



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Balances de massa do processo produtivo de nãotecido

Autor: Priscila Godoy

Orientador: Profª Isabel C. Tessaro

Porto Alegre, janeiro de 13

Sumário

Sumário	ii
Resumo	iii
Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	v
Lista de Abreviaturas e Siglas	vi
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica e Fundamentos Teóricos	2
2.1 Polipropileno	2
2.2 Não tecido	3
2.2.1 Breve histórico do não tecido	4
2.3 Balanços de Massa aplicados a uma estratégia de reciclagem	4
3 Fitesa Não tecidos S.A.	7
3.1 Processo produtivo de não tecido	7
3.1.1 Tecnologia Spunbonded	7
3.1.2 Tecnologia Meltblown	10
3.1.3 Tecnologia SMS – Spunbonded/Meltblown/Spunbonded	10
4 Metodologia	12
5 Resultados e Discussão	18
6 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	25
7 Referências	27

Resumo

O não tecido é um material plástico com aplicações divididas entre descartáveis higiênicos, duráveis e descartáveis médico. Esta grande área de atuação permite que o não tecido seja utilizado em muitos produtos como fraldas, absorventes, estofamentos e outros usos, e devido a essa grande gama de segmentos a sua produção esta em constante crescimento e indústrias produtoras tem sido abertas ou ampliadas ao redor do mundo. A matéria-prima do não tecido é essencialmente polipropileno, um termoplástico amplamente reciclável e não perde suas propriedades mecânicas após alguns ciclos de processamento. Aliada essas características do polipropileno ao contexto de consciência ambiental onde a gestão de resíduos e reciclagem são requisitos para uma produção sustentável, a reciclagem na produção de não tecido se torna uma importante etapa do processo produtivo. Como mencionado anteriormente o não tecido é matéria-prima para vários produtos e para cada utilização as propriedades e a produção desses materiais são diferenciadas entre si e dentro destas categorias há mais divisões conforme a utilização específica. Assim como a produção, as propriedades e os aditivos utilizados são diferentes para cada produto, o balanço de massa para cada material se torna particular, sendo necessária uma análise mais específica para se identificar perdas, geração de resíduos e pontos de melhoria. O presente trabalho apresenta um balanço material para seis diferentes produtos de duas linhas de produção da empresa Fitesa Não tecidos S.A.. Esses balanços foram calculados através de um mapeamento das variáveis do sistema produtivo de não tecido começando com o levantamento dos dados de entrada e de saída das linhas de produção e posterior disposição destes dados num fluxograma. Neste fluxograma as variáveis de entrada foram definidas pelo produto a ser produzido para melhor identificar as diferenças entre produtos na geração de resíduos. As variáveis de saída foram definidas pelas características do material e pelo percentual de aproveitamento da largura total da manta de não tecido. Inicialmente foram analisados os produtos de maior volume de venda para que os resultados representassem os maiores impactos no sistema de gerenciamento de resíduos. Dentre os produtos foram escolhidos os seis produtos que poderiam englobar as maiores variáveis como linhas de produção e gramaturas diferentes. Os resultados obtidos revelam que para um aproveitamento da largura útil da linha de 80% os três produtos analisados acumulam materiais que não são reciclados diretamente devido à capacidade dos equipamentos independentemente do tempo entre a produção e a geração do resíduo na máquina de corte. Para outros aproveitamentos de manta o volume de material acumulado é variável conforme a diferença entre o tempo de produção e o corte do material. Baseado nos dados obtidos algumas estratégias de gerenciamento de resíduos sólidos pode ser tomadas, diminuindo o custo com processamento de resíduos em empresas terceirizadas, custo de re-pletização do reciclado e diminuição da utilização de matérias-primas virgens.

Lista de Figuras

Figura 2.1: Estrutura molecular do polipropileno	2
Figura 2.2: Não tecido e tecido.....	4
Figura 3.1: Esquema do processo de formação do não tecido.	8
Figura 3.2: Desenho de uma matriz de fiação para do processo <i>spunbonded</i>	9
Figura 3.3: Fluxograma do processo de fabricação do não tecido spunbonded.	10
Figura 3.4: Visão geral da linha produtiva de não tecido SMS.....	11
Figura 4.1: Fluxograma com as principais correntes do processo.	12
Figura 4.2: Fotografia do reservatório de oligômero.	13
Figura 4.3: Rolo jumbo posicionado para iniciar o corte.	14
Figura 4.4: Aparas empilhadas para serem pesadas e cadastradas como resíduo.....	15
Figura 4.5: Filamentos de polipropileno sendo extrudados.	16
Figura 4.6: Fluxograma das correntes do processo produtivo de não tecido.	17

Lista de Tabelas

Tabela 1: Descrição dos produtos escolhidos	18
Tabela 2: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto SMS hidrofílico baixa gramatura branco.....	21
Tabela 3: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto SMS hidrofílico branco.	21
Tabela 4: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto SMS hidrofílico baixa gramatura colorido.....	21
Tabela 5: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto SMS hidrofílico colorido.	22
Tabela 6: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto Spun tratado por zonas baixa gramatura branco...	22
Tabela 7: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto Spun tratado por zonas baixa gramatura branco.	22
Tabela 8: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto Spun tratado por zonas baixa gramatura colorido.	23
Tabela 9: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto Spun tratado por zonas baixa gramatura colorido.	23
Tabela 10: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto SMS hidrofóbico alta gramatura branco.....	23
Tabela 11: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto Spun tratado por zonas alta gramatura colorido.	24
Tabela 12: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto SMS hidrofóbico alta gramatura branco.....	24
Tabela 13: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto SMS hidrofóbico alta gramatura colorido.	24

Lista de Abreviaturas e Siglas

DE – segmento comercial de descartáveis

DH – segmento comercial de descartáveis higiênicos

DU – segmento comercial de duráveis

gsm ou g/m² – gramatura (grams square meter)

h – hora

kg- quilograma

m – metro

master – masterbatches – pigmento termoplástico

Melt – tecnologia meltblown

min – minutos

PEAD – polímero de alta densidade

PNRS – política nacional de resíduos sólidos

PP – polipropileno

RSX – linha de produção de não tecido X

RSY – linha de produção de não tecido Y

Spun – tecnologia spunbonded

TNT – tecido não tecido

1 Introdução

A indústria plástica se tornou imprescindível na vida cotidiana devido à comodidade e ao aumento da qualidade de vida que ela proporciona com os seus produtos. Fraldas e absorventes tornaram o dia-a-dia da população mais práticas substituindo os panos de origem vegetal por produtos feitos com não tecido, material plástico. Apesar de fraldas e absorventes serem os produtos com maior volume de venda o não tecido é utilizado em diversas outras formas como decoração, foro de materiais duráveis, lenços umedecidos, roupas médicas, material para campo cirúrgico entre outras.

Conforme a norma NBR-13370, não tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou acaso, consolidados por processo mecânico, químico, térmico sendo possível combinações destes. O não tecido também é conhecido como tecido não tecido (TNT) e é majoritariamente produzido através do processo de extrusão de polipropileno (PP).

O polipropileno é um termoplástico e entre os plásticos é o mais reciclado atualmente devido as suas características e sua ampla gama de utilização. No atual contexto de preocupação com o meio ambiental, as empresas de transformação de plástico têm investido em novas formas de reciclagem através de compra de novos equipamentos que permitem a reciclagem diretamente no processo produtivo ou até mesmo linhas específicas para reciclagem de resíduos que permitam a transformação do resíduo sólido em matéria-prima novamente. Isso é possível, pois o polipropileno não perde as suas características de resistência após reciclado, propriedades muito importantes para os produtos finais de PP.

O material considerado não conforme para venda na indústria de não tecido soma uma quantidade não desprezível e o destino desse material deve seguir uma estratégia de gerenciamento de resíduos sólidos, portanto o conhecimento das variáveis do processo é de extrema importância para a definição da capacidade e da eficiência do processo. Os resultados obtidos pela análise dos dados são primordiais para a identificação de pontos de melhorias e da necessidade ou não de novos investimentos em equipamento de reciclagem direta.

Geralmente as vazões mássicas de correntes de entrada são informadas pela *interface* de controle da linha de produção onde a quantidade de matéria-prima é identificada por sensores, entretanto equipamentos de reciclagem adaptados a essas linhas não possuem o mesmo controle de processo da linha original. Sendo assim, na maioria das vezes, se faz necessário um levantamento dos dados através de um acompanhamento diário do volume de material reciclado.

As correntes de saída são igualmente importantes, pois, através delas, é possível identificar a classificação dos resíduos e a relação entre o percentual de refugo e os produtos. Dessa forma, as ações de gerenciamento podem ser direcionadas a materiais que iriam agregar maiores benefícios para a empresa.

Baseado nas informações apresentadas, este trabalho tem como objetivo desenvolver balanços de massa por produtos utilizando os dados coletados para possibilitar a identificação da capacidade, eficiência e rendimentos de duas linhas produtivas, RSX e RSY da empresa Fitesa Não tecidos localizada em Gravataí.

2 Revisão Bibliográfica e Fundamentos Teóricos

Neste capítulo serão abordados os fundamentos teóricos imprescindíveis ao entendimento deste trabalho, além de uma breve revisão bibliográfica sobre o assunto específico. Os fundamentos teóricos deste trabalho foram baseados nas seguintes bibliografias: Albuquerque (2001) e Moore (1996).

2.1 Polipropileno

A matéria-prima utilizada para a produção do nãotecido spunbonded e meltblown é o polipropileno. A unidade estrutural básica do polipropileno é mostrada na Figura 1.

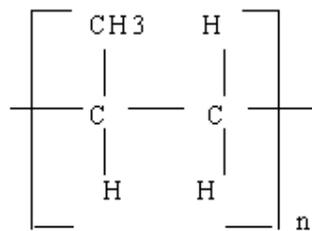


Figura 2.1: Estrutura molecular do polipropileno

O polipropileno é incolor, inodoro, tem baixa densidade e uma grande resistência à ruptura por flexão e fadiga. Essas características permitem que, no processo de fabricação de nãotecido, seja produzida uma fibra fina, gerando uma manta macia ao toque e com uma alta resistência. Aliada a estas características o polipropileno é atóxico, propriedade fundamental para a produção de fraldas descartáveis, absorventes e roupas médicas entre outros produtos que tem contato direto com o corpo humano.

Segundo Albuquerque (2001), o polipropileno é uma resina de baixa densidade que oferece um bom equilíbrio de propriedades térmicas, químicas e elétricas, acompanhadas de resistência física moderada. Outras propriedades do PP são descritas a seguir:

- ponto de amolecimento, 160°C, permitindo a esterilização de embalagens, acondicionamento de produtos quentes e cozimento em banho-maria;
- não é tóxico, permitindo seu uso em seringas hipodérmicas, embalagens de xaropes, comprimidos e alimentos gordurosos;
- é praticamente imune à fratura (*Stress Cracking*) em certos meios, por exemplo, detergentes sintéticos;
- alta rigidez, baixa massa específica, especialmente quando orientado, boa claridade e resistência às altas temperaturas (ponto de fusão de 170° C);
- propriedades mecânicas adequadas, quando reforçado, e suficientes para competir, em várias aplicações, com plásticos de engenharia de maior custo;
- boas propriedades que possibilitam uma fácil moldagem por injeção, além disso, pode ser estirado e orientado, propriedade fundamental para a produção de fibras e de filmes orientados.

As desvantagens do polipropileno são, basicamente, a pouca resistência ao impacto em baixas temperaturas, a faixa reduzida da temperatura de fusão e a baixa resistência à oxidação. A primeira desvantagem pode ser minimizada através da mistura com

polímeros de alta densidade (polietileno) ou copolímeros contendo eteno. A segunda pode ser eliminada por novas tecnologias na modificação ou formulação do próprio polímero e a terceira através da adição de antioxidantes.

2.1.1 Produção do polipropileno

O polipropileno é obtido através da polimerização do gás propeno (que é o monômero), utilizando catalisadores do tipo Ziegler-Natta (Z-N). Os processos utilizados para produção de polipropileno inicialmente foram projetados para lidar com as limitações dos catalisadores Z-N disponíveis. A remoção do catalisador do produto e a separação do polímero atático eram requeridos para obtenção de um produto adequado (MOORE, 1996). Hoje, com o desenvolvimento de novos catalisadores, os processos foram simplificados. Os mais importantes processos de polimerização de polipropileno existentes podem ser divididos em quatro tipos: polimerização em lama (*slurry*), polimerização em solução, polimerização em massa (*bulk*) e polimerização em fase gás. (REGINATO, 2001) As diferentes tecnologias existentes são utilizadas por diversas empresas ao redor do mundo e são escolhidas conforme a tecnologia da planta instalada e as estratégias econômicas.

2.1.2. Aplicações do polipropileno

Mais da metade do polipropileno produzido no mundo industrializado é destinada à produção de peças de automóveis, utensílios domésticos e carpetes. Apesar de estes mercados serem muito influenciados por ciclos econômicos, existem segmentos com altas taxas de crescimento no consumo de polipropileno ao longo dos anos como fabricação de embalagens e não tecido para filtros e roupas médicas. Esta alta taxa de crescimento é praticamente estrutural, devido à relativa baixa penetração em muitas aplicações já tecnicamente comprovadas (embalagens, moldagem industrial por sopro) ou emergentes (fios, não tecidos, filmes industriais, construção civil). O segmento de não tecidos também apresenta altas taxas de crescimento, incluindo as aplicações para produção de filtros, absorventes e roupas descartáveis.

2.2 Não tecido

Inicialmente o produto era denominado tecido não tecido e hoje este nome ainda é utilizado popularmente devido a questões históricas.

Para melhor entendimento do que é um não tecido, é importante saber o que é tecnicamente um tecido. Conforme ABNT/TB-392, tecido é uma estrutura produzida pelo entrelaçamento de um conjunto de fios de urdume e outro conjunto de fios de trama, formando ângulo de (ou próximo a) 90°.

Urdume é a denominação para o conjunto de fios dispostos na direção longitudinal (comprimento) do tecido e trama é o conjunto de fios dispostos na direção transversal (largura) do tecido.

Na Figura 2 estão apresentadas imagens ilustrativas de um tecido e um não tecido demonstrando a grande diferença na maneira como as fibras ficam tramadas.

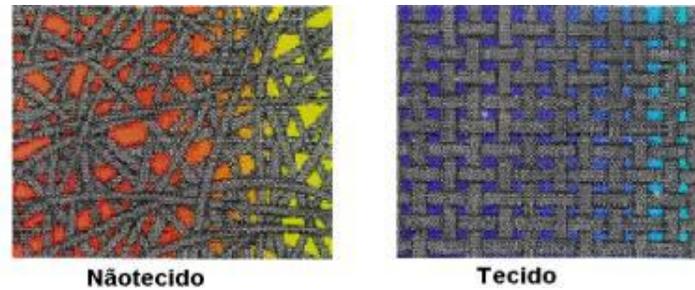


Figura 2.2: Nãotecido e tecido.
Fonte: ABINT, 2010

2.2.1 Breve histórico do não-tecido

Os não-tecidos surgiram devido a pressões e circunstâncias externas tais como: necessidade de simplificar o processo têxtil, necessidade de desenvolver novos tipos de produtos têxteis, necessidade crescente de reciclagem de resíduos e fibras, aspectos econômicos e possibilidade de aplicação de desenvolvimento de outras áreas industriais, (ABINT, 2010).

A evolução de vários processos com diferentes matérias-primas contribuiu muito para a consolidação da tecnologia de fabricação de não-tecido. Uma delas ocorreu em 1930 nos EUA onde surgiram as primeiras experiências para fabricação de não-tecido de celulose, consolidado com látex.

No setor têxtil, a obtenção do não-tecido foi possível depois de conferida a Carta Britânica nº 114. Esta foi concedida a Belford em 1853 e a tecnologia envolvia o uso de equipamentos como carda, esteira de transporte, impregnação e secagem para a fabricação de não-tecido para indústria de estofamentos.

Nos meados da década de 50 foram instaladas as primeiras grandes fábricas de não-tecido da América do Norte, México e Europa. E no final desta década surgiu o equipamento fabricado na Alemanha Oriental, denominado Maliwatt.

Atualmente, uma das maiores detentores de novas tecnologias é o grupo Reifenhauer que produz o maquinário Reicofil®, este é considerado o “estado da arte” na fabricação de não-tecido, e é o responsável pela fabricação dos equipamentos citados neste trabalho.

2.3 Balanços de Massa aplicados a uma estratégia de reciclagem

Um dos princípios fundamentais da engenharia é o balanço de massa e em muitas situações também associado ao balanço de energia. O balanço de massa é utilizado em um processo produtivo para fundamentar quantitativamente:

- eficiências;
- capacidades;
- rendimentos;
- dimensionamento de instalações e utilidades;
- dimensionamento de equipamentos.

O balanço de massa é baseado no princípio de conservação de massa para um volume de controle definido. Este pode ser considerado uma etapa de processo de produção, o processo completo ou até mesmo uma empresa.

Além de servir para verificar a compatibilidade de dados adquiridos, o balanço de massa permite também calcular valores que não estão disponíveis de forma direta, como, por exemplo, dados referentes a emissões, resíduos ou perdas. Estes valores podem ser apresentados na forma de massa, volume ou número de mols, composições mássica, volumétrica ou molar ou ainda na forma de taxas.

A lei da conservação de massa para um volume de controle estabelece que:

$$\int_{CV} \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \int_{SC} \rho(\vec{v} \cdot \vec{n}) dA = 0 \quad (1)$$

onde o primeiro termo representa a taxa de variação de massa no volume de controle e o segundo a taxa líquida de massa através da superfície de controle.

Quando o processo se encontra em estado estacionário o primeiro termo da equação (1) é igual a zero e o segundo termo, que representa as taxas mássicas de saída e de entrada do volume de controle, também fica igual a zero; isto é, o somatório das taxas mássicas de entrada é igual ao somatório das taxas de saída. Quando se trabalha com valores e propriedades médias de entrada e saída o sinal de integral é substituído pelo sinal de somatório, da seguinte forma:

$$\int_{SC} \rho(\vec{v} \cdot \vec{n}) dA = \left(\sum_{i=1}^n \rho v A \right)_{sai} - \left(\sum_{i=1}^n \rho v A \right)_{entra} \quad (2)$$

Neste caso, o balanço de massa por ser feito simplesmente pela análise das entradas e saídas do volume de controle analisado, mais especificamente pelo controle de matéria-prima, produtos e resíduos gerados:

$$(\text{taxa mássica das matérias-primas}) = (\text{taxa mássica dos produtos}) + (\text{taxa mássica de resíduos})$$

Os balanços de massa fornecem o conhecimento da origem do resíduo e da quantidade da matéria-prima revertida em material sem valor comercial. Esse conhecimento é essencial para uma gestão eficiente da planta, como citado por Hogland e Stenis (2000), o conhecimento e a análise dos dados existentes na produção dos resíduos e a sua composição formam a base para um futuro sistema de gerenciamento de resíduos na planta. Essa análise deve incluir informações detalhadas sobre a quantidade, o volume e as características dos resíduos.

Além dos benefícios na diminuição de gastos com matéria-prima, a reciclagem se tornou importante por questões legais. Segundo a lei n° 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), as empresas devem prevenir e reduzir no processo produtivo a geração de resíduos, tendo como objetivo a criação da prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos.

O motivo do esforço em incentivar a prática do consumo sustentável já no processo propicia, além de ganhos financeiros diretos, ganhos em energia devido a não utilização de energia beneficiando a matéria-prima. A reciclagem, segundo Oliveira e Rosa (2003), consiste em reutilizar o material para fins similares ao que foi originalmente produzido. E esta opção deve ser considerada como prioritária, considerando que o balanço de energia é mais positivo do que aquele obtido quando se utilizam os resíduos sólidos como combustível para gerar energia.

Empresas brasileiras transformadoras de plásticos e empreendedores investem cada vez mais na reciclagem diretamente no sistema de produção, não somente pela pressão ambientalista, mas por dois grandes motivos. O primeiro pela baixa complexidade dos equipamentos recicladores e pela possibilidade de adaptação em linhas já instaladas. Secundariamente, ao aumento da margem de lucro devido ao apelo ambiental que o material reciclado possui, segundo Polikem. Isso é possível devido às características mantidas pelo polipropileno após alguns ciclos de extrusão ou de sopro. Conforme Steffani e Finkler (1999), testes de resistência ao impacto e tração mostraram não haver significativa variação após dez ciclos de processamento de PP, sendo a cor e o índice de fluidez as propriedades mais alteradas.

Formas para melhorar as condições de reciclagem também têm sido estudadas como a adição de fibras de cocô como carga para aumentar as propriedades mecânicas do material reciclado. Visto que, conforme MORANDIM-GIANNETTI *et al.* (2012), a auto-oxidação via radicais livres iniciada por calor ou por processos mecânicos causa um efeito desestabilizador no índice de fluidez mais acentuado após diversas extrusões.

3 Fitesa Nãotecidos S.A.

Fundada em 1988, a Petropar constitui um grupo de empresas que tem direcionado seus recursos humanos e financeiros para construir um sólido grupo de negócios, atuando com sucesso no segmento de transformação de plásticos em suas unidades no Brasil e no exterior. Uma das empresas do grupo é focada em nãotecido, a Fitesa inicialmente localizada somente em Gravataí, hoje, é composta por dez unidades em quatro diferentes continentes.

A Petropar é uma companhia de capital aberto que surgiu de uma reestruturação administrativa e societária da Olvebra S.A., controlada até o ano de 1988 pelas famílias Ling e Tse. Com a cisão entre as famílias ocorrida no mesmo ano, os negócios do Grupo Olvebra foram divididos: a família Tse continuou no ramo da soja e a família Ling, com o ramo de petroquímica.

A Fitesa iniciou suas atividades em 1973, em Eldorado do Sul - RS, produzindo sacaria de polipropileno, e somente em 1990 ingressou no mercado de nãotecidos. O processo de transferência das operações para o Distrito Industrial de Gravataí - RS foi concluído em 1991, com a mudança da linha de produção de fibras. Em Gravataí, atualmente, estão ativas quatro linhas de produção de nãotecido Spunbonded, duas de nãotecido Meltblown, uma linha de produção de nãotecido capaz de combinar as tecnologias Spunbonded e Meltblown no mesmo processo produtivo, uma linha para laminação e uma nova linha de carda.

Os produtos da Fitesa são destinados a diversos mercados, sendo utilizados como matéria-prima para a indústria ou bens de consumo. As aplicações mais comuns são no ramo automobilístico, agrícola, decoração e higiênicos. Destes ramos o maior volume de venda é a fabricação de descartáveis higiênicos (fraldas descartáveis, absorventes higiênicos e lenços umedecidos, por exemplo), descartáveis médicos (aventais e toucas, barreiras microbiológicas, por exemplo) e na construção civil (cobertura para curva de concreto, por exemplo).

Em virtude das peculiaridades de cada um destes mercados, e buscando atendê-los de forma personalizada, a Fitesa está organizada em três grandes unidades de negócios, são elas: descartáveis (DE), descartáveis higiênicos (DH) e duráveis (DU).

3.1 Processo produtivo de não tecido

Para entender os processos de reciclagem dos nãotecidos, primeiramente é necessário entender a fabricação do nãotecido, já que muitas vezes a reciclagem ocorre diretamente no processo. As tecnologias utilizadas nas linhas estudadas neste trabalho são *spunbonded* e SMS, que é a unificação de duas tecnologias, a *spunbonded* e a *meltblown*. Estas duas tecnologias serão detalhadas a seguir.

3.1.1 Tecnologia Spunbonded

O nãotecido spunbonded é definido como “um nãotecido fabricado de filamentos contínuos estruturados e consolidados imediatamente após deixarem as fieiras”. Nesta tecnologia pode-se verificar também que a manta formada a partir dos filamentos é um

material têxtil fabricado diretamente de polímeros num processo integrado com a produção de fibras.

As principais propriedades dos não-tecidos advindos destas tecnologias são:

- filamentos contínuos que conferem boa resistência mecânica, em todas as direções do não-tecido;
- possibilidade de utilização de *masterbatches* gerando uma ampla gama de cores;
- possibilidade de fabricação de diferentes gramaturas, na faixa de 10 a 120 g/m²;
- possibilidade de fabricação de não-tecido com propriedades hidrofílicas ou hidrofóbicas;
- possibilidade de fabricação de não-tecido hidrofílico e hidrofóbico na mesma bobina (tratado por zonas);
- boa resistência à abrasão;
- possibilidade de fabricação de não-tecido repelente a álcool;
- possibilidade de fabricação de não-tecido com agente que minimiza a ação dos raios ultravioletas do sol;
- possibilidade de fabricação de não-tecido com aditivação que elimina a eletricidade estática;
- acondicionamento em rolos, com metragem linear ajustada às necessidades do mercado.

De maneira a entender o processo de filamento contínuo, deve-se observar primeiramente o processo de extrusão da fibra química. Na Figura 3 estão apresentados os processos de extrusão das fibras e de formação da manta de não-tecido, descrevendo cada item do processo.

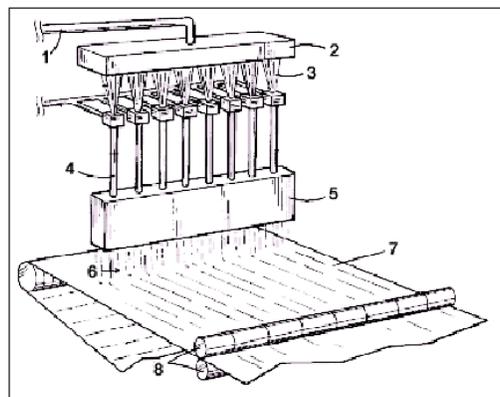


Figura 3.1: Esquema do processo de formação do não-tecido.

- 1) Alimentação do polímero fundido;
- 2) Matrizes de fiação;
- 3) filamentos;
- 4) tubos de estiragem;
- 5) dispersão dos filamentos;
- 6) filamentos dispersos;
- 7) manta transportadora;
- 8) calandra de soldagem dos filamentos.

Fonte: Reiter (2002)

As matrizes de fiação são blocos metálicos perfurados, com furos de diâmetros iguais conforme apresentado na Figura 4.

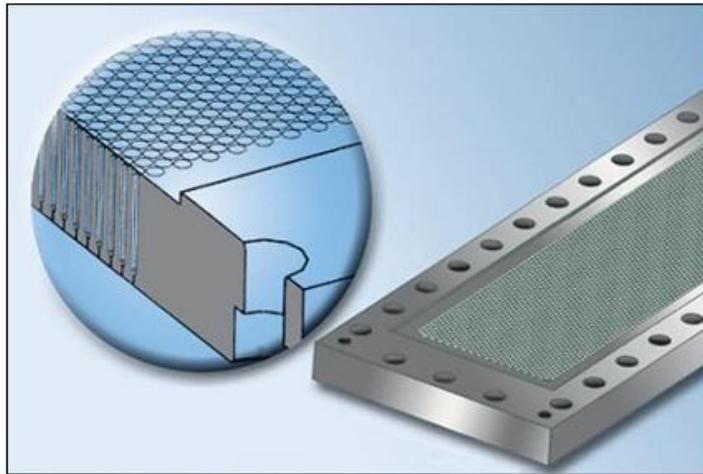


Figura 3.2: Desenho de uma matriz de fiação para do processo *spunbonded*.
Fonte: REICOFIL (2009)

O polipropileno utilizado na confecção do filamento possui a forma de pellets. O polímero entra na extrusora juntamente com o *masterbatch*, neste momento pode ser feita, através de dosadores apropriados, a adição de produtos para conferir características desejadas ao não-tecido. O reciclado que é puxado da sala de reciclagem através de roscas, é fundido em uma coextrusora, também chamada de extrusora lateral, e a massa fundida do reciclado é adicionada à massa fundida de PP virgem na extrusora principal onde são misturadas, aquecidas e forçadas através das matrizes de fiação no balcão de fiação por bombas. Estas fieiras têm pequenos furos, que podem ser formadas por diferentes figuras e dimensões para transformar o polímero em filamentos. Os filamentos são estirados e resfriados pelo ar de estiragem, sendo logo depois distribuídos sobre a esteira em velocidade determinada pela gramatura desejada para o não-tecido. Esta manta formada pelos filamentos pouco aderidos uns aos outros segue para a calandra para a consolidação dos filamentos. Esse processo é denominado calandragem e devido à pressão e à temperatura elevadas une os filamentos e forma a manta.

O polipropileno é apolar e a água é polar, respectivamente, portanto não se misturam, motivo pelo qual a manta formada não permite a passagem de água. Quando se deseja alterar esta propriedade, é adicionado à superfície da manta um surfactante que, fixando-se a ela, permite a passagem de água. Esse etapa na produção do não-tecido ocorre no aplicador de surfactante, que dependendo da tecnologia de aplicação é chamado de kiss roll (rolo) ou Veko (rotores).

Após passar pela etapa de adição de surfactante, a manta passa por um tambor secador para secar a água contida no surfactante. Quando não é aplicado surfactante, o aquecimento e a ventilação do tambor secador são desligados para diminuir o gasto com energia, entretanto a passagem é obrigatória devido ao *layout* da linha produtiva.

Saindo do secador, a manta é enrolada em um eixo, formando assim os chamados rolos jumbos. Em seguida, estes rolos jumbo vão para as máquinas de corte, onde a manta é cortada em vários rolos menores, chamados de bobinas, na largura e metragem linear definida pelo cliente. Estas bobinas então passam para a embalagem para serem embalados com filme plástico e seguem para o estoque. A sequência de etapas para a produção do não-tecido até sua forma final está esquematizada na Figura 5.

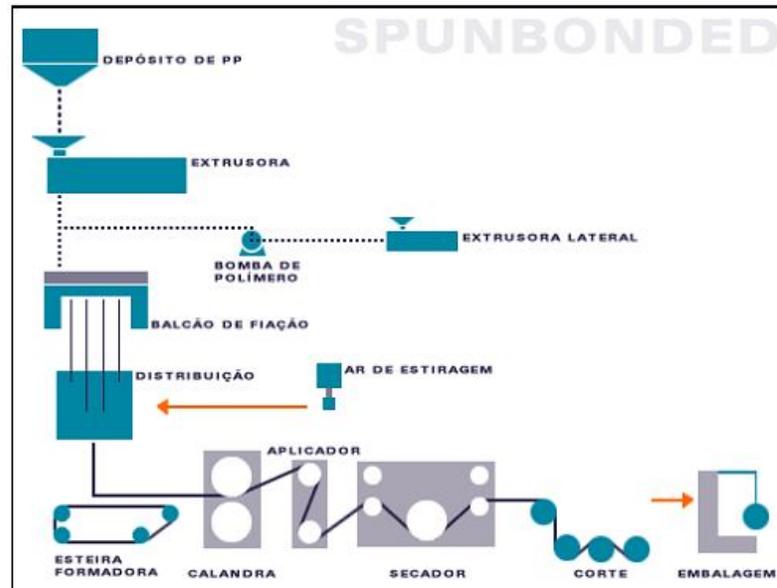


Figura 3.3: Fluxograma do processo de fabricação do não tecido spunbonded.
Fonte: REICOFIL (2009)

3.1.2 Tecnologia Meltblown

A principal diferença do meltblown é o diâmetro dos filamentos que são 1,5 a 10 vezes menores que o normal de uma fibra têxtil, seu diâmetro varia entre 1 a 8 microm, contra 15 a 20 microm das fibras normais. Essas fibras apresentam cadeias moleculares pouco orientadas, com conseqüente redução do alongamento residual, em relação à fibra sintética.

Com relação ao processo, a sua distinção está no estiramento do filamento que é por forte fluxo de ar quente, sendo este ar quente é o responsável pelas fibras de diâmetro menores e menor comprimento. Dessa forma, as fibras são curtas e sobrepostas em várias camadas, diferentemente do spunbonded onde as fibras são contínuas e muito pouco sobrepostas.

3.1.3 Tecnologia SMS – Spunbonded/Meltblown/Spunbonded

O processo SMS fabrica produtos a partir da combinação de mantas de multicamadas de filamentos contínuos (*spunbonded*) e de sopro (*meltblown*). Essa tecnologia é produzida na linha RSX a qual é ilustrada pela Figura 6.

O não tecido obtido por este processo é composto por duas camadas externas de *spunbonded* e de uma interna de *meltblown*, o que lhe confere características mais versáteis e torna o material mais eficiente para variadas aplicações, pois resulta da combinação das melhores características de cada processo.

O processo consiste na formação do meltblown sobre uma manta de *spunbonded*, a qual está sendo produzida ao mesmo tempo em uma etapa anterior, e logo em seguida a este processo, há a formação do *meltblown*. E sobre essas duas camadas é sobreposta outra camada de *spunbonded* formando assim o SMS.



Figura 3.4: Visão geral da linha produtiva de não-tecido SMS.
Fonte: REICOFIL (2009)

4 Metodologia

Na empresa onde este trabalho foi realizado há oito linhas de produção e dentro delas foram escolhidas duas para serem estudadas, devido a estas possuírem o maior volume de material produzido e a maior diversidade de produtos. Elas serão denominadas como RSX e RSY, levando em consideração o estado e a ordem em que foram instaladas. Os dados foram recolhidos no período de um ano (2011-2012) e as taxas das correntes estão expressas em vazão mássica.

As correntes de entrada analisadas foram o polipropileno virgem, aditivo sólido, reciclado em pellet, *masterbatch* (pigmento responsável pela cor), reciclado em forma de não tecido. Estas correntes entram na extrusora diretamente no caso do PP virgem, do aditivo sólido e do reciclado em pellet e indiretamente através da coextrusora, a corrente de reciclado na forma de não tecido. O fluxograma com as principais correntes mencionadas estão exemplificadas na Figura 4.1.

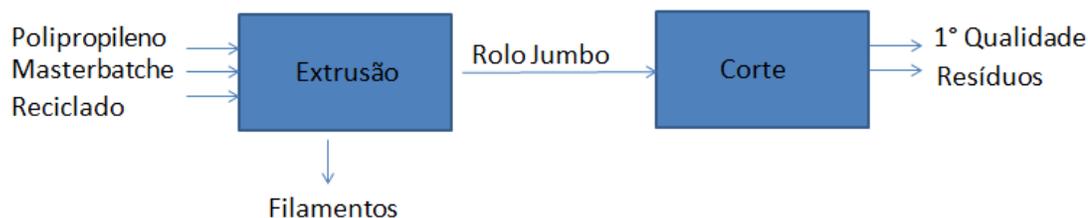


Figura 4.1: Fluxograma com as principais correntes do processo.

A corrente de bobinas de primeira qualidade é uma corrente de saída, que após o corte é enviada para a embaladora e segue o fluxo até o estoque.

Adicionalmente existem duas correntes que não serão consideradas: a corrente de surfactante e a corrente de oligômero. A primeira é adicionada no *kiss roll* para tornar o produto hidrofílico e a água contida nele é retirada na etapa seguinte, chamada de tambor secador. Como a quantidade de surfactante adicionada é pequena e a maior parte desta é evaporada, essa corrente pode ser desconsiderada sem prejudicar o balanço de massa do processo. A outra corrente será descrita posteriormente.

Cada corrente foi monitorada de formas diferentes, a seguir é apresentada a descrição de como cada uma foi acompanhada.

Corrente de polipropileno virgem (PPV) - entrada

O PPV é armazenado em silos localizados ao lado de cada planta e é transportado até a extrusora através de um sistema pneumático. A entrada dele no sistema é controlada indiretamente pela rotação das bombas da extrusora e monitorada por uma célula de carga. A vazão mássica de PPV é mostrada pelo supervisor da máquina. A rotação da bomba controla diretamente a massa de fundido que ultrapassa a matriz, sendo o fundido constituído por todas as entradas e majoritariamente por PPV.

Corrente de aditivos sólidos - entrada

A maioria dos aditivos sólidos tem o formato de pellet, estes são utilizados quando o material produzido necessita algum aditivo sólido como anti-UV, *masterbatches* ou até mesmo material já reciclado e transformado em pellets. A dosagem é controlada por equipamentos chamados dosadores e a dosagem mássica é feita por percentual sobre a quantidade de PPV. O supervisor da máquina também disponibiliza esse dado de vazão.

Corrente de reciclagem via direta - entrada

As bobinas de nãotecido que não são consideradas produtos de primeira qualidade são dispostas numa sala para que possam ser recicladas por dois diferentes sistemas.

O primeiro puxa o nãotecido desbobinando as bobinas a serem recicladas por uma rosca que insere o material diretamente na coextrusora. Esse sistema é utilizado nas três extrusoras da linha RSY e em uma extrusora da linha RSX. As outras duas extrusoras da linha RSX também reciclam através de uma coextrusora, entretanto o nãotecido passa por um processo de moagem em um moinho de facas para depois ser inserido na coextrusora. Esse dois sistemas não possuem controladores para monitoramento da vazão e estes dados são obtidos pela diferença entre a massa de fundido bombeado pelas bombas da extrusora e a quantidade das outras entradas. Isto é possível pois as outras entradas do processo possuem controladores de vazão.

Corrente de oligômero - saída

A corrente de oligômero é oriunda da quebra química da cadeia do polímero em cadeias menores. O vapor oriundo do processo de extrusão é succionado na lateral da face da matriz e condensado em tubulações que recolhem o material em reservatórios, que são destinados a aterros sanitários. A vazão desta corrente não é monitorada diretamente, o controle é realizado em função da vazão de ar succionada na face da matriz, entretanto a quantidade por componente desta vazão não é mensurada. Na Figura 7 está representada uma fotografia do tanque reservatório de oligômero.



Figura 4.2: Fotografia do reservatório de oligômero.

As correntes de saída da extrusão são o rolo jumbo, filamentos e oligômero.

Corrente de produto - rolo jumbo – intermediário

A corrente de produto é representada pelo rolo jumbo, que são rolos de não-tecido de aproximadamente três metros de diâmetro e 3,6m de largura no caso da linha RSX e 4,6m na linha RSY, que está mostrada na Figura 8. Eles podem conter somente um tipo de produto ou dois dependendo do plano de amostragem para análise do produto. Quando é composto por mais de um produto este possui uma parte de ajuste de variáveis que é considerado refugo, pois se trata de material de transição e que não atende à especificação do cliente. A vazão desta corrente não é controlada por massa e sim por metragem linear de produto. O rolo jumbo é expelido pela máquina quando chega a um diâmetro máximo de 3,2m ou por uma metragem linear pré-especificada, sendo a quantidade de rolo jumbo produzida por hora definida pela velocidade da linha de extrusão.



Figura 4.3: Rolo jumbo posicionado para iniciar o corte.

O rolo jumbo é considerado uma corrente de saída da extrusão, mas é também uma corrente de entrada na máquina de corte. Este é cortado em bobinas menores seguindo a largura especificada pelo cliente, sendo assim temos como corrente de saída do corte bobinas de primeira qualidade, aparas e eventuais resíduos cadastrados conforme a ocorrência.

A corrente de aparas é a maior fonte em massa de resíduos. Ela é proveniente das laterais dos rolos jumbos devido à gramatura irregular causada pela variação na dispersão das fibras, estas devem ter uma largura mínima para segurança de qualidade e processo. Na Figura 9 está apresentada uma fotografia da disposição das aparas, que são empilhadas para serem pesadas e cadastradas como resíduo.



Figura 4.4: Aparas empilhadas para serem pesadas e cadastradas como resíduo.

Durante o processamento, diferentes tipos de defeitos podem ser identificados no corte e, para um melhor controle da produção, é feito um cadastro de acordo com defeitos pré-definidos.

Corrente de bobinas fora da especificação representa uma corrente de saída composta pelas bobinas com a largura fora do limite de tolerância de variação ou com defeitos de uniformidade. São cadastradas como não conformes e direcionadas para ser reciclada diretamente nas coextrusoras.

Corrente de embuchamento também é uma corrente de saída, composta pelo não-tecido que se acumula nas facas de corte e provoca o arrebitamento da manta que esta sendo cortada. Isso faz com que várias voltas de material do rolo jumbo sejam descartadas.

Corrente de trocas de cor é uma corrente de saída que ocorre sempre que é necessário trocar definitivamente a cor. Nesta transição são produzidos materiais com variação de cor que são considerados refugo e são enviados para reciclagem direta como material não conforme.

Corrente da manta de partida – saída

A manta de partida é uma corrente de saída como o rolo jumbo, mas só é produzida em casos especiais de operação. Diferente do rolo jumbo que possui material de primeira qualidade, a manta de partida é um material considerado resíduo, possui média a alta gramatura e é utilizada para proteção da esteira quando a máquina está começando a operar. Assim como o rolo jumbo esta corrente é mensurada e controlada por metragem linear de produto, sendo que a massa total do rolo de manta de partida pode ser calculada pela gramatura do não-tecido.

Corrente de filamentos – saída

No início do processo, a linha deve ser preparada seguindo uma sequencia de passos para garantir a qualidade do material e a segurança da produção. Um desses passos é chamado “fiar”, que consiste fabricar filamentos de polipropileno sem que ele chegue à esteira. Na Figura 10 está apresentada a matriz com os filamentos sendo acumulados. Esse processo gera fibras que não podem ser recicladas diretamente na

fábrica. A vazão desta corrente é determinada apenas para o início do processo e é quantificada em quilogramas. Sua vazão é baixa, pois esta somente é gerada devido a paradas e partidas da máquina, que idealmente, deveria ocorrer uma vez ao mês.



Figura 4.5: Filamentos de polipropileno sendo extrudados.

Baseado nos dados das entradas e dos cadastros dos resíduos produzidos foi montado um fluxograma das correntes do processo com o objetivo de realizar o balanço de massa por produto. Este fluxograma está exemplificado na Figura 11 e inclui a quantidade de todos os resíduos descritos anteriormente e suas respectivas vazões de entrada e saída. Desta forma, é possível identificar a quantidade percentual de refugo e a visualização da quantidade estimada dos resíduos distribuídos em categorias.

Os dados foram estimados pelas quantidades de resíduos dos anos de 2011 e nos primeiros meses de 2012 e utilizando as planilhas de produção e programação de lotes. A quantidade de aparas foi calculada considerando o aproveitamento de manta para cada lote produzido e não por estimativa, visto que ela pode ser calculada e quantificada já na programação do lote.

Para apresentar os resultados obtidos e para evidenciar os produtos com maior geração de resíduos, foram selecionados seis produtos, dois com os maiores volumes de produção, dois com alta gramatura e dois com baixa gramatura sendo cada par selecionado dividido em um produto branco e um colorido.

Balanço de massa

Dados:

Familia Aditivo Cor Gramatura

B/C

Produto a ser produzido:

Aproveitamento de manta

Tempo de produção - horas

Produção Total (Kg)

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<80	500,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<80	500,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<80	500,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Rotação (rpm)	PP (Kg/h)	MB (Kg/h)
<60	400,00	6,00

Filamentos
10,00

Extrusão (kg/h)
2300,00

Corte
2300,00

1ª qualidade(kg/h)
2000,00

Re-peletizadora (Kg/h)
100,00
Resíduos
200,00

Coextrusoras
50,00
50,00
50,00

-50,00

Figura 4.6: Fluxograma das correntes do processo produtivo de nãotecido.

5 Resultados e Discussão

Conforme os dados de produção, foram verificados que os maiores volumes produzidos foram o SMS baixa gramatura branco e colorido da linha RSX e o Spun tratado por zonas baixa gramatura branco e colorido da linha RSY. Para uma melhor visualização os produtos, os respectivos códigos e linhas de produção estão apresentadas na Tabela 1. Com os dados de processo, também foi verificado que, para altas gramaturas, os produtos mais vendidos são o SMS alta gramatura branco e colorido da linha RSX. A escolha dos produtos foi realizada com a proposta de estratificar os mais vendidos e a gama de produtos que exemplificasse o maior número de variáveis de processo, sendo assim, foram escolhidos esses produtos para mostrar os balanços de massa.

Tabela 1: Descrição dos produtos escolhidos

Produtos	Código	Linha
Spunbonded-Meltblown-Spunbonded hidrofílico Gramatura menor que 20gsm Cor Branco	SMS hidrofílico Branco Baixa gramatura	RSX
Spunbonded-Meltblown-Spunbonded hidrofílico Gramatura menor que 20gsm Colorido	SMS hidrofílico Colorido Baixa gramatura	RSX
Spunbonded tratado por zonas Gramatura menor que 20gsm Cor Branco	Spun TZ Branco Baixa gramatura	RSY
Spunbonded tratado por zonas Gramatura menor que 20gsm Colorido	Spun TZ Colorido Baixa gramatura	RSY
Spunbonded-Meltblown-Spunbonded hidrofóbico Gramatura maior que 40gsm Cor Branco	SMS Branco Alta gramatura	RSX
Spunbonded-Meltblown-Spunbonded hidrofóbico Gramatura maior que 40gsm Colorido	SMS Colorido Alta gramatura	RSX

A Tabela 2 apresenta o balanço de massa com as principais correntes de entrada e saída para diferentes aproveitamentos de manta do produto SMS baixa gramatura branco. O aproveitamento de manta é o percentual de utilização considerando a manta útil. Esta é calculada tomando-se a largura total de manta de cada linha e considerando-se o percentual de encolhimento pela gramatura e pelo tensionamento de embobinamento. Sendo assim, foi considerada para cada produto uma largura útil apropriada e foram escolhidas três diferentes possibilidades de configuração com um mínimo aceitável para o aproveitamento de 80%.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, maiores aproveitamentos de manta acumulam menos resíduo para reciclar e somente para o aproveitamento de manta de 80% teríamos um excedente de resíduos de 4 kg h^{-1} , pois a capacidade máxima de reciclagem para essa linha é 460 kg h^{-1} . Para os aproveitamentos de 90% e 99% seria possível também, por sobra de capacidade, reciclar produtos proveniente de outras produções ou até mesmo de outras linhas. A diferença das taxas das correntes de entrada das correntes de saída são divergentes em 1%. Resultado que representa um número muito satisfatório frente às variáveis do processo, já que pode-se ter variações de gramatura nas bobinas devido ao tensionamento utilizado na máquina de corte. Outro

fator provável fonte de variação é a tolerância na variação da largura em cada bobina que, para larguras pequenas, pode alterar significativamente o aproveitamento útil total.

Na Tabela 3, estão apresentados os dados de balanço para as correntes de saída considerando o tempo de formação do rolo jumbo na extrusão, ou seja, foi considerado que para o produto SMS baixa gramatura hidrofílico o tempo que o material leva para começar a ser cortado e conseqüentemente os primeiros materiais para serem dispostos para reciclar é de 3 horas e 30 minutos. Sendo assim, durante o tempo entre o começo da produção de material e começo da reciclagem dos resíduos gerados por esse produto as linhas poderiam reciclar material acumulado de outras produções, porém não poderia reciclar na produção o resíduo deste mesmo produto. O resíduo acumulado que poderia ser reciclado neste tempo de espera seria de 1614 kg para um material com aproveitamento de manta de 80%, 1057 kg para um aproveitamento de manta de 90% e 546 kg para 99%.

Vale ressaltar que, o resíduo acumulado, em todas as tabelas, está em kg e representa a quantidade de material que não está disponível para reciclar nas primeiras horas, por exemplo, na Tabela 3 o valor 1614 kg é o resíduo acumulado (464 kg h^{-1}) multiplicado por 3,5 horas, aproximadamente.

Para o mesmo material, porém com cor diferente do branco, foram calculadas aproximadamente as mesmas vazões para produto de primeira qualidade, este resultado indica que a geração de resíduo durante a mudança de cor é pequena quando comparada as outras correntes de resíduo. Os resultados de balanço de massa para o produto SMS baixa gramatura colorido estão apresentados na Tabela 4. A diferença mais expressiva se deve ao período de troca de cor entre diferentes produtos. Para garantir a cor padrão sem tons intermediários e fora da especificação do cliente, o tempo necessário para ajustar corretamente a cor é em torno de 30 minutos, isso aumenta diretamente o tempo entre o começo da produção e o início da reciclagem e conseqüentemente aumenta a quantidade de material acumulado. Estes dados estão apresentados na Tabela 5. Adicionalmente a isso, o material produzido na transição de cores não pode ser reciclado diretamente se a cor subsequente for mais clara que a anterior, pois isso iria alterar a cor do produto de primeira qualidade. Assim dos 1844 kg do material acumulado, para 80% de aproveitamento de manta, aproximadamente 320 kg deve ser reciclado na recicladora, utilizando pellets. Os restantes 1524 kg podem ser reciclados diretamente na linha produtiva, que considerando a capacidade máxima das co-extrusoras e das roscas puxadoras irá ser reciclado em aproximadamente 4 horas. Caso a cor subsequente for mais escura e do mesmo tom da anterior todos os 1844 kg poderão ser reciclados diretamente.

O balanço de massa do produto spun tratado por zonas baixa gramatura branco está representado nas Tabelas 6 e 7. A quantidade de resíduo gerado para os aproveitamentos de manta de 80%, 90% e 99% são, respectivamente, 639 kg h^{-1} , 399 kg h^{-1} e 183 kg h^{-1} . Como é possível verificar na Tabela 7 a capacidade de reciclagem direta da linha RSY é 600 kg h^{-1} , para o aproveitamento de manta de 80% tem-se 39 kg h^{-1} de material acumulado que poderia ser armazenado para posterior reciclagem direta ou encaminhado para a recicladora para ser novamente peletizado. Na Tabela 7, por analogia com a Tabela 3, também são apresentadas as correntes de saídas. Gramaturas baixas tendem a demorar mais tempo para completar um rolo jumbo, conseqüentemente demoram mais tempo para retornar o reciclado para linha. Neste caso como mostrado na

Tabela 7 o tempo médio de retorno são 3 horas, devido a isso a quantidade acumulada é 1995 kg para 80%, 1197 kg para 90% e 550 kg para aproveitamento útil de 99%.

Nas Tabelas 8 e 9 estão apresentados os dados para os balanços materiais do produto Spun tratado por zonas baixa gramatura colorido, analogamente o ponto de diferenciação entre o material colorido e branco é notado no maior acúmulo de material devido a troca de cor. Como resultado tem-se 2297 kg, 1397 kg e 642 kg para os aproveitamentos de manta, 80%,90% e 99%, respectivamente.

O produto de maior gramatura com grande volume de venda é o SMS alta gramatura hidrofóbico branco e os dados das taxas para o balanço de massa estão representados na Tabela 10 e os dados para o alta gramatura SMS hidrofóbico colorido estão dispostos na Tabela 12. As Tabelas 11 e 13 mostram as correntes de saída para esse produto sendo que a tabela 11 é para o material de cor branca e a 12 para material colorido. Observa-se que para gramaturas mais elevadas o tempo para completar um rolo jumbo é menor, aproximadamente 2 horas e 20 minutos. Devido a isso o material acumulado é menor: 1652 kg para aproveitamento 80%, 763 kg para 90% e 327 kg para 99%. E para material colorido, tem-se: 1616 kg para 80%, 827 kg para 90% e 354 kg para 99% de aproveitamento da manta.

Para os balanços do material alta gramatura SMS hidrofóbico, tanto branco quanto colorido, obteve-se uma diferença entre as taxas de correntes das entradas e saídas em torno de 1%. Resultado satisfatório frente à complexidade das variáveis, mas coerente com o método utilizado uma vez que os cálculos foram feitos utilizando médias dos dados levantados para cada produto.

Outro fator relevante para reciclagem através do sistema de puxadeiras é a influência da gramatura do não-tecido puxado. Materiais com baixa gramatura desbobinam mais facilmente ao serem puxados, mas necessitam maior número de bobinas sendo recicladas para atender a capacidade máxima das recicladoras. O contrário acontece para materiais com alta gramatura. Estes não desembobinam tão facilmente quanto baixas gramaturas e frequentemente engasgam na entrada da recicladora quando estão em grande quantidade. Para evitar os problemas apresentados, uma das soluções é utilizar bobinas para reciclar de diferentes gramaturas, visto que existe um acúmulo de materiais na maioria das produções com aproveitamento útil de 80% ou menor. Para isso, o balanço material dos produtos assim como o conhecimento das características do refugo se tornam essenciais para programar a melhor combinação de materiais dispostos na recicladora.

Tabela 2: Valores em kg h⁻¹ das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto SMS hidrofílico baixa gramatura branco.

	Aproveitamento de manta	Tempo de produção	Entradas					Saídas			
			PP	Aditivo	Masterbacthes	Reciclado NT	Reciclado Pellet	Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	Resíduo	
SMS hidrofílico Branco	80%	5:00	1188	0	9	460	60	6	1256	7	464
Baixa gramatura	90%	5:00	1346	0	9	302	60	6	1418	7	302
	99%	5:00	1492	0	9	156	60	6	1563	7	156

Tabela 3: Valores em kg h⁻¹ das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto SMS hidrofílico branco.

	Aproveitamento de manta	Saídas								
				1° hora	2° hora	3° hora	4° hora	5° hora	Acumulado	
		Filamentos: 1° qualidade	Resíduo venda	Resíduo			Kg			
SMS hidrofílico Branco	80%	6	1256	7	0	0	0	230	460	1614
Baixa gramatura	90%	6	1418	7	0	0	0	151	302	1057
	99%	6	1563	7	0	0	0	78	156	546

Tabela 4: Valores em kg h⁻¹ das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto SMS hidrofílico baixa gramatura colorido

	Aproveitamento de manta	Tempo de produção	Entradas					Saídas			
			PP	Aditivo	Masterbacthes	Reciclado NT	Reciclado Pellet	Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	Resíduo	
SMS hidrofílico Colorido	80%	5:00	1185	0	11	460	60	6	1253	7	464
Baixa gramatura	90%	5:00	1343	0	11	302	60	6	1412	7	302
	99%	5:00	1489	0	11	156	60	6	1560	7	156

Tabela 5: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto SMS hidrofílico colorido.

	Aproveitamento de manta	Saídas								
		Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	1° hora	2° hora	3° hora	4° hora	5° hora	Acumulado	
				Resíduo						Kg
SMS hidrofílico Colorido	80%	6	1253	7	0	0	0	0	460	1844
Baixa gramatura	90%	6	1412	7	0	0	0	0	302	1208
	99%	6	1560	7	0	0	0	0	156	624

Tabela 6: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto Spun tratado por zonas baixa gramatura branco.

	Aproveitamento de manta	Tempo de produção	Entradas					Saídas			
			PP	Aditivo	Masterbacthes	Reciclado NT	Reciclado Pellet	Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	Resíduo	
Spun TZ Branco	80%	5:00	1868	0	6	600	60	4	1891	3	639
Baixa gramatura	90%	5:00	2069	0	6	399	60	4	2131	3	399
	99%	5:00	2284	0	6	183	60	4	2347	3	183

Tabela 7: Valores em kg h^{-1} das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto Spun tratado por zonas baixa gramatura branco.

	Aproveitamento de manta	Saídas								
		Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	1° hora	2° hora	3° hora	4° hora	5° hora	Acumulado	
				Resíduo						Kg
Spun TZ Branco	80%	4	1253	3	0	0	0	600	600	1995
Baixa gramatura	90%	4	1412	3	0	0	0	399	399	1197
	99%	4	1560	3	0	0	0	183	183	550

Tabela 8: Valores em kg h⁻¹ das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto Spun tratado por zonas baixa gramatura colorido.

	Aproveitamento de manta	Tempo de produção	Entradas					Saídas			
			PP	Aditivo	Masterbacthes	Reciclado NT	Reciclado Pellet	Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	Resíduo	
Spun TZ Colorido	80%	5:00	1848	0	26	600	60	4	1891	3	639
Baixa gramatura	90%	5:00	2049	0	26	399	60	4	2131	3	399
	99%	5:00	2265	0	26	183	60	4	2347	3	183

Tabela 9: Valores em kg h⁻¹ das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto Spun tratado por zonas baixa gramatura colorido.

	Aproveitamento de manta	Saídas								
		Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	1° hora	2° hora	3° hora	4° hora	5° hora	Acumulado	
				Resíduo						Kg
Spun TZ Colorido	80%	4	1253	3	0	0	0	320	600	2297
Baixa gramatura	90%	4	1412	3	0	0	0	200	399	1397
	99%	4	1560	3	0	0	0	92	183	642

Tabela 10: Valores em kg h⁻¹ das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto SMS hidrofóbico alta gramatura branco.

	Aproveitamento de manta	Tempo de produção	Entradas					Saídas			
			PP	Aditivo	Masterbacthes	Reciclado NT	Reciclado Pellet	Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	Resíduo	
SMS Branco	80%	5:00	1612	0	3	460	60	4	1574	9	520
Alta gramatura	90%	5:00	1713	0	3	359	60	4	1776	9	318
	99%	5:00	1895	0	3	177	60	4	1957	9	136

Tabela 11: Valores em kg h⁻¹ das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto Spun tratado por zonas alta gramatura colorido.

	Aproveitamento de manta	Saídas										
		1° hora			2° hora		3° hora		4° hora		5° hora	Acumulado
		Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	Resíduo						Kg		
SMS Branco	80%	4	1574	3	0	0	312	460	460	1652		
Alta gramatura	90%	4	1776	3	0	0	191	318	318	763		
	99%	4	1957	3	0	0	82	136	136	327		

Tabela 12: Valores em kg h⁻¹ das principais correntes de entradas e saídas para diferentes aproveitamentos de manta - produto SMS hidrofóbico alta gramatura branco.

	Aproveitamento de manta	Tempo de produção	Entradas					Saídas			
			PP	Aditivo	Masterbacthes	Reciclado NT	Reciclado Pellet	Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	Resíduo	
SMS Colorido	80%	5:00	1597	0	18	460	60	4	1567	9	520
Alta gramatura	90%	5:00	1633	0	18	425	60	4	1776	9	318
	99%	5:00	1814	0	18	243	60	4	1957	9	136

Tabela 13: Valores em kg h⁻¹ das principais correntes de saída para diferentes aproveitamentos de manta – produto SMS hidrofóbico alta gramatura colorido.

	Aproveitamento de manta	Saídas										
		1° hora			2° hora		3° hora		4° hora		5° hora	Acumulado
		Filamentos 1° qualidade	Resíduo venda	Resíduo						Kg		
SMS Colorido	80%	4	1574	3	0	0	172	460	460	1616		
Alta gramatura	90%	4	1776	3	0	0	105	318	318	827		
	99%	4	1957	3	0	0	45	136	136	354		

6 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

O levantamento dos volumes de produção por produto demonstrou que materiais com mais baixa gramatura são mais vendidos que materiais de alta gramatura. Esse dado se mostrou coerente com a realidade, pois as duas linhas produtivas analisadas neste trabalho são voltadas para o mercado de descartáveis higiênicos e para esse mercado materiais com menores gramaturas são utilizados em várias partes das fraldas e dos absorventes como cobertura, barreira, envelopamento de polpa entre outros. Já os materiais com maiores gramaturas são utilizados para orelhas de fraldas que representam percentualmente um número inferior em aplicações nos produtos higiênicos.

Conforme os resultados apresentados foi verificado que para os produtos SMS hidrofílico baixa gramatura, Spun tratado por zonas baixa gramatura e o SMS hidrofóbico alta gramatura para 80% de aproveitamento de manta já se tem um acúmulo de material independente se o material produzido estivesse disponível para reciclagem. Partindo deste dado é possível decidir entre algumas estratégias de gerenciamento de resíduos como aumentar a capacidade dos equipamentos de reciclagem, limitar o aproveitamento de manta para um valor acima de 80%, aumentar o preço de venda de produtos com esse aproveitamento, armazenar o resíduo e reciclar em uma produção que não utilize a capacidade máxima dos equipamentos de reciclagem ou encaminhar o material para a linha recicladora que irá re-peletizá-lo e, então este material poderá ser reciclado por via dosadores.

Materiais coloridos devem ser programados em uma escala de cor clara para escura e numa sequencia parecidas de tonalidades, para que o resíduo proveniente das trocas de cor seja reciclado diretamente nas linhas produtivas evitando acúmulos e gastos de energia para reciclar na linha peletizadora. A quantidade mínima a ser produzida também é um fator importante, pois tempos muito curtos de produção impossibilitam que o material colorido seja reciclado na sua mesma cor devido ao tempo de produção e tempo de corte.

Uma programação eficiente das máquinas minimiza a quantidade de material a ser reciclado em máquinas peletizadoras, pois através de uma sequencia adequada de materiais é possível reciclar acúmulos de materiais em produtos já no começo da produção.

As possibilidades e as estratégias a serem seguidas somente podem ser escolhidas conhecendo-se as correntes e o tipo de resíduo gerado. Baseado nesta premissa o fluxograma de processo com a definição numérica das correntes foi criado. Com essa ferramenta os balanços materiais de 70% dos produtos da empresa podem ser calculados e estudados para um melhor gerenciamento dos resíduos. Os balanços materiais permitem uma visão amplificada do processo possibilitando a reciclagem de forma direta e evitando a reciclagem através da re-peletização que consome energia e mão de obra operacional.

As perspectivas futuras são o estudo de uma maior gama de materiais destas duas linhas e a expansão da criação do fluxograma e dos balanços materiais para todas as linhas de produção da empresa, assim será possível identificar melhor as oportunidades de melhorias na reciclagem ou mudanças no processo que possam melhorar a eficiência da reciclagem, assim como, diminuir a geração de resíduos. Como alternativas de

alteração do processo temos o aumento da largura útil da manta ou o aumento da velocidade da linha que irá reduzir o tempo de formação do rolo jumbo.

Também, como continuidade deste trabalho, propõe-se a implementação dos balanços de massa para as linhas mais antigas, que são desprovidas de sensores para todas as vazões, pois isso irá possibilitar uma visão macro da empresa e a identificação de maiores oportunidades de atuação assim como a possibilidade de reciclar produtos de linhas diferentes para utilizar a capacidade máxima dos equipamentos.

A avaliação econômica da compra de novos equipamentos de reciclagem também pode ser originada dos balanços de massa que irão identificar a quantidade real de material acumulado.

7 Referências

ABINT, Associação Brasileira das Indústrias de Nãotecidos e Tecidos Técnicos. Coletânea de Normas De Nãotecidos. São Paulo, 2010. P. 210.

ABNT/TB-392. Disponível em <www.abint.org.br>. Acesso em 02 de novembro de 2012.

ALBUQUERQUE, J. A. C. Planeta Plástico. São Paulo, 2001.

ALFIERI, Paulo. Fibras Têxteis II, FEI - Depto. Têxtil; São Bernardo do Campo, 1998.

CONSONNI, S.; GIUGLIANO, M.; MASSARUTTO, A.; RAGAZZI, M.; SACCANI, C. Material and energy recovery in integrated waste management systems: Project overview and main results, Waste Management, Itália, 2011.

HOGLAND W. e STENIS J., Assessment and system analysis of industrial waste management, Waste Management, Suécia, V. 20, p. 3, 2000.

MOORE, E. P. Polypropylene Handbook. Hanser Publishers. 1996.

MORANDIM-GIANNETTI, A. A.; AGNELLI, J. A., LANÇAS, B. Z.; MAGNABOSCO, R.; CASARIN, S. A.; & BÉttini, S. H. Lignin as additive in Polypropylene/coir composites: thermal, mechanical and morphological properties. Carbo hidrate Polymers. São Paulo, 2012.

Norma Brasileira Regulatória, NBR-13370. Nãotecido – Terminologia. 2002.

OLIVEIRA, L. e ROSA, L. P. Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits, Energy Policy, V.31, 2003.

Lei 12305/10, Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em <www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos> Acesso em 07 de dezembro de 2012.

POLIKEM, Tecnologia em Polímero. Sustentabilidade. Disponível em <<http://polikem.com.br/>>. Acesso em 30 de dezembro de 2012.

REICOFIL, The Reifenhäuser GmbH & Co. KG. (s.d.). Nonwovens. Disponível em <<http://www.reicofil.com>>, 2010.

REICOFIL, The Reifenhäuser GmbH & Co. KG. Manual de Operação da Linha de Nãotecido SSMMS 3200 - RF 4. Alemanha, p. 506, 2005.

REICOFIL, The Reifenhäuser GmbH & Co. KG. Manual de Operação da Linha de Nãotecido SSMMS 4200 - RF 4. Alemanha, p.524, 2008.

REICOFIL, The Reifenhäuser GmbH & Co. KG. Reicofil Process Training - spundbond.

Alemanha, p.723, 2009.

REGINATO, A. S. Modelagem e Simulação dos Reatores de Polimerização em Fase Líquida do Processo de Spheripol, Porto Alegre, 2001.

Reiter Textile Systems, Reiter Automatik GmbH. Manual de Operação; Alemanha, 2002.

SANTOS, B. B. Compósitos de polipropileno reciclado e pó de coco, Rio de Janeiro: UFRJ, 2012.

STEFFANI, E.; FINKLER, M. Uma avaliação das propriedades do polipropileno reciclado, Plástico industrial, Caxias do Sul, 1999.

The Reifenhäuser REICOFIL GmbH & Co. KG, Manual de Operação da Linha de Não-tecido SSMMS 3200 - REICOFIL 4; Alemanha, 2005.