

ENG 02298 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

---

# RECICLAGEM PRIMÁRIA DE NÃOTECIDOS DE POLIPROPILENO

---

Stefani Gabriele Benvegnú de Souza

Matrícula: 00194897

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ruth Marlene Campomanes Santana

Coorientador: Eng. Mecânico Rodolfo Almeida

PORTO ALEGRE

DEZEMBRO, 2015

**Stefani Gabriele Benvegnú de Souza**

---

RECICLAGEM PRIMÁRIA DE NÃOTECIDOS DE POLIPROPILENO

---

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Materiais

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ruth Marlene Campomanes Santana

Coorientador: Eng. Mecânico Rodolfo Almeida

PORTO ALEGRE

DEZEMBRO, 2015

---

## RECICLAGEM PRIMÁRIA DE NÃOTECIDOS DE POLIPROPILENO

---

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Materiais.

Aprovado em 08 de dezembro de 2015

### BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andrea Moura Bernardes - UFRGS

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jane Zoppas Ferreira - UFRGS

---

Prof. Dr. Luis Alberto dos Santos – UFRGS

## SUMÁRIO

---

1 INTRODUÇÃO .....	7
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1 TECIDOS NÃOTECIDOS .....	11
3.2 POLIPROPILENO.....	15
3.3 EXTRUSÃO .....	16
3.4 RECICLAGEM.....	18
3.5 DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS .....	21
4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	24
4.1 MATERIAIS.....	24
4.2 EQUIPAMENTOS.....	25
4.3 METODOLOGIA.....	27
4.4 CARACTERIZAÇÃO .....	30
4.4.1 ÍNDICE DE FLUIDEZ.....	30
4.4.2 REOLOGIA ROTACIONAL.....	31
4.4.3 CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA .....	31
4.4.4 CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA PERFORMANCE.....	32
4.4.5 COR ( $I^*$ , $a^*$ , $b^*$ ).....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	33
5.1 PROPRIEDADES REOLÓGICAS .....	33
5.1.1 AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE FLUIDEZ DAS AMOSTRAS.....	33
5.1.2 AVALIAÇÃO DA VISCOSIDADE DAS AMOSTRAS.....	36
5.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS AMOSTRAS .....	39
5.3 AVALIAÇÃO DOS ANTIOXIDANTES PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO.....	40
5.4 AVALIAÇÃO DE COR ( $I^*$ , $a^*$ , $b^*$ ).....	42
5.5 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE PROCESSAMENTO .....	43
5.5.1 ANÁLISE DE DEFEITOS .....	44
5.5.2 ANÁLISE DE PRESSÃO DE TELA FILTRO DE EXTRUSORA.....	48
5.5.3 ANÁLISES DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DO PRODUTO FINAL.....	53
5.5.4 ANÁLISE ECONÔMICA E DE SUSTENTABILIDADE .....	55
6 CONCLUSÃO .....	56
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	58
BIBLIOGRAFIA .....	59
ANEXOS.....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - PROCESSO DE FORMAÇÃO DA MANTA VIA ÚMIDA (ABINT , 2010).....	12
Figura 2 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO SPUNbonded (ABINT , 2010).....	13
Figura 3 - ESQUEMA DE LINHA PRODUTIVA DE NÃOTECIDO SSS E SSMMS (Reicofil, 2009) .....	14
Figura 4 - REAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO PARA FORMAÇÃO DO PP (Harper, 2000).....	15
Figura 5 - BÁSICODE EXTRUSORA COM ÚNICO PARAFUSO (Reicofil, 2009).....	17
Figura 6 - ESQUEMA DE TIPOS DE DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS (DO AUTOR).....	22
Figura 7 - RECICLADORA EREMA (EREMA , 2014).....	25
Figura 8 - COMPOSIÇÃO DA MÁQUINA EREMA (EREMA , 2014).....	26
Figura 9 - DEMONSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DE FLUXO DE MATERIAL FUNDIDO (EREMA , 2014)..	27
Figura 10 - DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSAMENTO DE RESINA PARA A PRODUÇÃO DE NÃO TECIDOS (Do Autor).....	28
Figura 11 - ESQUEMA DE GRUPOS AMOSTRAIS E CARACTERIZAÇÃO PARA CADA ETAPA DO EXPERIMENTO .....	30
Figura 12 - ÍNDICE DE FLUIDEZ DE AMOSTRAS DE ETAPA 1 E RESINA VIRGEM .....	34
Figura 13 - ÍNDICES DE FLUIDEZ PARA AMOSTRAS DA ETAPA 2 E RESINA VIRGEM.....	35
Figura 14 - RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURAS DE RECICLAGEM E ÍNDICE DE FLUIDEZ (ETAPA 3)	36
Figura 15 - CURVAS DE VISCOSIDADE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA ANGULAR (AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO) PARA AMOSTRAS OBTIDAS NA PRIMEIRA ETAPA .....	37
Figura 16 - CURVAS DE VISCOSIDADE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA ANGULAR (AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO) PARA AMOSTRAS OBTIDAS NA SEGUNDA ETAPA .....	38
Figura 17 - CURVAS DE VISCOSIDADE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA ANGULAR (AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE TEMPERATURA DE REPROCESSAMENTO) PARA AMOSTRAS OBTIDAS NA TERCEIRA ETAPA .....	39
Figura 18 - FORMAÇÃO DE FIAÇÃO NO CABEÇOTE B COM UTILIZAÇÃO DE 5% DE RECICLADO T3	43
Figura 19 - FORMAÇÃO DE FIAÇÃO NO CABEÇOTE B COM UTILIZAÇÃO DE 20% DE RECICLADO T3 .....	43
Figura 20 - MAPA DE INSPEÇÃO ISRA PARA DETECÇÃO DE DEFEITOS .....	44
Figura 21 - DEFEITOS DE PLÁSTICAÇÃO DETECTADOS PELO MAPA ISRA.....	45
Figura 22 - DEFEITOS VISUALIZADOS NO MAPA ISRA DURANTE PRODUÇÃO DO NÃOTECIDO COM O RECICLADO DA AMOSTRA T3.....	46
Figura 23 - DEFEITO DE PLASTIFICAÇÃO EM NÃOTECIDO SSS BRANCO UTILIZADO NA PRODUÇÃO DE DESCARTÁVEIS HIGIÊNICOS FEMININOS.....	46
Figura 24 - DEFEITO DE PLASTIFICAÇÃO EM NÃOTECIDO SSMMS VERDE UTILIZADO NA PRODUÇÃO DE DESCARTÁVEIS HIGIÊNICOS .....	47
Figura 25 - DEFEITO DE PLASTIFICAÇÃO EM NÃOTECIDO SSS BRANCO .....	47
Figura 26 - PERFIL DE VARIAÇÃO DE PRESSÃO DE TELA FLTRO E MASSE DE <i>PELLET</i> RECICLADO POR TEMPO .....	48
Figura 27 - VERIFICAÇÃO DE PRESSÃO DE TELAS FILTRO X TEMPO EM PRODUÇÃO PADRÃO ( <i>PELLET</i> PADRÃO A 8% NOS 3 CABEÇOTES DA EXTRUSORA) .....	49
Figura 28 - VARIAÇÃO DE PRESSÃO AO LONGO DO TEMPO DURANTE PRODUÇÃO COM RECICLADO DA AMOSTRA T3 A 20% .....	49
Figura 29 - VARIAÇÃO DE PRESSÃO X TEMPO E DE % DE RECICLADO POR CABEÇOTE DE EXTRUSÃO.....	50
Figura 30 - RELAÇÃO ENTRE % E TIPO DE RECICLADO E PRESSÃO DE TELA FILTRO.....	51
Figura 31 - RELAÇÃO ENTRE % DE RECICLADO E PRESSÃO DE TELA FILTRO EM PRODUÇÃO PADRÃO.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- PROPRIEDADES DO POLIPROPILENO.....	15
Tabela 2- PROPRIEDADES DO PP H125 (Braskem S/A).....	24
Tabela 3 - PROPRIEDADES DO PP H155 (Braskem S/A).....	25
Tabela 4- FAIXAS DE TEMPERATURA EM °C UTILIZADAS NA RECICLAGEM DO PP H125.....	29
Tabela 5 - RESULTADOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ PARA AS AMOSTRAS AVALIADAS .....	33
Tabela 6 - DADOS DO ENSAIO DE DSC PARA AS AMOSTRAS DA PRIMEIRA ETAPA .....	40
Tabela 7 - % DE TEOR DE ANTIOXIDANTES PARA AS AMOSTRAS DA PRIMEIRA ETAPA OBTIDOS PELA ANÁLISE DE HPLC. PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À RESINA PP H125 VIRGEM .....	41
Tabela 8 - % DE TEOR DE ANTIOXIDANTES PARA AS AMOSTRAS DA SEGUNDA ETAPA OBTIDOS PELA ANÁLISE DE HPLC. PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À RESINA PP H125 VIRGEM .....	41
Tabela 9 - % DE TEOR DE ANTIOXIDANTES PARA AS AMOSTRAS DA TERCEIRA ETAPA OBTIDOS PELA ANÁLISE DE HPLC. PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À RESINA PP H125 VIRGEM .....	42
Tabela 10 - ANÁLISE DE COR PARA NÃOTECIDO, <i>PELLET</i> PADRÃO E AMOSTRAS DA ETAPA 3 .....	42
Tabela 11 - % DE ALIMENTAÇÃO DE <i>PELLETS</i> AO LONGO DO TEMPO POR CABEÇOTE DE EXTRUSÃO.....	50
Tabela 12 - VARIAÇÃO DE PRESSÃO Da TELA FILTRO AO LONGO DO TEMPO POR CABEÇOTE DE EXTRUSÃO.....	51
Tabela 13 - TESTE t PARA ENSAIO DE RESITÊNCIA MD NA RUPTURA DO NÃOTECIDO PRODUZIDO COM <i>PELLET</i> DA AMOSTRA PADRÃO E DA AMOSTRA T3 .....	53
Tabela 14 - TESTE t PARA ENSAIO DE RESITÊNCIA CD NA RUPTURA DO NÃOTECIDO PRODUZIDO COM <i>PELLET</i> DA AMOSTRA PADRÃO E DA AMOSTRA T3 .....	53
Tabela 15 - TESTE t PARA ENSAIO DE ALONGAMENTO MD NA RUPTURA DO NÃOTECIDO PRODUZIDO COM <i>PELLET</i> DA AMOSTRA PADRÃO E DA AMOSTRA T3.....	54
Tabela 16 - TESTE t PARA ENSAIO DE ALONGAMENTO CD NA RUPTURA DO NÃOTECIDO PRODUZIDO COM <i>PELLET</i> DA AMOSTRA PADRÃO E DA AMOSTRA T3.....	54
Tabela 17 - CUSTO DO NÃOTECIDO X % DE RECICLADO .....	55

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A- ENSAIO DE DSC DA AMOSTRA DE TNT MOÍDO DA PRIMEIRA ETAPA: AQUECIMENTO, TEMPERATURA DE FUSÃO .....	62
ANEXO B - ENSAIO DE DSC DA AMOSTRA DE TNT MOÍDO DA PRIMEIRA ETAPA: RESFRIAMENTO, TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO .....	62
ANEXO C - ENSAIO DE DSC DA AMOSTRA REGRANULADO DA PRIMEIRA ETAPA: AQUECIMENTO, TEMPERATURA DE FUSÃO .....	63
ANEXO D ENSAIO DE DSC DA AMOSTRA REGRANULADO DA PRIMEIRA ETAPA: RESFRIAMENTO, TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO .....	63
ANEXO E - ANÁLISE DE COR PARA NÃOTECIDO .....	64
ANEXO F- ANÁLISE DE COR PARA <i>PELLET</i> DA AMOSTRA T3 - CONDIÇÕES BRANDAS DE TEMPERATURA PARA REPROCESSAMENTO (TERCEIRA ETAPA) .....	64
ANEXO G - ANÁLISE DE COR PARA <i>PELLET</i> DA AMOSTRA T2 (TERCEIRA ETAPA) .....	65
ANEXO H - ANÁLISE DE COR PARA <i>PELLET</i> DA AMOSTRA T1 (TERCEIRA ETAPA) .....	65
ANEXO I - ANÁLISE DE COR PARA <i>PELLET</i> DA AMOSTRA Tpadrão (TERCEIRA ETAPA) .....	66

## RESUMO

A indústria de não tecidos é caracterizada por possuir em seu processo produtivo máquinas robustas e complexas com ritmo de produção ininterrupto no qual evitam-se paradas indesejadas, porém a necessidade de ajustes de parâmetros de processo para atender especificações de clientes, partidas de máquina, avarias e eventuais desestabilidades da linha, causam a geração de resíduo inerente ao processo. Tratando-se o polipropileno (PP) de um polímero termoplástico com possibilidade de reciclagem e visando a redução de custos com matéria-prima e redução do impacto ambiental, neste trabalho foram avaliadas oportunidades de melhorias no processo de reciclagem Erema para não tecidos de PP processadas por *Spunbonded* e *Meltblown*. Realizou-se testes em linha com diferentes parâmetros de processo durante a reciclagem, avaliando-se a influência da composição do não tecido (*Spunbonded* ou *Meltblown*) nas características do *pellet* gerado e a influência da temperatura na degradação dos mesmos. Os diferentes tipos de PP reciclado obtidos na forma de grânulos foram analisados pelos testes de cor, índice de fluidez, reologia rotacional, cromatografia líquida de alta performance, e calorimetria diferencial de varredura. Os dados obtidos foram comparados com os dados da ficha técnica da resina virgem com intuito de dimensionar a utilização da resina reciclada no processo produtivo do não tecido, considerando a dificuldade de processamento após a reciclagem devido à degradação. Os resultados dos ensaios mostraram que houve uma melhora considerável nas propriedades reológicas do PP reprocessado em condições mais brandas de temperatura. A diminuição da degradação decorrente da transformação do não tecido para *pellets* possibilitou um aumento apreciável do percentual de reciclado utilizado para a produção do não tecido, tornando o processo mais capacitado, sustentável e competitivo economicamente.

## 1 INTRODUÇÃO

---

A cadeia petroquímica é um setor de capital intensivo o qual passou por uma reestruturação de mercado nas últimas duas décadas por meio de parcerias, fusões e privatizações caracterizando a década de 1990 como um período de expansão desta cadeia na economia brasileira (Montenegro, Monteiro Filha, & Gomes, 1999). Conforme Rocha (2002) as empresas de primeira geração - matérias-primas - e de segunda geração - resinas termoplásticas- iniciaram processos de consolidações e fusões rapidamente para que fosse possível atingir uma economia em escala, com alta produtividade e baixo custo operacional. Blocos consolidados de poucas empresas com grande poder de negociação sobre seus clientes foram formados, sendo os clientes representados por indústrias de transformação, também chamadas de terceira geração. Nesta última categoria a resina é transformada por meio de diversos processos produtivos gerando uma vasta gama de produtos. Em 2014 foi divulgado pela Associação Brasileira da Indústria Plástica (ABIPLAST, 2014) que empresas do setor de transformação totalizaram em torno de 11,5 mil no Brasil e nesse mesmo ano foi consolidada sua posição como 4º maior empregador da indústria de transformação no País.

Uma relevante fração do setor de transformação é a indústria de não tecidos de polipropileno (PP) que servem de matéria-prima para uma série de produtos, como *sorbents* utilizados para proteção ambiental, fraldas geriátricas e infantis, absorventes, toucas descartáveis, protetores, roupas para campo cirúrgico, EPI's, produtos para agricultura e decoração.

O PP é o terceiro termoplástico de maior consumo do mundo, representando vendas de US\$11 bilhões, totalizando em 1,646 milhão de toneladas de produção em 2013 segundo a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM, 2013), sendo que desde 2010, no Brasil, a produção de PP é realizada por uma única empresa.

Considerado um *commodity*, o PP possui propriedades que variam em função de sua massa molar e da distribuição das mesmas, e em função da configuração ou arranjo dos monômeros na cadeia polimérica. Por ser um termoplástico o PP viabiliza o reprocessamento mecânico, gerando oportunidades na área de reciclagem de resíduos industriais e subprodutos.

O não tecido, conforme definição dada pela norma NBR-13370 (2002), é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção), químico (adesão), térmico (coesão) ou combinações destes.

Historicamente atribui-se a primeira produção de não tecido à carta Britânica nº 114, concedida em 1853, que indicou a utilização de cardas, esteiras, impregnação e secagem para a fabricação de mantas utilizadas em indústrias de estofados e colchões de molas. Com a necessidade de simplificação do processo têxtil e a possibilidade de aplicação em diversos ramos industriais, em 1930 ocorreu nos EUA as primeiras produções de não tecido de celulose impregnado com látex, e em 1957 com equipamentos da indústria de papel surgiram os primeiros não tecidos de fibras poliméricas (ABINT, 2010). Na década de 60 o não tecido foi lançado no mercado como matéria-prima e produto para consumo final, surgindo os primeiros equipamentos para a fabricação de não tecido por via úmida (ABINT, 2010).

O não tecido, também conhecido como TNT (Tecido não tecido) é um produto com baixo valor agregado e de alta cubagem, produzido por processos contínuos, que segundo Slack (2008), são processos que apresentam produtos inseparáveis na sua formação, e são produzidos sem interrupção. A característica de fluxo contínuo para a produção do não tecido torna a geração de resíduos uma característica própria do processo, independente do setup realizado.

Atualmente a composição (fusão) das indústrias de primeira e segunda geração da cadeia petroquímica em blocos consolidados de grandes empresas deixa as empresas responsáveis pela transformação da resina em desvantagem com relação ao poder de negociação, e para atenuar o desequilíbrio da cadeia de valor, o setor de não tecidos necessita de alternativas que possibilitem um posicionamento capaz na cadeia de fornecimento de matérias-primas, sendo a reciclagem primária uma dessas alternativas (Rocha, 2002).

O aumento do custo das resinas plásticas, seguido pelo preço do petróleo no mercado internacional, tem estimulado a reciclagem de polímeros. Normalmente, o preço do plástico reciclado é 40% mais baixo do que o da resina virgem, portanto, a substituição da resina virgem pela reciclada gera benefícios de redução de custo e aumento da competitividade, além de auxiliar na preservação ambiental (Oliveira, 2007).

Geralmente se pode reciclar termoplásticos sem que se comprometa a qualidade final do produto e com efetivas reduções de custos devido a reutilização da matéria-

prima, entretanto, para garantir as especificações do produto e a capacidade de processamento é necessário um controle da estabilidade do processo e de seus parâmetros. Segundo Piva (2004), a reciclagem primária consiste na reciclagem dos resíduos oriundos do processo produtivo pelo retorno ao próprio sistema de produção, sendo essa uma técnica que gera ganho financeiro e ambiental contribuindo para redução de custos industriais e reduzindo o impacto ambiental.

## 2 OBJETIVOS

---

### 2.1 OBJETIVO GERAL

---

Este trabalho tem como objetivo geral o estudo do nível de degradação real do PP no processo de reciclagem Erema para aumento da utilização no processo produtivo de nãotecidos de PP.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

---

- i. Caracterizar as propriedades iniciais dos *pellets* de PP reprocessado e avaliar os parâmetros de processamento que podem influenciar na possível degradação do PP;
- ii. Avaliar a influência da composição do resíduo do nãotecido nas propriedades do reciclado;
- iii. Testar e avaliar a influência das diversas faixas de temperatura do reprocessamento Erema do PP nas propriedades do PP reciclado;
- iv. Determinação das condições de reprocessamento Erema ótima, que produz *pellets* de PP com menor degradação;
- v. Quantificar percentual de *pellet* reciclado que pode ser utilizado na produção do nãotecido de maneira capaz;
- vi. Avaliar propriedades do produto final quanto ao percentual de reciclado utilizado no processo;

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 3.1 TECIDOS NÃO TECIDOS

---

Segundo a norma NBR-13370 (2002) um não tecido é definido como uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída por uma manta de fibras ou filamentos, podendo ser orientados ou não, e consolidados por meio de fricção, adesão ou coesão.

A classificação dos não tecidos pode ser realizada de acordo com seu processo de fabricação, matéria-prima, consolidação, tipos de filamentos, gramatura, transformação ou ainda pela associação desses elementos (ABINT, 2010).

Quanto à gramatura podem ser classificados em:

- leve: menor que 25 g/m<sup>2</sup>;
- médio: entre 26 e 70 g/m<sup>2</sup>;
- pesado: entre 71 e 150 g/m<sup>2</sup>;
- muito pesado: acima de 150 g/m<sup>2</sup>

Quanto ao processo de fabricação pode ser classificado por via seca, via úmida e via fundida. A fabricação por via seca pode ser realizada através de cardas ou ainda via fluxo de ar. Cardados são não tecidos produzidos continuamente em um processo no qual as fibras são desembaraçadas, limpas e misturadas com um rolo revestido de guarnições de pontas afiadas produzindo uma manta em que as fibras são alinhadas e, portanto, anisotrópicas (Lord, 2003). No processo via fluxo de ar, as fibras são suspensas em fluxo de ar e após são depositadas em uma esteira formando a manta. Em ambos os processos a matéria-prima utilizada é na forma de fibra (ABINT, 2010).

O processo por via úmida é também conhecido por *Wet Laid*, e é semelhante à produção de papel. As fibras são suspensas em meio aquoso e após são depositadas sobre uma esteira em movimento que é drenada para formação da manta e em seguida a manta é desidratada, consolidada por prensagem entre rolos e passa pela etapa de secagem, podendo ocorrer impregnação com ligantes em etapas posteriores (NBR 13370 ABNT, 2002). O processo *Wet Laid* está esquematizado na Figura 1.

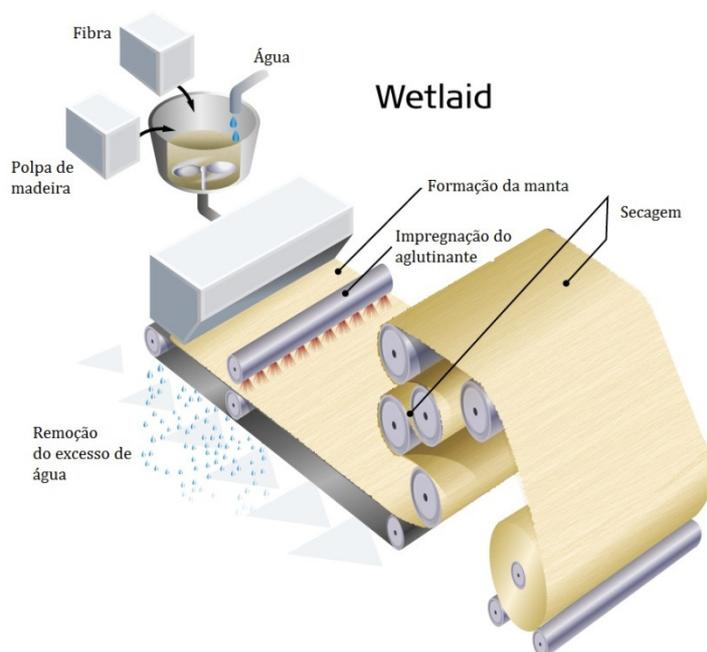


FIGURA 1 - PROCESSO DE FORMAÇÃO DA MANTA VIA ÚMIDA (ABINT , 2010)

O processo por via fundida trata-se de um processo por extrusão no qual é possível a produção da manta através de fiação contínua (*Spunbonded*) ou via sopro (*Meltblown*). Ambos os processos utilizam como matéria-prima polímeros (ABINT , 2010). No processo *Spunbonded*, grânulos do polímero termoplástico são fundidos através de feiras formando filamentos contínuos que são arrefecidos, estirados e depositados sobre uma esteira transportadora para formar uma trama uniforme (Jirsák & Wadsworth, 1999).

Algumas das propriedades sobrevindas da tecnologia *Spunbonded* são as seguintes: filamentos contínuos que promovem boa resistência mecânica, embora de maneira anisotrópica; possibilidade de produção de não-tecidos em ampla faixa de gramatura - 10g/m<sup>2</sup> até 120g/m<sup>2</sup>; possibilidade de adição de pigmentos, aditivos e óleos surfactantes que conferem cor e propriedades hidrofílicas ao não-tecido ampliando a gama de aplicações; resistência à abrasão considerável para aplicação em produtos descartáveis higiênicos.

Este processo, iniciado na extrusão, tem a formação da manta através da calandragem, e pode ser verificado na Figura 2

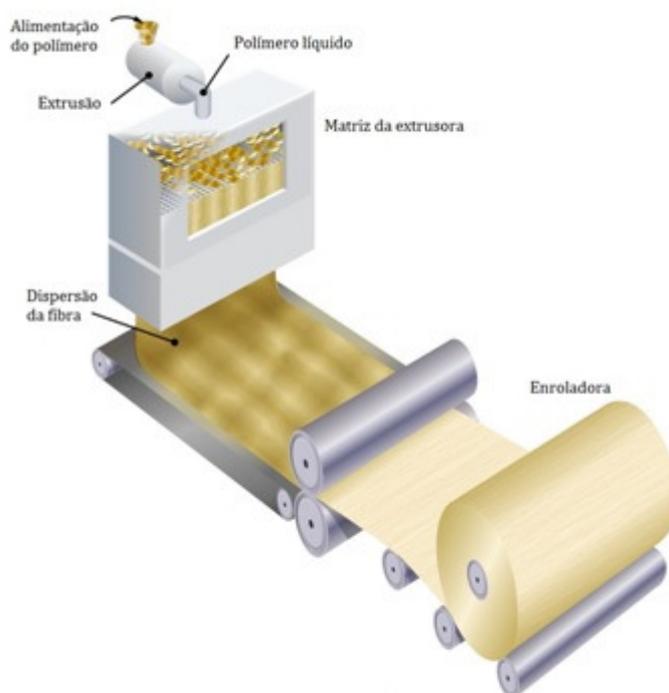


FIGURA 2 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO SPUNBONDED (ABINT , 2010)

No processo *Meltblown* utiliza-se ar em alta velocidade para soprar resina termoplástica fundida através de uma matriz de extrusão com orifícios muito pequenos sobre uma tela transportadora para formação de uma manta fina e autoligável (Malkan & Wadsworth, 1993) . A fibra formada nesse processo tem seu diâmetro na faixa de 1 a 8  $\mu\text{m}$ , em torno de 10 vezes menor do que as fibras produzidas no processo *Spunbonded*. A principal característica da manta formada através dessa tecnologia está em sua formação aleatória, com pouca ou nenhuma orientação.

Além das tecnologias *Spunbonded* (S) e *Meltblown* (M) para vias fundidas, há a possibilidade da produção de não tecidos mesclados (mistos), podendo ser do tipo SMS, ou ainda SSMMS. Processos do tipo SMS têm como produto final mantas combinadas de duas camadas externas de filamentos contínuos, produzidos pelo processo *Spunbonded* e uma camada interna de filamentos de sopro, advindos do processo *Meltblown*. De maneira análoga ocorre para a tecnologia SSMMS, formando componentes com três camadas de manta de tecnologia *Spunbonded* e duas camadas de *Meltblown*. O não tecido obtido pela produção de tecnologia mesclada possui características multifuncionais podendo ser aplicado em diversos ramos do mercado por possuir propriedades diferenciadas e versáteis.

Na Figura 3 é possível visualizar o esquema de uma linha de produção para tecnologia SSS e SSMMS, na qual se observa a existência de cinco cabeçotes de extrusão para formação das camadas da manta, a esteira receptora de fibra, a calandra de consolidação e a enroladora.



FIGURA 3 - ESQUEMA DE LINHA PRODUTIVA DE NÃOTECIDO SSS E SSMMS (REICOFIL, 2009)

Após a formação da manta na esteira, são possíveis três métodos para consolidação de nãotecidos: mecânico, químico, térmico ou a combinação destes.

A consolidação mecânica pode ocorrer por agulhagem, no qual as fibras são entrelaçadas por meio da penetração de agulhas. Pode ocorrer por hidroentrelaçamento no qual o entrelaçamento das fibras é realizado pela penetração na manta de jatos d'água a altas pressões, ou ainda por costura quando o processo de consolidação ocorre através da inserção de fios de costura na manta que utiliza as próprias fibras do nãotecido para realizar a costura (Jirsák & Wadsworth, 1999).

A consolidação química pode ocorrer por resinagem, processo em que os ligantes químicos (resinas) realizam a união das fibras da manta, enquanto que no processo térmico a consolidação ocorre pela fusão das próprias fibras ou filamentos, podendo ser por calandragem ou ainda pelo processo *Air-Through Bonding*.

As matérias primas utilizadas no processo de fabricação de nãotecidos podem ser as seguintes: artificiais (viscose, fibras de vidro, fibra de silicone, fibras de acetato), naturais (lã, algodão, coco, sisal, asbesto), sintéticas. como poliéster, polipropileno, poliamida (nylon), poliacrilonitrila, polietileno e policarbonato.

### 3.2 POLIPROPILENO

O polipropileno (PP) é produzido a partir do gás propileno que é um subproduto da refinação do petróleo. A resina é semi-translúcida e leitosa e pode ser produzida por injeção, moldagem, sopro ou extrusão. Tanto as resinas destinadas a moldagens quanto as destinadas para extrusões podem ser pigmentadas e aditivadas através de qualquer processo convencional (VICK, 2015).

O PP é classificado como polímero termoplástico de estrutura semicristalina do grupo das poliolefinas e algumas de suas propriedades são apresentadas na Tabela 1 :

TABELA 1- PROPRIEDADES DO POLIPROPILENO

Propriedade	Valor
Massa molar, g/mol	80.000 - 500.000
Densidade, g/cm <sup>3</sup>	0,9
Índice de refração, %	1,49
Temperatura de transição vítrea, °C	4 a 12
Temperatura de fusão, °C	165 a 175
Cristalinidade, %	60 a 70

A alta cristalinidade do PP lhe confere elevada resistência mecânica, rigidez e dureza (Blass, 1988) que se mantém a temperaturas relativamente elevadas.

O PP possui carbonos assimétricos ao longo de sua cadeia e de acordo com a posição de seus radicais metilas pode-se classificá-lo em isotático, sindiotático ou atático. Quando os radicais CH<sub>3</sub> se encontram em apenas um dos lados da cadeia principal o PP é denominado de isotático, quando se posicionam de maneira alternada ao longo da cadeia são chamados de sindiotáticos, e quando estão dispostos de forma aleatória, de forma não periódica, tem-se o PP atático.

Harper (2000) relata que o PP é um polímero versátil usado tanto na extrusão como na moldagem por injeção. O PP isotático é sintetizado pela reação de poliadição de propileno - monômero derivado de produtos petrolíferos - com catalisador de Ziegler-Natta, através da reação mostrada na Figura 4

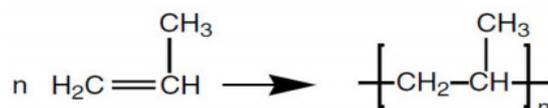


FIGURA 4 - REAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO PARA FORMAÇÃO DO PP (HARPER, 2000)

As propriedades mecânicas do PP dependem de sua mobilidade molecular que por sua vez depende da temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , que indica a temperatura em que a mobilidade das cadeias moleculares é restringida, devido à rotação de grupos laterais em torno de ligações primárias, que se torna restrita devido à coesão molecular (Canevarolo J. S., 1991).

Acima da  $T_g$  há energia suficiente para superar as barreiras de energia necessárias à rotação de ligações. Nesta conjuntura o polímero passa do estado vítreo, no qual possuía mobilidade limitada, para o estado de mobilidade, atingindo o equilíbrio termodinâmico. A existência de substituições assimétricas e grupos laterais flexíveis diminuem a  $T_g$ , enquanto as interações intra e intermoleculares e grupos laterais volumosos e rígidos aumentam a  $T_g$ .

O PP é de cor branca e opaca, possui baixa relação custo peso, e tem elevada resistência química à solventes (Bonelli, Martins, Mano, & Beatty, 2001), podendo ser utilizado em aplicações como recipientes para embalagem, sacaria, pisos tipo carpete, seringas de injeção descartáveis, peças automotivas (Guerrica-Echevarria, Eguiazabal, & Nazabal, 1998) e não tecidos. O baixo custo deste polímero aliado à sua versatilidade são características que geram interesse por desenvolvimento de pesquisas do PP (Machado, 2002).

---

### 3.3 EXTRUSÃO

---

No processo de extrusão, a resina termoplástica é inserida em um canhão cilíndrico aquecido, e quando no estado fundido, ocorre o bombeamento do polímero sob pressão através de uma matriz produzindo um perfil de seção contínua. Para extrusões contínuas a ação de bombeamento é tipicamente desenvolvida através de um parafuso ou uma combinação de parafusos.

A matéria prima sólida do polímero termoplástico é fundida sob a ação do parafuso e do cilindro com o calor, fricção e pressão e o polímero fundido é então forçado através da matriz. Após sair da matriz, a peça extrusada é arrefecida abaixo da temperatura de transição vítrea, de modo a assegurar a estabilidade dimensional. O arrefecimento é geralmente feito com jato de ar ou com água (Reicofil, 2009). O produto final da extrusão não é do tamanho da passagem da matriz, mas sim maior, pois o tipo

do polímero, a distribuição de massa molar, temperatura, taxa de cisalhamento, cargas presentes influenciavam no fenômeno de inchamento do extrusado.

O projeto básico da extrusora de um único parafuso pode ser observado na Figura 5.

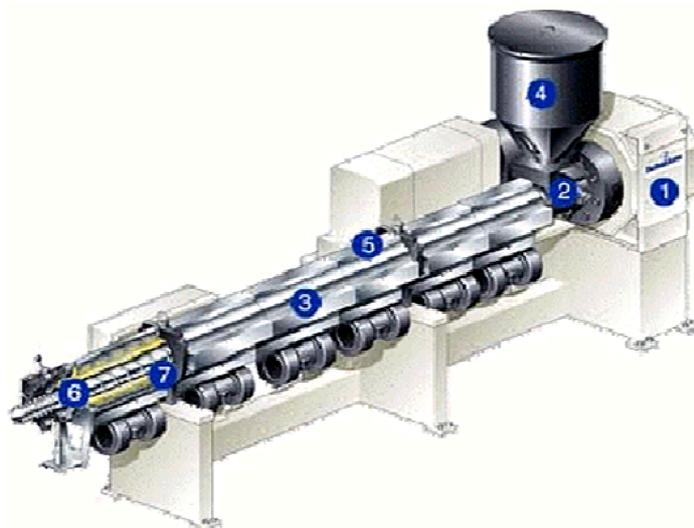


FIGURA 5 - BÁSICODE EXTRUSORA COM ÚNICO PARAFUSO (REICOFIL, 2009)

A extrusora é formada pelos seguintes componentes:

- 1) Unidade de acionamento
- 2) 2.Entrada do Cilindro (canhão): peça aquecida para fundir o polímero e de diâmetro interno constante, com paredes espessas afim de suportar pressões elevadas.
- 3) Controle de temperatura
- 4) Funil de alimentação: Parte que recebe a resina em *pellets* ou pó. A alimentação ocorre por ação da gravidade sobre a superfície superior do parafuso exposto que força o material no cilindro entre os passos da rosca;
- 5) Dosador
- 6) Cilindro: Peças para aquecimento são colocados ao longo do cilindro externamente. O cilindro cobre o comprimento inteiro do parafuso a partir do funil, até a outra extremidade onde ele afina, com a única abertura sendo através da matriz.
- 7) Rosca: é a peça responsável pelo transporte de matéria. Seu formato e sua rotação determinam a velocidade com que a matéria prima se move e a

pressão aplicada no cilindro. A rosca de estágio único possui 3 seções: alimentação, transição e medição.

Ao final da extrusora, encontra-se a matriz junto da tela filtro, geralmente localizada em uma placa metálica perfurada que consiste em duas ou três malhas metálicas (Morton-Jones, 1989). As telas filtro têm como função filtrar materiais estranhos, sujeira, contaminantes e auxiliar no aumento de pressão na ponta da rosca para impulsionar o material em direção à matriz (Morton-Jones, 1989). Polímeros com alto índice de fluidez (baixa viscosidade) proporcionam uma boa processabilidade e boa eficiência de produção, porém, geralmente os produtos desses polímeros possuem propriedades mecânicas baixas (Navarro, 1997).

A utilização de polímeros com maior viscosidade confere maior estabilidade dimensional à peça antes da solidificação, porém a elevada resistência limita a processabilidade e a produção, permitindo apenas a obtenção de filmes e fibras com menor teor de defeitos (Navarro, 1997).

---

### 3.4 RECICLAGEM

---

A apreensão com a disposição final de resíduos sólidos no Brasil tem aumentado nas últimas décadas, prova disso foi a homologação da Lei de Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (JUSBRASIL, 2010).

Os polímeros vêm tendo uma participação percentual cada vez maior nos resíduos urbanos no decorrer dos anos devido ao uso disseminado destes materiais. A reciclagem de metais, como o alumínio e aço atinge cerca de 63% e 40%, respectivamente, enquanto a reciclagem de polímeros sintéticos não atinge a 20%. Este fato é consequência de problemas técnicos (Burillo, Clough, Czvickovsky, & Guven, 2002) relacionados aos polímeros, como a incompatibilidade que ocorre quando diferentes polímeros são moldados combinados e formam diferentes fases que deterioram as propriedades mecânicas da blenda. Considerando que mesmo baixos teores de um “segundo” polímero pode ter um efeito negativo nas propriedades, pode-se amenizar este problema através de uma seleção adequada de materiais ou pela compatibilização das fases.

Furtado (1996) estimou que a reciclagem de polímeros no Brasil crescia em média 15% ao ano desde o início da década 17. A Plastivida (Plástico, 2013) estimou um

índice médio de reciclagem mecânica de plástico pós-consumo no Brasil de 20,9% referente ao ano de 2012, o que representou uma queda de 3,5% com relação à 2011.

Polímeros podem absorver compostos de baixa massa molar que migram para o interior do material e podem causar contaminações. Devido a essa barreira, o plástico reciclado normalmente não compõe embalagens que ficam em contato direto com alimentos ou remédios, nem brinquedos e peças de segurança que exigem determinadas especificações técnicas (Cempre, 2004).

Mudanças nas propriedades macroscópicas de polímeros podem ocorrer devido à degradação que ocorre quando há mudanças em sua estrutura molecular ocasionadas por fatores ambientais, como luz UV, processos termo-oxidativos, ataque por gases poluentes em ambientes urbanos, interações químicas com líquidos, entre outros.

Além dos fatores citados, a produção de matérias primas para a indústria polimérica é um processo relativamente barato, enquanto o custo da coleta, transporte, separação e limpeza de polímeros reciclados, por outro lado, torna esta opção normalmente menos favorecida.

Classifica-se a reciclagem dos resíduos plásticos em quatro tipos: primária, secundária, terciária e quaternária (Ehrig & Curry, 1989).

A reciclagem primária e a secundária são tipos de reciclagem mecânica que apresentam diferenças quanto à origem do resíduo plástico a ser reciclado (Rolim, 2000). A reciclagem primária é realizada dentro do ciclo da produção que gerou o resíduo, ou por outras empresas transformadoras, com materiais termoplásticos provenientes dos resíduos industriais e que são de fácil identificação e não possuem contaminações, enquanto que a reciclagem secundária tem como objetivo converter os resíduos sólidos urbanos em produtos que tenham menores requisitos em termos de qualidade do que os artefatos produzidos com o polímero virgem (Spinacé & De Paoli, 2005).

A reciclagem terciária é o processo de produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos. A recuperação de energia de resíduos poliméricos por incineração controlada é chamada de reciclagem quaternária (Spinacé & De Paoli, 2005).

Na reciclagem primária, também conhecida como reciclagem mecânica, o processamento pode ocorrer por extrusão, injeção, termoformagem, moldagem ou compressão. Os resíduos são segregados, moídos e fragmentados em pequenas partes e são alimentados em uma recicladora que pode produzir *flakes* através da inserção

desses produtos poliméricos em um moinho, no qual são cortados em pedaços menores e homogêneos para utilização como matéria-prima em uma transformadora. Basicamente a reciclagem mecânica é baseada na conversão dos resíduos plásticos em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos, como sacos de lixo, solados, pisos, mangueiras e componentes de automóveis (Plastivida, 2013).

Produtos fabricados com matéria-prima reciclada possuem menor custo que geralmente está associado a uma qualidade inferior, logo é necessário conhecer as características dos materiais em questão para que se encontrem aplicações apropriadas e úteis de maneira que se possa substituir, parcialmente ou integralmente, as resinas virgens pelos grânulos reprocessados.

Estudos realizados simulam o reprocessamento repetido de reciclados (potencial de reciclagem em múltiplas extrusões) com a utilização de uma etapa de envelhecimento termo oxidativo acelerado. (Aurrekoetxea, Sarrionandia, Urrutibeascoa, & Maspoch, 2001) utilizou o método do reprocessamento (injeção) no estudo das propriedades mecânicas do PP reciclado no qual identificou que a viscosidade do fundido foi reduzida e a cristalinidade foi aumentada com o reprocessamento. Além disso, o módulo elástico e a tensão de escoamento aumentaram com o reprocessamento, enquanto o alongamento na ruptura e a tenacidade à fratura diminuíram.

Incarinato et al. (1999) estudou o efeito de três ciclos de processamento para avaliar a cristalinidade e a morfologia do PP por medidas de viscosidade e concluiu que durante as diversas etapas de reprocessamento do PP podem ser originadas as cisões das moléculas.

Jansson et al. (2003), utilizando o método da reciclagem simulada (ciclos de reprocessamento por extrusão intercalados) observaram um efeito “zig-zag”, com um efeito global tendendo à diminuição do alongamento na fratura (originalmente 700%) do PP (aditivado com antioxidante) com a sequência de ciclos. O grau de cristalinidade, mostrou um ligeiro aumento (de 39 para 41%) após o primeiro ciclo de extrusão, mantendo-se neste patamar para os últimos ciclos.

Os termoplásticos são normalmente aquecidos até amolecerem e em seguida moldados antes de se resfriarem. Dentre os vários processos de transformação de termoplásticos, os mais conhecidos são os de extrusão, moldagem por injeção, termoformação e rotomoldagem.

O reprocessamento por extrusão consiste em um recurso para regranulação de materiais (Bandrup, 1995), no qual o polímero alimentado na extrusora encontra-se

moído. Neste processo existem fatores fundamentais que devem ser observados para obtenção de um reciclado apropriado:

- i. O formato e o tamanho dos grânulos do material moído influenciam na densidade aparente dos *pellets* e dependem da geometria do produto inicial que foi moído, do moinho usado, do diâmetro dos furos da tela do moinho e do estado de conservação das facas do moinho. Deve ser levado em conta no processo que o material possui densidade aparente variável. A uniformidade da densidade aparente pode ser obtida pela mistura eficiente do material moído.
- ii. A origem do material que será reciclado deve ser avaliada quanto a possíveis contaminações e grau de pureza. A etapa de filtragem é fundamental para obtenção de reciclados com baixo teor de impurezas, o que permite um bom processamento posterior. Esta etapa pode ser otimizada efetuando-se a troca das telas filtro frequentemente.
- iii. A umidade do material no caso de haver aditivos surfactantes.

---

### 3.5 DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS

---

De Paoli (2008) definiu degradação como "qualquer reação química que altera a qualidade de interesse de um material polimérico ou de um composto polimérico".

A degradação de polímeros pode ser analisada pelos seguintes aspectos:

a) em relação à severidade da degradação, podendo ser superficial quando há alteração no aspecto visual do material e de sua cor, e estrutural quando há alteração nas propriedades mecânicas, térmicas, elétricas ou no desempenho do material.

b) em relação aos mecanismos das reações químicas que ocorrem durante a degradação: cisão (ou quebra) de ligações na cadeia principal ou em grupos laterais, reticulação, eliminação ou substituição de cadeias laterais, reações intramoleculares, auto-oxidação e despolimerização (De Paoli M. A., 2008)

c) em relação ao processo de iniciação das reações: térmica, fotoquímica, mecânica, radiação de alta energia, química ou *stress-cracking* (Billiani & Fleischmann, 1990).

Desta forma, a degradação de polímeros pode ser caracterizada como térmica, mecânica, química, biodegradação, fotodegradação, termo-oxidação, foto oxidação, ou ainda pela associação destas conforme ilustra o esquema da Figura 6.

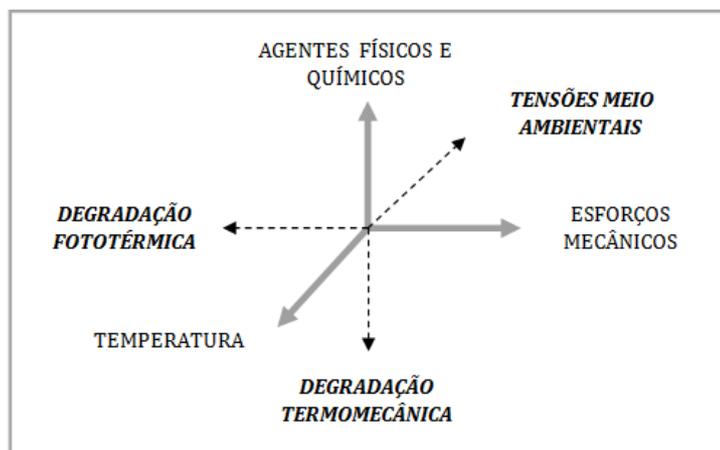


FIGURA 6 - ESQUEMA DE TIPOS DE DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS (DO AUTOR)

Polímeros possuem ligações covalentes que podem ser rompidas caso o polímero receba energia em forma de aquecimento igual ou superior à energia de dissociação dessas ligações. A energia de dissociação para polímeros está entre 300 e 850 kJ mol<sup>-1</sup>, e depende dos substituintes, ramificações da cadeia e da existência de comonômeros. A temperatura de degradação é influenciada pelas interações intermoleculares e intramoleculares, pois a condutividade térmica do polímero está relacionada com a forma com que o calor é transportado (De Paoli M. A., 2009). Quanto maior a condutividade térmica mais favorecida será a degradação térmica do polímero (Cáceres & Canevarolo, 2008). Polímeros geralmente são isolantes térmicos, então o tempo e a taxa de aquecimento possuem influência sobre sua estabilidade térmica (De Paoli M. A., 2009).

A degradação térmica também é afetada pela mobilidade das macromoléculas que por sua vez dependem do grau de cristalinidade do polímero, logo é importante avaliar as temperaturas de transição de fase de primeira e segunda ordem do polímero (De Paoli M. A., 2009). Quanto menor o grau de cristalinidade do polímero maior será seu grau de entrelaçamento, com aumento da massa molar e do número de ramificações ao longo da cadeia (Cáceres & Canevarolo, 2008), o que resulta em uma maior restrição de movimentos moleculares, menor dissipação da energia térmica e maior probabilidade de degradação térmica.

A iniciação da degradação térmica pode ocorrer por cisão aleatória das cadeias, dos grupos laterais ou pela ruptura de ligações fracas no meio da cadeia ou em grupos laterais ou ruptura de ligações em grupos reativos na extremidade da cadeia (De Paoli M. A., 2009). É possível também que a iniciação ocorra quimicamente a partir de aditivos ou contaminações presentes no polímero (De Paoli M. A., 2009).

A termo-oxidação é um processo de degradação autocatalítico que ocorre por meio de cadeias via radicais livre (BILLINGHAM & CALVERT, 1983) e consiste de uma etapa de iniciação na qual um átomo de hidrogênio é removido da molécula do polímero promovendo a formação de um macrorradical livre P-. A remoção do hidrogênio pode ocorrer através do ataque direto do oxigênio molecular aos pontos mais vulneráveis da estrutura química, que para o PP são os átomos de hidrogênio ligados aos átomos de carbono terciário (Agnelli & Chinelatto, 1992) ou pela decomposição de peróxidos e hidroperóxidos presentes no polímero (GEUSKENS, 1991).

Segundo De Paoli (2008) o mecanismo de degradação de grande parte de polímeros inicia na formação de radicais livres, que reagem com oxigênio formando hidroperóxidos. Os antioxidantes que atuam na desativação de radicais livres são chamados de primários e os que atuam na desativação ou decomposição de hidroperóxidos são chamados de secundários.

Fenômenos de fratura e modificações químicas induzidas por tensão mecânica ou cisalhamento ocorrem durante a degradação mecânica, podendo ser aplicadas deformações por cisalhamento simples, compressão, dilatação ou a combinação destes. A cisão das cadeias afeta as maiores macromoléculas do PP, reduzindo o tamanho médio de cadeias que conseqüentemente conduz à redução da distribuição de massa molar (Canevarolo S. V., 2002).

## 4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

### 4.1 MATERIAIS

Foram utilizados como matéria prima dois tipos de polipropileno fornecidos pela Braskem S/A: PP H125 e PP H155.

O PP H125 é um homopolímero com alto índice de fluidez e distribuição molecular estreita que é utilizado para produção de não tecidos *spunbonded* por apresentar bom desempenho de processamento, pois permite produção com velocidades de linha apreciáveis e atende às propriedades mecânicas requeridas para não tecidos. As propriedades do PP H125 podem ser visualizadas na Tabela 2.

TABELA 2- PROPRIEDADES DO PP H125 (BRASKEM S/A)

<b>Propriedades físicas</b>	<b>Valor nominal</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de teste</b>
Massa específica	0.905	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
Densidade	0.905	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Índice de fluidez (MFR) (230 °C/2.16 kg)	38	g/10 min	ASTM D1238
<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b>Valor nominal</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de teste</b>
Resistência à tração	33.0	MPa	ASTM D638
Alongamento	13	%	ASTM D638
Módulo de flexão - 1% Secante	1300	MPa	ASTM D790
<b>Impacto</b>	<b>Valor nominal</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de teste</b>
Impacto Izod com entalhe (23 °C)	25	J/m	ASTM D256
<b>Dureza</b>	<b>Valor nominal</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de teste</b>
Dureza Rockwell	103		ASTM D785
<b>Propriedades térmicas</b>	<b>Valor nominal</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de teste</b>
Temperatura de deflexão sob carga (0,45 MPa, não recozido, injeção moldada)	95.0	°C	ASTM D648
Temperatura de Deflexão de Calor (0,45 MPa, não recozido)	95.0	°C	ISO 75-2/B
Temperatura de deflexão sob carga (1,8 MPa, não recozido, injeção moldada)	55.0	°C	ASTM D648
Temperatura de Deflexão de Calor (1,8 MPa, não recozido)	55.0	°C	ISO 75-2/A
Temperatura de Amolecimento Vicat	154	°C	ASTM D1525

O PP H155 é um homopolímero com índice de fluidez bastante alto (aproximadamente 30 vezes maior que o do PP H125), utilizado em aplicações de não tecidos *Meltblown* para descartáveis higiênicos, produtos médicos, hospitalares, filtros e adsorventes de petróleo. Segundo dados da Empresa Piramidal (2015) o preço da resina PP H155 é de R\$6,80/kg. Na Tabela 3 podem ser observadas algumas propriedades desse polímero.

TABELA 3 - PROPRIEDADES DO PP H155 (BRASKEM S/A)

<b>Propriedades físicas</b>	<b>Valor nominal</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de teste</b>
Massa específica	0,905	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
Densidade	0,905	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Índice de fluidez (MFR) (230 °C/2.16 kg)	1300	g/10 min	ASTM D1238
<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b>Valor nominal</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de teste</b>
Módulo de flexão - 1% Secante	1300	MPa	ASTM D790

## 4.2 EQUIPAMENTOS

O equipamento utilizado foi uma máquina EREMA, ilustrada na Figura 7.



FIGURA 7 - RECICLADORA EREMA (EREMA , 2014)

O processo consiste no transporte de plásticos (pedaços de películas, fibras, aparas, material moído) por meio do sistema de alimentação para dentro do aglutinador no serviço automático ou manual. O material inserido na máquina é aquecido, misturado,

triturado, seco e pré-compactado no aglutinador e após ocorre uma descarga tangencial do material através do disco de rotor do aglutinador para dentro da extrusora de parafuso sem fim. Na extrusora o material funde e plastifica formando uma massa que é transportada para o processo de filtragem (EREMA , 2014). Ocorre a exaustão da umidade e de outros aditivos da massa fundida por meio do sistema de desgaseificação. Na etapa de granulação realiza-se a transformação da massa fundida em granulado cilíndrico regular e limpo. O granulado é transportado por meio de ventiladores transportadores em tubagens para a estação de secagem ou silo (EREMA , 2014).

Na Figura 8 está ilustrada as partes principais que compõem a recicladora Erema.

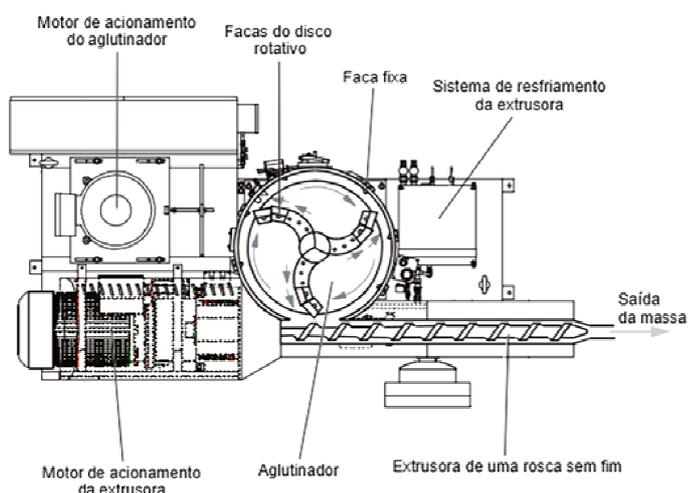


FIGURA 8 - COMPOSIÇÃO DA MÁQUINA EREMA (EREMA , 2014)

Na Figura 9 é possível verificar o fluxo que o material fundido percorre na máquina.

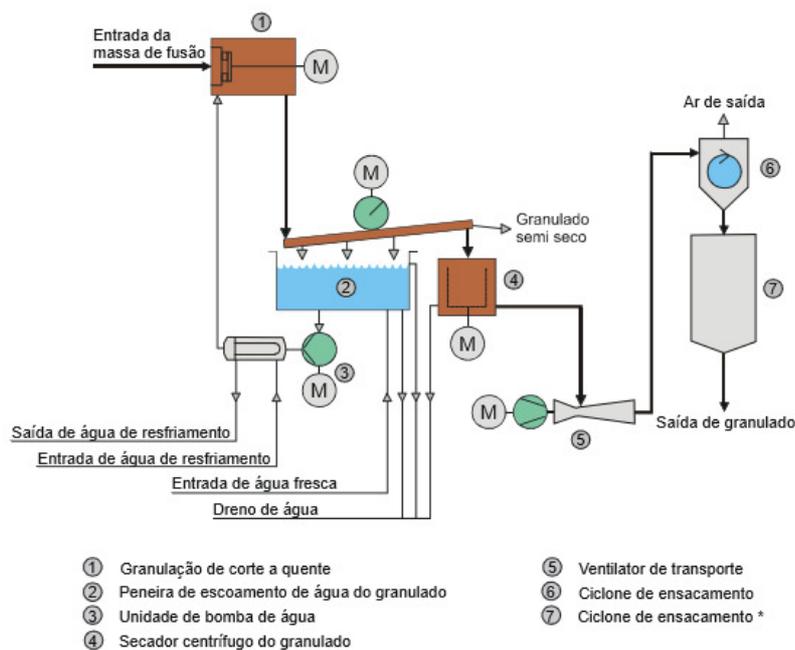


FIGURA 9 - DEMONSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DE FLUXO DE MATERIAL FUNDIDO (EREMA , 2014)

### 4.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento experimental, este estudo foi realizado na empresa Fitesa situada em Gravataí (RS), e foi evoluído em 4 etapas distintas descritas abaixo.

Na primeira etapa foi realizada a reciclagem de manta de nãotecido mesclada, ou seja, manta composta pela resina PP H125 e pela resina PP H155 através da tecnologia SSMMS. Nesta etapa utilizou-se condições padrão de parâmetros de produção que permite utilização de no máximo 10% do reciclado na produção do nãotecido sem ocorrência de defeitos de plastificação.. Comparou-se as propriedades do *pellet* reciclado com a do nãotecido moído (manta) e com a da resina virgem. Foram retiradas duas amostras, uma do estágio indicado em “RESÍDUO” no fluxograma da Figura 10 que será representada nos resultados como “TNT moído”, e outra retirada no estágio indicado em “PELLET RECICLADO” no mesmo fluxograma, designada como “Regranulado”. Esta etapa tinha como objetivo identificar as alterações de propriedades do produto entre os processos de formação da manta de nãotecido e após a reciclagem.

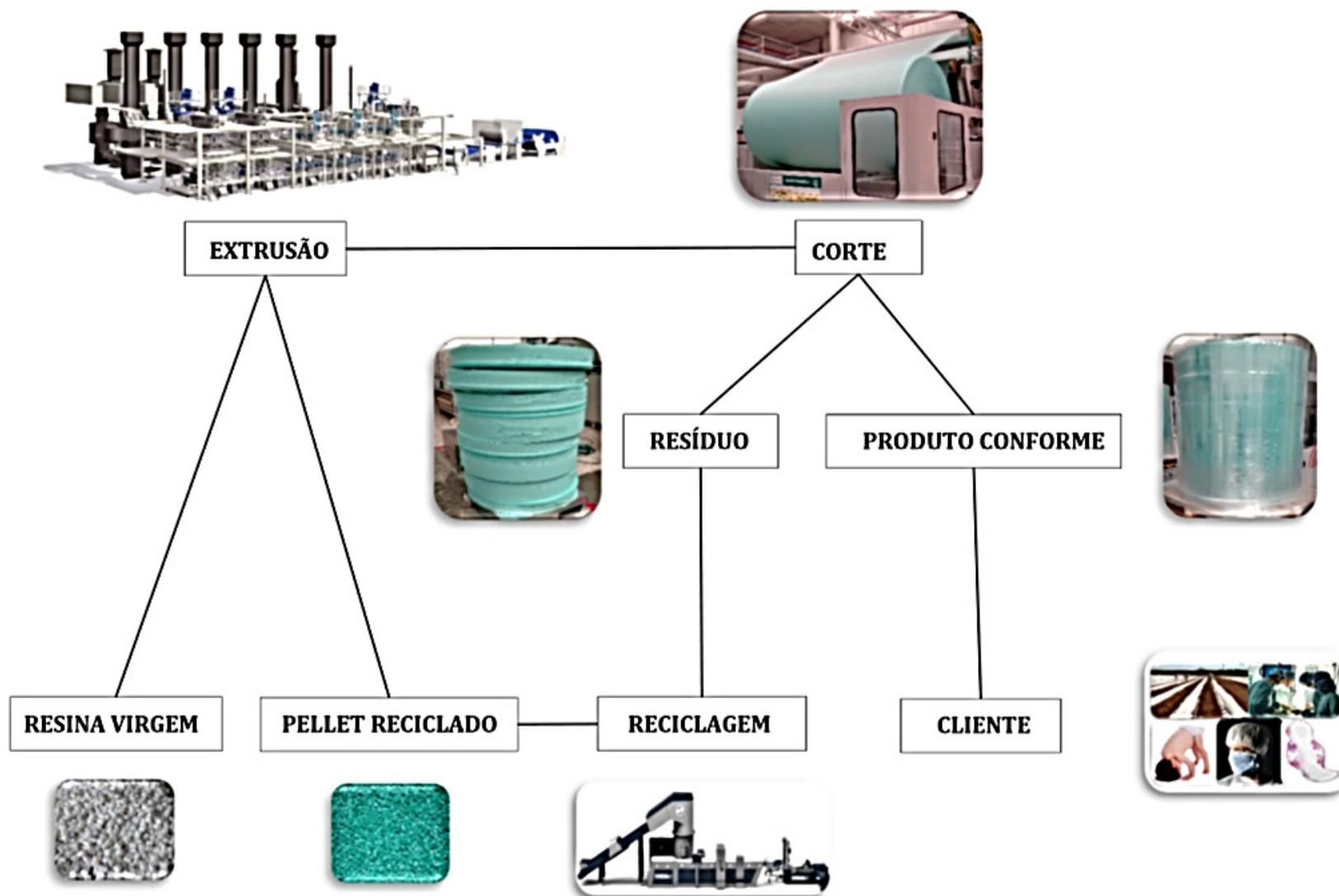


FIGURA 10 - DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSAMENTO DE RESINA PARA A PRODUÇÃO DE NÃOTECIDOS (DO AUTOR)

Na segunda etapa buscou-se identificar a influência da composição do não tecido nas características do *pellet* reciclado. Quatro amostras foram retiradas:

- 1) Amostra “Apara mesclada”, retirada do estágio indicado em “RESÍDUO” no fluxograma da Figura 10, considerado como produto de primeira passagem. A amostra foi produzida pela tecnologia SSMMS, na qual utiliza-se PP H125 e PP H155.
- 2) Amostra “Apara SSS”, retirada do estágio indicado em “RESÍDUO” da Figura 10, considerado como produto de primeira passagem. A amostra foi produzida pela tecnologia SSS (*Spunbonded*), na qual utiliza-se apenas PP H125.
- 3) Amostra “*Pellet* reciclado mesclado”, retirada do estágio indicado em “*PELLET* RECICLADO” da Figura 10, considerado como produto de segunda passagem. A amostra foi produzida pela tecnologia SSMMS, na qual utiliza-se PP H125 e PP H155 e passou pelo processo de reciclagem Erema.
- 4) Amostra “*Pellet* reciclado SSS”, retirada do estágio indicado em “*PELLET* RECICLADO” no fluxograma da Figura 10, considerado como produto de segunda passagem. A amostra foi produzida pela tecnologia SSS (*Spunbonded*), na qual utiliza-se apenas PP H125, e passou pelo processo de reciclagem Erema.

Na etapa 3 avaliou-se a influência das zonas de temperatura da máquina Erema nas propriedades do *pellet* reciclado a partir de não tecido *Spunbonded* (SSS). Para isso foram produzidas 4 amostras em 4 diferentes faixas de temperaturas para reciclagem.

Todas as amostras de *pellet* foram retiradas no estágio “*PELLET* RECICLADO” mostrado na Figura 10, ou seja, após o término da reciclagem. As faixas de temperaturas (°C) utilizadas estão apresentadas na Tabela 4

TABELA 4- FAIXAS DE TEMPERATURA EM °C UTILIZADAS NA RECICLAGEM DO PP H125

AMOSTRAS	AGLUTINADOR (°C)	EXTRUSORA (°C)				TROCADOR DE FILTROS (°C)		CONSOLIDAÇÃO DO <i>PELLET</i> (°C)
PADRÃO	145	120	180	180	230	240	240	220
T1	145	110	170	170	210	220	220	210
T2	145	130	170	170	180	190	190	180
T3	135	130	170	170	180	190	190	180

Na quarta etapa realizou-se uma produção de *pellets* com parâmetros de temperatura da amostra T3 para avaliação do reciclado em linha produtiva de não tecido *spunbonded*. Nesta etapa os grânulos reciclados foram alimentados na linha, elevando-se gradualmente o percentual de utilização. A alimentação da extrusora iniciou em 5% de reciclado produzido com faixas de temperatura indicadas na amostra T3 da tabela 4, no cabeçote B da extrusora, e apenas com resina virgem nos cabeçotes A e C. A cada 30 minutos incrementou-se em 3 % de reciclado (amostra T3) na cabeçotes B e avaliou-se visualmente a estabilidade da formação da fibra, o mapa da detecção de defeitos, e os parâmetros de pressão das telas filtro. Além da avaliação do processo, o produto final foi analisado quanto suas propriedades mecânicas de resistência e alongamento. O objetivo desta etapa foi quantificar o percentual de ganho em reciclagem para a produção de não tecidos e qualificar o processo e o produto final.

Em todas as etapas o *pellet* reciclado foi produzido com velocidade de rosca de 290 RPM.

Um esquema de amostragem e caracterização das quatro etapas descritas acima pode ser visualizado na Figura 11

	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
<b>AMOSTRAS</b>	RESÍDUO SSMS PELLET RECICLADO SSMS	RESÍDUO SSMS RESÍDUO SSS PELLET RECICLADO SSMS PELLET RECICLADO SSS	PELLET RECICLADO SSS (PADRÃO) PELLET RECICLADO SSS (T1) PELLET RECICLADO SSS (T2) PELLET RECICLADO SSS (T3)	PELLET RECICLADO SSS (T3)
<b>ANÁLISES</b>	ÍNDICE DE FLUIDEZ REOLOGIA ROTACIONAL DSC CROMATOGRAFIA	ÍNDICE DE FLUIDEZ REOLOGIA ROTACIONAL CROMATOGRAFIA	ÍNDICE DE FLUIDEZ REOLOGIA ROTACIONAL CROMATOGRAFIA COR (l,a b)	DEFEITOS PRESSÃO DE TELAS FILTRO PROPRIEDADES MECÂNICAS

FIGURA 11 - ESQUEMA DE GRUPOS AMOSTRAIS E CARACTERIZAÇÃO PARA CADA ETAPA DO EXPERIMENTO

## 4.4 CARACTERIZAÇÃO

### 4.4.1 ÍNDICE DE FLUIDEZ

A medida do índice de fluidez, IF, é uma maneira indireta de se avaliar as propriedades reológicas do polímero relacionadas à viscosidade do mesmo (De Paoli M. A., 2008).

O ensaio de índice de fluidez (IF) – 230 °C, 2,16kg foi realizado segundo a norma ASTM D – 1238-L. Para este ensaio foi utilizado o plastômetro M13 DSM com quatro minutos de pré-aquecimento.

---

#### 4.4.2 REOLOGIA ROTACIONAL

---

Os ensaios de reologia rotacional foram realizados em um reômetro Instron 3211, sendo as amostras na forma de nãotecido moído e *pellets* (regranulado). A temperatura utilizada foi de 190 °C.

---

#### 4.4.3 CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA

---

A técnica de calorimetria exploratória diferencial, DSC, pode ser utilizada para análise da pureza empregando-se a metodologia descrita na Norma ASTM E 928-03. Para análise das amostras utilizou-se o calorímetro DSC-Q100 V9.9 Build 303 para verificar a temperatura de fusão do polímero reprocessado. A análise foi realizada numa rampa de aquecimento de 20 a 200°C a uma taxa de 10°C/min.

Na análise de DSC foi possível obter a temperatura de cristalização e de fusão, entalpia de fusão e o grau de cristalinidade que é calculado a partir da equação 1, onde o valor de  $\Delta H_f$  (100%) para o PP teoricamente 100% cristalino é 207 J/g (Canevarolo J. S., 1991).

EQUAÇÃO 1

$$X = \frac{\Delta H_f \text{ amostra}}{\Delta H_f (100\%)} * 100$$

---

#### 4.4.4 CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA PERFORMANCE

---

Para a quantificação de antioxidantes primários e secundários utilizou-se a técnica de cromatografia líquida de alta performance, que consiste em separar os componentes de uma mistura distribuindo-os entre duas fases, estacionária e móvel (Canaverolo, 2004).

Para caracterização das amostras desse experimento utilizou-se um HPLC Waters, com extração por meio de ciclohexano aquecido a 160°C. As soluções com os aditivos extraídos foram filtradas e injetadas na coluna para separação após duas horas no estado de ebulição.

---

#### 4.4.5 COR (L\*, A\*, B\*)

---

A CIE - *Commission Internationale de l'Eclairage* (Comissão Internacional da Iluminação)- definiu três espaços de cor, CIE XYZ, CIE L\*C\*h e CIE L\*a\*b\* - para a comunicação e expressão das cores. O espaço de cor L, \*a e \*b, relaciona os valores de cor com a percepção visual expressando as coordenadas em termos de tonalidade, luminosidade e saturação.

Nestas coordenadas o L\* indica a luminosidade e o a\* (+a indica vermelho e -a indica verde) e b\* ((+b indica amarelo e -b indica azul) são as coordenadas cromáticas.

Foram realizadas análises de cor para as amostras da terceira etapa no equipamento DataCollor 110 a fim de verificar as variações das coordenadas b\*, que indicam o amarelamento do material.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 PROPRIEDADES REOLÓGICAS

#### 5.1.1 AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE FLUIDEZ DAS AMOSTRAS

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados de índice de fluidez de todas as amostras avaliadas, onde é possível verificar um acréscimo do IF na maioria delas quando comparadas a amostra virgem (PP H125).

TABELA 5 - RESULTADOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ PARA AS AMOSTRAS AVALIADAS

ETAPA	AMOSTRA	Índice de Fluidez - 230°C @2,16kg (g/10min)
1	TNT moído	56
	Regranulado	60,9
2	Resina virgem PP H125	38
	Resina virgem PP H155	1300
	Mesclado (15g/m <sup>2</sup> SSMMS)	60,9
	Apara mesclado	64,6
	<i>Pellet</i> reciclado mesclado	68,6
	Apara SSS	46,8
	<i>Pellet</i> reciclado SSS	53,4
3	Resina virgem PP H125	38
	SSS	46,8
	Padrão	59
	T1	53
	T2	53
	T3	51

Para a amostra denominada como mesclado (15g/m<sup>2</sup> SSMMS) o IF foi calculado a partir dos valores de IF da ficha técnica da resina PP H125 e da resina PP H155, utilizando-se a Lei logarítmica das misturas para viscosidade de fundidos de Throne

(Bernardo, Cunha, & Oliveira, 1996) indicada na equação 2, na qual os fatores [H125] e [H155] referem-se ao percentual em massa do nãotecido e os fatores IFH125 e IFH155 referem-se ao índice de fluidez teórico da resina PPH125 e da resina PPH155 respectivamente.

EQUAÇÃO 2

$$IF=10^{[H125]*\log(IFH125)+[H155]*\log(IFH155)}$$

O produto utilizado foi um não tecido de gramatura de 15 g/m<sup>2</sup>, composto por 86,7% de resina PP H125 e 13,3% de PPH155.

Para os produtos da primeira etapa de testes, os resultados de IF Figura 12 mostraram que as amostras “TNT moído” e “Regranulado” apresentaram valores significativamente superiores quando comparadas à resina H125 (referência com faixa de IF entre 35-41). Após o primeiro processamento ocorreu um aumento de 17% do índice de fluidez, e no processo de reciclagem o aumento foi similar (16,6%). Considerando que os parâmetros de extrusão e reciclagem desta etapa são considerados padrão de produção, e que as matérias-primas (PP H125 e PP H155) de ambas as amostras estão presentes em iguais quantidades, o material regranulado apresentou, como esperado, IF maior que o material TNT moído devido ao reprocessamento do material, onde o material pode ter sofrido degradação termomecânica oxidativa levando a possível cisão das cadeias.

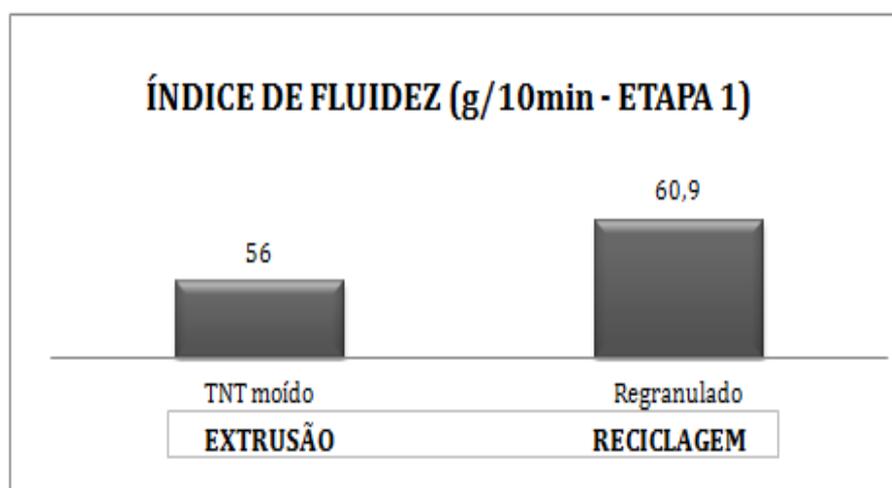


FIGURA 12- ÍNDICE DE FLUIDEZ DE AMOSTRAS DE ETAPA 1 E RESINA VIRGEM

Na segunda etapa buscou-se verificar a influência da resina de PP H155 (*Melt*) e da tecnologia SSMMS no processo de reciclagem. As análises de IF para as amostras da etapa 2 mostram um aumento do IF nos *pellets* quando comparadas as amostras em aparas tanto para o nãotecido SSS, quanto para o mesclado (SSMMS). Pode-se observar na Figura 13 que pelo coeficiente angular das retas o produto SSS apresenta taxa de aumento de IF maior, ou seja, os dados sugerem que o produto mesclado sofra menor influência do processo de reciclagem quando analisado pelo IF. Analisando em termos percentuais, tem-se que há aumento de 6% de IF para o mesclado (SSMMS) entre o produto de primeira passagem e a reciclagem, e de 14% de IF para o SSS nesse mesmo intervalo.

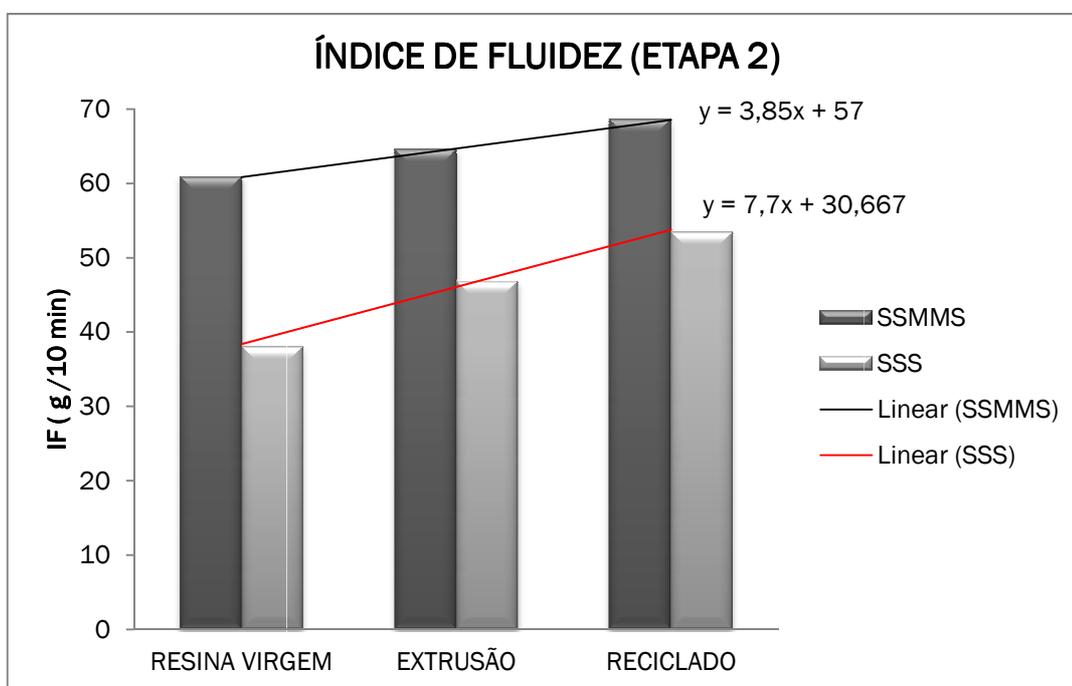


FIGURA 13 - ÍNDICES DE FLUIDEZ PARA AMOSTRAS DA ETAPA 2 E RESINA VIRGEM

Na terceira etapa buscou-se avaliar a influência da temperatura de reciclagem nas características do reciclado, comparando com o padrão utilizado para a produção atual. Na Figura 14 é possível observar uma diminuição de 13,5% (59 para 51 g/10 min) de IF entre a amostra padrão e a amostra processada em temperatura menor. É possível também verificar que o maior desvio de IF ocorreu entre a amostra padrão e a amostra T1, o que sugere que o aumento do IF entre os produtos de extrusão e reciclagem pode ser originado de processos de degradação em temperaturas entre 220°C e 240°C.

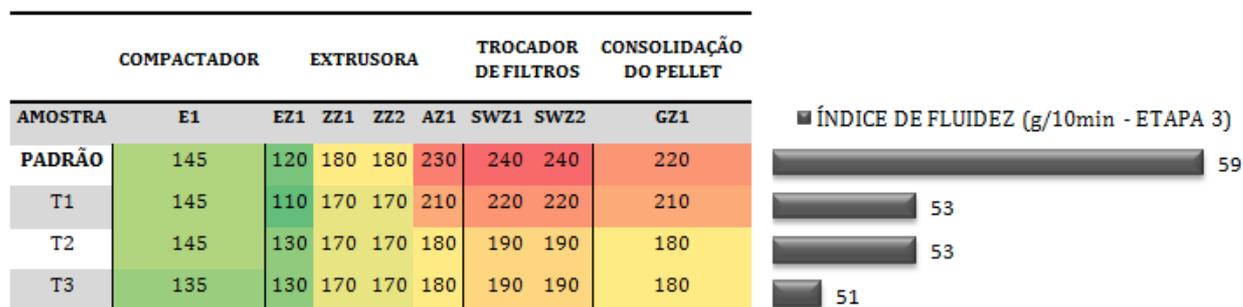


FIGURA 14 - RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURAS DE RECICLAGEM E ÍNDICE DE FLUIDEZ (ETAPA 3)

Com a diminuição da temperatura do aglutinador (compactador) em 5 graus relacionado à adição de água no sistema originou a queda da temperatura entre as facas do aglutinador e o IF diminuiu em 3,7% (53 para 51). Estes resultados são muito promissores, pois indicam que o controle da temperatura no processo da reciclagem primária é um parâmetro muito importante, e que o uso de altas temperaturas acelera o processo da degradação do PP. O índice de fluidez dos polímeros em processamento de extrusão aumenta com o número de ciclos, o que indica degradação do material com decorrência do cisalhamento das cadeias, diminuição do peso molecular do polímero e da viscosidade (Martins & De Paoli, 2002).

### 5.1.2 AVALIAÇÃO DA VISCOSIDADE DAS AMOSTRAS

Na Figura 15 estão apresentadas as curvas do perfil de viscosidade das amostras de primeira etapa em função da frequência angular. Analisando as curvas observa-se uma redução na viscosidade em função da taxa de cisalhamento dentro da faixa analisada, e um platô Newtoniano.

Essa redução do perfil de viscosidades confirmam as observadas na análise de IF entre as amostras. Ocorre um decréscimo da viscosidade inicial, assim como o aumento do platô tanto da amostra de NT moído (RESÍDUO) e da amostra do regranelado (PELLET RECICLADO) quando comparado com a resina virgem, comportamento reológico que confirma a degradação do PP, pelo decréscimo da massa molar média diretamente relacionado a menor viscosidade e o aumento da polidispersão relacionado ao alargamento do platô (Akcelrud, 2007), sendo esse último mais pronunciado na amostra regranelada.

Este comportamento pode impactar consideravelmente na estabilidade do processo de fiação para a produção do não tecido quando se utiliza material reciclado em teores significativos.

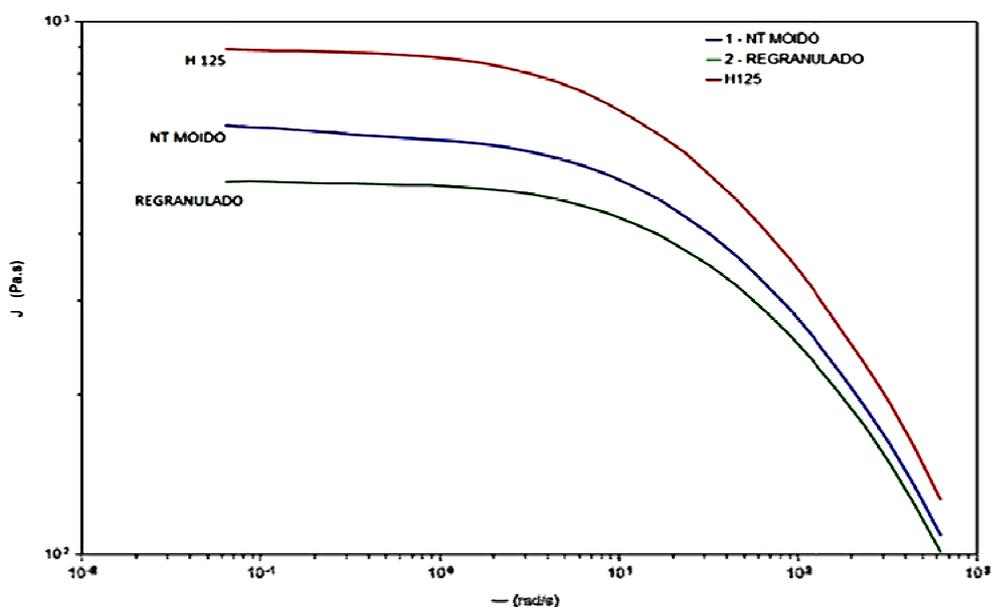


FIGURA 15 - CURVAS DE VISCOSIDADE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA ANGULAR (AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO) PARA AMOSTRAS OBTIDAS NA PRIMEIRA ETAPA

Pela teoria do volume livre em polímeros existe uma temperatura na qual não há volume livre entre as moléculas ( $T_g$ ), e acima dessa temperatura esse volume aumenta linearmente, diminuindo o atrito entre as moléculas e conseqüentemente a viscosidade (Akcelrud, 2007), porém deve-se levar em consideração que com o aumento de temperatura ocorrem vibrações moleculares que aumentam a probabilidade de entrelaçamento entre elas aumentando a largura do patamar.

Pela teoria de Williams, Landel e Ferry, WLF, a viscosidade  $n$  (g) em uma dada temperatura  $T$ , está relacionada à viscosidade na temperatura de transição vítrea,  $T_g$  pela equação 3 (Akcelrud, 2007):

EQUAÇÃO 3

$$\text{Log} \frac{n}{n_g} = \frac{c_1 (T - T_g)}{C_2} + (T - T_g)$$

Para as amostras da segunda etapa verifica-se na Figura 16 que a curva de viscosidade da apara do produto mesclado é similar à curva do *pellet* reciclado de SSS e

que ocorre diminuição da viscosidade para produtos de ambas as tecnologias após o reprocessamento com alargamento do platô.

Verifica-se também que a queda de viscosidade e o alargamento do platô ocorre de maneira mais brusca para o produto mesclado, podendo-se inferir que há maior distribuição do peso molecular para o nãotecido mesclado.

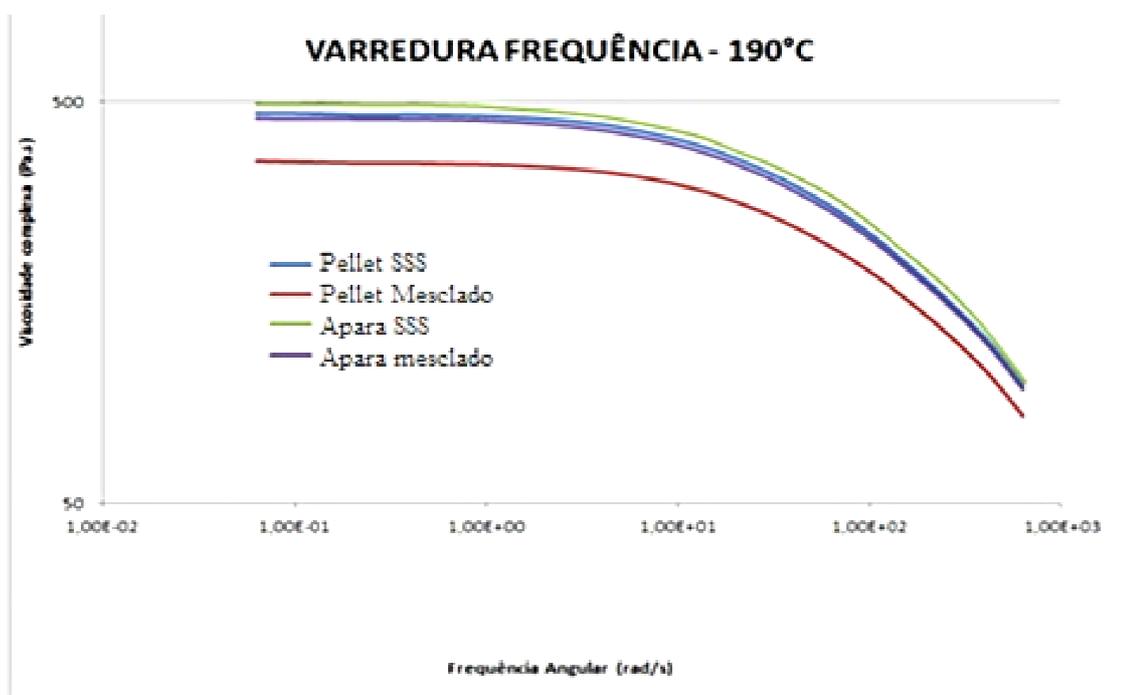


FIGURA 16 - CURVAS DE VISCOSIDADE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA ANGULAR (AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO) PARA AMOSTRAS OBTIDAS NA SEGUNDA ETAPA

Analisando-se a Figura 17 que contém as curvas reológicas para as amostras da terceira etapa, onde se verifica que para a amostra reprocessada em faixas mais brandas de temperatura (Amostra 3), a viscosidade da amostra é maior, e a largura do platô é menor (menor cisão das cadeias e menor distribuição de peso molecular).

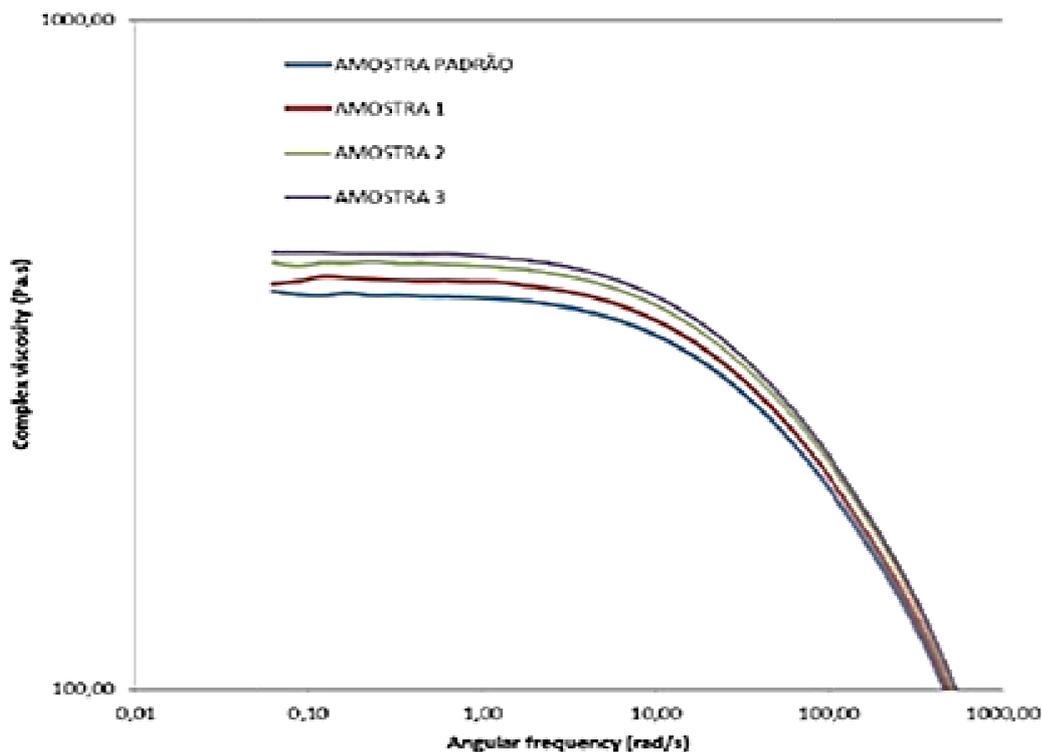


FIGURA 17 - CURVAS DE VISCOSIDADE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA ANGULAR (AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE TEMPERATURA DE REPROCESSAMENTO) PARA AMOSTRAS OBTIDAS NA TERCEIRA ETAPA

Esse resultado valida os dados obtidos para índice de fluidez, pois em produção com menores faixas de temperaturas espera-se que ocorra menor degradação do polímero com conseqüente aumento de viscosidade.

## 5.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS AMOSTRAS

Na Tabela 6 pode-se verificar os resultados compilados das análises por DSC das amostras da primeira etapa, na qual é possível analisar que ocorreu um sutil decréscimo na temperatura de fusão e maior, na temperatura de cristalização, e por tanto um aumento da entalpia e grau de cristalinidade, o que poderia indicar que houve cisão de cadeias do PP, favorecendo a formação de maior quantidade de fases cristalinas de menor tamanho (Van Dooren, 1984).

TABELA 6 - DADOS DO ENSAIO DE DSC PARA AS AMOSTRAS DA PRIMEIRA ETAPA

<b>Amostras Etapa 1:</b>	<b>NT MOÍDO</b>	<b>REGRANULADO</b>
Temperatura de início de cristalização (°C)	124	104,6
Temperatura de fusão (°C)	166	164
Entalpia de fusão (J/g)	92,66	110,4
Grau de cristalinidade calculado (%)	44,8%	53,3%

Estes resultados podem ser visualizados nos anexos de "A" a "D".

Nas análises de DSC das amostras da primeira etapa verificou-se que as amostras analisadas são de PP homopolímero com valores de  $T_m$ ,  $T_c$  e  $\Delta H_f$  (entalpia de fusão) compatíveis com a resina H125, como referência. Não foi verificada a presença de contaminantes através dos termogramas analisados. A temperatura de cristalização ( $T_c$ ) foi um pouco mais elevada ( $\sim 124^\circ\text{C}$ ) para o esperado no H125, e que pode ser possivelmente devido a presença de pigmentos em sua composição que poderiam estar influenciando na maior  $T_c$  do material (agentes nucleantes). Este ensaio foi realizado apenas para as amostras da etapa 1 para verificar a presença de contaminantes e o grau de cristalinidade.

### 5.3 AVALIAÇÃO DOS ANTIOXIDANTES PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados da análise de teor de antioxidante obtidas através de Cromatografia Líquida de Alta Performance – HPLC para as amostras avaliadas da primeira etapa, onde é possível verificar que houve uma queda do antioxidante primário em 28% da amostra NT MOÍDO (EXTRUSÃO) para REGRANULADA (RECICLADO).

Para o antioxidante secundário a queda foi bem maior, em 48%. Este fato indica que houve um consumo maior do aditivo secundário, devido às condições de processamento de esta etapa.

TABELA 7 - % DE TEOR DE ANTIOXIDANTES PARA AS AMOSTRAS DA PRIMEIRA ETAPA OBTIDOS PELA ANÁLISE DE HPLC. PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À RESINA PP H125 VIRGEM

AMOSTRAS	Antioxidante Primário	Antioxidante secundário
NT MOÍDO	64%	49%
REGRANULADO	46%	28%

Esta diminuição dos teores de antioxidantes primários e secundários das amostras em comparação a referência da especificação do *grade* do PP H125 está associada à degradação termomecânica oxidativa que ocorre durante o reprocessamento do material, sendo este efeito corroborado pelas análises de IF, reologia e calorimetria diferencial.

As análises de teor de antioxidante das amostras da segunda etapa, indicadas na Tabela 8, mostraram nas amostras MESCLADO um decréscimo de teores significativos dos antioxidantes primários e secundários. No caso das amostras de SSS, os valores de antioxidantes foram bastantes próximos, não evidenciando consumo durante o reprocessamento ou adição externa de antioxidantes.

TABELA 8 - % DE TEOR DE ANTIOXIDANTES PARA AS AMOSTRAS DA SEGUNDA ETAPA OBTIDOS PELA ANÁLISE DE HPLC. PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À RESINA PP H125 VIRGEM

AMOSTRAS	Antioxidante Primário	Antioxidante secundário
APARA MESCLADO	76%	73%
APARA SSS	90%	84%
PELLET MESCLADO	62%	51%
PELLET SSS	84%	81%

Nas amostras da terceira etapa verificou-se que há 6% a menos de perda de antioxidante primário, e 4% a menos de perda de antioxidante secundário quando o polímero é reprocessado a uma temperatura máxima de 190°C (amostras T3), em relação ao reprocessado em temperatura máxima de 240°C (amostra padrão). Os dados podem ser constatados na Tabela 9

TABELA 9 - % DE TEOR DE ANTIOXIDANTES PARA AS AMOSTRAS DA TERCEIRA ETAPA OBTIDOS PELA ANÁLISE DE HPLC. PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À RESINA PP H125 VIRGEM

AMOSTRAS	Antioxidante Primário	Antioxidante secundário
PADRÃO	71%	80%
T1	73%	81%
T2	76%	83%
T3	77%	84%

#### 5.4 AVALIAÇÃO DE COR (L\*, A\*, B\*)

Os resultados obtidos para análises de cor são apresentados na Tabela 10, onde é possível verificar que a amostra de não tecido (Extrusão) possui o menor índice de amarelamento (b), como esperado, visto que o produto passou por apenas um ciclo de processamento.

TABELA 10 - ANÁLISE DE COR PARA NÃO TECIDO, *PELLET* PADRÃO E AMOSTRAS DA ETAPA 3

Amostra	L*	A*	B*
Nãotecido	96,55	-0,13	0,64
Pellet reciclado padrão	87,11	-0,82	8,48
Amostra Etapa 3	L*	A*	B*
T1	87,87	-1,57	7,21
T2	87,77	-2,29	5,82
T3	89,45	-2,11	3,89

Comparando o índice de amarelamento b entre a amostras *Pellet* reciclado padrão e amostra T3 (terceira etapa) observa-se uma diminuição de 54%.

Os ensaios dos resultados podem ser verificados nos anexos de "E", à "I".

## 5.5 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE PROCESSAMENTO

---

A análise de estabilidade de processamento ocorreu na quarta etapa na qual foi inserido o *pellet* reciclado da amostra T3 (produzido na etapa 3) na alimentação da cabeçote B da extrusora e *pellets* de resina virgem na cabeçote A e na cabeçote C. A estabilidade da fiação é mantida quando há homogeneidade da massa fundida e viscosidade adequada para formação dos filamentos.

Comparando-se as Figura 18 e Figura 19 é possível verificar que a formação dos filamentos continuou estável no cabeçote B enquanto variou-se o percentual de reciclado da amostra T3 entre 5% e 20%.



FIGURA 18 - FORMAÇÃO DE FIAÇÃO NO CABEÇOTE B COM UTILIZAÇÃO DE 5% DE RECICLADO T3



FIGURA 19 - FORMAÇÃO DE FIAÇÃO NO CABEÇOTE B COM UTILIZAÇÃO DE 20% DE RECICLADO T3

### 5.5.1 ANÁLISE DE DEFEITOS

A linha de produção da empresa Fitesa conta com um sistema de inspeção para detecção de defeitos na manta chamado ISRA que mostra um mapa da manta com os defeitos encontrados, relacionando-os em níveis de criticidade, conforme Figura 20.

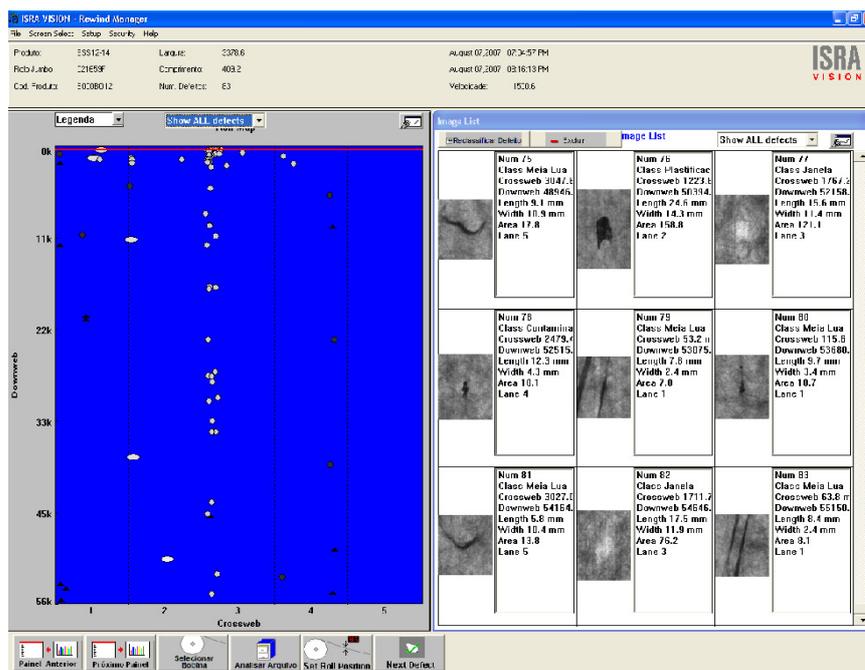


FIGURA 20 - MAPA DE INSPEÇÃO ISRA PARA DETECÇÃO DE DEFEITOS

Instabilidades na formação da fição causam defeitos denominados de plastificação que prejudicam partes da máquina, como a esteira, e a qualidade do produto final.

Na Figura 21 são exibidos defeitos de plastificação (provenientes de instabilidade de fição causada por utilização de reciclado com propriedades reológicas inadequadas) indicados no mapa ISRA quando a produção foi alimentada com 10% de *pellet* reciclado em um dos cabeçotes.

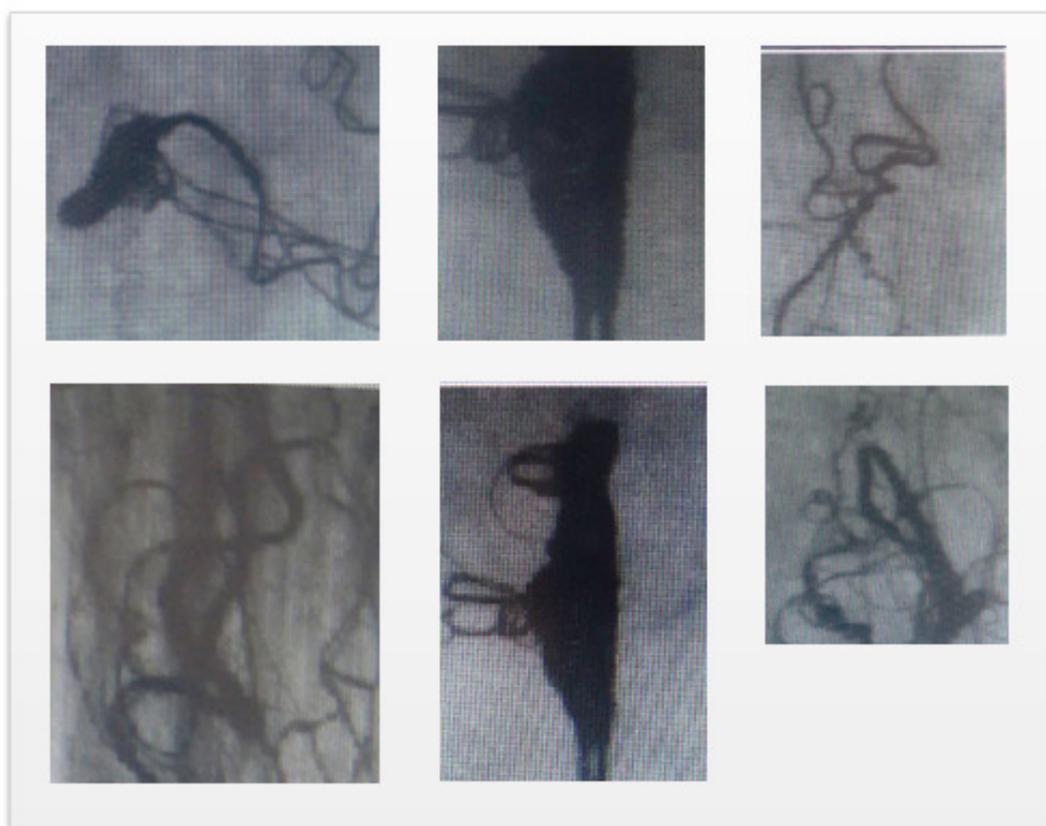


FIGURA 21 - DEFEITOS DE PLÁSTICAÇÃO DETECTADOS PELO MAPA INSRA

Em produções anteriores não foi possível alimentação superior a 10% com o *pellet* reciclado padrão, pois defeitos foram detectados durante a inspeção automática da manta. Durante a produção de nãotecido com o *pellet* reciclado da amostra T3 não houve indicações de defeito do tipo plastificação no mapa ISRA conforme Figura 22.

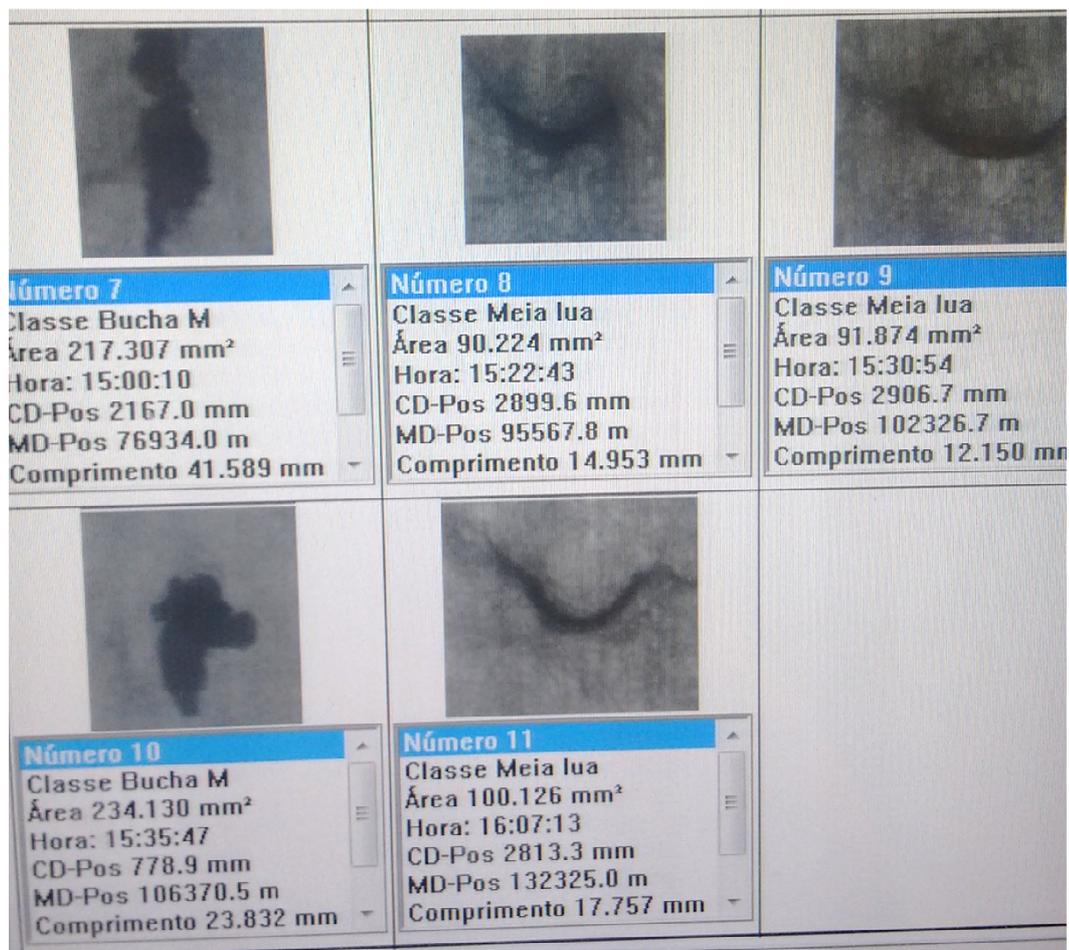


FIGURA 22 - DEFEITOS VISUALIZADOS NO MAPA ISRA DURANTE PRODUÇÃO DO NÃOTECIDO COM O RECICLADO DA AMOSTRA T3

Defeitos de plastificação no produto final ocorridos em outras produções podem ser visualizados na Figura 23 à Figura 25.



FIGURA 23 - DEFEITO DE PLASTIFICAÇÃO EM NÃOTECIDO SSS BRANCO UTILIZADO NA PRODUÇÃO DE DESCARTÁVEIS HIGIÊNICOS FEMININOS



FIGURA 24 - DEFEITO DE PLASTIFICAÇÃO EM NÃOTECIDO SSMMS VERDE UTILIZADO NA PRODUÇÃO DE DESCARTÁVEIS HIGIÊNICOS

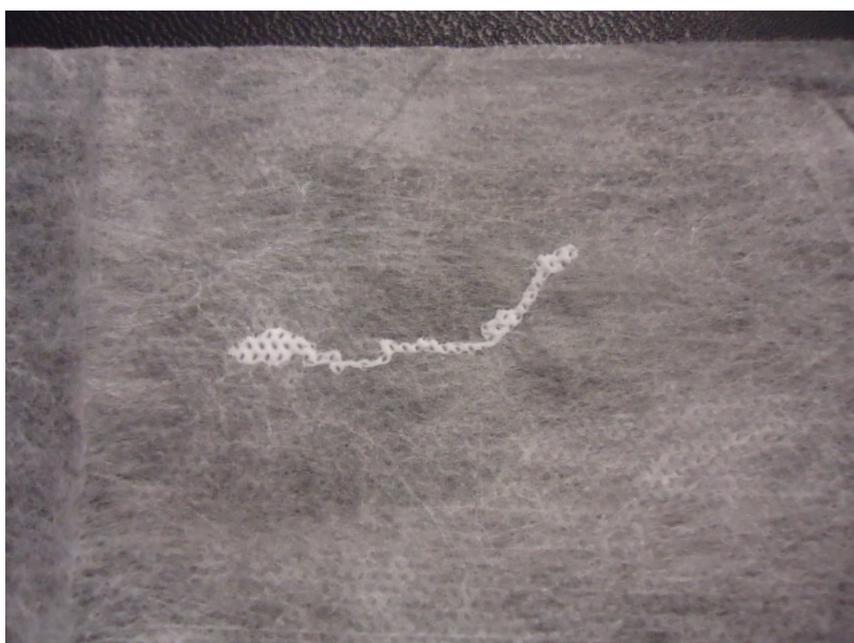


FIGURA 25 - DEFEITO DE PLASTIFICAÇÃO EM NÃOTECIDO SSS BRANCO

### 5.5.2 ANÁLISE DE PRESSÃO DE TELA FILTRO DE EXTRUSORA

Para avaliar a qualidade do processamento do *pellet* da amostra T3 utilizou-se dados de parâmetros de pressão da tela filtro da extrusora. Comparou-se a pressão exercida com a quantidade reciclada e o tipo de reciclado utilizado para verificar o nível de contaminantes e degradação da massa fundida.

A Figura 26 mostra o perfil da pressão da massa extrusada (bar) na curva em vermelho e massa de resina reciclada (kg/h) na curva em rosa, por tempo, no qual é possível verificar o perfil da variação de pressão com a quantidade de resina reciclada utilizada ao longo de uma semana. É possível verificar que a pressão das telas cresce exponencialmente ao longo do tempo, fato que se deve ao acúmulo de contaminantes nas telas.

Na Figura é indicado com a seta azul o tempo em que ocorreram os testes com o reciclado da amostra T3.

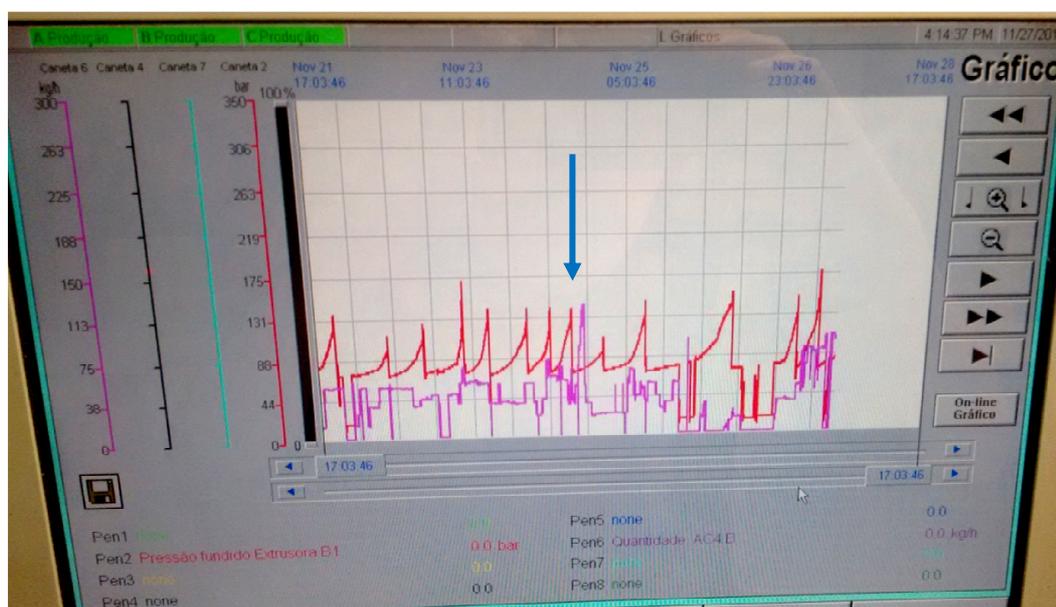


FIGURA 26 - PERFIL DE VARIAÇÃO DE PRESSÃO DE TELA FLTRO E MASSE DE *PELLET* RECIKLADO POR TEMPO

Na Figura 27 é possível verificar a variação de pressão (bar) ao longo do tempo. Entre 10h e 13:40h a produção foi realiza utilizando-se 8% de reciclado padrão nos 3 cabeçotes, e o pico de pressão obtida foi de 138 bar. A crescente da curva de pressão ao longo do tempo mostra a ocorrência de acúmulo de contaminantes na tela. As 13:40h

ocorreu a troca das telas filtro e o início da produção com 5% de *pellet* T3 no cabeçote B. Verifica-se a queda de pressão para aproximadamente 76 bar devido à troca da tela.



FIGURA 27 - VERIFICAÇÃO DE PRESSÃO DE TELAS FILTRO X TEMPO EM PRODUÇÃO PADRÃO (PELLET PADRÃO A 8% NOS 3 CABEÇOTES DA EXTRUSORA)

A Figura 28 ilustra a variação de pressão durante toda a produção com reciclado da amostra T3 na faixa de tempo indicada com a seta em azul. Não há variações de pressão significativa ao longo das 4 horas de produção e nem com o aumento de percentual de reciclado da amostra T3 utilizado, podendo-se inferir que há pouco acúmulo de contaminantes na tela filtro. O pico de pressão do teste foi de 76 bar.

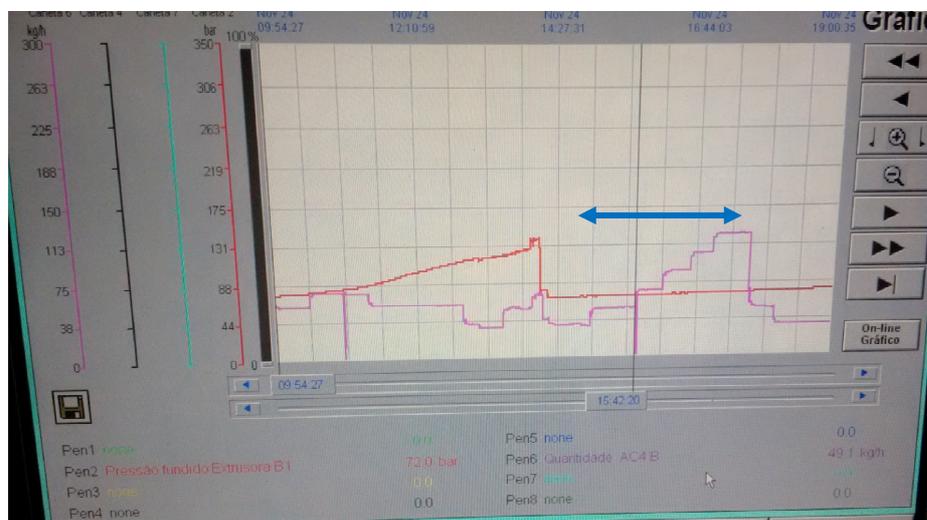


FIGURA 28 - VARIAÇÃO DE PRESSÃO AO LONGO DO TEMPO DURANTE PRODUÇÃO COM RECICLADO DA AMOSTRA T3 A 20%

Após o termino do teste com o *pellet* reciclado da amostra T3, a produção retornou a alimentar 8% de *pellet* padrão nos 3 cabeçotes de extrusão. A variação de pressão na tela filtro pode ser observada na Figura 29, na qual foram inseridas as curvas de percentual de reciclado em cada cabeçote. A curva em rosa representa o percentual de reciclado alimentado no cabeçote b, enquanto as azuis são referentes ao cabeçote C e A. As curvas em verde, vermelho e amarelo são referentes às pressões do cabeçote A, B e C respectivamente.

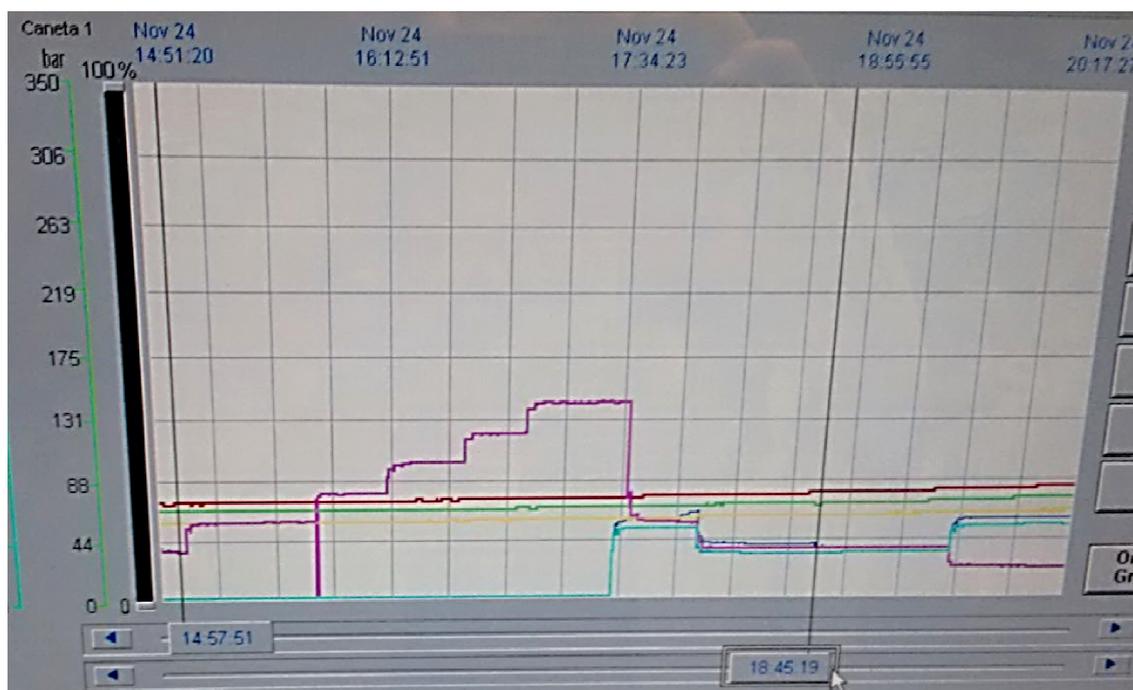


FIGURA 29 - VARIAÇÃO DE PRESSÃO X TEMPO E DE % DE RECICLADO POR CABEÇOTE DE EXTRUSÃO

Na Tabela 11 são apresentados a quantidade (%) e o tipo de *pellet* (reciclado identificado pela cor rosa e azul claro para o reciclado padrão) alimentada em função do tempo monitorado no período das 13:00h até 18:00h.

TABELA 11 - % DE ALIMENTAÇÃO DE PELLETS AO LONGO DO TEMPO POR CABEÇOTE DE EXTRUSÃO

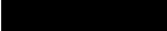
TEMPO	13:00	13:402	15:00	15:40	16:10	16:40	17:10	17:35	18:00
CABEÇOTE A	5	0	0	0	0	0	0	8	5
CABEÇOTE B	5	5	8	11	14	17	20	8	5
CABEÇOTE C	5	0	0	0	0	0	0	8	5

	% DE PELLETS RECICLADO T3
	% DE PELLETS RECICLADO PADRÃO

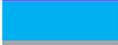
Na Tabela 12 são apresentadas as variações de pressão durante o processamento por extrusão no mesmo período avaliado de três diferentes tipo de *pellet* (reciclado identificado pela cor rosa, azul claro para o reciclado padrão e a cor preta para os pellets virgem) .

TABELA 12 - VARIAÇÃO DE PRESSÃO DA TELA FILTRO AO LONGO DO TEMPO POR CABEÇOTE DE EXTRUSÃO

TEMPO	13:00	13:40	15:00	15:40	16:10	16:40	17:10	17:35	18:00
CABEÇOTE A	120	66	66	66	66	68	68	70	70
CABEÇOTE B	138	70	70	72	72	74	74	76	78
CABEÇOTE C	62	62	57	57	59	59	61	61	61

	PELLET RECICLADO T3
	PELLET RECICLADO PADRÃO
	PELLET VIRGEM

Na Figura 30 Figura 30 -verifica-se a relação existente entre o percentual e o tipo de reciclado com a pressão das telas filtro do cabeçote B durante a produção de não-tecido.

	PELLET RECICLADO T3
	PELLET RECICLADO PADRÃO
	PRESSÃO TELA FILTRO (bar)

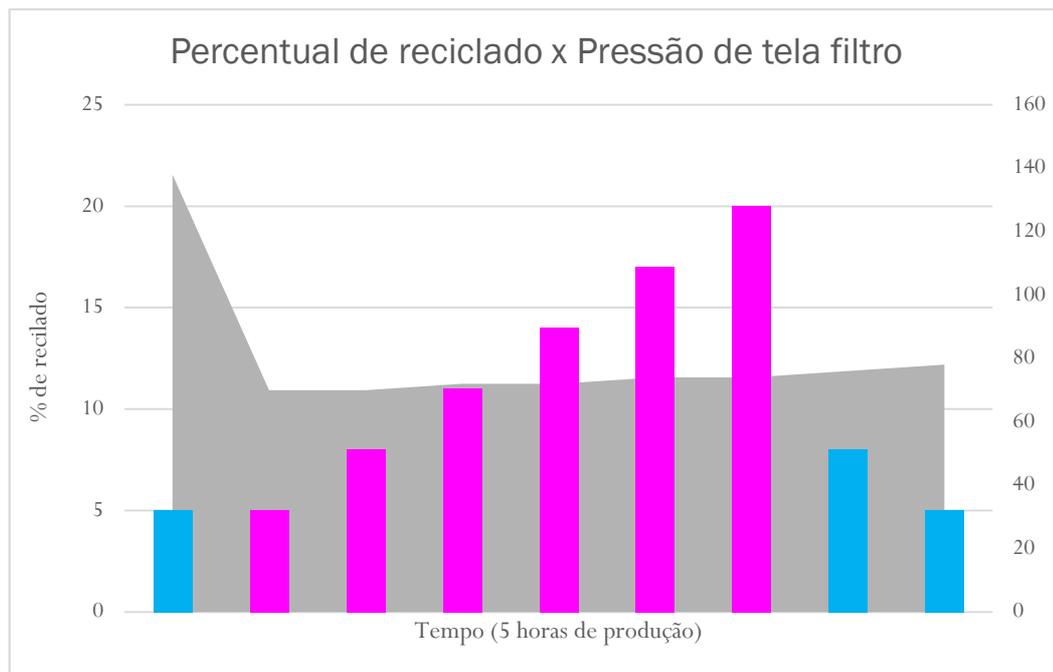


FIGURA 30 - RELAÇÃO ENTRE % E TIPO DE RECICLADO E PRESSÃO DE TELA FILTRO

Nota-se que após a limpeza da tela filtro há uma queda de pressão que se mantém praticamente constante ao longo do tempo, mesmo com a adição de PP reciclado.

Na Figura 31 está ilustrada a variação de pressão ao longo do tempo quando se utiliza o *pellet* padrão a 7%. A pressão atinge um pico de 160 bar, o que indica alta saturação das telas filtro por contaminantes.



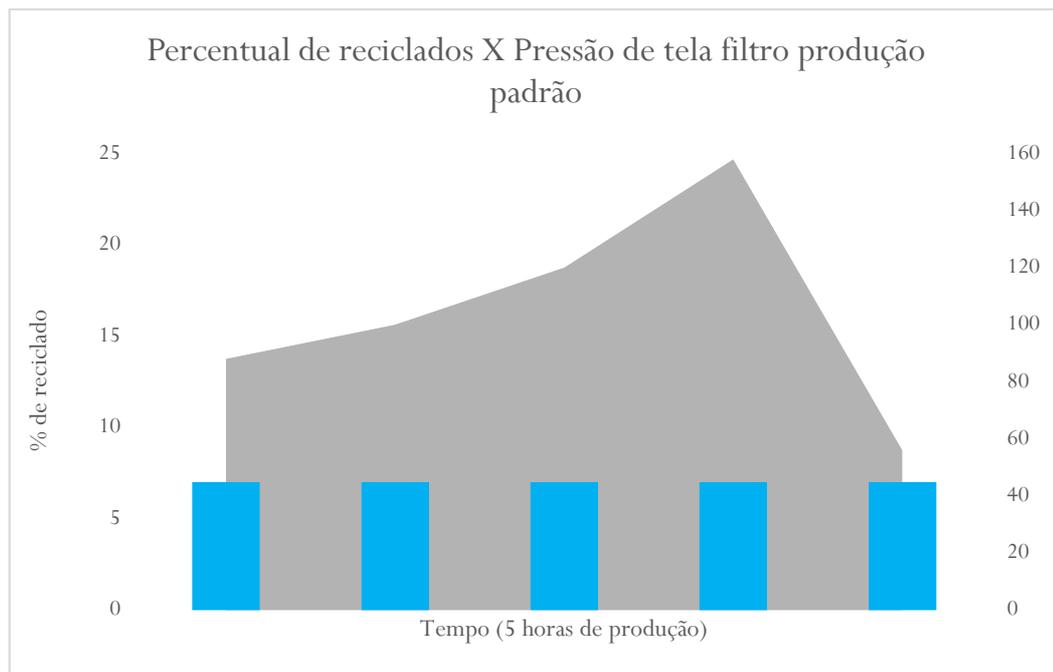


FIGURA 31 - RELAÇÃO ENTRE % DE RECICLADO E PRESSÃO DE TELA FILTRO EM PRODUÇÃO PADRÃO

Comparando-se os resultados do teste com o *pellet* reciclado da amostra T3 e o *pellet* reciclado da amostra padrão conclui-se que a variação da pressão quando utilizado um *pellet* com menor IF é menor, logo seria possível aumentar o tempo de troca de telas devido a diminuição da saturação por contaminantes.

### 5.5.3 ANÁLISES DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DO PRODUTO FINAL

O produto final foi analisado para resistência mecânica e alongamento no sentido de produção chamado de MD, direção de máquina (*machine direction*) e no sentido cruzado de produção CD, direção transversal da máquina (*cross machine*), conforme norma EDANA 40.3-90 em um dinamômetro *Instron*.

Para verificar se as médias dos grupos amostrais são iguais ou diferentes utilizou-se um teste t. O teste t é um teste estatístico que consiste em testar a igualdade entre duas médias, e que supõe independência e normalidade do espaço amostral (Bussab & Morettin, 1987).

Nas Tabela 13 à Tabela 16 pode-se verificar os resultados obtidos para o teste t das análises de resistência a tração e alongamento na ruptura no sentido MD e CD das amostras de Nãotecido.

TABELA 13 - TESTE T PARA ENSAIO DE RESITÊNCIA MD NA RUPTURA DO NÃOTECIDO PRODUZIDO COM PELLET DA AMOSTRA PADRÃO E DA AMOSTRA T3

**Resistência MD**

<b>Teste-t</b>	<b>AMOSTRA PADRÃO</b>	<b>AMOSTRA T3</b>
Média	2,62	2,778
Variância	0,0166	0,04642
Observações	5	5
Correlação de Pearson	-0,13148804	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-1,332301933	
<b>P-valor bi-caudal</b>	<b>0,253596868</b>	
t crítico bi-caudal	2,776445105	

TABELA 14 - TESTE T PARA ENSAIO DE RESITÊNCIA CD NA RUPTURA DO NÃOTECIDO PRODUZIDO COM PELLET DA AMOSTRA PADRÃO E DA AMOSTRA T3

**Resistência CD**

<b>Teste-t</b>	<b>AMOSTRA PADRÃO</b>	<b>AMOSTRA T3</b>
Média	0,896	1,006
Variância	0,02403	0,00688
Observações	5	5
Correlação de Pearson	-0,160990126	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-1,313813367	
<b>P-valor bi-caudal</b>	<b>0,25919264</b>	
t crítico bi-caudal	2,776445105	

TABELA 15 - TESTE T PARA ENSAIO DE ALONGAMENTO MD NA RUPTURA DO NÃOTECIDO PRODUZIDO COM PELLET DA AMOSTRA PADRÃO E DA AMOSTRA T3

**Alongamento MD**

<b>Teste-t</b>	<b>AMOSTRA PADRÃO</b>	<b>AMOSTRA T3</b>
Média	39,384	42,708
Variância	8,19183	41,69212

Observações	5	5
Correlação de Pearson	0,224520402	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-1,15259221	
<b>P-valor bi-caudal</b>	<b>0,313271167</b>	
t crítico bi-caudal	2,776445105	

TABELA 16 - TESTE T PARA ENSAIO DE ALONGAMENTO CD NA RUPTURA DO NÃO TECIDO PRODUZIDO COM PELLET DA AMOSTRA PADRÃO E DA AMOSTRA T3

#### Alongamento CD

Teste-t	AMOSTRA PADRÃO	AMOSTRA T3
Média	48,906	59,372
Variância	92,84088	20,65717
Observações	5	5
Correlação de Pearson	-0,124013787	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-2,098579848	
<b>P-valor bi-caudal</b>	<b>0,103819604</b>	
t crítico bi-caudal	2,776445105	

Quando o valor de P é maior que o nível de significância (5%) não se pode rejeitar a hipótese nula, que neste caso diz que as médias são iguais (Bussab & Morettin, 1987).

Em todos os testes o valor de P superou 0,05, então a hipótese nula é aceita e conclui-se que não há diferença significativa entre as médias.

#### 5.5.4 ANÁLISE ECONÔMICA E DE SUSTENTABILIDADE

O custo da resina de PP virgem H125 é composto pelo valor do barril de petróleo mais o custo de manufatura do *pellet*, resultando em média de R\$7,00/kg segundo dados da Empresa Piramidal (2015).

O custo da resina reciclada pode ser calculado a partir da soma do custo do resíduo, do custo energético e do custo de produção, que resulta em um valor médio de R\$2,14/kg.

Na Tabela 17 é possível verificar o custo do não-tecido de acordo com o percentual de reciclado utilizado em sua produção.

TABELA 17 - CUSTO DO NÃO-TECIDO X % DE RECICLADO

PRODUTO	RECICLADO	CUSTO/kg
NÃO-TECIDO SPUNBONDED	0%	R\$ 7,00
NÃO-TECIDO SPUNBONDED	10%	R\$ 6,51
NÃO-TECIDO SPUNBONDED	20%	R\$ 6,03

Levando em consideração a utilização de percentual de resina reciclada atualmente, o custo de matéria-prima para a produção de não-tecidos seria de em média aproximadamente R\$6,81/kg, enquanto que com a utilização de 20% o custo ficaria de aproximadamente R\$6,03/kg, uma redução de aproximadamente 11,4%.

A produção anual de não-tecidos no Rio Grande do Sul é de aproximadamente 48,5 mil toneladas, sendo que em média 48% desses produtos utilizam tecnologia SSS ou SSMMS. Para os produtos do tipo *spunbonded* e mesclados, aproximadamente 2% da produção é destinada para a reciclagem primária, o que corresponde em média a 465 toneladas por ano.

Além do fator econômico, o aumento da reciclagem em produção de não-tecidos traz diversos benefícios ambientais como:

- Diminuição da geração de resíduo descartado, com conseqüente diminuição da quantidade de resíduo e diminuição de impactos ambientais;
- Diminuição do consumo de PP virgem (preservação de recursos naturais não renováveis);
- Diminuição no consumo de energia

## 6 CONCLUSÃO

---

Este estudo tratou sobre a reciclagem primária de não tecidos de polipropileno cujos resultados levaram as seguintes conclusões:

A análise reológica de amostras da primeira etapa levou a concluir que as condições de reciclagem primária do PP foram agressivas, indicando possível degradação deste, através do aumento do IF do polímero e o alargamento do platô da curva de viscosidade do fundido apontando o aumento da polidispersão das massas molares. O PP reciclado apresentou maior grau de cristalinidade decorrente da diminuição do tamanho das cadeias.

Após a primeira extrusão para a transformação da resina em não tecido foi observado uma perda de 36% de antioxidante primário e de 54% de antioxidante secundário, enquanto que no processo de transformação do não tecido para *pellet* a perda de antioxidante primário foi 15% e antioxidante secundário foi de 18%. As análises mostraram que a maior perda de aditivos se dá para o antioxidante secundário e ocorre na primeira extrusão. As análises mostraram claramente que o processo de reciclagem do PP implica na degradação termomecânica oxidativa do mesmo.

Para verificar a influência da resina utilizada na reologia do *pellet* e no teor de antioxidantes analisou-se produtos de tecnologia *Spunbonded* (SSS) que tem em sua composição 3 camadas da resina PP H125 e de tecnologia *Spun-melt* (SSMMS) no qual o produto é formado por 3 camadas de resina PP H125 (S) e por duas camadas internas de resina PP H155 (M). Ambos produtos apresentaram aumento de IF após a reciclagem e alargamento do platô. O alargamento do platô do produto SSMMS foi mais representativo, fato que corrobora com o resultado maior de IF para este produto e indica que ocorreu cisalhamento das cadeias.

Buscando melhorar o processo de reciclagem e diminuir a degradação estipulou-se faixas de temperaturas mais brandas para as zonas de aglutinação e extrusão. Foram produzidas três amostras com diminuição gradual das temperaturas a fim de não parar a linha de reciclagem e evitar prejudicar a produção. A amostra produzida em temperatura padrão apresentou um IF de 59, enquanto a amostra processada em menores temperaturas apresentou um IF de 51, fato que reforça a ocorrência de degradação térmica no processo de reciclagem. Os resultados reológicos mostram que a amostra

produzida em temperaturas mais altas apresenta maior agressividade, levando a uma maior dispersão de massas molares, e a análise de cor aponta um maior amarelamento.

A mudança de viscosidade decorrente da degradação do polímero gera consequências na etapa de estiramento das fibras podendo causar rompimento dos filamentos e defeitos de plastificação no produto final, limitando o uso do PP reciclado na produção de não tecidos.

Com a obtenção de propriedades reológicas mais interessantes no *pellet* reciclado em temperaturas mais baixas, testou-se 650 kg desse *pellet* na produção do não tecido, aumentando-se gradativamente o percentual de reciclado utilizado. Observou-se que a formação da fiação se manteve estável, assim como a pressão das telas filtro sem a ocorrência de defeitos de plastificação. Dessa forma, verificou-se que é possível a utilização de 20% de *pellet* reciclado sem prejuízo para o processamento do material e para a qualidade do produto.

O aumento da utilização de reciclado na produção de não tecidos torna o custo do produto menor, trazendo maior competitividade para empresa e traz benefícios ambientais, relacionados ao menor descarte de resíduos em aterro, menor consumo de energia e diminuição de impactos ambientais.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

---

- Avaliar adição de antioxidantes no processo EREMA;
- Testar produção com 100% de *pellet* reciclado;
- Avaliar saturação de telas filtro por tempo e percentual de reciclado;

## BIBLIOGRAFIA

---

- ABINT . (2010). *Coletânea de Normas de Nãotecidos*. São Paulo: Associação Brasileira das Indústrias de Nãotecidos e Tecidos técnicos.
- ABIPLAST. (28 de 11 de 2014). *Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico, Perfil 2014*. Acesso em 28 de 11 de 2015, disponível em ABIPLAST: [http://file.abiplast.org.br/download/links/2015/perfil\\_abiplast\\_2014\\_web.pdf](http://file.abiplast.org.br/download/links/2015/perfil_abiplast_2014_web.pdf)
- ABIQUIM. (2013). *A indústria Química Brasileira*. Acesso em 25 de Outubro de 2015, disponível em Associação Brasileira da Indústria Química: <http://www.abiquim.org.br/pdf/indQuimica/AIndustriaQuimica-SobreSetor.pdf>
- Agnelli, J. A., & Chinelatto, M. A. (1992). Degradação de Polipropileno: Aspectos teóricos e recentes, avanços em sua estabilização. *Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia* .
- Akcelrud, L. (2007). *Fundamentos da Ciência dos Polímeros*. São Paulo: Barueri SP.
- Aurrekoetxea, J., Sarrionandia, M. A., Urrutibeascoa, I., & MasPOCH, M. L. (2001). Effects of recycling on the microstructure and the mechanical properties of isotactic polypropylene. *Journal of Materials Science*,.
- Bandrup, J. (1995). *Recycling and Recovery of plastics*. New York: Hanser.
- Bernardo, C. A., Cunha, A. M., & Oliveira, M. J. (1996). The recycling of thermoplastics: prediction of the properties of mixtures of virgin and reprocessed polyolefins. In: C. A. Bernardo, A. M. Cunha, & M. J. Oliveira, *Polymer Engineering and science* (pp. 511-519).
- Billiani, J., & Fleischmann, E. (1990). Influence of injection rate and melt temperature on polypropylene during injection moulding without packing. In: J. Billiani, & E. Fleischmann, *Polymer Degradation and Stability* (pp. 67-75). Leoben: Institut für Chemische und Physikalische Technologie der Kunststoffe.
- BILLINGHAM, N. C., & CALVERT, P. D. (1983). The degradation and stabilisation of polyolefins - an introduction. In: *Degradation and stabilisation of polyolefins*. N. S. Allen (ed.). Appl. Sei. Publ., Essex.
- Blass, A. (1988). *Processamento de polímeros*. Florianópolis: UFSC.
- Bonelli, C. M., Martins, A. F., Mano, E. B., & Beatty, C. L. (2001). Effect of recycled polypropylene on polypropylene/high-density polyethylene blends.
- Braskem S/A. (2012). *Polypropylene - Products and Properties*. Acesso em 4 de Setembro de 2015, disponível em Braskem S/A: [http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/ModuloHTML/Documentos/1176/Polyolefins\\_America\\_AF.pdf](http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/ModuloHTML/Documentos/1176/Polyolefins_America_AF.pdf)
- Burillo, G., Clough, R. L., Czikovsky, T., & Guven, O. (2002). *Polymer recycling: Potential application of radiation technology*.
- Bussab, W. O., & Morettin, P. A. (1987). *Estatística Básica*. São Paulo: Atual.
- Cáceres, C. A., & Canevarolo, S. V. (2008). *Polímero: Ciência & Tecnologia*. Acesso em 20 de Setembro de 2015, disponível em Scielo: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282009000100017&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282009000100017&script=sci_arttext)

- Canaverolo, J. S. (2004). *Técnicas de caracterização de polímeros*. São Paulo.
- Canevarolo, J. S. (1991). *Análise Dinâmico-Mecânica para Sistemas Poliméricos*. p.36-40.
- Canevarolo, S. V. (2002). *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*. São Paulo: Artliber.
- Cempre. (Fevereiro de 2004). *Plástico rígido - O mercado para reciclagem*. Acesso em 5 de Outubro de 2015, disponível em Cempre: <http://www.cempre.org.br/>
- De Paoli, M. A. (2008). *Degradação e Estabilização de polímeros*. Chemkeys.
- De Paoli, M. A. (2009). *Degradação e estabilização de polímeros*. São Paulo: Artliber.
- Ehrig, R. J., & Curry, M. J. (1989). *Introduction and history. Plastics Recycling: Products and Processes*. New York: Hanser.
- EREMA . (2014). *Plastic Recycling Systems*. Linz: Engineering Recycling Maschinem und anlogen Ges.m.b.H.
- FITESA. (2015). *Dados de Produção*. Gravataí.
- Furtado, M. R. (8 de Junho de 1996). *Plástico Moderno 1996, junho, 8*. Acesso em 03 de Novembro de 2015, disponível em <http://www.plastico.com.br/plastico>
- GEUSKENS, G. (1 de Novembro de 1991). *Anais, I, 272-275. Cong. Bras. Pa I*. São Paulo: Associação Brasileira ABPo.
- Guerrica-Echevarria, G., Eguiazabal, J. I., & Nazabal, J. (1998). Influence of molding conditions and talc content on the properties of polypropylene composites.
- Harper, C. A. (2000). *Modern Plastics Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Incarnato, L., Scarfato, P., & Acierno, D. (1999). *Rheological and mechanical properties of recycled polypropylene*. Polymer Engineering and Science.
- Jansson, A., Möller, K., & Gevert, T. (2003). Polymer degradation and Stability. *Degradation of post consumer polypropilene materials exposed to simulated recycling – mechanical properties* .
- Jirsák, O., & Wadsworth, L. (1999). *Nonwoven Textile*. Durham: Caroline Academic Press.
- JUSBRASIL. (02 de Agosto de 2010). *Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei 12305/10 | Lei nº 12.305*. Acesso em 21 de Outubro de 2015, disponível em JUSBRASIL: <http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/1024358/politica-nacional-de-residuos-solidos-lei-12305-10>
- Lord, P. R. (2003). *Handbook of yarn production*. New York: The textile Institute, CRC.
- Machado, G. (2002). *Estudo da morfologia e cristalinidade em polipropileno isotático submetido à deformação uniaxial em temperatura ambiente*. Porto Alegre: Tese Programa de Pós-graduação em Ciências dos Materiais – PGCIMAT UFRGS.
- Malkan, R. S., & Wadsworth, L. C. (1993). *Polymer laid systems* (Vol. II). Atlanta: Turbak A.F (Ed), TAPPI Press.
- Martins, M. H., & De Paoli, M. A. (2002). Polypropylene compounding with post-consumer material. In: M. H. Martins, & M. A. De Paoli, *Reprocessing. Polymer Degradation and Stability* (pp. 491-495). São Paulo.

Montenegro, R. S., Monteiro Filha, D. C., & Gomes, G. (Março de 1999). *BNDES Setorial*. (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) Acesso em 25 de Outubro de 2015, disponível em Indústria petroquímica brasileira: em busca de novas estratégias empresariais: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2991>

Morton-Jones, D. H. (1989). *Polymer Processing*. Londres: Chapman and Hall.

Navarro, R. F. (1997). *Fundamentos de reologia de polímeros*. Caxias do Sul: EDUCS.

NBR 13370 ABNT. (2002). *Nãotecido - Terminologia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Oliveira, D. d. (2007). *Planejamento Estratégico - Conceitos - Metodologia e Práticas*. São Paulo: Atlas.

Piva, M., & Wiebeck, H. (2004). *Reciclagem do plástico*. São Paulo: Artlibe.

Plastivida. (2013). *Plástico*. Acesso em 5 de Outubro de 2015, disponível em Plastivida: <http://www.plastivida.org.br/index.php/pt/conhecimento/19-reciclagem>

Reicofil. (2009). *The Reifenhauer GmbH & CO. KG. Reicofil Process Trainig Spunbond*. Alemanha.

Rocha, M. M. (2002). *Integração vertical e incerteza: um estudo empírico com a indústria petroquímica nacional*. São Paulo.

Rolim, A. M. (2000). Dissertação de Mestrado. *A reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo em oito empresas*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2008). *Administração da produção* (Vol. I). São Paulo: Atlas.

Sousa, J. A. (1991). *Reometria Capilar de Polímeros*. São Paulo: Universidade Federal de São Carlos.

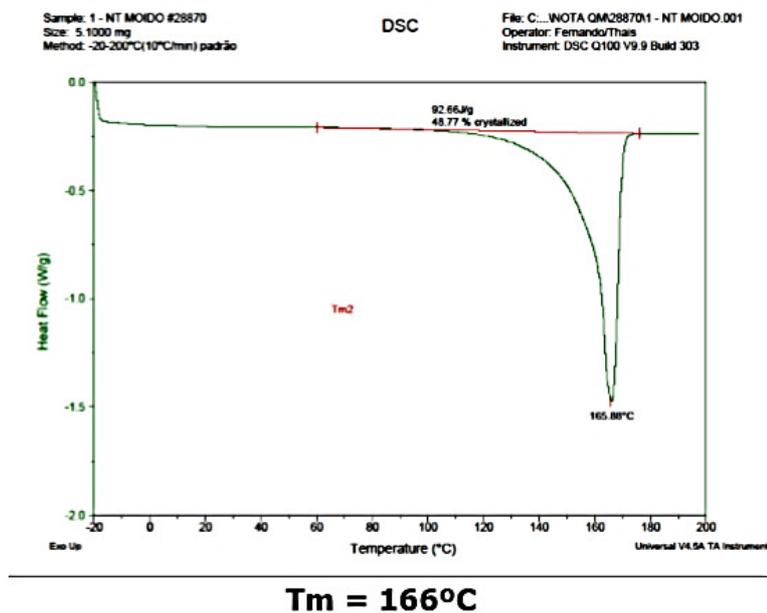
Spinacé, M. A., & De Paoli, M. A. (2005). *A tecnologia da reciclagem de polímeros*. Acesso em 5 de Outubro de 2015, disponível em Scielo: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23041.pdf>

Van Dooren, A. (1984). Purity determinations of drugs with differential scanning calorimetry (DSC). *International Journal of Pharmaceutics* v. 20 , 217-233.

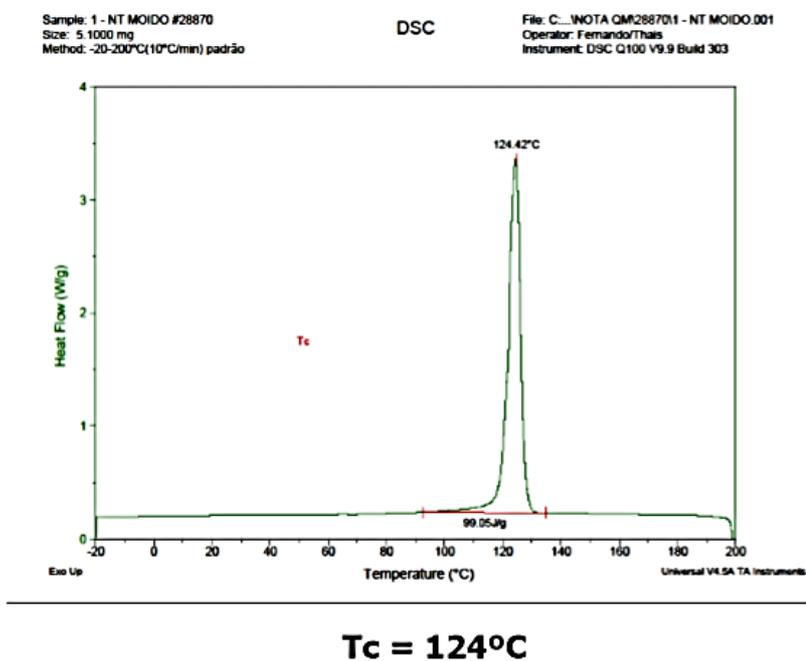
VICK. (Julho de 2015). *Polipropileno - PP Datasheet, 3*. (VICK) Acesso em 10 de Outubro de 2015, disponível em <http://www.vick.com.br/vick/novo/datasheets/datasheet-polipropileno-pp-nit.pdf>

## ANEXOS

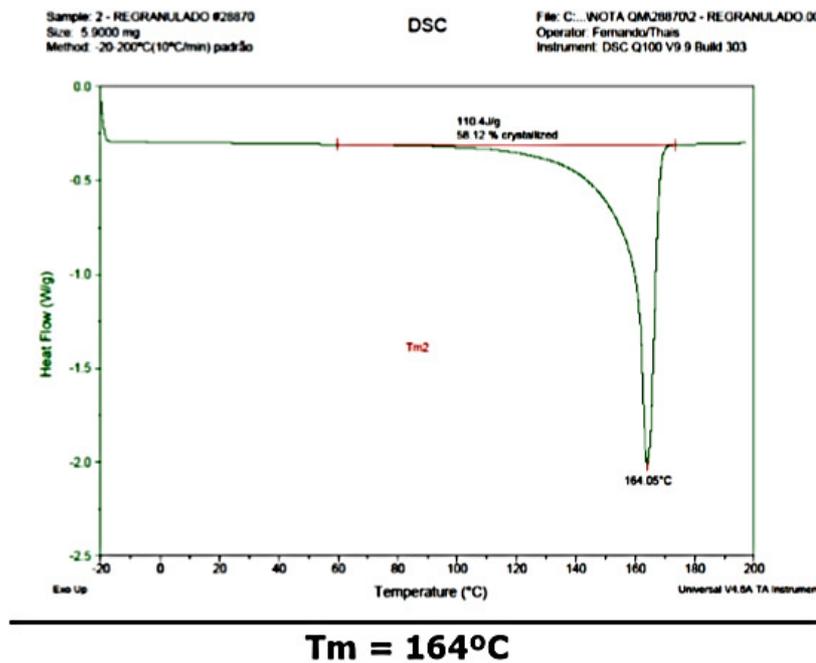
## ANEXO A- ENSAIO DE DSC DA AMOSTRA DE TNT MOÍDO DA PRIMEIRA ETAPA: AQUECIMENTO, TEMPERATURA DE FUSÃO



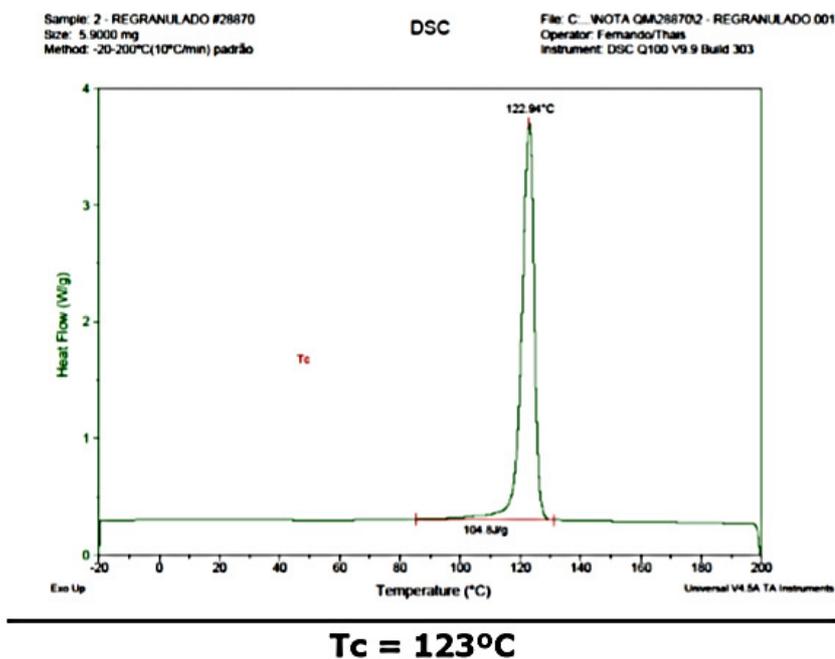
## ANEXO B - ENSAIO DE DSC DA AMOSTRA DE TNT MOÍDO DA PRIMEIRA ETAPA: RESFRIAMENTO, TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO



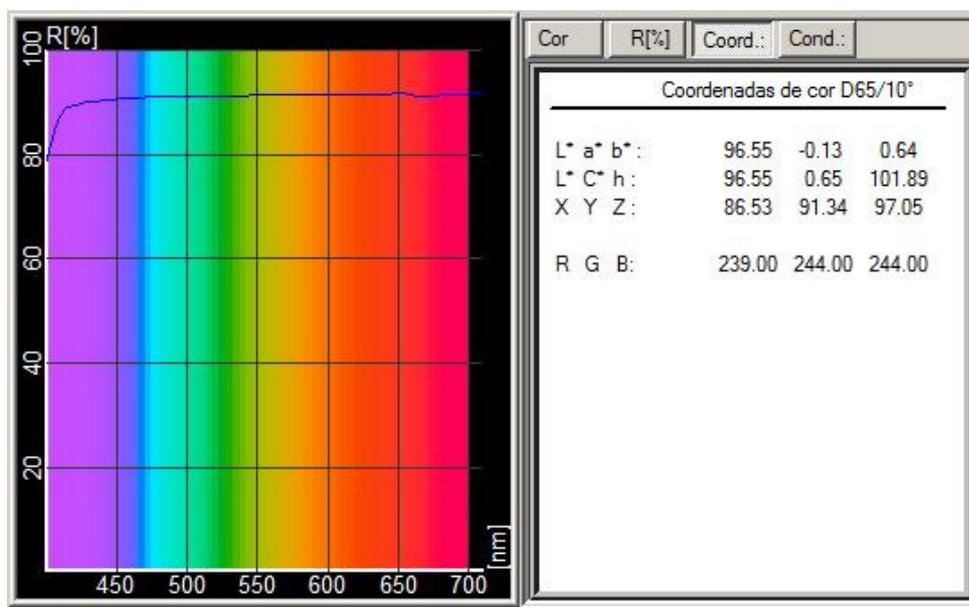
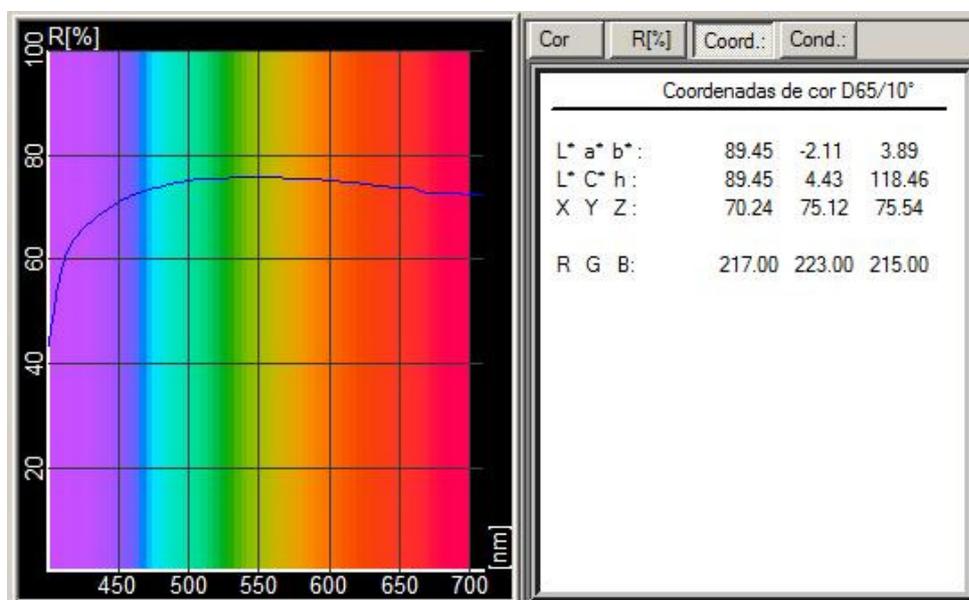
## ANEXO C - ENSAIO DE DSC DA AMOSTRA REGRANULADO DA PRIMEIRA ETAPA: AQUECIMENTO, TEMPERATURA DE FUSÃO

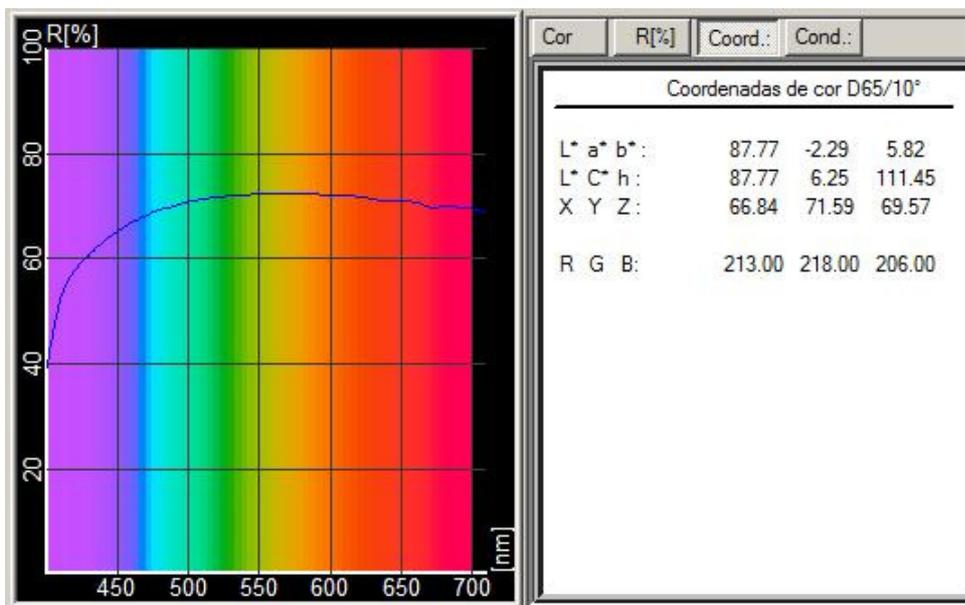
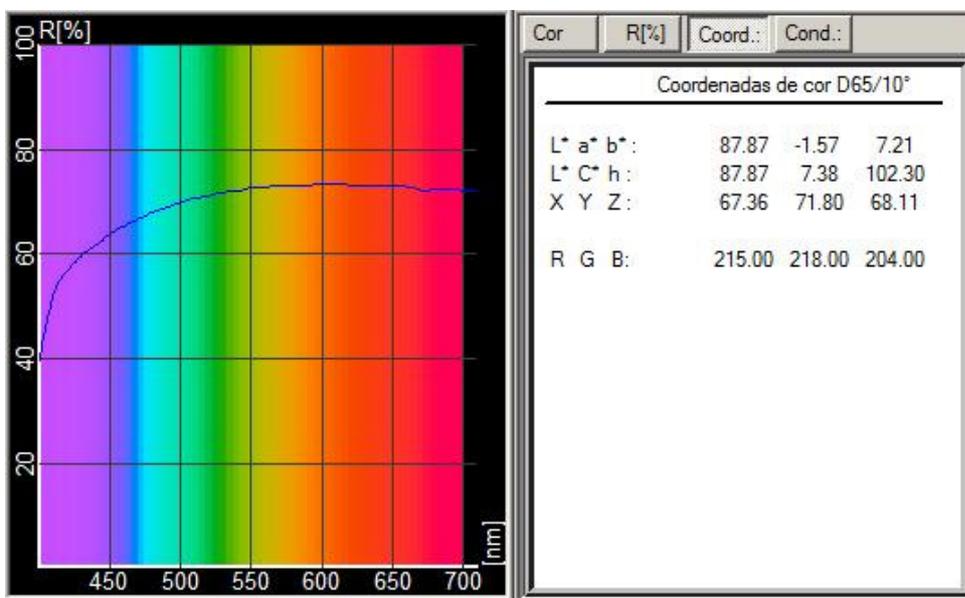


## ANEXO D ENSAIO DE DSC DA AMOSTRA REGRANULADO DA PRIMEIRA ETAPA: RESFRIAMENTO, TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO



## ANEXO E - ANÁLISE DE COR PARA NÃOTECIDO

ANEXO F - ANÁLISE DE COR PARA *PELLET* DA AMOSTRA T3 - CONDIÇÕES BRANDAS DE TEMPERATURA PARA REPROCESSAMENTO (TERCEIRA ETAPA)

ANEXO G - ANÁLISE DE COR PARA *PELLET* DA AMOSTRA T2 (TERCEIRA ETAPA)ANEXO H - ANÁLISE DE COR PARA *PELLET* DA AMOSTRA T1 (TERCEIRA ETAPA)

## ANEXO I - ANÁLISE DE COR PARA PELLETT DA AMOSTRA TPADRÃO (TERCEIRA ETAPA)

