



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



Análise da Viabilidade da Recuperação de Propeno numa Unidade Piloto de Polimerização

Autor: Mariana Farinha Pinto Saraiva

Orientador: Prof. Dr. Pedro Rafael Bolognese Fernandes

Porto Alegre, Janeiro 13

Sumário

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
Lista de Abreviaturas e Siglas	vii
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica	3
2.1 Aspectos Gerais	3
2.2 Efeito das variáveis de operação na operação da coluna	4
2.2.1 Pressão	5
2.2.2 Temperatura	5
2.2.3 Carga	6
2.2.4 Refluxo	6
2.2.5 Condições de Hidráulica	6
3 Estudo de Caso	8
3.1 Descrição das características do polímero	8
3.1.1 Homopolímero (HOMO)	8
3.1.2 Copolímero Randômico (RACO)	8
3.1.3 Copolímero Heterofásico (COPO)	8
3.2 Descrição do Processo	9
4 Metodologia	11
4.1 Descrição das colunas	11
4.2 Descrição das simulações	14
4.2.1 Validação	17
4.3 Casos	17
5 Resultados	19
5.1 Avaliação da capacidade da coluna T1 especificar a corrente RFG	19
5.2 Avaliação da recuperação de propeno com as colunas T2 e T3	20
5.3 Avaliação da recuperação de propeno com a coluna T2	23
6 Conclusões e Trabalhos Futuros	25
7 Referências	27

Agradecimentos

Impossível começar sem agradecê-los, a toda minha família todo meu amor e gratidão. A minha mãe Marien meu muito obrigado por ter me oferecido tudo, o ensino que tive, apoio, suporte e companheirismo nas duras batalhas que percorremos juntas. Obrigada por participar comigo das minhas conquistas, principalmente no período da graduação em que a distância nos fez perto. Ao meu pai José Paulo, que me protege e ilumina, guiando meus caminhos, sempre presente. Aos meus irmãos Gustavo e Maria Luísa, vocês são meu porto seguro. Ao meu marido Patrick, obrigada por compartilhar a vida comigo, todos os dias, nos difíceis e nos momentos de comemoração, este trabalho tem muito do teu esforço. Sem vocês essa conquista não teria o valor que tem!

Agradeço também a UFRGS pelo ensino de qualidade e a todos os professores, em especial aos do Departamento de Engenharia Química, vocês são inspiração para os futuros profissionais da Engenharia. Agradeço em especial ao meu orientador Pedro Fernandes pelo apoio, dedicação e paciência neste período.

Aos meus queridos amigos e colegas obrigada pela compreensão nos meus momentos de ausência e incentivo para continuar na busca dos meus objetivos. Obrigada por tudo Paintball, as amigas Fran e Lízia e ainda ao melhor grupo de projetos Giulia, João Pedro e Vanessa “*Famosi perche siamo favolosi*”

Finalmente, gostaria de agradecer a empresa Braskem em que realizei meu estágio e desenvolvi este trabalho. A toda equipe das Plantas Piloto, obrigada pela disponibilidade para ensinar, pela constante provocação objetivando o conhecimento e ainda pela amizade. Obrigada por compartilharem o dia a dia comigo afinal “É impossível ser feliz sozinho...”

Resumo

O objeto de estudo deste trabalho foi a planta piloto de polimerização de propeno com tecnologia *Spheripol* de uma empresa petroquímica, a qual opera tanto para produção quanto para ensaios com novos produtos. Esta planta apresenta sistema de recuperação de monômero para os gases vaporizados no sistema de flash, entretanto não existe a recuperação dos gases de purga do reator fase-gás. Em virtude do aumento do número de testes que operam com tal reator, se faz necessário a recuperação desta corrente, o que permitiria recircular o monômero no processo, reduzindo a alimentação do insumo limpo e, portanto, os custos para a empresa. A proposta consiste em direcionar o produto da coluna lavadora de propeno para duas colunas que operam no modo de polimerização de eteno. Esta possibilidade de recuperação do monômero deve atender a seis possíveis cenários de operação selecionados, incluindo a operação nas condições mais extremas. Foram realizadas simulações no software Aspen Plus® visando avaliar a composição da corrente recuperada, bem como a vazão da purga dos compostos leves.

Avaliou-se a possibilidade de operar somente com a coluna lavadora, porém os resultados apresentados não foram satisfatórios. Considerou-se também o caso de todas as colunas alinhadas, nesta situação duas condições foram avaliadas, verificando-se o efeito da variação da vazão do produto de fundo da última coluna. A operação em condição normal atende aos limites estabelecidos para três dos casos estudados, já nos casos em que o reator fase-gás opera com alta concentração de eteno deve-se alterar a vazão de fundo da terceira coluna. Neste último cenário, a purga de leves é aumentada em 20 kg/h, entretanto a composição das correntes é satisfatória e justifica a estratégia. Verificou-se ainda a condição de operar com a coluna de propeno e uma de eteno, resultando em composições adequadas, porém com purga de leves de 210 kg/h, valor que inviabiliza a operação nestas condições.

Palavras-chave: Destilação, simulação, Aspen Plus®, *Spheripol*, recuperação de monômero.

Lista de Figuras

Figura 1: Esquema do processo de polimerização <i>Spheripol</i>	9
Figura 2: Esquema da nova proposta de alinhamento das colunas.....	11
Figura 3: Esquema da T2	13
Figura 4: Esquema da T3	14
Figura 5: <i>Flowsheet</i> da coluna T1 com o alinhamento da carga RFG.....	15
Figura 6: <i>Flowsheet</i> do alinhamento T2 e T3	16
Figura 7: Composição da corrente “Carga” para coluna T2	21
Figura 8: Composição da corrente “Processo” de fundo da coluna T2.....	21
Figura 9: Composição da corrente “Fundo T3”	22
Figura 10: Variação de propeno e eteno em relação a vazão de refluxo, para a coluna T2 na condição B.	23
Figura 11: Composição das correntes para o Caso F com a coluna T2	24

Lista de Tabelas

Tabela 1. Origem e destino das correntes envolvidas na recuperação	12
Tabela 2. Faixa da fração molar por componente, para cada corrente de alimentação. ..	12
Tabela 3: Parâmetros das colunas T2 e T3.....	16
Tabela 4: Fração molar por componente de cada corrente, por caso estudado	17
Tabela 5: Dados de processo das correntes de entrada	18
Tabela 6: Resultados validação T1	19
Tabela 7: Fração molar por componente da corrente VASO – T1	19
Tabela 8: Vazão das correntes LEVES e RFG	20
Tabela 9: Resultados das correntes de interesse, para a simulação nas condições A e B.	22
Tabela 10: Resultados da simulação T2	24

Lista de Abreviaturas e Siglas

C2= eteno

C3+ propano

C3= propeno

H2 hidrogênio

PE polietileno

PP polipropileno

RFG reator fase-gás

T1 coluna de lavagem de propeno (modo *Spheripol*)

T2 primeira coluna de destilação (modo *Spherilene*)

T3 segunda coluna de destilação (modo *Spherilene*)

1 Introdução

Sistemas de recuperação e separação são amplamente difundidos nas indústrias, suas aplicações mais importantes visam garantir a pureza de insumos, evitando venenos no processo, e ainda a recuperação de cargas que possam ser novamente retornadas ao processo, reduzindo o consumo de matérias-primas e também de emissões.

A indústria petroquímica, para produção de resinas termoplásticas, está muito avançada em termos de tecnologia de reação, contudo existe potencial para novos projetos em todo processo, mas principalmente na área de recuperação dos monômeros.

Com as crescentes demandas de mercado, e visando atender as necessidades dos clientes, são concentrados esforços no sentido de elaborar produtos diferenciados e que sejam atrativos para desenvolvimento da indústria. A planta piloto estudada foi concebida para realizar testes e assim aperfeiçoar as propriedades das resinas, para isso seus equipamentos são levados às condições limites de operação. O mercado consumidor esta cada vez mais exigente, e com isso a solicitação do mercado por polipropileno de alto impacto é crescente. Para atender tal demanda é necessário a utilização de um reator em que ocorra a copolimerização, para tal produção é necessário uma quantidade mais elevada de monômeros e co-monômeros, aumentando assim suas vazões utilizadas no processo.

Com o intuito de recircular ao processo propeno recuperado, em detrimento do monômero fresco, uma possível alternativa é a de utilizar colunas de destilação existentes na planta, para separar os componentes e fornecer propeno dentro da especificação requerida. Desta maneira não existem investimentos de alto valor em equipamentos e sistemas, o que torna a operação ainda mais atrativa.

Estudos anteriores foram realizados visando reduzir as purgas das colunas e aumentar a eficiência da separação do sistema, entretanto não consideraram a carga da purga do reator fase-gás.

Dentro do contexto apresentado, o objetivo geral do trabalho é avaliar alternativas que possam efetuar a recuperação de propeno do processo *Spheripol*, incluindo a corrente de purga do reator fase-gás. Para tanto, buscou-se avaliar a possibilidade de utilizar uma coluna lavadora de propeno do processo *Spheripol*, e também uma ou duas torres de destilação recheadas do processo *Spherilene* existentes na planta.

Assim, este estudo visa avaliar a viabilidade técnica da recuperação da purga do reator fase-gás da planta piloto, ainda com os seguintes objetivos específicos:

- Validar a simulação da coluna lavadora de propeno, bem como avaliar sua capacidade em separar a carga, com a introdução da corrente do reator fase-gás,
- Simular diferentes opções de alinhamento das colunas, com outras duas colunas existentes para o modo de polimerização de eteno,
- Propor o melhor alinhamento para recuperar a corrente dos casos mais críticos operacionalmente, atendendo às necessidades da planta quanto às especificações do propeno.

No presente trabalho serão abordados os seguintes tópicos. O capítulo 1 apresenta a introdução, que contempla explicações sobre o assunto estudado e esclarece os objetivos gerais e específicos do trabalho. O capítulo 2 contém a revisão bibliográfica em que são apresentados tópicos gerais sobre destilação, bem como o efeito das variáveis de operação na condição das colunas. Já no capítulo 3 é apresentado o estudo de caso, que aborda sobre propriedades das resinas de polipropileno e é descrito o processo de polimerização *Spheripol*. A metodologia é descrita no capítulo 4, que contém informações de descrição das colunas de destilação, das simulações no software ASPEN PLUS® e dos casos estudados. Os resultados gerais estão no capítulo 5, bem como a validação da coluna lavadora de propeno, resultados das simulações e avaliação da eficiência da separação. Por fim, o capítulo 6 contém as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Aspectos Gerais

A separação é uma importante operação unitária, e ela é ainda mais valiosa quando se deseja recuperar componentes de uma mistura, por exemplo, reagentes não convertidos, para aproveitamento novamente no processo. Casos como esses envolvem questões econômicas e de meio ambiente pois, aumentando o grau de recuperação, os componentes recuperados podem ser recirculados no processo, diminuindo o consumo de matérias-primas limpas e, conseqüentemente, o emprego de recursos naturais. Pelas mesmas razões, ocorre a redução de custos operacionais, porém é importante uma avaliação econômica, uma vez que o consumo energético de tal operação é elevado, impactando também nos custos operacionais, assim como os custos de instalação dos equipamentos.

Para solucionar problemas de separação, Foust e Wenzel (1987) explicam que o engenheiro faz uso de diferenças existentes nas propriedades de cada componente para efetuar a melhor separação, afirmando ainda que a destilação é o processo de separação mais difundido na indústria química. O método baseia-se no contato entre a fase vapor e a fase líquida de uma mistura, de modo a ocorrer a transferência de massa entre as mesmas. O líquido e o vapor são constituídos pelos mesmos componentes, porém, em proporções diferentes. Cabe salientar ainda que o líquido encontra-se em seu ponto de bolha e o vapor no ponto de orvalho, se os estágios forem de equilíbrio termodinâmico.

As operações unitárias em que ocorre transferência de massa são caracterizadas pela transferência de uma substância através da outra, e uma escala molecular. Treybal (1951), ao discorrer sobre o assunto, explica que a destilação fracionada, ou simplesmente destilação, é utilizada quando os componentes da mistura possuem volatilidades diferentes, assim a fração vaporizada será mais rica, que a mistura original, no componente mais volátil.

Ao comentar sobre o assunto Koretsky (2007) frisa que a força motriz para a transferência de espécies químicas é, na realidade, a diferença de potencial químico. O autor afirma ainda que o conceito de potencial químico é abstrato, pois não pode ser medido diretamente, mas é relacionado diretamente à transferência de massa. Com o intuito de encontrar uma propriedade mensurável, podem-se avaliar os componentes em relação às suas volatilidades. Ao aquecer a mistura, o componente que possui maior volatilidade (menor ponto de ebulição) irá vaporizar com uma concentração mais elevada do que na mistura.

Lipták (2007), ao discorrer sobre o funcionamento das colunas de destilação, comenta que a separação das fases ocorre pela diferença entre as pressões de vapor dos componentes, em que a fração leve sobe através da coluna até o topo e a fração mais pesada desce até o fundo da coluna. Materiais inertes como recheios ou pratos permitem um maior contato entre as fases, uma vez que o vapor ascende através do líquido descendente, resultando num contato íntimo entre as mesmas.

Na busca por melhorias nos processos, são constantes os estudos com intuito de reduzir custos de operação e o gasto com insumos. Neste sentido foram realizados estudos que objetivaram a recuperação de propano da planta analisada (uma unidade

piloto de polimerização), porém em nenhuma das avaliações anteriores foi incluída a vazão de propeno da purga do reator fase-gás.

Orlandini (2006) e Nick (2010) verificaram a eficiência da separação de propeno a partir da corrente do sistema de remoção de gás do polímero existente na planta estudada, composto por três colunas, uma de lavagem de propeno e duas de destilação.

No trabalho de Orlandini (2006), a partir de dados reais da planta, foi utilizada uma simulação estacionária para caracterizar a coluna de lavagem de propeno. Foi aplicado um modelo DSTWU, um método simplificado da destilação que é utilizado para estimar condições operacionais, foi estimado o número de estágios e o prato de alimentação da coluna. No referido estudo foram propostos alinhamentos para a recuperação do propeno na carga.

No âmbito de melhorar as condições operacionais, Nick (2010) apresentou uma proposta de separação da carga proveniente do sistema de flash. Nick caracterizou dois casos extremos para a análise, altíssima concentração de hidrogênio e alta concentração de eteno e hidrogênio. Para o primeiro caso, a condição da pureza de propeno foi satisfeita na simulação somente com uma coluna, do processo de polimerização de propeno. Já para o segundo caso, a proposta mais adequada foi o alinhamento das duas colunas utilizadas no processo de polimerização de eteno.

2.2 Efeito das variáveis de operação na operação da coluna

A fim de garantir a especificação da corrente de destilado, é importante que as condições operacionais da coluna de destilação mantenham-se estáveis. Kister (1990) menciona que o mau funcionamento do sistema de controle também pode levar à instabilidade do processo e que seus efeitos podem ser percebidos na pureza do produto, no grau de recuperação da corrente de alimentação, nos custos operacionais e na facilidade da operação.

Um dos mais frequentes problemas na engenharia química é a separação dos componentes de uma mistura líquida. Os componentes são separados em função das diferenças de suas propriedades, como por exemplo tamanho, massa ou mesmo afinidade química. Foust (1987) salienta que são diversas as propriedades físicas e químicas em que a separação pode ser baseada, porém cabe ao engenheiro observar a propriedade com maior diferença entre os componentes e assim permitir uma separação mais fácil e econômica. Na indústria o objetivo da separação é aproveitar uma corrente considerada suja, porém com componentes importantes e de alto valor para o processo. Ao separar fisicamente os componentes é possível aproveitar a corrente com o componente de interesse e assim tratar e descartar somente o indesejado.

Difícilmente um processo de separação irá levar à produção de substâncias puras, porém, para cada processo são estabelecidos limites de contaminação, que quando atingidos qualificam o produto como purificado. Necessidades diferentes exigem graus de pureza mais ou menos elevados, e que podem ser verificados pela composição das correntes.

Colunas e seus sistemas auxiliares passam por diversas mudanças ao longo de sua operação, tais como *revamps*, alterações na vazão e composição da alimentação, troca de equipamentos, e ainda modificações no sistema de automação e controle.

Cada alteração, por menor que seja, tem um impacto em todo sistema. Nesta seção serão abordados os parâmetros operacionais mais comuns que influenciam diretamente na eficiência das colunas de destilação. Além da eficiência, tais fatores devem ser considerados ao se analisar a possibilidade de modificação dos alinhamentos da planta, como é o caso deste estudo, pois estão relacionados à viabilidade da recuperação desejada.

2.2.1 Pressão

A análise dos custos energéticos sugere que a pressão de operação seja a mínima possível, porém muitos sistemas são dependentes, e o fluxo ocorre em função do diferencial de pressão. Assim os sistemas à montante e à jusante também podem ser impactados com a variação da pressão, casos mais extremos de queda de pressão podem levar ao retorno de correntes no contra-fluxo. Lipták (2007) salienta que a diferença de pressão é a força motriz para a descarga de correntes em muitos sistemas, o que permite o funcionamento do processo sem utilização de bombas adicionais. Os alinhamentos entre equipamentos devem ser considerados para evitar a equalização da pressão dos sistemas, impedindo assim este fluxo. O autor explica que o controle da pressão é, em sua maioria, efetuado pela remoção de calor no condensador, com a admissão de mais ou menos fluido frio, esta atuação fecha o balanço energético do sistema.

Segundo Sloley (2001), o controle de pressão do sistema envolve ajustar os balanços de massa e energia, através da quantidade de calor fornecida ao refeedor e condensador, bem como ajustar o balanço material, que em sua maioria é realizado através do nível do vaso acumulador. É importante também avaliar alterações na vazão da carga, uma vez que estas correntes afetam o controle de pressão, pois a vazão de vapor para o topo da coluna é alterada e, como consequência, a pressão se eleva.

Assim, as colunas devem operar com a menor flutuação de pressão possível, pois estas oscilações podem dificultar o controle e reduzir o desempenho da unidade. A inserção de uma nova carga, principalmente com elevada fração de leves e/ou incondensáveis, pode contribuir com o aumento da pressão do sistema evidenciando a atenção que este parâmetro operacional deve receber.

2.2.2 Temperatura

O perfil de temperaturas resulta em maior ou menor quantidade de vapor no topo. Esta relação pode ser observada quando, ao aumentar a temperatura da coluna, é concomitante o aumento da fração de leves no topo. Neste sentido é importante avaliar o impacto da adição de correntes quentes ao processo, pois afetam o estado da alimentação da coluna.

Kister (1990) salienta que o controle de temperatura é provavelmente a maneira mais popular de acompanhar a composição do produto em uma coluna de destilação. Em virtude dos custos elevados para aquisição e manutenção de analisadores, faz-se uso de propriedades termodinâmicas para relacionar temperatura e composição.

Nas colunas de destilação, a energia fornecida ao sistema é regulada pela quantidade de calor fornecida/retirada do refeedor e condensador de topo, desta forma o controle de ambos é de extrema importância para manter o perfil de temperaturas adequado à separação desejada.

2.2.3 Carga

Distúrbios na carga da coluna são indesejados, porém muitas vezes são inevitáveis, pois são transmitidos às correntes subsequentes, impactando nos vasos de acúmulo e na especificação do produto. Tais desvios podem colocar a operação fora da condição de projeto, e a coluna pode não responder de forma adequada, por exemplo, não atendendo às condições de separação. A localização do prato de alimentação também influencia na separação, e com o intuito de prevenir os problemas decorrentes das variações no estado e composição da alimentação, é comum que colunas possuam múltiplos pontos possíveis de alimentação, possibilitando assim que se evitem os problemas mencionados.

Outro parâmetro importante é a composição da carga, que afeta não somente o grau de pureza do produto, mas interfere diretamente nos parâmetros de operação como quantidade de calor fornecida ao refeedor, remoção de calor no condensador e pressão da coluna. Em sua maioria, são analisadas diretamente por cromatógrafos com medições em tempo real, porém como mencionado anteriormente, podem ser estimadas indiretamente através da temperatura. Desta maneira a corrente de alimentação afeta diretamente a operação da coluna. Para garantir a qualidade da composição da corrente de destilado, dentro dos parâmetros estabelecidos, é importante manter a vazão da carga de alimentação para a coluna estável, garantindo assim que o estado estacionário da operação seja atingido.

2.2.4 Refluxo

Segundo Foust e Wenzel (1987) o refluxo é aplicado para obtenção de produtos de topo e fundo com elevada pureza. Ao condensar a corrente de topo, com a retirada de calor, é produzido refluxo líquido em que parte desta corrente segue para o processo e parte retorna à coluna. Ao entrar em contato com o vapor da coluna, ocorre a transferência de calor e massa entre as correntes, o que irá influenciar nas concentrações das correntes de topo e fundo.

2.2.5 Condições de Hidráulica

Condições de hidráulica e refluxo das colunas podem ser afetadas com o aumento da corrente de alimentação, neste sentido é importante avaliar as condições em que ocorrem o excesso do líquido, vapor e queda de pressão.

Segundo Kister (1990) a capacidade da coluna é normalmente restringida por sua inundação, condição hidráulica crítica, em que ocorre o excesso de líquido acumulado no interior da coluna. A este efeito são atribuídas diferentes causas, mas o que acontece é um aumento da vazão de líquido, que ocupa uma área maior nos recheios e resulta na redução da vazão de vapor, pois o último não consegue atravessar a coluna de líquido formada, levando assim ao incremento do nível e, no caso extremo, acarreta a inundação. Como resultado da inundação é observado uma perda na separação. Desta forma a redução na qualidade do destilado pode indicar que a coluna está próxima, ou no ponto, de inundação.

Outra condição crítica é caracterizada pelo excesso de vapor na coluna, o qual impede o fluxo descendente de líquido, afetando assim a eficiência da operação. Segundo o autor, nestes casos a camada de líquido é muito pequena e o vapor

atravessa rapidamente a coluna como uma bolha até romper, podendo levar a forte movimentação dos recheios, vibração na coluna e danos às instalações.

Desta maneira, é evidente a interação entre os principais parâmetros de operação da coluna, por esta razão a análise da viabilidade de separação é muito importante, em particular porque ocorre o aumento da vazão de alimentação e assim a eficiência dos recheios pode ser reduzida, apesar de em simulação estacionária não ser previstos todos os efeitos mencionados.

3 Estudo de Caso

O objetivo deste trabalho é avaliar a recuperação de propeno em uma unidade piloto de polimerização, a qual produz polipropileno a partir da polimerização do propeno, bem como seus copolímeros com eteno. As plantas pilotos são plantas com as mesmas tecnologias que plantas industriais, porém em menor escala, o que permite o teste de produção de produtos ainda não lançados no mercado para avaliar sua viabilidade técnica, bem como redução de riscos e o melhoramento de processos já existentes.

A Planta Piloto estudada, situada no Pólo Petroquímico de Triunfo - RS, possui tecnologia *Spheripol*, licenciada pela LyondellBasell, para a produção de Polipropileno. A tecnologia esta presente em mais de 100 países ao redor do mundo, sendo a pioneira na produção de PP e hoje já conta com mais de 40 anos de desenvolvimento e inovação.

3.1 Descrição das características do polímero

A flexibilidade de produção é uma das características mais importantes apresentadas pela planta piloto estudada, em que é possível produzir diferentes tipos de resinas. Esta seção visa apresentar as principais características das resinas de PP.

3.1.1 Homopolímero (HOMO)

É produzido somente com o monômero propeno. As principais características do produto são alta resistência ao calor, boa rigidez e processabilidade, baixa resistência ao impacto, principalmente em baixas temperaturas. Além disso, também apresenta boas características estéticas.

3.1.2 Copolímero Randômico (RACO)

Além do monômero, é adicionado ao reator um co-monômero, eteno, que é inserido na cadeia polimérica de forma aleatória. Apresentam excelente transparência e brilho, baixo ponto de fusão, além de menor temperatura de plastificação, dependendo do teor de eteno incorporado. A copolimerização é utilizada para modificar a cristalinidade do polímero de uma maneira controlada, introduzindo irregularidades na macromolécula.

3.1.3 Copolímero Heterofásico (COPO)

Formado a partir da polimerização em uma estrutura heterofásica, com a introdução de eteno formando uma fase amorfa (borracha) sobre a matriz homopolimérica de PP. Entre suas propriedades destacam-se a melhor resistência ao impacto, mesmo em baixas temperaturas, flexibilidade e também aspectos estéticos.

3.2 Descrição do Processo

Para a melhor compreensão do estudo, a seguir será descrito o processo em questão. Um esquema do processo é apresentado na Figura 1.

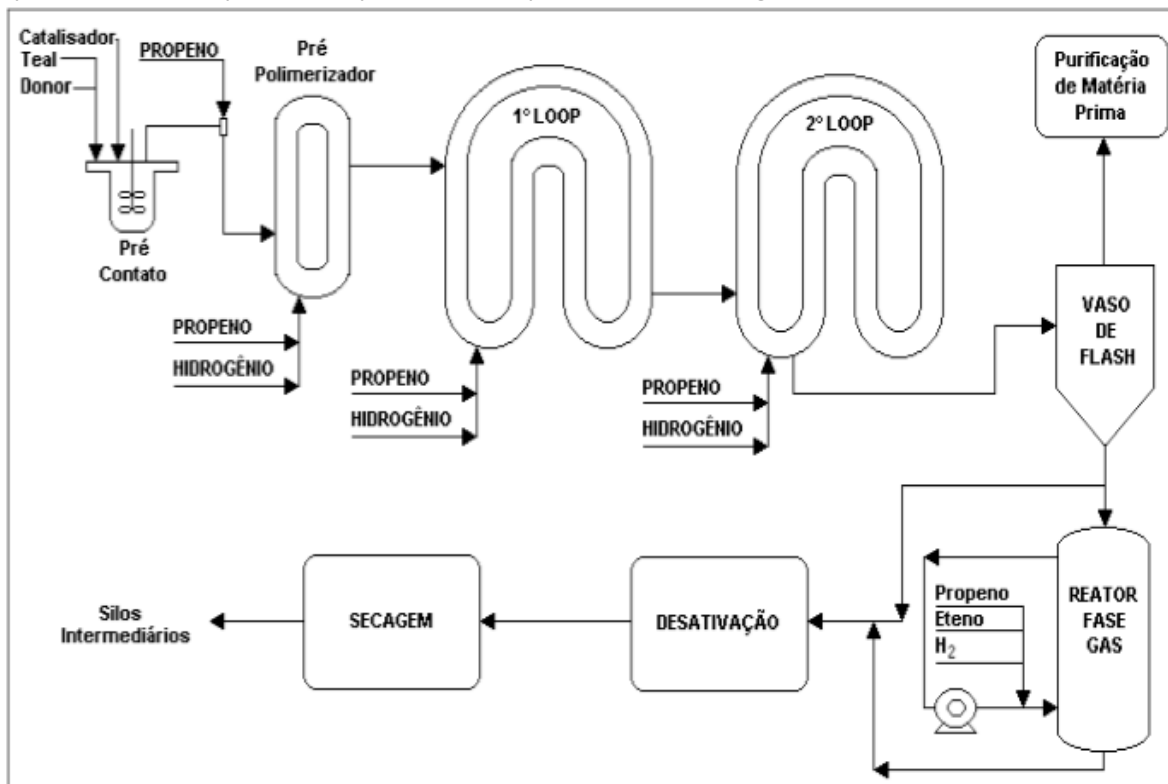


Figura 1: Esquema do processo de polimerização *Spheripol*

O processo utiliza catalisadores Ziegler-Natta de 4ª e 5ª geração, doador de elétrons (donor) e ativadores da reação. Primeiramente, o complexo catalítico é alimentado em um reator de pré-contato em temperatura branda para a formação do complexo reacional, o qual é composto por catalisador, doador de elétrons e ativador, neste reator não é alimentado o monômero que sofre pela polimerização, o propeno.

Posteriormente, este sistema catalítico passa para um reator de pré-polimerização, ainda em temperaturas brandas, mas já com alimentação de propeno, permitindo assim que as partículas de catalisador sejam encapsuladas pela polimerização incipiente, que recobre o catalisador, esta etapa é importante para que o polímero seja reproduzido em formato esférico e com granulometria adequada.

O catalisador pré-polimerizado é enviado então para dois reatores do tipo loop. Nestes reatores podem ser produzidos homopolímeros (mono ou bimodal) e ainda copolímeros randômicos.

Através de um sistema de controle de pressão, o polímero é enviado para uma linha de flash e na sequência para o vaso de flash e ciclone, em que o monômero residual é vaporizado e posteriormente recuperado. É importante salientar que a recuperação de propeno neste sistema já existe e é realizada esta corrente será considerada para o estudo, uma vez que a recuperação deve contemplar as correntes dos reatores loops e fase-gás.

O polímero segue então para o reator fase gás (RFG), o qual é um reator de leito fluidizado, no qual o fluxo de gás de recirculação é mantido através de um compressor. Com a adição de eteno nesta corrente, pode-se produzir copolímero

heterofásico. O controle de nível permite a descarga do polímero para os sistemas de desativação, secagem e finalmente, ensaque.

Outro controle importante do RFG é o controle de pressão. Com uma eventual redução da reatividade do reator, os monômeros da atmosfera gasosa não reagem, levando a um aumento de pressão do reator. Para controlar a pressão uma manobra é realizada, purga-se os gases do reator para queima no *flare*. A válvula de pressão através da qual é eliminada a purga deve operar fechada, para evitar queima de monômero, mas em virtude de questões operacionais ela opera muitas vezes aberta. Para o RFG não existe recuperação de propeno, sendo a recuperação desta corrente o objetivo do estudo do presente trabalho.

A recuperação do propeno possibilita ganhos econômicos e de processo. O primeiro ocorre claramente pelo retorno do propeno recuperado ao processo, diminuindo assim o consumo de monômero fresco. Já o segundo ponto é importante, pois permitir uma purga constante possibilita a operação mais estável do RFG, bem como a melhoria das propriedades do produto.

Cabe salientar que o estudo foi elaborado visando atender os cenários com condições de operação mais extremas, que são os casos com altas concentrações de eteno e hidrogênio nos reatores loops e RFG. Após sua recuperação, o propeno é acumulado no vaso alimentador de propeno, que também recebe propeno fresco da unidade de insumos básicos, e posteriormente alimentado ao processo. As condições operacionais limitantes para a recuperação das correntes de processo são as concentrações de eteno e hidrogênio nos vasos de pré-contato e pré-polimerização pois, em virtude da maior reatividade do eteno, podem alterar as condições de polimerização e assim produzir um polímero com características diferentes da desejadas.

4 Metodologia

Com o desenvolvimento das indústrias e da recorrente necessidade de aperfeiçoamento dos processos químicos, softwares de simulação estão sendo cada vez mais utilizados como ferramenta para a implantação de novos projetos e melhorias nos existentes.

No presente trabalho foi utilizado o software ASPEN PLUS® versão 7.2, licenciado pela empresa AspenTech, que permite ao usuário desenvolver modelos estáticos e simular processos de diversos ramos da indústria química. O software possui uma vasta biblioteca de modelos para determinação das propriedades termodinâmicas. Isto é importante pois a escolha do modelo adequado é de grande importância para garantir a acuracidade dos resultados da simulação.

A definição do pacote termodinâmico impacta nos resultados, porém depende de alguns fatores, sendo os principais o tipo de espécie envolvida e de transformações que ocorrem, além das condições de temperatura e pressão ao longo do processo.

4.1 Descrição das colunas

As plantas piloto são utilizadas para o desenvolvimento de tecnologia e produção de novas resinas, são multi-propósito e por isso apresentam flexibilidade de alinhamentos. O modo avaliado é o de polimerização de propeno para a produção de polipropileno, com tecnologia *Spheripol*. Entretanto, a planta compartilha equipamentos da planta piloto de polimerização de eteno para a produção de polietileno, com tecnologia *Spherilene*. Ambas operam em *swing* ou seja, enquanto uma opera a outra fica desativada, e assim é possível utilizar equipamentos de um processo com o outro. Um esquema dos alinhamentos pode ser verificado na Figura 2.

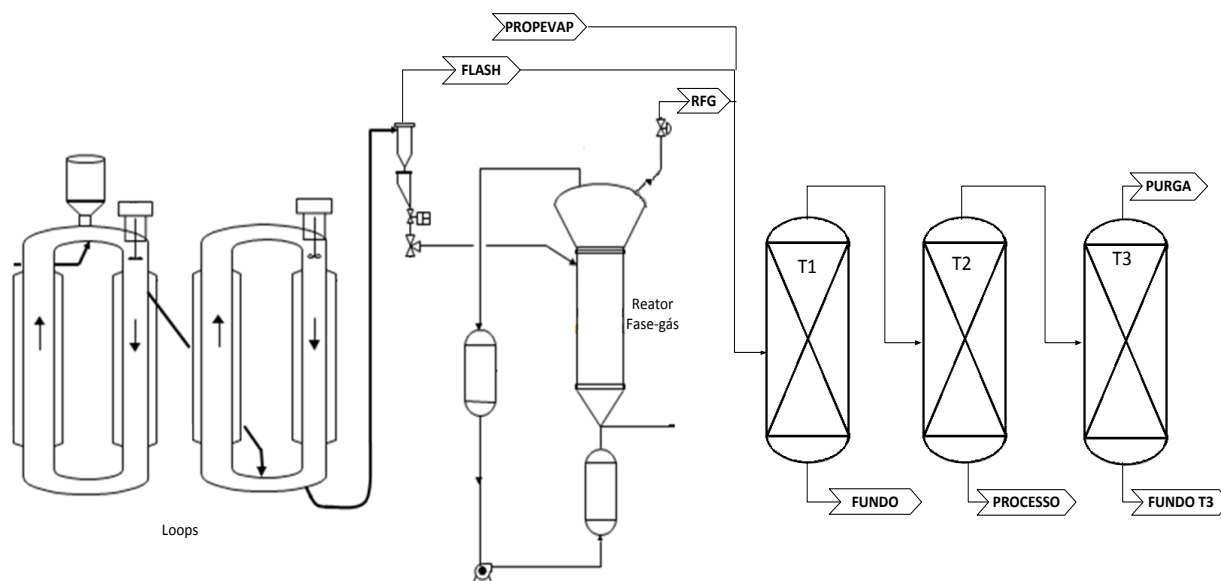


Figura 2: Esquema da nova proposta de alinhamento das colunas

As correntes originadas no processo seguem para o sistema de recuperação nas colunas T1, T2 e T3. Cabe salientar que as correntes com origem nos reatores são “FLASH” e “RFG”, já “PROPEVAP” é uma corrente de propeno limpo, utilizada para resfriar alguns sistemas. No sistema avaliado, as correntes de interesse são “PROCESSO” e “FUNDO T3”. A tabela 1 contém os dados de origem e destino de cada corrente, para melhor compreensão do processo.

Tabela 1. Origem e destino das correntes envolvidas na recuperação

Corrente	Origem	Destino
PROPEVAP	Processo	T1
FLASH	Sistema de vaporização após loops	T1
RFG	Purga do reator fase-gás	T1
FUNDO	Purga fixa de fundo T1	Queima
PROCESSO	Corrente de fundo T2	Vaso de Propeno
FUNDO T3	Corrente de fundo T3	Vaso de Propeno
PURGA	Purga dos levas T3	Queima

Como o objetivo da planta piloto é desenvolver a faixa de operação das composições é elevada, para possibilitar a produção de diferentes produtos. Assim a tabela 2 mostra a faixa da composição de cada componente, por corrente de entrada nas colunas.

Tabela 2. Faixa da fração molar por componente, para cada corrente de alimentação.

Corrente	Eteno [%]	Propeno [%]	Hidrogênio [%]	Propano [%]
PROPEVAP	0	100	0	0
FLASH	0 - 2,0	85 - 95	0,5 - 5	0,5 - 12
RFG	20 - 65	30 - 60	0,5 - 3	0,5 - 18

A planta de polipropileno possui sistema de recuperação de propeno em que a coluna T1 tem o objetivo de lavar a corrente gasosa, proveniente do sistema de flash, e separar qualquer resíduo de finos de polímero. A coluna é composta de um condensador no topo, onde ocorre a separação das frações leves, refeedor no fundo e três seções recheadas com recheio do tipo IMTP em aço inox.

Ao contrário do processo *Spheripol*, o modo de polimerização de eteno apresenta recuperação de gases para a purga do reator fase-gás. A polimerização em *Spherilene* ocorre com a adição de um gás inerte, o propano, para manter a pressão do reator adequada, bem como a pressão parcial de eteno. Visando separar os leves, e reutilizar o propano no processo, este sistema é composto de duas colunas de destilação, as colunas aqui denominadas de T2 e T3, respectivamente. Os reatores são os mesmos utilizados em modo *Spheripol* e por isso já existem alinhamentos do topo do reator fase-gás para o compressor, que envia propeno evaporante para a coluna lavadora de propeno, diminuindo os custos das instalações e novos equipamentos.

A coluna T2 possui três seções recheadas, com anéis Pall em aço inox, sua relação altura/diâmetro é 30, o número de estágios teóricos é entre 30 e 35 e a altura

equivalente de prato teórico (HEPT) está compreendida entre 0,25 e 0,30 m. Um esquema da T2 é apresentado na figura 3 a seguir, onde são indicadas a alimentação e saídas da coluna.

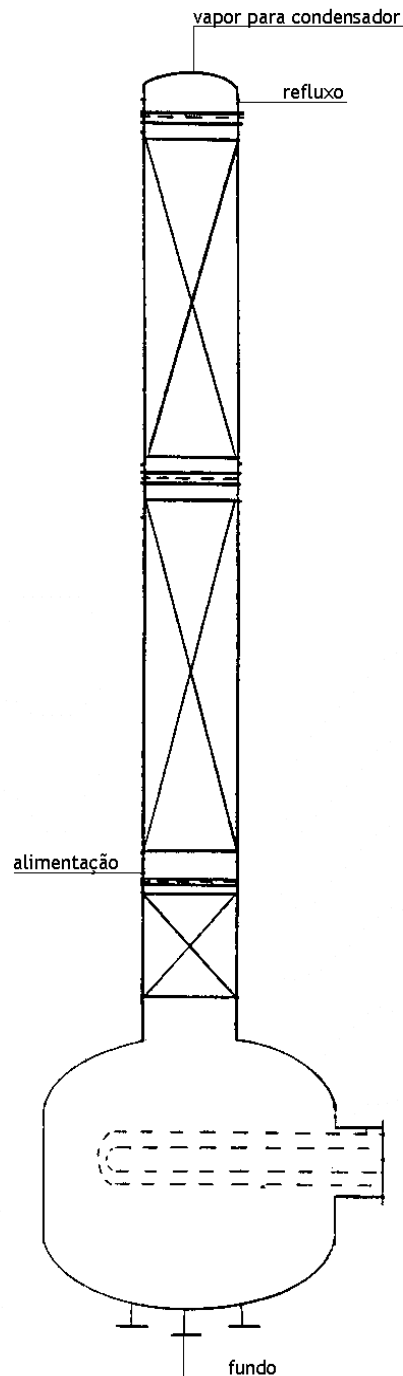


Figura 3: Esquema da T2

A corrente de topo da coluna T2 é enviada para a coluna T3, que apresenta as mesmas características, porém possui somente duas seções recheadas. Nesta coluna, a relação altura/diâmetro é 37, o número de estágios teóricos é entre 20 e 25 e a HETP entre 0,20 e 0,25 m. Um esquema de T3 é mostrado na figura 4 a seguir.

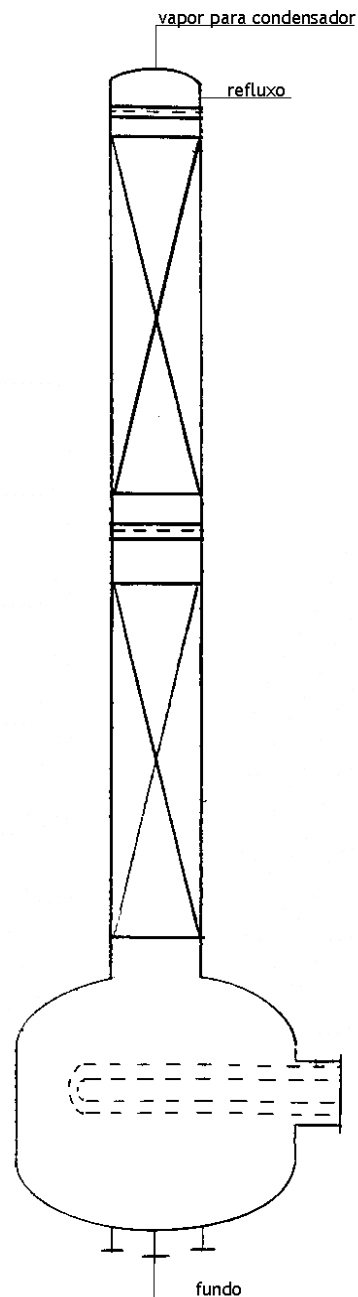


Figura 4: Esquema da T3

Três condições de operação foram avaliadas para verificar se as condições de separação eram satisfeitas, uma vez que a existência de três colunas permite diferentes alinhamentos.

4.2 Descrição das simulações

As simulações em estado estacionário foram realizadas utilizando-se blocos "RadFrac" (destilação por estágios de equilíbrio) e o modelo termodinâmico escolhido foi a equação de Soave-Redlich-Kwong (SRK), considerado adequado para separação de hidrocarbonetos.

Primeiramente foi validada a simulação da coluna T1, tendo somente como cargas as correntes que são alinhadas atualmente para coluna. Após a validação da coluna

T1, pode-se avaliar sua capacidade em separar o propeno com o novo alinhamento da corrente proveniente do reator fase-gás. O diagrama do sistema pode ser visto na figura 5, em que o alinhamento da corrente “RFG” é inexistente na condição atual do processo, sendo o motivo do presente estudo.

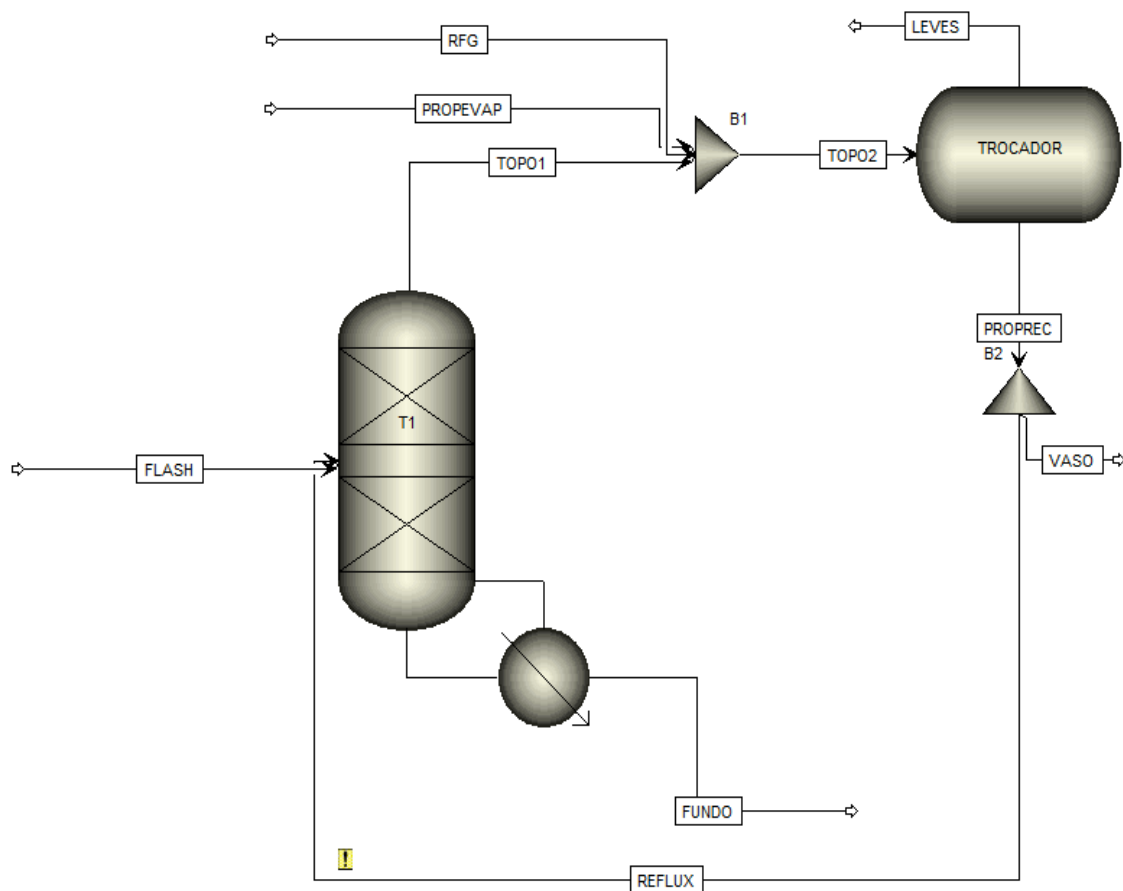


Figura 5: Flowsheet da coluna T1 com o alinhamento da carga RFG

A planta estudada tem por objetivo a realização de testes não a produção em escala comercial, por esta razão alguns sistemas de controle e de medição não são tão necessários, como em plantas industriais. Deste modo, para o estudo, algumas condições foram estimadas, uma vez que não havia dados da planta. A vazão de alimentação do flash, que origina a corrente “FLASH”, não possui medidor, por isso teve que ser estimada através dos dados da vazão de entrada de propeno para os reatores e da produção de polipropileno, levando em consideração também uma estimativa de que 10% do propeno não é separado no sistema de flash, ficando adsorvido no polímero.

Através de simulações em estado estacionário, Orlandini (2006) fez uso do bloco DSTWU para verificar o número de estágios da coluna T1. O resultado apresentado forneceu um número de estágios inferior a 8, valor este que é validado pela comparação dos resultados da simulação com os dados da planta e foi utilizado neste trabalho.

A segunda proposta de recuperação considera que a coluna T1 não permite a separação dos monômeros, neste caso em T1 é mantida uma purga fixa de fundo, com a vazão mínima requerida, que é praticamente desprezível, e a corrente do destilado é enviado para a coluna T2 e conseqüentemente para a T3, neste sentido a

coluna T1 terá a função para que foi desenvolvida, lavar a corrente de propeno e separar os finos de polímero. Empregou-se na simulação das colunas T2 e T3 a proposta realizada por Orlandini (2006), pois o modelo avaliado mostrou-se adequado para as condições de processo, uma vez que reproduziu os dados de planta com um erro menor que 5%. Já as condições operacionais da coluna, como vazão de refluxo e vazão de fundo, foram verificadas por Nick (2010). O esquema do alinhamento e os dados das colunas T2 e T3 são exibidos na figura 6 e tabela 3, respectivamente. A coluna T1 não aparece nas simulações em virtude de não efetuar a separação, a corrente “CARGA” originada das alimentações, nesta vazão já esta descontada a purga de fundo de T1 comentada anteriormente.

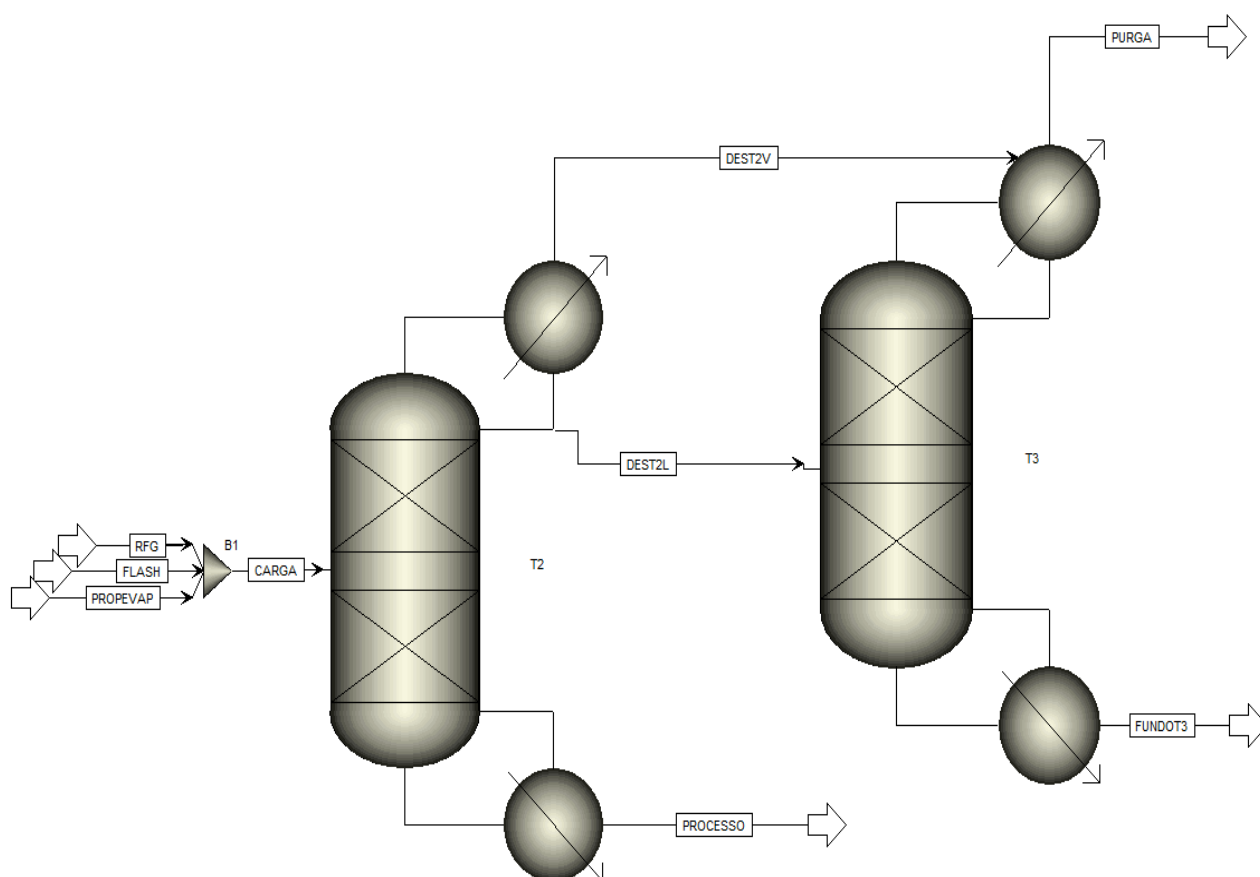


Figura 6: Flowsheet do alinhamento T2 e T3

Tabela 3: Parâmetros das colunas T2 e T3

Parâmetro	Coluna T2	Coluna T3
Nº de estágios	33	23
Condensador	Parcial-vapor-líquido	Parcial-vapor
Estágio de Alimentação	28	1 e 2
Pressão	16 kgf/cm ²	16 kgf/cm ²
Carga Térmica do Refervedor	0,44 GJ/h	0,26 GJ/h

4.2.1 Validação

A validação da coluna de lavagem de propeno (T1) foi realizada a partir de dados reais da planta, coletados através do Aspen Process Explorer, os quais foram comparados com os resultados obtidos na simulação. O parâmetro ideal de comparação seria a composição na corrente de propeno recuperado, porém o cromatógrafo que analisa esta corrente esteve fora de operação nos últimos anos. Assim, foi necessário o uso de outro parâmetro adequado e com medição disponível. Em virtude das restrições operacionais encontradas, a opção para validação foi especificar as cargas térmicas do refeedor e do trocador de calor de topo, para comparar com os dados reais das vazões de leves, pesados e refluxo, que possuem medição na planta.

4.3 Casos

A Planta Piloto apresenta uma variedade de condições operacionais, em virtude de sua utilização, que é avaliar novos produtos. Para este trabalho, buscou-se verificar quais cenários das correntes de interesse são mais críticos operacionalmente. Assim, foram avaliadas estas situações no ano de 2012, para as correntes FLASH e RFG, resultando em seis casos, que estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Fração molar por componente de cada corrente, por caso estudado

Corrente	Flash					RFG				
	Caso	Condição	[C3=]	[C2=]	[C3+]	[H2]	Condição	[C3=]	[C2=]	[C3+]
A	Normal	91,7	0,8	5,3	2,2	Alta [C3+]	57	24	16	3
B	Normal	91,7	0,8	5,3	2,2	Alta [C2=]	32,4	62	3,6	2
C	Alta [H2]	92,54	0	2,51	4,95	Alta [C3+]	57	24	16	3
D	Alta [H2]	92,54	0	2,51	4,95	Alta [C2=]	32,4	62	3,6	2
E	Alta [H2] e [C2=]	89,94	1,33	4,78	3,95	Alta [C3+]	57	24	16	3
F	Alta [H2] e [C2=]	89,94	1,33	4,78	3,95	Alta [C2=]	32,4	62	3,6	2

Cabe salientar que o maior limitante para a recuperação das correntes é a fração molar de eteno na descarga do vaso de propeno, corrente esta que irá para o vaso de acúmulo de propeno e posteriormente será alinhada para o processo. Com o intuito de evitar a polimerização inadequada nos vasos de pré-contato e pré-polimerização, o limite operacional da concentração de eteno é de 1000 ppm, assim este valor será adotado como limite para o presente trabalho.

Casos diferentes foram selecionados, as concentrações de cada corrente podem ser vistas na tabela 2, visando avaliar os limites da recuperação, porém as condições de processo mantiveram-se fixas para todos os casos, a tabela 3 mostra os parâmetros

estabelecidos para cada coluna. Assim, os dados foram obtidos para períodos estacionários de 05 dias na condição normal de operação, exceto para a corrente RFG, para a qual a vazão apresentada foi a média do período em que ocorreu a corrida com maior purga. Os dados de entrada estão na tabela 5.

Tabela 5: Dados de processo das correntes de entrada

Corrente	Parâmetro	
FLASH	Vazão [kg/hr]	540
	Temperatura [K]	328
	Pressão [atm]	17,9
PROPEVAP	Vazão [kg/hr]	150
	Temperatura [K]	313
	Pressão [atm]	18,9
RFG	Vazão [kg/hr]	60
	Temperatura [K]	313
	Pressão [atm]	18,9

5 Resultados

5.1 Avaliação da capacidade da coluna T1 especificar a corrente RFG

Primeiramente, foi realizada a simulação da coluna T1 para na sequência validá-la com dados reais de planta. Para tanto, foram fixadas as quantidades de calor do refeedor e do condensador da coluna. Os resultados obtidos na simulação, bem como os dados reais de vazão de cada corrente, estão na tabela 6.

Tabela 6: Resultados validação T1

Corrente		FUNDO	LEVES	REFLUX
Simulação	Vazão [kg/h]	54,19	20,93	361,12
	Temperatura [K]	316,53	280,15	280,15
	Pressão [atm]	17,42	11,42	11,42
Real	Vazão [kg/h]	53,00	19,00	350,00
	Temperatura [K]	321	281	281

Comparando-se os resultados da simulação com os medidos em planta, verifica-se que existe um erro menor que 10% entre ambos. Assim, a simulação está adequada à realidade do sistema existente.

Com a simulação da coluna T1 validada, foi adicionada a corrente RFG na alimentação da mesma. Foram avaliados todos os seis casos mencionados na Seção 3.2; os resultados das composições das correntes de interesse estão na tabela 7.

Tabela 7: Fração molar por componente da corrente VASO – T1

Caso	Propeno	Propano	Eteno	Hidrogênio
A	0,94	0,04	2000 ppm	traços
B	0,907	0,039	5300 ppm	100 ppm
C	0,95	0,033	1500 ppm	200 ppm
D	0,93	0,02	4700 ppm	200 ppm
E	0,926	0,049	2200 ppm	200 ppm
F	0,906	0,037	5500 ppm	200 ppm

Os dados da tabela 7 mostram que para nenhum caso o limite operacional da concentração molar de eteno (discutido na Seção 4.3) é satisfeito. Além da composição da corrente que irá para o vaso de acúmulo, é importante avaliar a corrente de purga dos leves no condensador, uma vez que o objetivo é reduzir a quantidade de propeno enviado para queima, e não aumentar esse montante.

Tabela 8: Vazão das correntes LEVES e RFG

Caso	Vazão Total Leves [kg/h]	Vazão Propeno Leves [kg/h]	Vazão Propeno RFG [kg/h]
A	99,25	88,17	44,47
B	97,33	79,58	25,58
C	102,52	93,54	38,04
D	103,13	86,76	25,58
E	100,70	88,66	38,04
F	101,28	82,17	25,58

Ao analisar a tabela 8 verifica-se que, em todos os casos, a vazão de propeno purgada na corrente dos leves é superior à vazão de propeno enviado para recuperação, pela corrente RFG, fato que economicamente não justifica o alinhamento da corrente RFG para a coluna T1, as estratégias foram avaliadas considerando-se que não há alteração da operação da coluna, ou seja, aumento das cargas térmicas. Apesar de a primeira estratégia ser, normalmente, modificar a carga térmica, neste sistema a quantidade de vapor para o refeedor é fixada no limite superior em que a coluna opera, sendo assim não pode ser ajustada operacionalmente.

5.2 Avaliação da recuperação de propeno com as colunas T2 e T3

O novo alinhamento permite operar a coluna T1 como lavadora de propeno, mantendo uma vazão de fundo mínima de 2 kg/h, e enviar sua corrente de destilado para as colunas T2 e em seguida T3. Foram avaliados os seis casos discutidos na Seção 3.2, avaliando-se a concentração de eteno resultante nas correntes “PROCESSO” e “FUNDO T3”, comparando-as com a corrente “CARGA”, e assim verificar a eficácia da separação. As figuras 7, 8 e 9 mostram a fração molar de cada um dos componentes nestas correntes. As concentrações de eteno na corrente “Processo” são da ordem de ppm’s e as de hidrogênio são traços, por isso não ficam evidentes no gráfico. Para todos os casos esta mesma corrente apresentou concentração de eteno abaixo do limite estabelecido operacionalmente, dado que comprova a separação eficiente na coluna T2. Entretanto, o mesmo não ocorre para a corrente “FUNDO T3” uma vez que nos casos B, D e F a concentração de eteno está acima do limite. Assim, as colunas T2 e T3 não conseguem especificar os produtos nas condições mais extremas no RFG, ou seja, alto teor de eteno. Para outros casos, mesmo com alto teor de eteno na corrente proveniente do flash, o propeno recuperado pelas colunas encontra-se dentro da especificação.

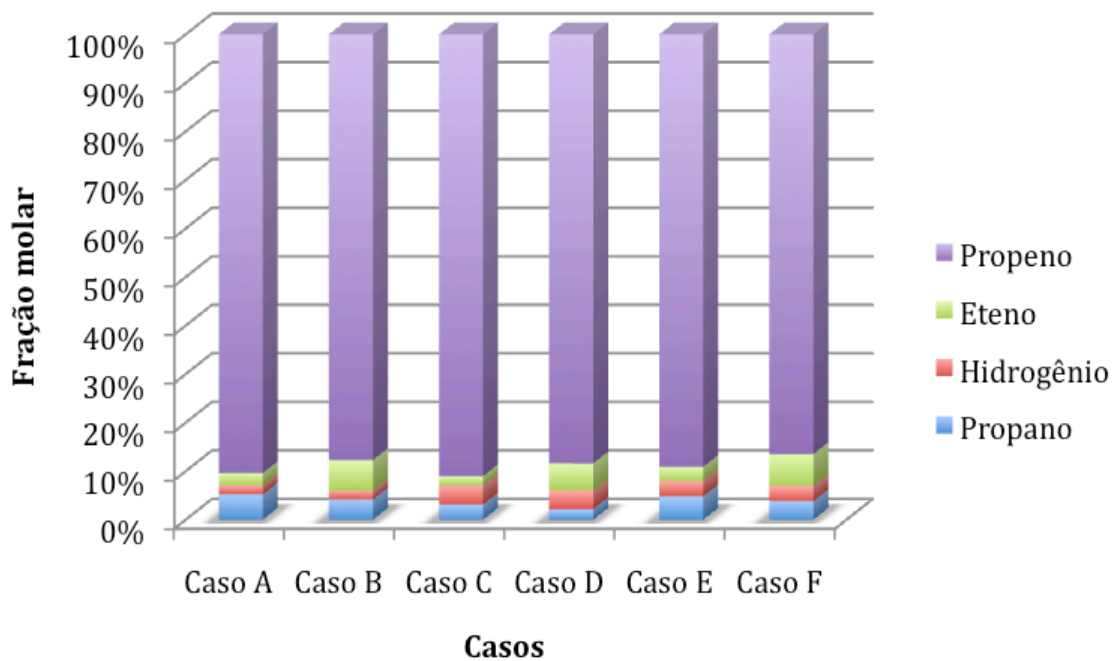


Figura 7: Composição da corrente "Carga" para coluna T2

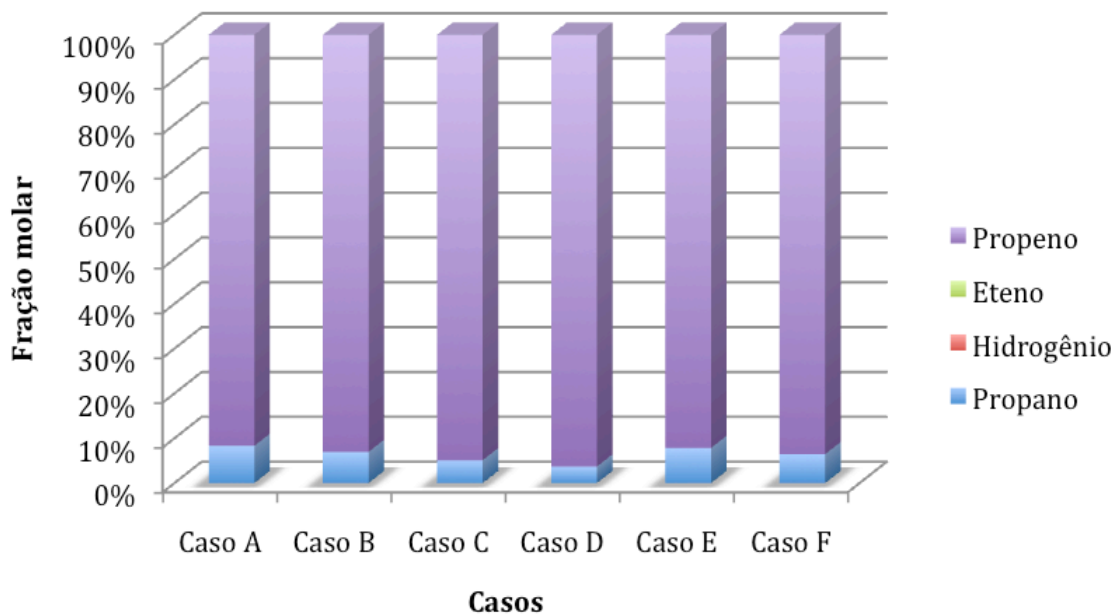


Figura 8: Composição da corrente "Processo" de fundo da coluna T2

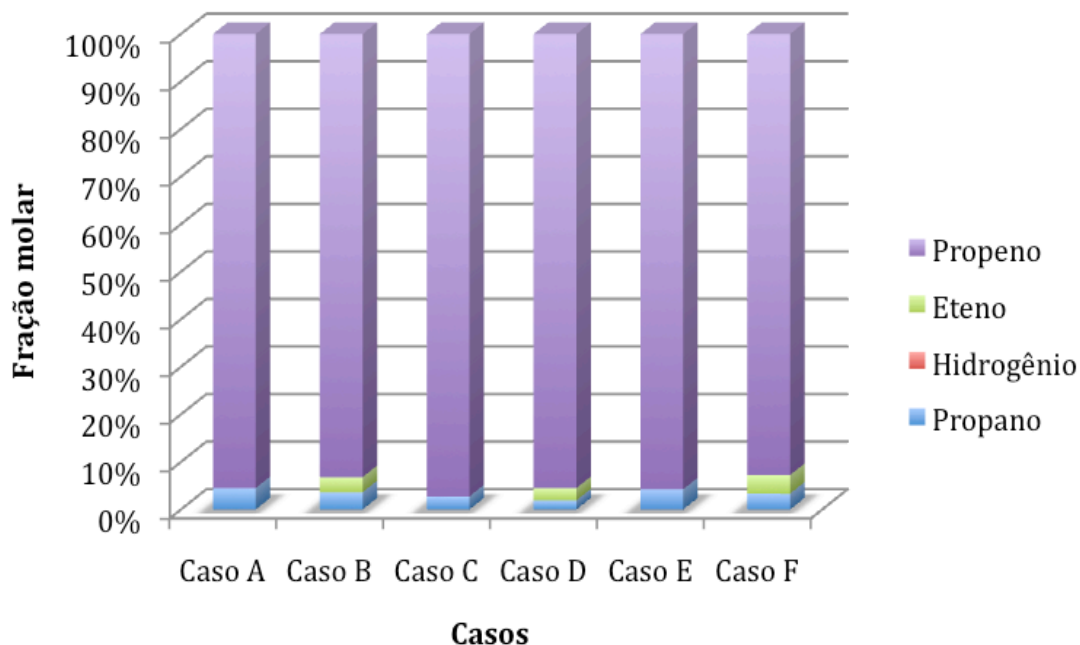


Figura 9: Composição da corrente "Fundo T3"

A fim de verificar a condição na qual a recuperação fosse satisfeita, alterou-se a vazão de saída de fundo da coluna T3. Apesar da condição normal de operação (condição A) não responder de forma adequada, a condição B apresentou excelentes resultados, como pode ser visto na tabela 9 a seguir. A grande mudança ocorreu em função da vazão de fundo da coluna T3, que foi reduzida para 565 kg/h. Apesar de aumentar a vazão da purga em 20 kg/h, a composição do propeno atende os limites neste caso. A planta apresenta um limitante na válvula de vazão da purga da coluna T3, em que o limite superior é de 50 kg/h; assim, com o incremento desta vazão para 45 kg/h, a condição máxima para esta vazão ainda é satisfeita.

Tabela 9: Resultados das correntes de interesse, para a simulação nas condições A e B.

Caso	A			B		
	Processo	Fundo T3	Purga	Processo	Fundo T3	Purga
Vazão [kg/h]	200	585	25	200	565	45
Temperatura [K]	311	306	225	311	311	240
Pressão [atm]	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Fração molar [%]						
Propeno	93,5	92,81	2,5	93,53	96,51	6,87
Propano	6,5	3,33	618 ppm	6,45	3,48	0,16
Eteno	91 ppm	3900 ppm	54,4	9 ppm	0,1 ppm	63,38
Hidrogênio	traços	traços	43	traços	traços	29,56

Verificada a capacidade da separação na condição B, realizou-se uma análise de sensibilidade para as colunas T2 e T3, em que a vazão de refluxo foi o parâmetro selecionado para variar, acompanhado-se as composições de eteno e propeno. Esta análise tem por objetivo melhorar o parâmetro de mais fácil manipulação, a vazão de

refluxo, permitindo uma operação com o atendimento do limite de composição na saída. Os resultados da análise na coluna T2 podem ser visto na figura 10. Não são mostrados os efeitos da alteração da coluna T2 na T3 pois houve pouca alteração na composição “Fundo T3”, o mesmo ocorreu quando alterado o refluxo na coluna T3. Não foram mostrados os dados para a composição de propeno e hidrogênio uma vez que os resultados apresentaram somente traços destes componentes nas correntes de interesse.

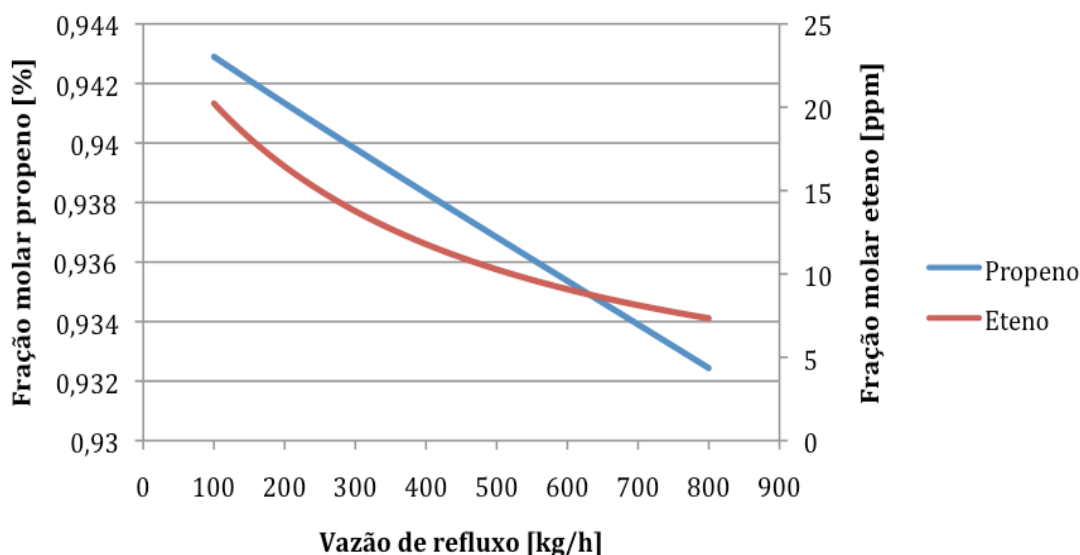


Figura 10: Variação de propeno e eteno em relação a vazão de refluxo, para a coluna T2 na condição B.

De acordo com o gráfico da análise de sensibilidade, fica evidente que o aumento na vazão de refluxo gera uma corrente com menor concentração de eteno, porém a corrente empobrece em propeno, ainda assim a corrente é mais rica neste último componente.

5.3 Avaliação da recuperação de propeno com a coluna T2

A simulação com a operação somente de T2 apresentou bons resultados de separação, inclusive para o caso mais crítico (Caso F). As frações molares das correntes podem ser visualizadas na figura 11. A distribuição da fração de eteno e hidrogênio nas correntes evidencia a separação dos leves na purga, e mostra a qualidade do propeno recuperado, com valores inferiores aos limites operacionais.

A tabela 10 contém dados das correntes, o principal parâmetro a ser avaliado neste item é a purga dos leves. Em virtude das condições de projeto de que impactam na separação, a vazão da corrente de purga foi extremamente elevada, aproximadamente 210 kg/h, valor que mostra ser inviável economicamente tal processo de separação.

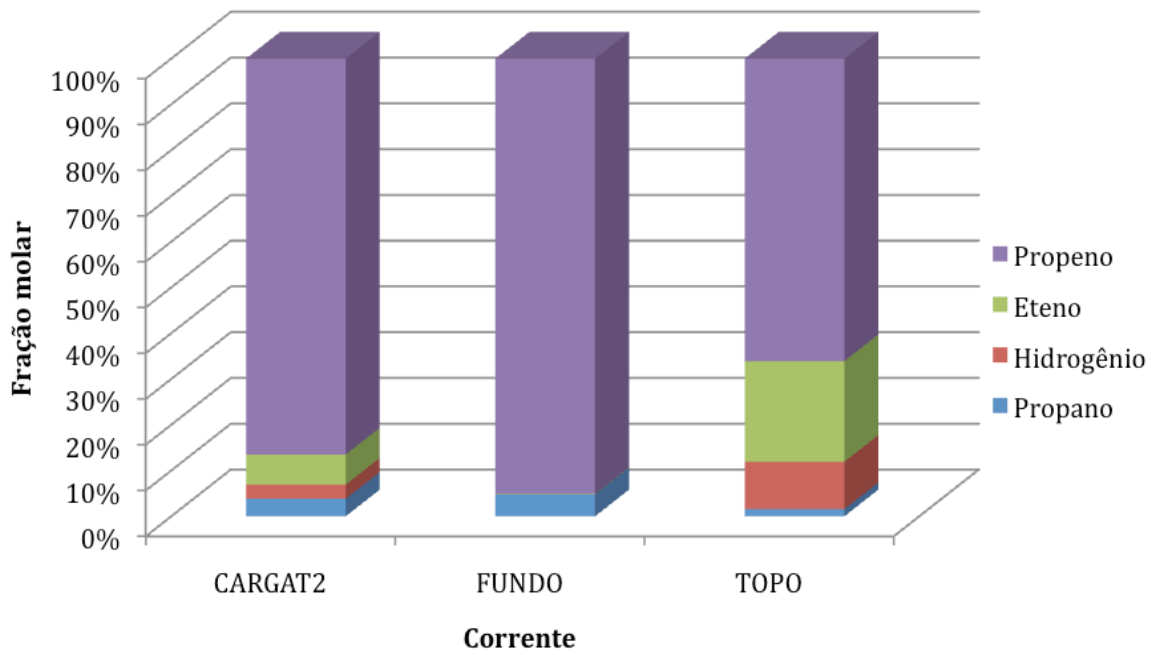


Figura 11: Composição das correntes para o Caso F com a coluna T2

Tabela 10: Resultados da simulação T2

Corrente	Parâmetro	
	CARGA	Vazão [kg/h]
Temperatura [K]		283
Pressão [atm]		15,8
PROCESSO	Vazão [kg/h]	600
	Temperatura [K]	311
	Pressão [atm]	15,8
PURGA	Vazão [kg/h]	210
	Temperatura [K]	294
	Pressão [atm]	15,8

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Diante dos resultados apresentados no Capítulo 5, conclui-se que a validação da coluna T1 está adequada à realidade existente, uma vez que a quantidade de calor no refeedor e condensador representaram as vazões de purga dos leves, fundo e refluxo da coluna.

Para o caso do alinhamento da corrente RFG somente à coluna T1, nenhum dos cenários avaliados apresentou recuperação de propeno adequada aos parâmetros da planta. Isto é verificado pelas composições molares por componente, principalmente de eteno, acima de 1000 ppm, limite estabelecido pelo processo. Outro dado importante é a vazão de propeno na purga de topo desta coluna para estes cenários, de aproximadamente 100 kg/h, enquanto a entrada de propeno na corrente RFG varia em torno de 30 kg/h, evidenciando que, para efetuar a separação, a purga necessária é três vezes maior que a entrada de propeno (os 70 kg/h restantes são provenientes do sistema de flash). Assim, conclui-se que a coluna T1 não é adequada para receber e recuperar a carga do RFG.

Os resultados obtidos para a simulação com T2 e T3 alinhadas, evidenciam o potencial em recuperar o propeno da corrente RFG na sua condição normal de operação, exceto para os casos de alto teor de eteno no RFG (Casos B, D e F). No entanto, para estes casos, existe a possibilidade de processar a carga com uma vazão de purga maior.

Desta maneira, pode-se aproveitar o potencial das colunas para diminuir as purgas da coluna T1 e ainda evitar a queima de propeno do RFG. O histórico da planta no período de 6 meses utilizado para o trabalho diz que a purga do RFG totalizou em torno de 35 toneladas de gás, o que representa um montante importante e justifica a recuperação da carga em questão. Outro fato importante e que valoriza a operação, é que os alinhamentos entre RFG e T1 já existem, necessitando apenas do estudo para verificar a transferência da carga da T1 para a T2.

A análise de sensibilidade, efetuada para avaliar o efeito da vazão de refluxo na composição de eteno e propeno das correntes de interesse, realizada na coluna T2 evidencia a relação entre a vazão de refluxo da coluna e a composição de eteno na corrente de interesse. A operação da coluna T2 é inviável, pois a vazão de propeno purgado na coluna é muito maior que a vazão alimentada na corrente RFG. No entanto, apesar de ser importante garantir a separação na condição mais crítica da planta, deve-se levar em consideração que tal condição (caso F) corresponde a um período muito pequeno da operação da planta no ano de 2012.

De forma geral, é interessante a separação dos gases da corrente RFG para obtenção de propeno dentro das especificações, visando ser alimentado novamente ao processo. A melhor opção de alinhamento é com as colunas T2 e T3.

Para próximas etapas, recomenda-se avaliar a viabilidade econômica deste estudo, uma vez que sistemas de separação são acompanhados de alto consumo energético e neste caso necessitam de novos alinhamentos e bombas, que exigem investimento.

Além disso, considerando que será adicionada uma nova corrente aumentado a vazão de alimentação das colunas, é importante avaliar os impactos nas condições de hidráulica da coluna, a fim de evitar atolamento, inundação e queda de pressão, utilizando simulações dinâmicas.

7 Referências

FOUST, A. S. et al. *Principios de Operaciones Unitarias*, 2.ed. México: CECSA, 1987. 751 p.

KISTER, H. Z. *Distillation Design*. United States of America: McGraw-Hill, 1992. 710p.

KISTER, H. Z. *Distillation Operation*. United States of America: McGraw-Hill, 1990. 729p.

KORESTKY, M. D. *Termodinâmica para Engenharia Química*. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 502p.

LIPTAK, B. *Distillation Control & Optimization*. Itasca: Putman Media, 2007. 41 p.

LUYBEN, W. L. *Distillation Design and Control Using Aspen™ Simulation*, 2006. 345 p.

NICK, C. *Estudo da Viabilidade Técnica de uma Proposta para Melhoria da Unidade de Recuperação de Propeno de um Processo de Polimerização*. Porto Alegre: UFRGS, 2010 (Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Química).

ORLANDINI, L. *Proposta de melhoria na recuperação de monômeros em torres recheadas em uma planta piloto de polimerização*. Porto Alegre: UFRGS, 2006 (Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Química).

SLOLEY, A. W. *Effectively Control Column Pressure*. Chemical Engineering Progress, 2001. Disponível em <http://people.clarkson.edu/~wwilcox/Design/distnprs.pdf> Acessado em 08/12/2012.

TREYBAL, R. E. *Liquid Extraction*. New York: McGraw-Hill, 1951. 422p.