação

de filmes biodegradáveis, telefone, e-mail e localização foram levados em conta. Para cada empresa encontrada foi realizado um cadastro em uma planilha.

### **6.2.2 Estabelecimento de contato com fornecedor**

De posse dos dados de cada empresa fornecedora em potencial, foram estabelecidos alguns contatos por e-mail e, subsequentemente, por telefone. Um e-mail padrão foi criado, com o objetivo de informar as especificações necessárias para o filme a ser produzido.

### **6.2.3 Solicitação de amostra para testes**

Com o cadastro realizado e os e-mails com especificações do filme enviados, foram selecionados aqueles que produziam o filme polimérico adequado à fabricação das fraldas, seguindo as especificações fornecidas pela empresa parceira – Tecnicare/PR. Àquelas que atendiam parcial ou totalmente os requisitos, foram solicitadas amostras do material desejado para submissão a análises de caracterização.

### **6.2.4 Solicitação de orçamento**

Para aquelas empresas que atendiam a todos os requisitos, como a produção do filme, idoneidade da empresa e características das amostras, foi solicitado o orçamento do material desejado.

### **6.2.5 Aquisição do filme**

Por fim, após a averiguação de que todas as etapas foram cumpridas, dá-se a etapa de aquisição do material. A coleta dos dados teve duração de 40 dias, devido à dificuldade de obter um retorno efetivo das empresas contatadas.

### 6.3 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL

Para realização do desenvolvimento do filme polimérico biodegradável foram necessárias as seguintes etapas:

#### **6.3.1 Identificação de fornecedores de matéria-prima para filmes biodegradáveis**

Procedeu-se da mesma forma que no item 6.2, buscando informações em sites e cadastrando as empresas encontradas. O estabelecimento de contato com fornecedor foi realizado através do encaminhamento de solicitação via e-mail de fornecimento do material, contendo especificações do filme, e por ligações telefônicas. As etapas de solicitação de orçamento, solicitação de amostras para testes e aquisição do produto foram realizadas da mesma forma que na seleção de fornecedores de filme polimérico biodegradável para fraldas descartáveis.

#### **6.3.2 Identificação de laboratório parceiro para desenvolvimento de amostras**

Para que o filme pudesse ser desenvolvido a partir da matéria prima, fez-se uma busca de possíveis empresas parceiras para sua realização. Simultaneamente foi feita a procura por laboratórios de ensaios em polímeros, para que o filme pudesse ser desenvolvido de acordo com as necessidades do material. Os filmes foram desenvolvidos no Laboratório de Polímeros Avançados, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

### 6.3.3 Planejamento e realização dos ensaios

Devido à necessidade de o filme desenvolvido atender às especificações do filme de PE utilizado atualmente na indústria para a fabricação de fraldas descartáveis, foram selecionados alguns parâmetros para que tal comparação pudesse ser realizada.

Os certificados de qualidade da empresa Tecnicare especificam algumas variáveis que devem ser levadas em conta na produção dos filmes. São eles: gramatura, opacidade, resistência à tração na ruptura, deformação na ruptura, coeficiente dinâmico e largura. Os parâmetros escolhidos para serem analisados e comparados, foram a gramatura, a resistência a tração na ruptura e a deformação na ruptura, devido à sua importância e facilidade de acesso aos equipamentos para tais medições. Ainda foram feitas análises de IV para que o filme desenvolvido pudesse ser comparado ao filme atualmente utilizado na produção de fraldas descartáveis.

### 6.3.4 Desenvolvimento de filme biodegradável

Os polímeros adquiridos pelo projeto da Engenharia de Produção – UFRGS foram o Ecoflex F Blend C1200 e o Ecovio F Blend C2224, da empresa Basf. O Ecoflex F Blend C1200 é um copoliéster estatístico baseado nos monômeros 1,4-butanodiol, ácido adípico e ácido tereftálico (PBAT)<sup>29</sup>, enquanto que o Ecovio F Blend C2224 é uma blenda composta de Ecoflex F Blend C1200 e 45% de ácido polilático (PLA) de fonte renovável<sup>30</sup>.

O Ecoflex atende aos requisitos da Norma Europeia EN 13432, do Sistema Americano de certificação do BPI, ASTM D 6400 e do sistema para teste e certificação Japonês GreenPla<sup>29</sup>; o Ecovio segue a Norma Europeia DIN EN 13432<sup>30</sup>. Todos os padrões listados referem-se aos polímeros compostáveis ou biodegradáveis, sendo importante salientar que esses polímeros podem ser considerados biodegradáveis se colocados no ambiente de compostagem.

Fez-se uma blenda dos dois materiais adquiridos, a fim de melhorar a qualidade do filme desenvolvido. Para que a qualidade do produto final seja assegurada e a barreira contra vapor d'água seja aumentada, é necessário fazer a mistura de dois *masterbatches*\* (cujos nomes comerciais são Ecoflex® Batch AB1, ou AB1; e Ecoflex® Batch SL, ou SL, simplifadamente) junto à blenda, ambos adquiridos da Basf.

O filme desenvolvido foi processado em uma extrusora de rosca simples para filmes planos AX 16:26 Chill Roll, da AX Plásticos (Figura 4).



Figura 4 - Extrusora Rosca Simples AX 16:26.

Primeiramente foi decidida a composição da blenda, com base nas fichas técnicas dos produtos e na literatura encontrada. Foram feitas duas composições diferentes, e foram testadas algumas condições de extrusão diferentes, como apresentado na Tabela 1. As condições de extrusão foram baseadas nas fichas técnicas das resinas<sup>30</sup> e na literatura encontrada. Error! Reference source not found. As resinas não passaram pelo processo de pré-secagem, pois segundo o fornecedor, a estabilidade à hidrólise em temperaturas de processamento convencionais é adequada.

Também foram processados PEBD e Ecoflex puro, de forma a obter um referencial comparativo para o filme desejado.

\* *Masterbatches*: são concentrados de cor e/ou aditivos que veiculados em um resina termoplástica base proporcionam boa dispersão e homogeneização ao produto final conferindo-lhe cor, propriedades técnicas ou de processamento. O *masterbatch* deve ser veiculado em resina compatível com a resina de aplicação.

Tabela 1 - Condições de extrusão e composição das blendas.

Teste	Condições da extrusão				Composição da Blenda			
	Temperatura (°C)			Velocidade da Rosca (RPM)	Ecoflex® (%)	Ecovio® (%)	AB1 (%)	SL (%)
	Zona 3	Zona 2	Zona 1					
<b>ECOFLEX®</b>	140	140	130	50	100	0	0	0
<b>Filme 1</b>	140	140	130	13	60	24	10	6
<b>Filme 2</b>	145	140	130	40	60	24	10	6
<b>Filme 3</b>	145	140	130	50	64	27	7	2
<b>Filme 4</b>	155	150	150	50	64	27	7	2
<b>Filme 5</b>	180	160	170	70	64	27	7	2
<b>Filme 6</b>	180	160	170	20	64	27	7	2

As resinas foram fundidas gradativamente pelo contato com a parede aquecida do cilindro da extrusora abaixo da zona de alimentação. A fim de facilitar a processabilidade da blenda e evitar a obstrução na primeira zona da rosca, a alimentação das resinas foi realizada manualmente e de forma dosada.

### 6.3.5 Testes de caracterização

Há diversos parâmetros que caracterizam o filme utilizado na indústria. A fim de se confeccionar um filme biodegradável semelhante para a aplicação proposta, foram escolhidos apenas três parâmetros devido à importância dos mesmos e facilidade de acesso aos equipamentos para tais medições. Os parâmetros escolhidos foram gramatura, resistência à tração e alongamento na ruptura. Ainda foram feitas análises de espectroscopia no infravermelho para que o filme desenvolvido pudesse ser comparado ao filme atualmente utilizado na produção de fraldas descartáveis.

#### 6.3.5.1 Espectroscopia no Infravermelho

As análises de infravermelho foram realizadas com o propósito de comparação dos espectros antes e depois da fotodegradação e da compostagem.



As análises foram realizadas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em um FT-IR/ATR, com compensação atmosférica em módulo de reflexão total atenuada; o equipamento utilizado é da marca Bruker modelo Alpha P, com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$  e intervalo espectral de  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $400\text{ cm}^{-1}$ .

#### 6.3.5.2 Medida da espessura do filme

A espessura dos filmes é definida como a distância perpendicular entre duas superfícies principais do material. Conhecendo-se a espessura é possível obter informações sobre a resistência mecânica e as propriedades de barreira aos gases e ao vapor d'água do material <sup>31</sup>. A fim de obter a espessura dos filmes produzidos, foi utilizado um medidor de espessura digital. As medições de espessura foram realizadas na Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC, no Laboratório de Ensaio em Materiais. O aparelho utilizado foi o DM-2, da marca REGMED (Figura 5).



Figura 5 - Medidor de espessura REGMED.

### 6.3.5.3 Gramatura

A gramatura pode ser obtida pesando uma amostra de área conhecida do material, e é expressa em  $\text{g}/\text{m}^2$ . No caso dos filmes produzidos, foram cortados quadrados de 10 cm de altura e largura, resultando em uma área de  $0,01 \text{ m}^2$ ; em seguida os filmes foram pesados em uma balança analítica de precisão de  $0,0001 \text{ g}$ .

### 6.3.5.4 Resistência à Tração

O teste de tensão versus deformação foi realizado na Fundação de Ciência Tecnologia – CIENTEC, em equipamento universal de ensaios EMIC modelo DL500 (Figura 68), com célula Trd18.



Figura 6 - Equipamento universal de ensaios EMIC.

De acordo com a norma seguida, a ASTM D882<sup>32</sup>, foram feitos testes preliminares com as amostras com a finalidade de observar a elongação na ruptura. Como a porcentagem

de alongação na ruptura para todas as amostras foi maior que 100%, foram utilizados cinco corpos de prova para cada amostra (Figura 79), com 20 mm de largura e 50 mm de comprimento; a distância entre as garras foi de 50 mm e velocidade de afastamento 500 mm/min.



Figura 7 - Corpo de prova sendo tracionado.

Os corpos de prova foram utilizados foram recortados no sentido longitudinal (representado pela sigla MD) do filme. A fim de observar se no sentido transversal a tensão e a alongação teriam os mesmos valores, foi realizado um teste com o corpo de prova recortado neste sentido (representado pela sigla CD).

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 BUSCA DE POSSÍVEIS FORNECEDORES DE FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL PARA FRALDAS DESCARTÁVEIS

O objetivo inicial deste projeto era encontrar fornecedores de filme polimérico biodegradável, analisar a logística de cada fornecedor e se possível, definir o grau de biodegradabilidade dos filmes encontrados para posterior adaptação do material em uma indústria com tecnologia para fraldas plásticas descartáveis. A procura de fornecedores foi concentrada nas regiões sul e sudeste, pois as possíveis empresas fornecedoras de material se encontravam quase em sua totalidade nestas regiões.

Uma vez que o objetivo era encontrar fornecedores de filmes biodegradáveis, a primeira etapa envolveu contato com empresa fabricante de fraldas descartáveis (Tecnicare/PR), que se mostrou uma empresa apta à parceria que envolvesse inovação e aspectos de sustentabilidade. A etapa de seleção da empresa parceira para fabricação não foi o foco deste projeto, pois faz parte de um projeto de pesquisa mais amplo desenvolvido por equipe de pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande Sul, do Laboratório de Otimização de Produtos e Processos, na Engenharia de Produção (EDITAL MCT/CNPq 06/2008).

Uma vez que a empresa Tecnicare mostrou interesse na parceria, coube à mesma estabelecer parâmetros de processo para o filme polimérico, que é um dos componentes da fralda. De posse dos parâmetros era necessário identificar, no mercado, fornecedores do filme biodegradável que atendessem às características mencionadas e/ou desenvolver um filme com as respectivas características. A seguir serão listadas as etapas referentes à busca de empresas fornecedoras de filme biodegradável e relativas ao desenvolvimento do filme polimérico.

A fase de identificação de fornecedores de filmes foi realizada apenas até a terceira etapa, a de solicitação de amostra para testes, conforme item 6.1.3. As etapas subsequentes não foram realizadas devido a diversos fatores: falta de interesse das empresas em produzirem um material novo para o mercado, insuficiência de dados fornecidos pelas contatadas ou dados equivocados, e até mesmo a indisponibilidade de envio da amostra de material para testes. Os resultados dos contatos realizados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Empresas encontradas e resultados.

<b>Empresa</b>	<b>Localização</b>	<b>Produzem filme biodegradável</b>	<b>Resultado do contato</b>
Dinplal	SP	Sim	O responsável pelo plástico biodegradável não teve interesse em saber das especificações
PP Filme	SP	Sim	O filme produzido é oxi-biodegradável *
Day Brasil	SP	Não	-
Aleplast	RS	-	Não houve retorno por e-mail ou telefone
Extrusa Pack	SP	Sim	Produzem sacolas, e as tentativas para a confecção do filme não foram promissoras.
Polyplast	SP	Sim	O orçamento foi enviado, mas a amostra requerida ainda espera liberação.
Biovasos	SP	Sim	Trabalham apenas com vasos e sacolas biodegradáveis
Embalagem ideal	SP	Sim	O filme produzido é oxi-biodegradável *
Coopercel	SP	Sim	Produzem apenas filmes de celulose
Bazei Embalagen	RS	Sim	O filme produzido é oxi-biodegradável *
Plásticos Luz	RS	Não	-
FFS Filmes	RS	Não	-
Poliagro	RS	Não	-
Biomater	SP	Sim	Não trabalha com filmes, apenas com a matéria prima (PLA)**
Lukas Flex	SP	Sim	O filme produzido é oxi-biodegradável *

\*De acordo com os estudos encontrados na literatura, o plástico oxi-biodegradável é mais nocivo ao meio ambiente que o plástico comum, não servindo ao propósito deste projeto.

\*\*A empresa foi contatada novamente em uma etapa sequente referente à venda da matéria prima para produção do filme.

## 7.2 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL

### 7.2.1 Desenvolvimento do filme biodegradável

Sob o ponto de vista de desenvolvimento de um filme polimérico, é necessário compreender o comportamento reológico dos polímeros durante o processo de extrusão. As amostras desenvolvidas em laboratório tem caráter experimental; esta etapa é útil para que o pesquisador compreenda a influência dos parâmetros de processo (temperatura, velocidade da rosca de extrusão, velocidade de alimentação e composição da blenda, entre outros) sobre as características do filme produzido, facilitando a elaboração de um futuro desenho experimental. O objetivo do desenvolvimento do filme em escala de bancada é conseguir um filme semelhante aos já utilizados na indústria em fraldas descartáveis (Tabela 3). Dessa forma, podem ser estabelecidos alguns parâmetros de processamento da blenda polimérica para um possível desenvolvimento em grande escala; sabe-se que quando a escala de produção é aumentada, muitos fatores têm de ser modificados, entretanto a base experimental em pequena escala é fundamental no início de um novo processo ou desenvolvimento de um novo material.

Foram analisadas as diferentes blendas que poderiam ser feitas com o material encontrado (PBAT e PLA), e de acordo com a literatura pesquisada, a melhor composição seria uma blenda de PBAT com outra blenda, PBAT/PLA. Com esse tipo de blenda, é possível desenvolver um filme fino, resistente e flexível, ideal para ser utilizado em fraldas plásticas. Foram feitos seis testes no desenvolvimento do filme (blenda) e um filme de Ecoflex<sup>®</sup> puro. O filme desenvolvido apresentou boas características ao toque, boa elasticidade. Apesar da necessidade de que muitos parâmetros sejam alcançados, o filme obtido apresentou-se promissor para a utilização em fraldas descartáveis.

Para fins de comparação de composição e temperatura de processamento, as análises foram realizadas nos filmes 2 e 6, e ainda no filme de Ecoflex<sup>®</sup>. As condições de cada extrusão bem como sua composição podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 3 - Características do filme utilizado pela Tecnicare/PR.

Variável	Unidade	Objetivo
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	22,0
Opacidade	D	0,13
Tensão máxima CD*	MPa	8,8
Alongamento CD*	%	640
Tensão máxima MD**	MPa	10,3
Alongamento MD**	%	410
Coeficiente dinâmico exterior-exterior	Cof units	0,50
Largura	mm	310

\*CD: sentido transversal do filme.

\*\*MD: sentido longitudinal do filme (cadeias poliméricas ordenadas na direção da máquina).

## 7.2.2 Testes de caracterização

Os ensaios realizados servem para atestar a viabilidade técnica de obtenção de um filme polimérico biodegradável que tenha características, no mínimo, próximas daquelas exigidas para a fabricação da fralda. As análises foram realizadas somente para os filmes 2 e 6, uma vez que estes foram os filmes em que se conseguiu uma quantidade razoável de material, e para a amostra de Ecoflex<sup>®</sup> puro (Tabela 1 - Condições de extrusão e composição das blendas).

### 7.2.2.1 Espectroscopia no infravermelho

As análises de espectroscopia no infravermelho com reflexão total atenuada (FTIR/ATR) possibilitam o monitoramento do efeito da irradiação solar e da compostagem sobre a estrutura dos polímeros da blenda PBAT/PLA. Os resultados apresentados neste trabalho referem-se apenas às análises antes da fotodegradação, uma vez que a limitação de tempo não permitiu que esta e outras análises fossem realizadas até o término deste estudo. No entanto, estas etapas serão realizadas na sequência e os resultados relatados em publicações posteriores.

A Figura 810 mostra os modos de vibração característicos do PBAT; a banda observada logo abaixo de  $3000\text{ cm}^{-1}$ , é característica de estiramento axial da ligação C-H de alifáticos; em  $1730\text{-}1715\text{ cm}^{-1}$  são características de estiramento axial da ligação C=O; em aproximadamente  $1450\text{ cm}^{-1}$  referente à deformação angular da ligação  $\text{CH}_3$ ; em aproximadamente  $1475\text{ cm}^{-1}$  referente à deformação axial C=C; em  $1300\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$  referentes à deformação axial de C-O assimétrica; em aproximadamente  $1185\text{ cm}^{-1}$  referente à deformação angular da ligação C=O; em aproximadamente  $1040\text{ cm}^{-1}$  referente à deformação angular da ligação C-O.

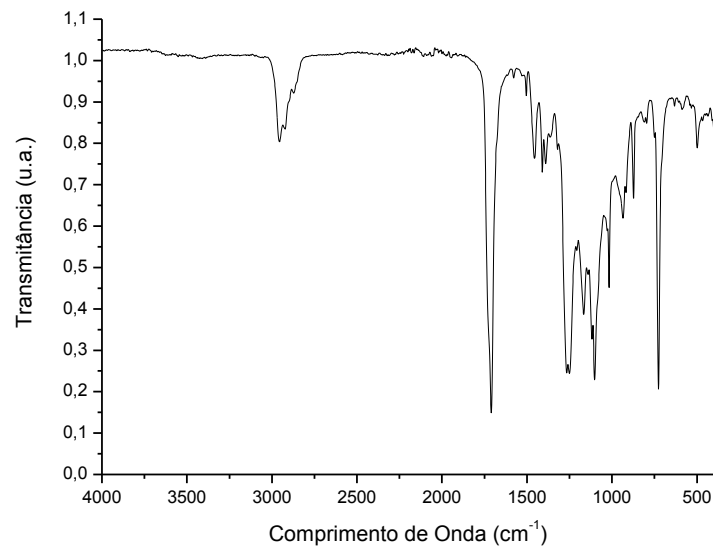


Figura 8 - Espectro no IV do Ecoflex – Tabela 1.

A Figura 91 mostra os modos de vibração da blenda PBAT/PLA. Pode-se observar que as bandas características são as mesmas que para o PBAT puro, uma vez que ambos os componentes da blenda são poliésteres. A maior diferença entre suas estruturas está no anel aromático presente no PBAT, ausente no PLA, onde a banda de estiramento axial de C-H se encontra em  $3000\text{-}2840\text{ cm}^{-1}$ .



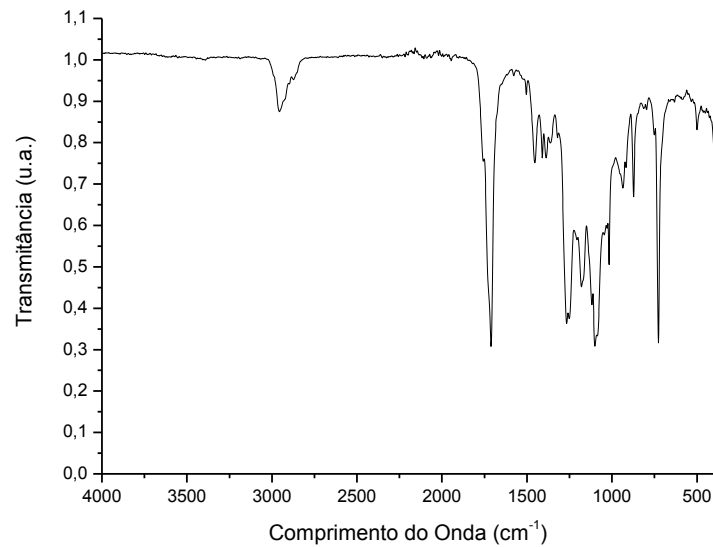


Figura 9 - Espectro no IV do Filme 6 – Tabela 1.

O que espera-se ver no espectro após a fotodegradação/compostagem é o surgimento de uma banda fraca em  $3500\text{ cm}^{-1}$ , característico de OH, que indica a presença de grupos hidroxila. O surgimento das bandas de hidroxila em  $3500\text{ cm}^{-1}$  podem ser atribuídos à formação de ácido carboxílico. Quando o PBAT/PLA são submetidos à degradação, moléculas de água penetram na matriz polimérica levando a hidrólise do grupo éster.

#### 7.2.2.2 Medida da espessura do filme

A medida da espessura é importante no controle da homogeneidade do filme. Foram realizadas medidas de espessura em diversos pontos das amostras, a fim de se obter um valor médio para a espessura e observar a homogeneidade do filme. Apenas o Filme 6 (Tabela 4) se mostrou razoavelmente homogêneo, conforme medidas de espessura realizadas. O Filme 2 apresentou uma grande variação nas medidas de espessura. Isso pode ser explicado pelo fato de que ao se processar uma blenda, as propriedades físicas e reológicas dos polímeros são alteradas, devendo-se fazer ajustes no processamento. Prova disso, é que o filme feito apenas com o polímero Ecoflex<sup>®</sup> F C1200 comportou-se como descrito em sua ficha técnica, sendo de fácil processabilidade e seguindo as características descritas para o produto.

Tabela 4 - Determinação da espessura.

Teste	Espessura (mm)	Varição na espessura (mm)
<b>Ecoflex<sup>®</sup></b>	0,066	0,008
<b>Filme 2</b>	0,032	0,02
<b>Filme 6</b>	0,020	0,006

As condições de processamento do Filme 6 foram satisfatórias, resultando em um filme de boa aparência, boa textura e homogeneidade em seu comprimento. A espessura depende principalmente da velocidade da rosca da extrusora e este parâmetro pode ser controlado diminuindo ou aumentando esta velocidade, ou seja, um aumento na velocidade da rosca resultaria em um filme mais espesso e vice-versa.

#### 7.2.2.3 Gramatura do filme

A gramatura do filme é um parâmetro que pode ser comparado diretamente com o valor informado pela Tecnicare. Conforme Tabela 3, a gramatura esperada para o filme é de 22 g/m<sup>2</sup>; os resultados obtidos são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Determinação gramatura do filme.

	Área (m <sup>2</sup> )	Peso (g)	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )
<b>Ecoflex<sup>®</sup></b>	0,01	0,6140	61,40
<b>Filme 2</b>	0,01	0,1539	15,39
<b>Filme 6</b>	0,01	0,2806	28,06

O filme 6 foi o que mostrou melhor resultado na determinação da gramatura, pois apresentou o valor mais próximo ao objetivo esperado. Este parâmetro pode ser facilmente alterado, sendo que para atingir o valor esperado pode-se diminuir a espessura (diminuindo assim a razão massa/área). Se forem utilizadas as mesmas condições de processamento e a mesma composição do Filme 6, pode-se estimar que alcançando a espessura de 0,015 mm, atinja-se a gramatura esperada de 22 g/m<sup>2</sup>.

#### 7.2.2.4 Resistência à tração

A tensão pode ser definida como sendo a razão entre a força exercida (em N) sobre a área do corpo de prova (em mm<sup>2</sup>). O processo de fratura em polímeros ocorre em vários estágios: o escoamento das moléculas poliméricas, o estiramento das moléculas e o estágio final da fratura. O escoamento das moléculas ocorre após atingirem níveis de deformação irreversíveis; a tensão nesse estágio registra a deformação do material a deformações permanentes. Após iniciarem o escoamento, as moléculas são orientadas na direção da sollicitação, e ao atingirem um grau elevado de orientação, inicia-se o processo de ruptura propriamente dito <sup>33</sup>.

Neste estudo, as trações nos filmes foram determinadas com a finalidade de comparação com o filme utilizado pela indústria de fraldas Tecnicare. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Tensão máxima e alongamento.

	Tensão máxima (MPa)	Alongamento (%)
Ecoflex <sup>®</sup>	24,64	737,9
Filme 2	25,55	295,7
Filme 6	26,21	309,4

Como pode ser observada na Tabela 6, a presença de PLA na blenda altera o comportamento mecânico do polímero, fazendo com que ele tenha um alongamento menor, ou seja, faz com que se rompa mais rapidamente que o polímero sem PLA. A diferente composição dos Filmes 2 e 6 não alterou muito os resultados, visto que a diferença de composição foi pequena. A tensão máxima teve apenas uma pequena variação, mostrando que a composição da blenda não afetou este parâmetro.

Em comparação com o polímero utilizado pela Tecnicare, a tensão máxima (MD) foi superior ao requerido pela empresa; em contrapartida, o alongamento foi ligeiramente inferior, mostrando que o filme desenvolvido ainda deve passar por etapas de aperfeiçoamento.

### 7.3 ANÁLISE DE CUSTOS

As fraldas descartáveis a serem produzidas com o material biodegradável proposto devem ser analisadas como um todo, visto que além do filme que a reveste, todos os outros componentes também deverão ser alterados. Neste projeto não foi possível propor a troca dos demais componentes que compõem uma fralda, entretanto, sabe-se que o custo do polímero biodegradável chega a ser quase três vezes maior que dos polímeros já utilizados.

Enquanto que o kg do material utilizado atualmente (PEBD) no filme que reveste as fraldas descartáveis custa em torno de R\$ 2,00, o material proposto tem um custo de R\$ 15,95/kg. O valor dos *masterbatches* para o material proposto pode chegar a ser sete vezes mais alto que os *masterbatches* utilizados normalmente. Apesar da diferença de valores ser grande, o valor das próprias resinas e *masterbatches* é o único fator que influencia no valor do produto final, uma vez que os equipamentos utilizados e os métodos de processamento são os mesmos já utilizados com o material convencional (PEBD).

A fralda descartável proposta ganha no quesito ambiental, já que sua utilização diminuiria a quantidade de materiais não degradáveis acumulados em aterros sanitários. Acredita-se que a procura por polímeros biodegradáveis deve aumentar em alguns anos, tornando sua escala de produção maior, e conseqüentemente diminuindo os custos do material.

## 8 CONCLUSÃO CRÍTICA

O desenvolvimento de novos produtos apresenta diversas características que o diferencia de outros processos, como o elevado grau de incerteza e riscos das atividades, a dificuldade de mudar as decisões iniciais, a manipulação e geração de alto volume de informações, entre outros.

O crescimento da conscientização ambiental é uma premissa para que novos materiais sejam utilizados no lugar daqueles já existentes. Os polímeros biodegradáveis ainda podem ser economicamente inviáveis, mas este fator é comum a quase todos os produtos e matérias-primas novos no mercado; apenas sua pesquisa e aperfeiçoamento podem fazer com que esta situação seja revertida.

O que pode ser concluído a partir deste trabalho é que os polímeros sugeridos atendem ao propósito das fraldas descartáveis e que os filmes produzidos em um primeiro ensaio se apresentaram promissores, uma vez que mostraram boa flexibilidade e resistência como um filme de polietileno apresentaria. As variáveis de processamento, como composição da blenda, temperatura e velocidade da rosca podem ser facilmente ajustadas, facilitando a obtenção do filme desejado.

Os objetivos iniciais, que eram identificar um material polimérico biodegradável e fácil processamento e realizar sua extrusão, foram atingidos.

## 9 PESPECTIVAS

Acredita-se que a substituição de materiais poliméricos tradicionais por materiais biodegradáveis em diversos setores seja uma tendência pela redução do impacto ambiental e pela consciência ecológica crescente da população. Há o interesse por estes novos materiais não apenas por parte de pesquisadores, mas também da indústria.

O que se espera da continuação deste projeto é que ainda sejam analisados outros parâmetros do filme, de forma a desenvolver um material muito semelhante ao já utilizado nas indústrias de fraldas. Após atender as especificações do filme já conhecido, pretende-se encontrar uma empresa parceira que tenha a capacidade de produzir o filme biodegradável em grande escala. Outra etapa a ser vencida é a substituição dos demais componentes da fralda, para que ela seja constituída totalmente por materiais biodegradáveis e 100% compostável.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 
- [1] MOURA, I. et al., **Materials Science Forum**, 2008, 587-588, 520-524.
- [2] Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST). *Principais matérias-primas - 2011*.
- [3] Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) – Perfil Plástico. *Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico – 2010*.
- [4] Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos (PLASTIVIDA) - *Brasil reciclou cerca de 20% dos plásticos pós-consumo em 2010 – 2011*.
- [5] <http://www.environment-agency.gov.uk/> - Acessado em 15.11.2011.
- [6] ECOMEDICAL. **Plástico biodegradável**. Disponível em: [http://www.ecomedical.com.br/Revista\\_Plastico\\_Plastico\\_Biodegradavel.pdf](http://www.ecomedical.com.br/Revista_Plastico_Plastico_Biodegradavel.pdf). Acessado em 08.08.2011.
- [7] CHIELLINI, E.; SOLARO, R. **Biodegradable Polymres and Plastics**. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2003.
- [8] SCOTT, G. **Degradable Polymers: Principles and Applications**. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [9] BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J.; STANK, T.P. **21<sup>st</sup> Century Logistics: Making Supply Chain Integration a Reality**. Chicago, IL: Council of Logistics Management), 1999.
- [10] <http://bestbaby.forumeiros.com/t8-porque-usar-fraldas-de-pano> – Acessado em 17.11.2011.
- [11] MARCONATO, J. C.; FRANCHETTI, S. M. Polímeros superabsorventes e as fraldas descartáveis: um material alternativo para o ensino de polímeros. **Química Nova na Escola**, n.15, p.42-44, 2002.
- [12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM D 6400: Standarts Specification for Compostable Plastics – 2004**.
- [13] BASF. **Lançado há 12 anos, o Ecoflex® é o plástico biodegradável e compostável da BASF**. Disponível em: <http://www.basf.com.br/nasuavida/casa/pdf/carro1.pdf>. Acessado em: 22.09.2011.

- 
- [14] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13432: Packaging - Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation - Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging** – 2005.
- [15] JAPAN BIOPLASTICS ASSOCIATION. **Standarts for compostable GreenPla products** – 2007.
- [16] OJEDA, T. **Biodegradabilidade de materiais poliméricos**. 2008. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2008.
- [17] FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf>. Acesso em: 10.10.2011.
- [18] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Comunicado Técnico – Compostagem**. 2001.
- [19] BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO (BNDES). **Gerência setorial do complexo químico**. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/gs4\\_05.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/gs4_05.pdf). Acessado em: 07.11.2011.
- [20] BASF. **Biodegradable polymers – inspired by nature Ecoflex®, Ecovio®**. Disponível em: [http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en\\_GB/function/conversions:/publish/common/upload/biodegradable\\_plastics/Ecoflex\\_Brochure.pdf](http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/biodegradable_plastics/Ecoflex_Brochure.pdf). Acessado em: 10.09.2011.
- [21] GUPTA, A. P.; KUMAR, V. New emerging trends in synthtic biodegradable polymers – polylactide: a critique. **Science Direct**, Europa, n.43, p. 4053-4074, 2007.
- [22] SINCLAIR, R.G. **Journal of Macromolecular Science – Pure and Applied Chemistry**, 1996, A33(5), 585-597.
- [23] MARK, H.F. **Encyclopedia of Polymer Science and Technology**. Wiley, 2005.
- [24] PASSADOR, F.R.; PESSAN, L.A. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 2006, 16(3), 174-181.



- 
- [25] JIANG, L.; WOLCOTT, M. P.; ZHANG, J. Study of biodegradable polylactide/poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends. **Biomacromolecules**, Washington, 7, 199-207, 2006.
- [26] FALCONE, D.M.B.; AGNELLI, J.A.M.; FARIA, L.I.L. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 2007, 17, 5-9.
- [27] **Biodegradable and Biobased Polymer, Biopolymer, Agro-polymer, Bioplastic, Biomaterial, Compostable Packaging**. Disponível em: <http://www.biodeg.net>. Acessado em 20.11.2011.
- [28] Website of the Department of Science, Technology and Society – University Utrecht. Disponível em: <http://nws.chem.uu.nl/>. Acessado em: 16.11.2011.
- [29] BASF. **Product information**. Disponível em: [http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en\\_GB/function/conversions:/publish/common/upload/biodegradable\\_plastics/Ecoflex\\_F\\_Blend\\_C1200.pdf](http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/biodegradable_plastics/Ecoflex_F_Blend_C1200.pdf). Acessado em: 03.09.2011.
- [30] BASF. **Ecovio® F Blend C2224 – biodegradable polyester for compostable film containing 45 % of renewable resources**. Disponível em: [http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en\\_GB/function/conversions:/publish/common/upload/biodegradable\\_plastics/Ecovio\\_F\\_Blend\\_C2224.pdf](http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/biodegradable_plastics/Ecovio_F_Blend_C2224.pdf). Acessado em: 03.09.2011.
- [31] OLIVEIRA, L. M. et al. **Centro de Tecnologia de Embalagem**, CETEA, 1996. 219 p.
- [32] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM D 882: Standarts Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting** – 2010.
- [33] CANEVAROLO, J.; SEBASTIÃO, V. **Ciência dos Polímeros: um Texto básico para Tecnólogos e Engenheiros**. Artliber, 2002.