# BOLETIM TÉCNICO

# OBTENÇÃO DE PRODUTOS COM ALTO VALOR AGREGADO A PARTIR DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS

**Convênio 41/2013**

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**SDECT**

**LAPAM-Laboratório de Processos Ambientais**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - PPGEQ

Departamento de Engenharia Química - DEQ

Centro de Tecnologia – CT – UFSM

## INTRODUÇÃO

A reciclagem, se conduzida de forma correta, traz inúmeros benefícios para a sociedade. A conservação dos recursos naturais não renováveis, como o petróleo (matéria-prima para o plástico), é um benefício muito importante conseguido através da reciclagem. Socialmente, a reciclagem tem um papel muito importante, pois além de gerar empregos diretos e indiretos, transforma resíduos em produtos úteis, gerando renda e trabalho para uma importante parcela da população. Os principais materiais recicláveis oriundos de resíduos urbanos em todo o mundo são os metais, papéis e plásticos. Os plásticos apresentam baixa biodegradabilidade, permanecendo por muito tempo no meio ambiente, entretanto a sua vida útil pode ser aumentada inserindo novamente estes materiais no ciclo de produção através da reciclagem. A reciclagem também pode reduzir a necessidade do emprego de materiais virgens em produtos que permitem a utilização de uma fração de material reciclado em sua composição. A reciclagem é o resultado final da aplicação de diferentes processos intermediários como a coleta, a separação dos diferentes tipos de plásticos e o processamento.

Este projeto teve como objetivo obter diferentes produtos com alto valor agregado a partir da reciclagem de resíduos poliméricos. Desta forma o projeto foi dividido em 6 etapas, conforme apresentado na Figura 1.

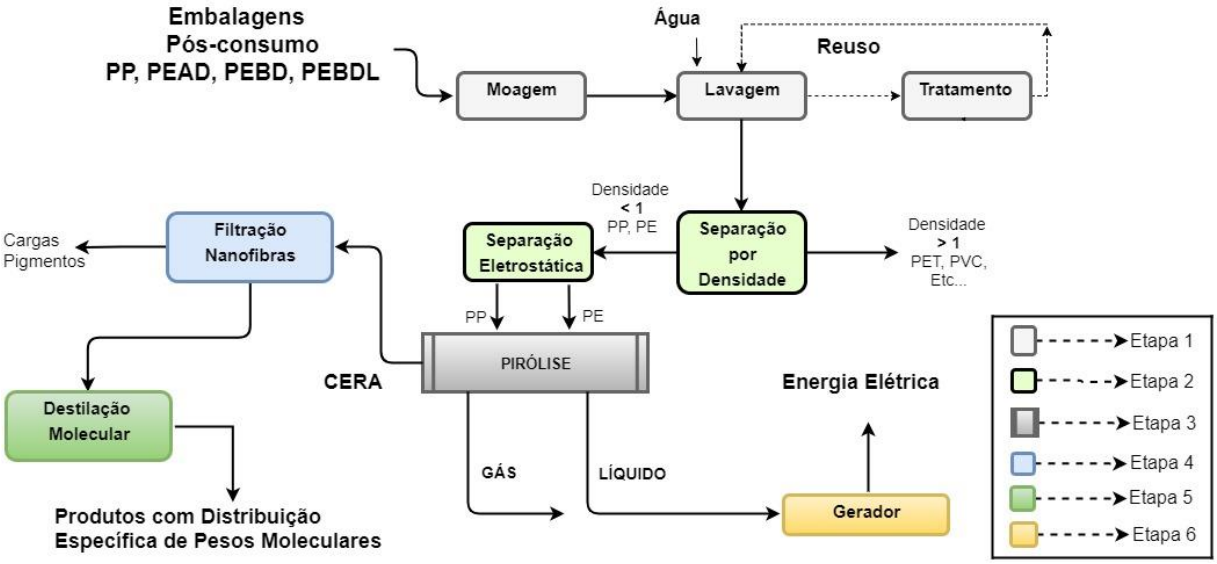


Figura 1 – Fluxograma do processo desenvolvido para o processamento de resíduos poliméricos.

Na primeira etapa **(ETAPA 1)** do processo, os plásticos foram recolhidos, classificados, triturados, lavados e a água foi tratada e reutilizada. Além disso, nesta etapa foi realizado o treinamento de várias associações de catadores de materiais recicláveis. Os treinamentos tiveram por objetivo habilitar os associados a identificar os diferentes tipos de plásticos, bem como realizar a lavagem das embalagens pós consumo além do tratamento dos efluentes visando o reuso da água [1].

Na segunda fase **(ETAPA 2)**, as diferentes resinas poliméricas limpas foram separadas através da aplicação de processos mecânicos de reciclagem. Nesta etapa foram utilizadas diferentes técnicas de separação como a separação por densidade e a separação triboeletrostática. Foi desenvolvido um processo automatizado capaz de separar com alto grau de pureza os diferentes tipos de plásticos de interesse ao processo [2].

Na terceira fase **(ETAPA 3)** foram avaliados os principais parâmetros necessários para a produção de ceras e combustíveis alternativos a partir da pirólise de tipos específicos de polímeros obtidos no processamento mecânico. As ceras obtidas na pirólise são enviadas para a quarta fase do processo **(ETAPA 4),** onde são submetidas a primeira etapa de purificação [3].

Na quarta fase **(ETAPA 4)** foram testados diferentes meios filtrantes com tratamentos de superfície, sendo o destaque a utilização das nanofibras no recobrimento das fibras. Estes filtros foram empregados na purificação das ceras através da remoção de particulados e de cor [4]. Na quinta fase **(ETAPA 5)** as ceras, já livres de particulados, foram fracionadas no destilador molecular obtendo-se assim compostos com diferentes pesos moleculares que apresentam propriedades distintas e alto valor agregado [5]. Na sexta e última fase **(ETAPA 6),** os combustíveis alternativos obtidos na etapa de pirólise, foram purificados e utilizados para a produção de energia elétrica utilizando um motor-gerador [6].

Estas diferentes etapas serão descritas de forma detalhada a seguir.

## DESCRIÇÃO DAS DIFERENTES ETAPAS EXECUTADAS NO PROCESSO.

### ETAPA 1 - Lavagem, tratamento e reuso da água

A reciclagem de resíduos poliméricos surge como uma alternativa viável para minimização dos impactos decorrentes do seu aumento constante. Porém, para que esta seja efetiva é de suma importância à realização da lavagem desses para a remoção de gorduras, restos de comida, etiquetas, papéis, grampos e contaminantes em geral. Além disso, outras etapas pós-lavagem são

necessárias para que não haja simplesmente uma troca do tipo de poluição ambiental. Para isso é necessário o tratamento do efluente gerado e o reúso da água dentro do processo.

Para este propósito, inicialmente foi realizada a quantificação dos resíduos poliméricos e a caracterização quanto ao grau de contaminantes presentes. Em sequência foi realizada a lavagem dos polímeros pós-uso, conforme apresentado na área circulada em vermelho da Figura 2. O efluente gerado na lavagem foi caracterizado e tratado de acordo com suas respectivas características. Por fim, verificou-se a possibilidade do reúso da água em circuito fechado no processo de lavagem.

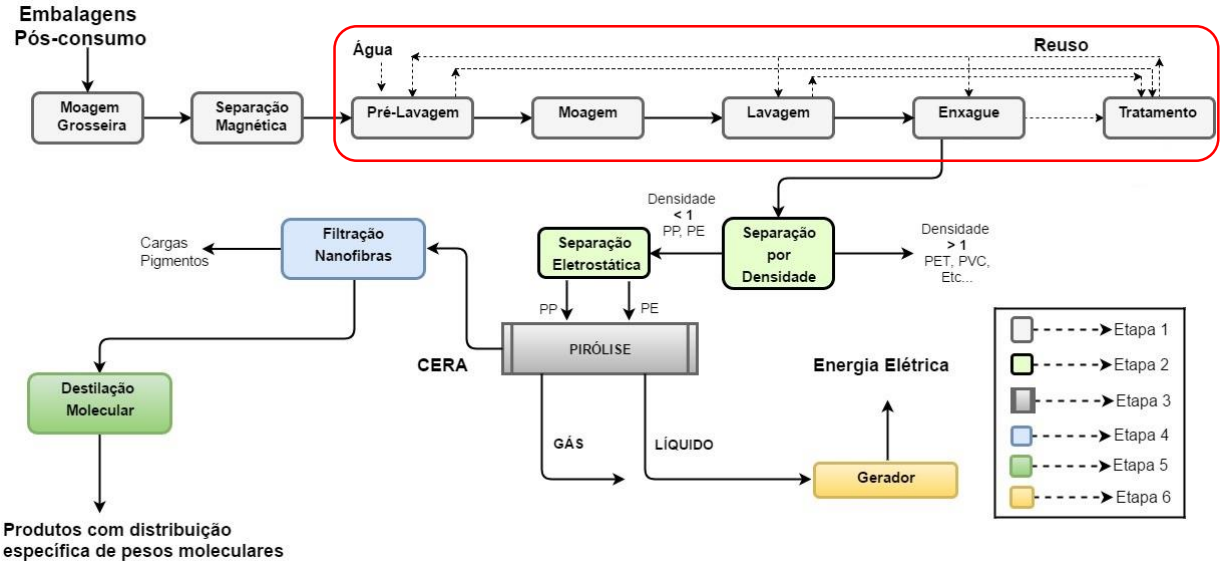


Figura 2 – Detalhamento das atividades realizadas na ETAPA 1.

Os resultados indicaram que a subdivisão do processo em 3 etapas, cada uma realizada em diferentes tempos, (pré-lavagem, t=7 min, lavagem, t=15 min e enxágue, t=25 min) foram adequados para obtenção de resíduos poliméricos limpos e propícios para posterior reciclagem. Na etapa de lavagem, a combinação de ácido sulfônico (1,16%), lauril (0,53%) e hidróxido de sódio (0,31%) demonstrou ser eficiente. A água de lavagem foi mantida em temperatura ambiente e as proporções dos agentes de limpeza totalizavam 2% do volume total do efluente a ser tratado. É importante salientar que a concentração total de 2% se mostrou adequada para a lavagem de resíduos que apresentaram elevadas concentrações de sujidades. Em condições industriais a quantidade de agentes de limpeza necessários para realizar uma lavagem

adequada pode ser inferior a 2% e esta vai depender o grau de sujidade dos plásticos pós consumo recebidos.

No tratamento do efluente gerado na lavagem foram empregadas as etapas de coagulação / floculação / sedimentação e filtração. Na etapa de coagulação / floculação / sedimentação foi utilizado sulfato de alumínio com concentração de 4 $g.L^{-1}$ e pH 4. Esta etapa apresentou eficiência de remoção acima de 90% para maioria dos parâmetros analisados. É importante salientar que a concentração total 4 g/L se mostrou adequada para tratar os efluentes obtidos na lavagem de resíduos que apresentaram elevadas concentrações de sujidades. A concentração ideal de sulfato de alumínio pode ser inferior a 4 g/L. A concentração ideal vai depender do grau de contaminantes presentes nos efluentes que é função do grau de sujidade dos plásticos pós-consumo recebidos. Por fim, foi realizada a filtração do efluente em um leito de areia, a qual resultou em uma remoção de 99,45% da turbidez.

O processo de tratamento adotado demonstrou ser adequado e bastante eficiente para a obtenção de um efluente clarificado, visto que a remoção da turbidez atingiu quase 100% de remoção. A partir disso, também é possível assegurar a viabilidade do reúso desse efluente no processo de lavagem dos resíduos poliméricos.

Na etapa de reuso da água tratada, que foi empregada nas três etapas de lavagem (pré-lavagem, lavagem e enxague) dos resíduos poliméricos, o pH da água tratada foi reajustado até pH neutro antes de ser reutilizada na etapa de lavagem.

## ETAPA 2 - SEPARAÇÃO TRIBOELETROSTÁTICA

Esta etapa tem como objetivo a utilização de um separador eletrostático tipo rolo no estudo da separação triboeletrostática de diferentes tipos de misturas poliméricas provenientes da coleta seletiva. A separação triboeletrostática é um método promissor para a reciclagem de diferentes materiais. Este método utiliza a técnica do tribocarregamento para obter diferentes materiais carregados com polaridades opostas. Estes materiais carregados são em seguida alimentados a um campo elétrico para realizar sua separação em função de suas diferentes polaridades de carga.

Os diferentes parâmetros de tribocarregamento e de separação eletrostática foram estudados de forma a obter uma maior eficiência de separação dos diferentes polímeros de interesse para o processo. Inicialmente, os diferentes tipos de polímeros foram caracterizados através de um Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) (Shimadzu – 60 Plus) para confirmação das

composições. Os polímeros limpos e secos foram cominuídos em moinho de facas com o objetivo de reduzir o tamanho médio do material de forma a obter partículas com diâmetro entre 2 e 2,8 mm.

Na etapa de tribocarregamento inicialmente foram utilizadas partículas de PP e PEAD pós-consumo. Estas partículas foram carregadas em um leito fluidizado (tribocarregador) confeccionado em PP. Os parâmetros avaliados no tribocarregamento foram a umidade relativa do ar e o tempo de contato das partículas no leito fluidizado. As condições utilizadas no separador eletrostático para avaliar a eficiência de separação das partículas após a carregamento foram: tensão de 30 kV, velocidade do rolo de 10 rpm, distância do eletrodo de atração de 3 cm, ângulo do eletrodo de atração de 45°, ângulo do defletor do coletor de 0° e alimentação em 30% da vazão máxima.

Após a definição dos parâmetros ideais para o tribocarregamento as melhores condições para operação do separador eletrostático foram avaliadas. Nesta etapa, foi utilizada uma mistura de PP e PEAD (50 % / 50%) carregada utilizando as melhores condições definidas para o tribocarregamento.

As melhores condições obtidas foram aplicadas em triplicata para confirmação da reprodutibilidade do processo. Por fim, os melhores parâmetros de tribocarregamento e separação eletrostática, foram aplicados na separação de misturas de PP/PEBD e PET/PVC. A Figura 3 apresenta na área circulada em vermelho o detalhamento das atividades realizadas na ETAPA 2.

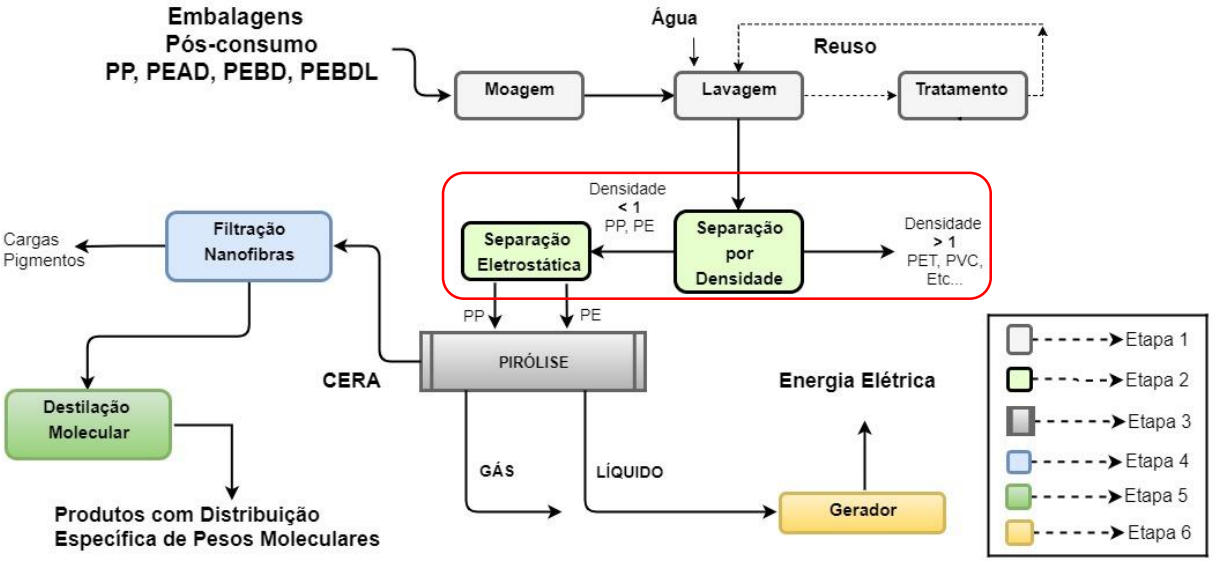


Figura 3 – Fluxograma global do processo, com a ETAPA 2 destacada em vermelho.

Os resultados mostraram que na etapa de tribocarregamento, o melhor mecanismo para realizar o carregamento das partículas foi o leito fluidizado com um tempo de 5 minutos e uma umidade relativa abaixo de 42%.

Na etapa de separação eletrostática, os melhores parâmetros obtidos estão apresentados na Tabela 1. Esses parâmetros foram aplicados em triplicata para a separação de PP e PEAD, de forma a confirmar a reprodutibilidade do processo realizado. Os resultados obtidos foram: recuperação de 91,9% ±1,1% da massa inicial alimentada de PP; (com pureza de 93,5% ±2,1%); e recuperação de 93,5% ±2,2% da massa inicial alimentada de PEAD (com pureza de 92,0% ±1,2%).

Tabela 1- Melhores condições do processo de separação eletrostática de PP e PEAD.

| **Parâmetro** | **Condição** |
|---|---|
| Ângulo do Defletor | 2,5 ° |
| Distância do Eletrodo | 3 cm |
| Ângulo do Eletrodo (fixado) | 45 ° |
| Tensão | 30 kV |
| Velocidade do Rolo | 10 rpm |
| Intensidade alimentador vibratório | 30% |
| Ângulo do eletrodo de atração | 45° |
| Umidade relativa | 42% ± 3% |

Outras misturas de polímeros foram separadas utilizando as condições apresentadas na Tabela 1. Para a mistura de PP/PEBD (50%/50% em massa), obteve-se uma recuperação de PP de 90,2% da massa inicial (com pureza de 93,8%), e uma recuperação de PEBD de 94,2% da massa inicial (com pureza de 90,8%). Para a separação da mistura de PET/PVC (50%/50% em massa), obteve-se uma recuperação de PET de 96,8% (pureza de 95,9%), e uma recuperação de PVC de 95,9% (pureza de 96,8%).

Por fim, considerando os resultados obtidos no processo de separação eletrostática e as possíveis separações das misturas binárias de polímeros, desenvolveu-se um processo para a separação de uma mistura de PP, PEAD, PVC e PET. Este processo envolve a cominuição, lavagem, separação por densidade (água), secagem e separação triboeletrostática, de forma a recuperar

os diferentes polímeros com uma alta taxa de recuperação ao final do processo (Figura 4).

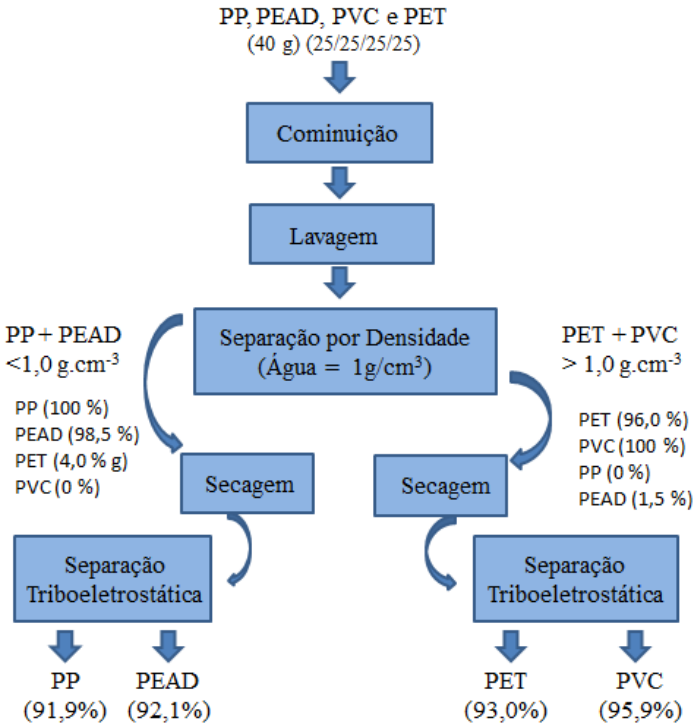


Figura 4 – Detalhamento das atividades realizadas na ETAPA 2. Rota proposta para a reciclagem de uma mistura de resíduos poliméricos.

Assim, o processo de separação por densidade e a separação triboeletrostática se mostraram viáveis na recuperação de polímeros provenientes da coleta seletiva, sendo possível a obtenção de frações com uma alta pureza, além de uma alta recuperação.

## ETAPA 3 – PIRÓLISE

A reciclagem química através da pirólise é um método promissor para reciclagem de resíduos plásticos. Trata-se da decomposição termoquímica de materiais a temperaturas elevadas e na ausência de oxigênio, produzindo frações líquidas, gasosas e sólidas conforme apresentado na área destacada em vermelho da Figura 5 referente a ETAPA 3.

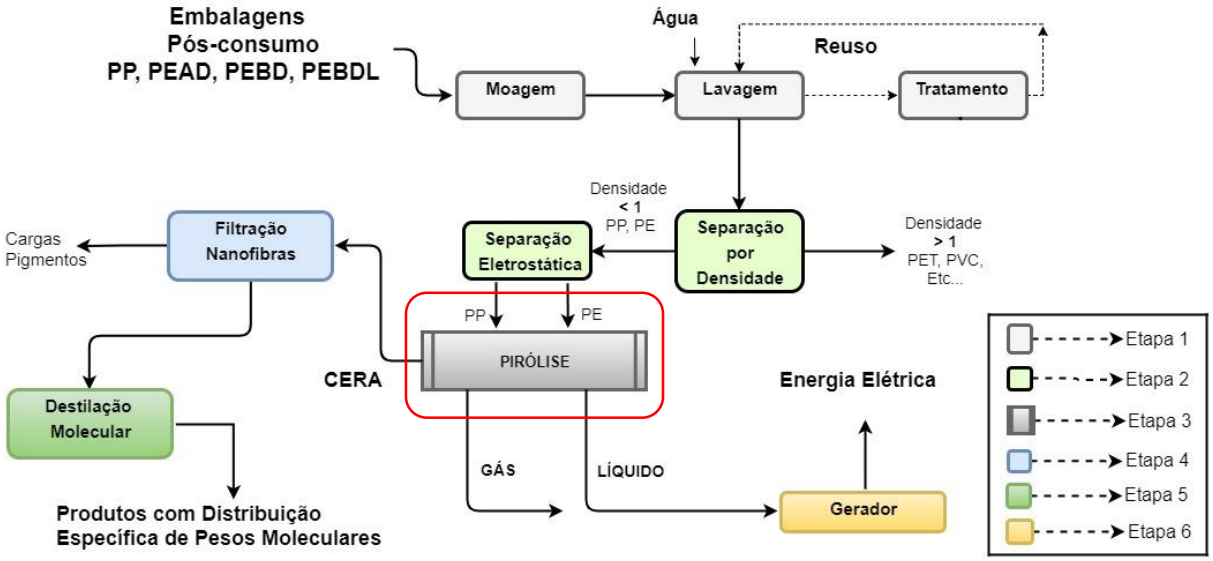


Figura 5 – Fluxograma global do processo com a ETAPA 3 destacada em vermelho.

Nesta etapa do processo, a pirólise dos resíduos plásticos (PEAD, PEBD, PEBDL e PP) foi realizada de forma individual e também com uma mistura desses quatro polímeros de forma a simular a composição do resíduo plástico pós-consumo do município de Santa Maria-RS. A diferença na estrutura química entre os diferentes polímeros resultou em variações na faixa de temperatura requerida para a despolimerização desses compostos. Com isso, para uma dada temperatura, um determinado polímero pode ter a geração de produtos sólidos favorecida, enquanto que para outro, a produção de líquidos ou gases tem preferência.

Inicialmente testes foram realizados em um reator de vidro e na sequência as melhores condições obtidas foram empregadas para realização de novos testes de pirólise utilizando um reator de inox de escala ampliada. Os diferentes testes realizados na ETAPA 3 tiveram por objetivo determinar as condições ideais para a obtenção de ceras.

**Resultados obtidos para o reator de vidro:**

Os resultados, obtidos para o reator de vidro, mostraram que para o PEAD pirolisado a 450°C por 60 minutos, com uma taxa de aquecimento de 20 °C/min e vazão do gás de arraste de 100 mL/min de nitrogênio, atingiu um rendimento de 65 % de sólidos. Para esse mesmo polímero, a fração de líquido atingiu um rendimento de 65 % quando pirolisado a 500 °C, utilizando as mesmas condições definidas no teste a 450°C. Para o PEBD e para o PEBDL, a produção de sólidos também foi mais significativa na temperatura de 450 °C, com rendimentos de 70,30 % e 81,25 %, respectivamente. A elevação da temperatura (500 °C)

favoreceu a conversão em produtos líquidos, atingindo valores máximos de 56,50 % para o PEBD e 47 % para o PEBDL.

No caso do PP, sua estrutura química favorece o processo de despolimerização. Com isso, a geração de produtos líquidos tem preferência. Em todas as condições de temperatura estudadas para esse polímero, a fração de líquidos foi muito superior às frações de sólido e gás. Embora em 500 °C o rendimento da fração líquida tenha atingido 80,50 %, a presença de óleos leves e pesados tornou a mistura heterogênea. Reduzindo a temperatura para 475 °C, o rendimento de líquidos diminuiu para 74,50 %, porém a fração se tornou mais homogênea.

Para uma mistura constituída pelos quatro polímeros (35 % PEAD, 27,5 % PEBD, 27,5 % PEBDL e 10 % PP) está atingiu um rendimento máximo de sólidos (59,10 %) quando pirolisada a 450 °C. Para a obtenção de uma maior quantia de líquidos (66,50 %), a temperatura precisou ser elevada para 500 °C. A elevada presença de aditivos nos resíduos plásticos pirolisados faz com que eles se apresentem de forma significativa nos produtos da pirólise. Com isso, o aspecto físico e as propriedades dos produtos são alterados e o seu valor agregado é reduzido. Portanto, etapas de purificação (filtração) se fazem necessárias a fim de remover esses aditivos e obter produtos com elevados índices de qualidade.

**Resultados obtidos para o reator de aço inoxidável:**

Novos testes de pirolise de PEAD foram realizados em um reator de inox de escala ampliada com objetivo se obter um maior volume de ceras. As melhores condições para a obtenção de ceras foram: tempo de reação (60 minutos), a taxa de aquecimento (20 °C/min) e a vazão de nitrogênio (50 mL/min) e temperatura do condensador de 20 °C. A temperatura de 450 °C foi a que resultou na maior porcentagem de produto sólido (cera).

Os resultados obtidos nestas condições apresentaram rendimento de 83,10 % para a produção de ceras. A análise de DSC da cera obtida na temperatura de 450 °C apresentou dois picos de fusão (86°C e 104,6 °C). A presença destes dos picos é característico de ceras, as quais iniciam a fusão em uma temperatura e se tornam completamente líquidas uma temperatura superior. No valor do segundo pico de fusão toda a amostra passa a se comportar como um fluído.

## ETAPA 4 – FILTRAÇÃO

A etapa inicial de purificação da cera (fração sólida do processo de pirólise) consiste na remoção de inorgânicos particulados que possam estar presentes na cera. A remoção destes materiais inorgânicos é de grande importância pois estes particulados podem causar problemas nas próximas etapas do processo, bem como podem conferir a cera uma coloração indesejável. A técnica de purificação utilizada na etapa inicial de purificação da cera é a filtração à pressão constante. Nesta técnica, o fluxo de alimentação é forçado perpendicularmente através do meio filtrante, que retém as impurezas presentes na cera.

A ETAPA 4 está indicada em vermelho na Figura 6. Nesta etapa foram desenvolvidos novos meios filtrantes, utilizando nanofibras, os quais apresentaram características superiores aos utilizados tradicionalmente. Recentemente, houve um grande avanço no desenvolvimento de nanofibras as quais estão sendo aplicadas nos mais diversos ramos, tais como o eletrônico, automobilístico, biomateriais, filtração, entre outros. Na ETAPA 4 decidiu-se efetuar um novo tratamento físico na superfície de meios filtrantes tradicionais de forma a tornar o processo de filtração mais eficiente. O tratamento consiste em recobrir o meio filtrante (filtro de aramida) com nanofibras.

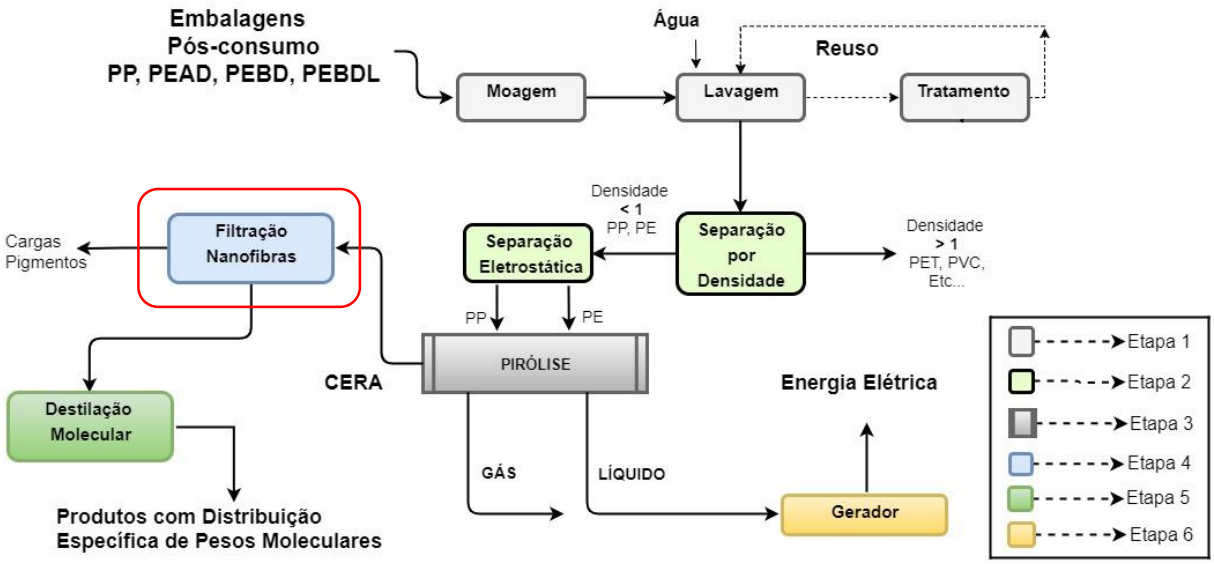


Figura 6 – Fluxograma global do processo com a ETAPA 4 destacada em vermelho.

Desta forma na primeira etapa foi realizada a produção de nanofibras a partir do polímero Nylon-6, e o recobrimento da superfície do meio filtrante. As nanofibras foram produzidas utilizando um equipamento de Forcespinning

(FibeRio- Texas, USA). Na segunda etapa, o objetivo foi avaliar a aplicação desse novo tratamento na purificação de uma cera bruta, através da comparação com outros meios filtrantes, um utilizando o filtro de aramida sem tratamento físico e outro que foi submetido ao tratamento físico de chamuscagem. Os três meios filtrantes utilizados neste projeto, são tecidos não-trançados de aramida, comercialmente conhecidos por Kevlar, que diferem entre si somente quanto ao tratamento físico aplicado em sua superfície (sem tratamento físico, chamuscado e recoberto por nanofibras).

As nanofibras do polímero Nylon-6 foram preparadas através do equipamento Forcespinning. A solução foi preparada dissolvendo-se 25% em peso de Nylon-6 em 75% em peso de ácido fórmico a uma temperatura de 40ºC por 6 horas. O equipamento foi alimentado com a solução preparada e a rotação estabelecida foi de 10.000 rpm por 9 minutos. O recobrimento do meio filtrante sem tratamento físico, foi efetuado fixando-se o mesmo sobre o equipamento criador de vácuo (VCS) utilizando 75% do total de sua potência. As nanofibras produzidas são longas e homogêneas com elevada resistência térmica, iniciando sua degradação mássica em torno de 380 ºC, justificando a sua escolha para o presente trabalho. As nanofibras apresentaram diâmetros na faixa de 592 ±0,76 ηm.

A fim de obter as melhores condições de filtração, para proporcionar maior quantidade de cera filtrada, foi aplicado o delineamento composto central rotacional (DCCR) ($2^2$ com três pontos centrais e quatro pontos axiais). As variáveis dependentes estipuladas foram a temperatura e a pressão. A variável resposta foi o volume de cera filtrado. Os resultados apresentados pelo planejamento experimental mostraram que a condição ótima de filtração, que obteve um maior volume de cera filtrado, foi alcançada com a temperatura de 170 ºC e a pressão de 2,5 bar.

Para os ensaios de filtração, os parâmetros otimizados obtidos pelo planejamento experimental foram fixados juntamente com o tempo de filtração em 1 hora para cada tipo de meio filtrante: não tratado, chamuscado e recoberto. Os ensaios de filtração foram realizados em triplicata. Os experimentos de filtração, que resultaram no maior volume de cera filtrada, foram alcançados com o meio filtrante recoberto com nanofibras. O volume médio de cera filtrado total foi de 53,9 $cm^3$ para o meio filtrante recoberto. Para os meios filtrantes chamuscado e sem tratamento, os volumes médios filtrados de cera foram de 44,9 $cm^3$ e 45,4 $cm^3$, respectivamente.

Por fim, para saber qual dos três meios filtrantes reteve uma maior quantidade de impurezas presentes na cera bruta, foi efetuado a determinação do teor de inorgânicos através do teste de perda ao fogo. O meio filtrante que apresentou o melhor resultado foi o recoberto com nanofibras, que reteve 99,60

% das impurezas presentes na cera bruta. Já os meios filtrantes, chamuscado e sem tratamento, alcançaram um total de remoção de impurezas de 99,41 % e 99,21 %, respectivamente.

## ETAPA 5 - DESTILAÇÃO MOLECULAR

As ceras obtidas a partir da pirólise de poliolefinas podem ser amplamente utilizadas em diversas aplicações, tais como velas, como ceras para polimentos, tratamento de papel, tintas de impressão, cosméticos, na indústria alimentícia, farmacêuticas, entre outras.

Dependendo da aplicação pretendida para uma cera, esta deve ser purificada ou fracionada para assegurar que as propriedades sejam adequadas para a aplicação específica. Um dos métodos aplicados para fracionar as ceras é utilizando a destilação molecular. Ao contrário dos métodos convencionais, a destilação molecular não utiliza solventes orgânicos na purificação ou fracionamento das ceras, sendo assim considerada como um dos métodos mais eficientes de separação e purificação, especialmente para substâncias com alta massa molecular e alto ponto de ebulição.

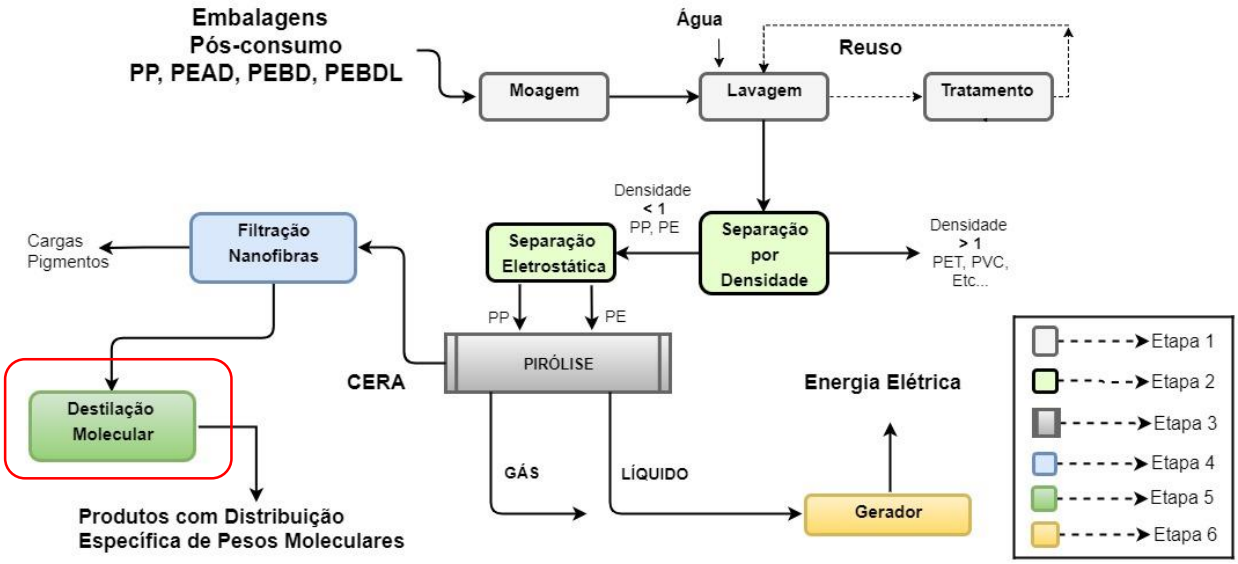


Figura 7 – Fluxograma global do processo, com a ETAPA 5 destacada em vermelho.

Desta forma após a etapa de filtração, a cera é submetida a uma segunda etapa de purificação que ocorre na ETAPA 5, conforme destacado em vermelho na Figura 7. As condições ideais para a operação do destilador molecular foram avaliadas por meio de um planejamento experimental. Os experimentos foram realizados em um destilador molecular de filme descendente KD6 (UIC GmbH - Alemanha). Foram analisadas três variáveis: vazão de alimentação, temperatura

do evaporador e temperatura do condensador. Nos experimentos a pressão de operação foi mantida fixa em $1x10^{-3}$ mbar (0,1 Pa), a temperatura do evaporador variou entre 120°C a 184°C e a temperatura do condensador entre 28°C e 92°C e a taxa de alimentação usada foi entre 0,936 e 4,824 L/h.

Nos experimentos fez-se uso de nitrogênio líquido para arrefecimento do *trap* e contenção de voláteis. A cera alimentada foi mantida líquida no reservatório encamisado aquecido a 160 °C e as amostras de destilado, resíduo e *trap* foram recolhidas após cada experimento em frascos de vidro.

Na caracterização da cera bruta, a análise pela norma ASTM D7169 mostrou que a cera possui cadeias de carbono com número de carbonos entre 10 e 50. A massa específica foi de 0,95 g/cm$^3$. Na análise de DSC observou-se dois picos de fusão: um em 92,7 °C e outro em 115,1 °C. E por fim, a análise TGA mostrou que a temperatura de degradação máxima foi de 463,8 °C.

Nos experimentos de destilação molecular foram obtidas diferentes frações de destilado, resíduo e *trap* para cada experimento. A partir das vazões desses produtos e do planejamento de experimentos, chegou-se aos valores das condições ótimas para a destilação molecular: temperatura do evaporador = 184 °C, vazão de alimentação = 1,91 L/h, e temperatura do condensador = 44,02 °C para uma pressão de 0,1 Pa.

Essas condições proporcionaram a maior porcentagem de destilado (21,96 %), maior porcentagem da recuperação de componentes com cadeias entre 14 e 16 carbonos no destilado (88,38 %) e uma maior razão destilado/alimentação (0,1505).

As amostras de destilado foram analisadas por DSC e por espectrofotômetria de infravermelho (FTIR). Os resultados da análise FTIR foram avaliados, a fim de comparar esse material obtido com produtos comerciais. O perfil de bandas apresentado no FTIR do destilado obtido na condição ótima, apresentou características muito similares ao apresentado na literatura para o óleo mineral, indicando assim uma possível aplicação.

## ETAPA 6 – PRODUÇÃO E PURIFICAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS

Os resultados obtidos na etapa de Pirólise - ETAPA 3 –demonstram que o que o PP é o polímero mais favorável para à produção de compostos líquidos. Desta forma, com o objetivo de produzir um maior volume de óleo, novos testes foram realizados em um reator de aço inoxidável visando aumentar o rendimento de óleo.

As condições ideais obtidas no reator de inox foram: taxa de aquecimento de 20 °C/min; vazão de $N_2$ de 50 mL/min, tempo de pirólise de 90 min e temperatura de 475 °C. A partir das destas condições, foi possível obter um rendimento de 94 % em óleo combustível. Conforme apresentado na Figura 8,

na ETAPA 6, este óleo foi utilizado em um motor-gerador ciclo Diesel, onde foi avaliada a produção de energia elétrica.

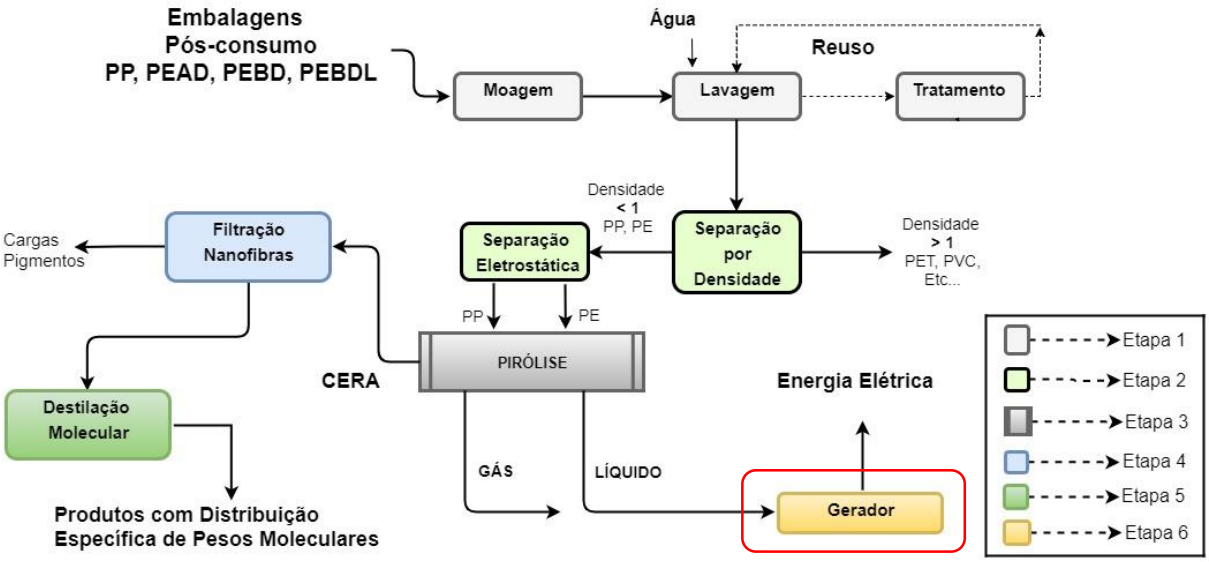


Figura 8 – Fluxograma global do processo com a ETAPA 6 destacada em vermelho.

Os testes iniciais realizados no motor-gerador demonstraram a necessidade de purificar o óleo antes de sua utilização como combustível. Esta etapa de purificação se torna necessária visto que os plásticos utilizados no processo de pirólise apresentam diferentes cargas e aditivos em suas composições. Estes contaminantes acabam também fazendo parte dos produtos da pirólise, fazendo-se necessária uma etapa de purificação. Na etapa de purificação o óleo bruto da pirólise foi submetido a um processo de adsorção em batelada utilizando carvão ativado, a razão sólido / líquido utilizada foi de 1/40, por 24 horas e então foi filtrado para a remoção do carvão ativado.

O óleo obtido após a etapa de purificação foi empregado com sucesso para a geração de energia elétrica. Os resultados obtidos na caracterização do óleo por FTIR demonstram que a composição do óleo da pirólise é muito similar a composição do óleo diesel.

## REFERÊNCIAS

1 – Angélica Fátima Mantelli Streit. Resíduos poliméricos: quantificação, caracterização, lavagem, e tratamento do efluente gerado no processo. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria.

2 - André Vicente Malheiros da Silveira. Aplicação da separação eletrostática na reciclagem de resíduos poliméricos e de baterias de íon de lítio. 2016. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Maria.

3 - Daliomar Lourenço de Oliveira Júnior. Pirólise de resíduos poliméricos. 2016. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Maria.

4 - Juliano Missau. Filtração de ceras aplicando diferentes tratamentos físicos na superfície de meios filtrantes. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Maria.

5 - Eluize Vayne Maziero. Fracionamento da fração sólida obtida na pirólise de resíduos poliméricos utilizando destilação molecular de filme descendente. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria.

6 - Orlando de Lima Cavalheiro. Óleo de resíduo polimérico como combustível alternativo para o conjunto motor-gerador. Início: 2016 – Em andamento. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química)