



MODELAGEM RIGOROSA DE UMA UNIDADE DE DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA E A VÁCUO (UDAV) COMPLEXA INCLUINDO A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA

RESUMO

Um dos grandes desafios ao se realizar projetos básicos de unidades de destilação é estudar o comportamento integrado de suas torres fracionadoras com a recuperação energética na bateria de preaquecimento de petróleo. Buscando uma ferramenta completa, foi realizada a modelagem de uma unidade complexa utilizando um simulador comercial. A unidade modelada foi a Unidade de Destilação Atmosférica e a Vácuo (UDAV) da Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR U-2100) que apresenta quatro torres de fracionamento integradas a uma bateria de preaquecimento complexa formada por cinquenta e sete permutadores. Os resultados mostraram que o modelo desenvolvido é bastante aderente à realidade da planta e não só agrega valor durante a fase de projeto básico bem como durante a vida útil da instalação, podendo ser utilizado em várias tarefas de otimização diária da produção.

Palavras-chaves: Destilação de Petróleo. Simulação de Processo.



Fonte: Banco de Imagens Petrobras.

ABSTRACT

One of the biggest challenges during basic design of a crude distillation unit is to study its integrated behavior between its fractionators and its heat integration on the preheat train. In search of a complete tool, a complex crude unit was modelled using a commercial process simulator. The modelled unit was REPAR's crude unit (U-2100) that has four fractionators integrated into a complex preheat train consisting of fifty seven shell and tube heat exchangers. The results showed that the developed model is quite representative of the plant data and adds value to the basic design phase as well as to the life cycle of the facility, as it can be used in various optimization tasks of daily production.

Keywords: *Crude Distillation. Process Simulation.*

1 INTRODUÇÃO

Ao se projetar melhorias em unidades de destilação de petróleo é comum o uso de várias ferramentas distintas buscando verificar o comportamento integrado dos sistemas de remoção de calor das torres fracionadoras (refluxos circulantes) com o sistema de aproveitamento desta energia para aquecimento de carga (bateria de preaquecimento).

É comum a utilização de simuladores de processos distintos, sendo um que simula o fracionamento e o outro que simula o preaquecimento. Estes dois modelos são normalmente integrados de forma iterativa o que gera bastante trabalho e pode levar a resultados não otimizados.

Devido à quantidade de trabalho é comum omitirmos a avaliação do impacto na recuperação energética de pequenos projetos de melhoria. Esta avaliação, no entanto, deve ser levada em consideração, uma vez que os impactos energéticos podem trazer um impacto significativo no estudo de viabilidade técnico-econômica do projeto, contribuindo de forma positiva ou negativa para a aprovação de uma proposta.

2 OBJETIVO

Durante os estudos iniciais para a instalação de um leito de fracionamento de gasóleo leve de vácuo na U-2100 da Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR) surgiu a necessidade de se avaliar o impacto deste projeto na bateria de preaquecimento, especificamente qual seria o impacto na redução da vazão de refluxo circulante de gasóleo pesado na temperatura do processo de dessalgação.

Com o objetivo de responder esta e outras perguntas foi desenvolvido um modelo complexo da unidade que integra os cálculos rigorosos de transferência de massa dos modelos prato a prato das fracionadoras, com os cálculos rigorosos de transferência de calor nos permutadores casco-tubo.

O modelo criado tem a capacidade de prever as temperaturas de operação das dessalgadoras, a temperatura final da bateria de preaquecimento, o consumo energético da unidade (consumo de gás nos fornos), os fluxos internos de líquidos nas colunas bem como a qualidade e o rendimento dos produtos obtidos, dado um determinado petróleo como carga.

Também era objetivo do trabalho criar uma ferramenta que fosse útil para o acompanhamento do processo, com a qual fosse possível prever o comportamento da unidade com diferentes petróleos, diferentes modos de operação (campanhas) ou com a retirada de operação de alguns equipamentos.

3 MODELAGEM INTEGRADA DA UDAV

A construção do modelo da unidade de destilação integrando as torres com a simulação rigorosa da bateria de preaquecimento é um trabalho árduo, que requer o cumprimento de diversas etapas subsequentes, como descrito a seguir.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ELENCO DE PETRÓLEOS

A primeira etapa do processo da modelagem consiste na escolha de um elenco típico da refinaria. Uma consulta ao histórico do banco de dados de carga processada permite a determinação de quais petróleos deverão compor a carga na simulação da unidade. Essa escolha precisa ser a mais representativa possível.

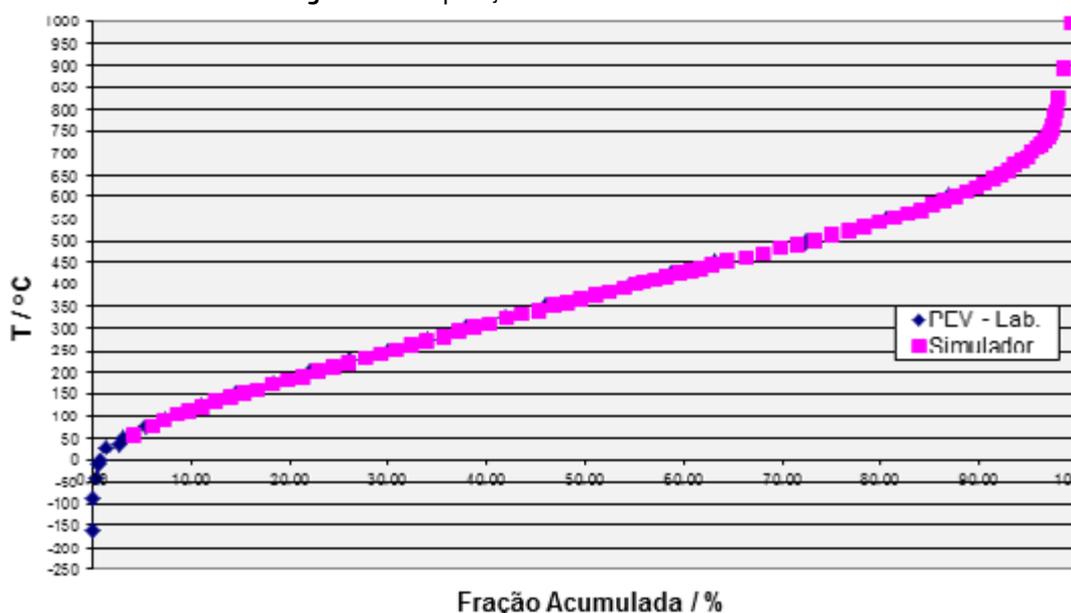
O passo seguinte é a caracterização de cada um dos petróleos do elenco. No mínimo são necessárias as seguintes análises de laboratório para execução dessa tarefa:

- a) cromatografia gasosa dos componentes leves;
- b) curva de destilação do Ponto de Ebulição Verdadeiro (PEV) (ASTM D2892);
- c) curva de densidade e curva de viscosidade versus fração acumulada.

Além dessas, outras informações também podem ser fornecidas, como, por exemplo, curva de contaminantes, que embora mesmo não sendo essencial, tornam a simulação ainda mais completa, permitindo extrair uma gama maior de informações a partir do modelo final.

A caracterização é uma das etapas mais importantes, pois a precisão dos resultados da simulação depende muito da qualidade dos dados de entrada. Para garantia da robustez do modelo, cada informação gerada pelo simulador deverá ser confrontada com os dados de entrada, ou seja, as análises de laboratório.

Figura 1 – Comparação de PEV Laboratório x Simulador.



Fonte: OS AUTORES, 2013.

3.2 MODELAGEM DAS TORRES DE FRACIONAMENTO

Uma vez observada a consistência dos dados gerados pelo simulador para cada um dos petróleos, inicia-se a coleta dos dados de processo da planta para calibração do modelo que será construído. Entre eles estão os valores de vazão e de temperatura das retiradas de produtos e refluxos circulantes, de saída dos fornos, do sistema de topo das torres, entre outros.

O período escolhido para análise, além de condizente com o elenco utilizado na simulação, deve também ser com a unidade operando o mais estável possível. Testes de corrida realizados na planta são ideais para o alcance desse objetivo.

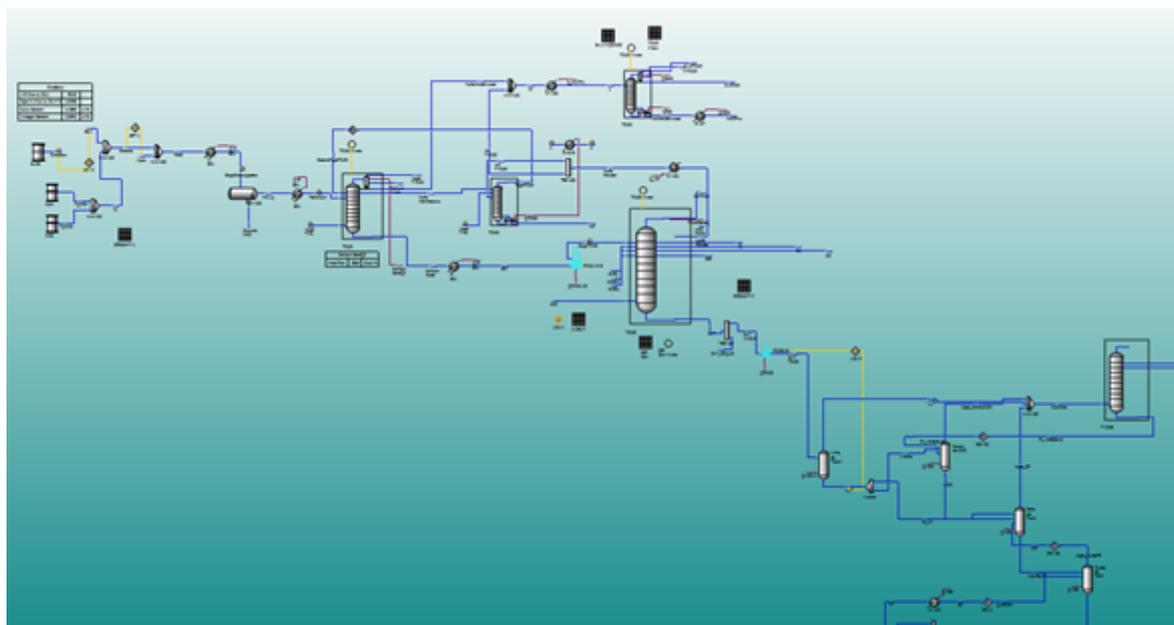
O processo de modelagem da unidade tem como primeira fase apenas a simulação das torres de fracionamento. A inclusão da bateria de preaquecimento ocorre em uma etapa posterior, uma vez que os produtos

e refluxos circulantes precisam ser gerados primeiramente. Este procedimento pode ser usado, porque as condições do petróleo na saída dos fornos são conhecidas com uma precisão razoável.

Após a convergência do modelo das torres de destilação, normalmente se faz necessário o ajuste de certos parâmetros para que os resultados da simulação fiquem o mais próximo possível dos valores medidos na unidade.

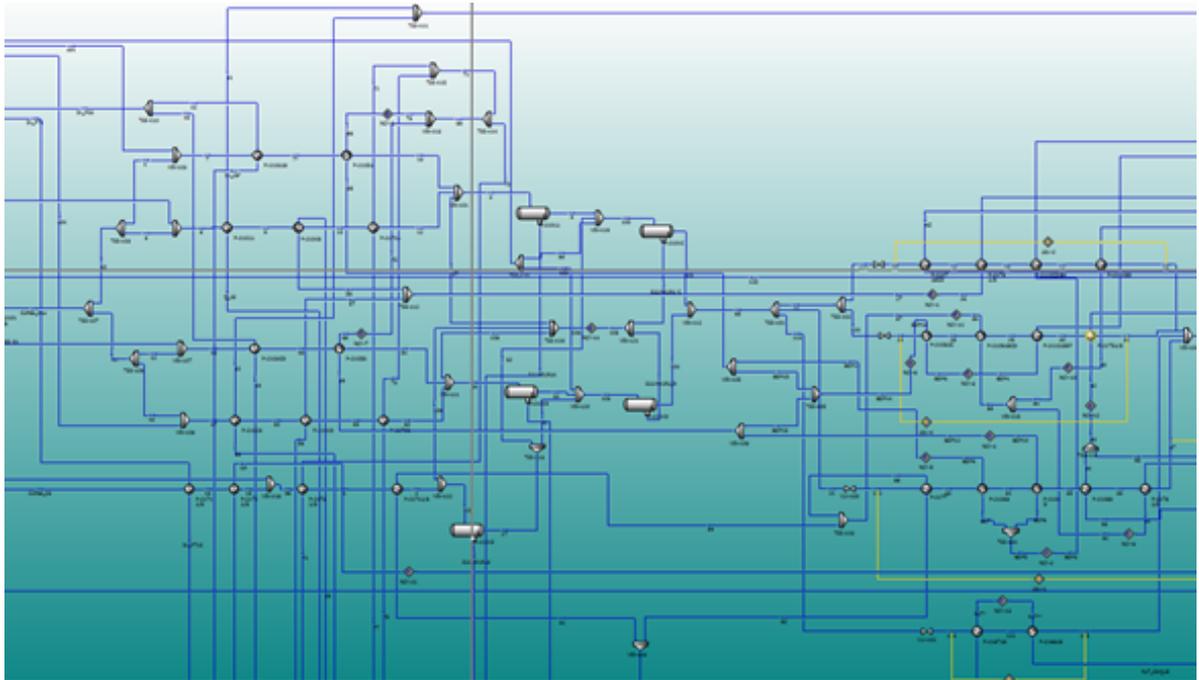
Análises das retiradas de produto auxiliam nesse processo de calibração.

Figura 2 – Modelagem das Torres Fracionadoras.



Fonte: OS AUTORES, 2013.

Figura 3 – Modelagem da Bateria de Preaquecimento.



Fonte: OS AUTORES, 2013.

3.3 MODELAGEM DA BATERIA DE PRAQUECIMENTO

Assim que os dados de temperatura das retiradas e rendimentos dos cortes estiverem razoavelmente coincidentes com os valores coletados da unidade, pode-se modelar a bateria de preaquecimento (BPA).

Dependendo do tamanho da BPA, essa etapa pode ser considerada a mais trabalhosa, porque requer a entrada dos dados geométricos de todos os trocadores, que preaquecem o petróleo, e os resfriadores dos produtos finais. Uma redução no esforço computacional e tempo de simulação podem ser atingidas, quando ramais simétricos e idênticos são simulados como um único na modelagem da BPA.

Uma vez convergido o modelo, certamente ajustes deverão ser feitos para alcançar os valores medidos de temperaturas de entrada e de saída de ambos os lados de cada um dos trocadores da unidade.

Esse processo é realizado por meio da alteração dos fatores de incrustação até que as temperaturas simuladas estejam compatíveis com a planta.

Em muitos casos, esse objetivo pode ser alcançado apenas para um dos lados do trocador, ou seja, não há o fechamento do balanço energia em torno do equipamento. Deve-se então verificar possíveis erros de entrada na simulação ou medições suspeitas obtidas na planta.

É importante notar que até o momento, as simulações das torres e da bateria de preaquecimento estão sendo realizadas de modo totalmente independente, uma seguida da outra.

Quando os dois modelos estiverem aderentes com os dados da planta, inicia-se a última etapa de construção do modelo integrado.

Figura 4 – Ajustes nos fatores de incrustação.

Current Cell	Variable:	Exportable	Angles in:	Function Help
A4		<input type="checkbox"/>		Spreadsheet O
				Display formu
				<input checked="" type="checkbox"/> Copy formula

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Primeira Bateria					Fluido	Fouling de Projeto	
2	Trocador	Fouling nos TUBOS	Fouling no CASCO	Fluido nos TUBOS	Fluido no CASCO	Petróleo	Petróleo	8,200e-004 C-h-m2/kcal
3	P-2101AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	8,200e-004 C-h-m2/kcal	RCS	Petróleo	Nafta Pesada	4,100e-004 C-h-m2/kcal	
4	P-2102A	4,500e-004 C-h-m2/kcal	8,200e-004 C-h-m2/kcal	Querosene	Petróleo	RCS	4,100e-004 C-h-m2/kcal	
5	P-2102B	4,500e-004 C-h-m2/kcal	8,200e-004 C-h-m2/kcal	Querosene	Petróleo	Querosene	4,100e-004 C-h-m2/kcal	
6	P-2103AB	1,000e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Diesel Leve	Petróleo	Diesel Leve	4,100e-004 C-h-m2/kcal	
7	P-2103CD	1,000e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Diesel Leve	Petróleo	Diesel Pesado	4,100e-004 C-h-m2/kcal	
8	P-2104B	1,400e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Diesel Pesado	Petróleo	RAT	1,000e-003 C-h-m2/kcal	
9	P-2104D	1,400e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Diesel Pesado	Petróleo	GOP	6,100e-004 C-h-m2/kcal	
10	P-2105A	1,200e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP	Rv	2,000e-003 C-h-m2/kcal	
11	P-2105B	1,200e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP			
12	P-2170A	2,300e-003 C-h-m2/kcal	3,000e-003 C-h-m2/kcal	GOP	Petróleo			
13	P-2170B	2,300e-003 C-h-m2/kcal	3,000e-003 C-h-m2/kcal	GOP	Petróleo			
14	P-2171AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	4,100e-004 C-h-m2/kcal	Diesel Leve	Petróleo			
15	P-2172AB	4,500e-004 C-h-m2/kcal	8,200e-004 C-h-m2/kcal	Nafta Pesada	Petróleo			
16	P-2173AB	1,000e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	GOP	Petróleo			
17	P-2174AB	2,000e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	Rv			
18								
19	Segunda Bateria							
20	P-2107ABCD	2,000e-004 C-h-m2/kcal	1,000e-004 C-h-m2/kcal	Petróleo	RCS			
21	P-2176AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	4,100e-004 C-h-m2/kcal	Petróleo	Diesel Pesado			
22	P-2110CDGH	3,000e-003 C-h-m2/kcal	3,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP			
23	P-2111BD	1,000e-003 C-h-m2/kcal	1,800e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	Rv			
24	P-2106AC	2,000e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP			
25	P-2109ABCD	1,000e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	Rv			
26	P-2115ABEF	2,500e-003 C-h-m2/kcal	2,500e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP			
27	P-2175AB	1,000e-005 C-h-m2/kcal	1,000e-005 C-h-m2/kcal	Petróleo	RCF			
28	P-2177	8,200e-004 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	Rv			
29	P-2106B	1,200e-003 C-h-m2/kcal	1,400e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP			
30	P-2106D	2,300e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP			
31	P-2108B	5,000e-005 C-h-m2/kcal	5,000e-005 C-h-m2/kcal	Petróleo	RCF			
32	P-2178AB	4,000e-004 C-h-m2/kcal	6,000e-004 C-h-m2/kcal	Petróleo	Rv			
33	P-2187AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	RAT			
34	P-2188AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	RAT			
35								
36	Terceira Bateria							
37	P-2149	2,000e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Cru Reduzido	Rv			
38								

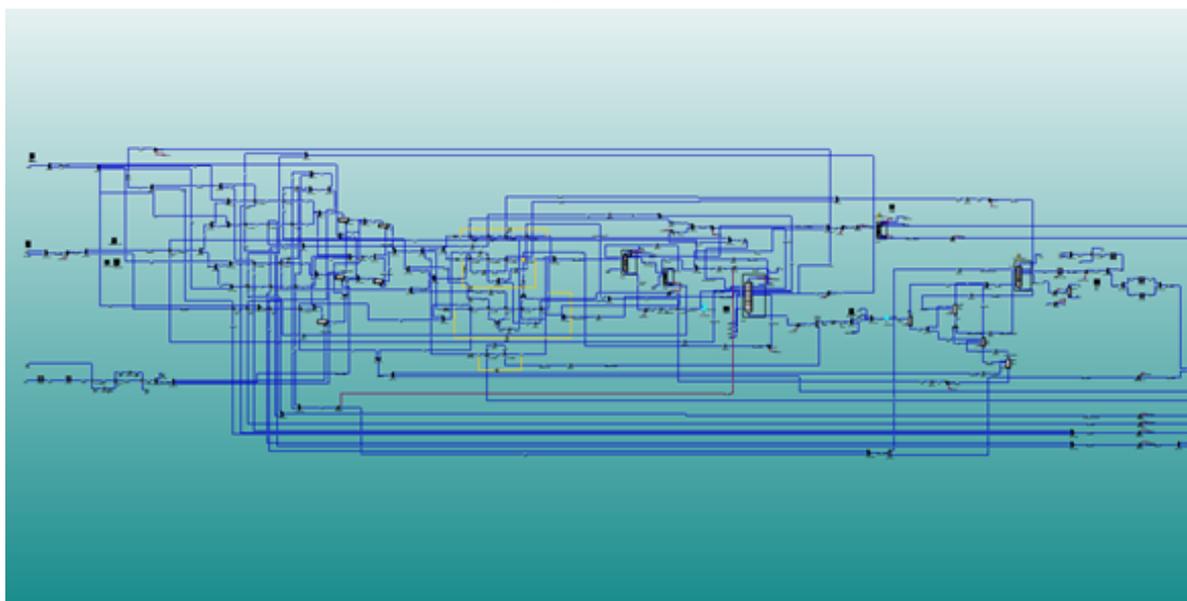
Fonte: OS AUTORES, 2013.

3.4 INTEGRAÇÃO DE MODELO FINAL

A integração das torres de destilação com a bateria de preaquecimento é a etapa mais simples de todo o processo de construção de modelo integrado, embora necessite ser executada aos poucos para facilitar a convergência.

Primeiramente, se realiza a interligação dos produtos por se tratarem de interações mais simples. Em seguida, os refluxos circulantes passam pelo mesmo processo. No entanto, deve se aguardar a convergência de toda a simulação para conectar um novo refluxo com a BPA, pois há uma grande influência entre os dois modelos.

Figura 5 – Modelagem das Torres Fracionadoras.



Fonte: OS AUTORES, 2013.

4 RESULTADOS E UTILIZAÇÃO DO MODELO

Após a calibração dos fatores de incrustação dos permutadores, os valores calculados pelo modelo foram comparados com os

resultados da planta. Os valores se mostraram bem aderentes à realidade, como está exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos resultados do modelo com a planta.

SEÇÃO	VARIÁVEL	MÉDIA(Planta)	SIMULADOR
Zona de Flash	Pressão manométrica/(kgf/cm ²)	0,36	0,33
	Temperatura /°C	374,5	375,0
FUNDO	Temperatura /°C	365,2	369,0
	Resíduo Atmosférico para Torre de Vácuo/(m ³ /d)	12 863	12 773
	Resíduo Atmosférico para Unidade de Coque/(m ³ /d)	2 500	2 509
	Resíduo Atmosférico Total/(m ³ /d)	15 363	15 343
	Vapor de média/(t/h)	2,5	11,0
	Vapor de baixa/(t/h)	8,5	

Fonte: OS AUTORES, 2013.

Com o modelo aderente à realidade foi possível sua utilização em várias aplicações, onde se podem destacar as seguintes:

4.1 FRACIONAMENTO DE GOL

O objetivo da instalação de um leito de fracionamento Gasóleo Leve de Vácuo (GOL) x Gasóleo Pesado de Vácuo (GOP) é melhorar a separação entre estas correntes de modo que o GOL tenha qualidade adequada para ser incorporado, após hidrotreatamento, ao *pool* de diesel da refinaria. Em vista desta necessidade, o principal motivador para a criação do modelo integrado foi estudar qual seria o impacto da instalação deste leito de fracionamento, na recuperação de calor da bateria.

Para se aumentar a produção de GOL, é necessário reduzir a vazão de refluxo circulante de GOP e aumentar a vazão de refluxo interno, para melhorar o fracionamento GOL x GOP. Uma redução no refluxo circulante de GOP diminui a recuperação energética da unidade tendo esse impacto quantificado com a utilização do modelo. Os resultados apontaram um acréscimo pequeno de cerca de 1,0 Gcal/h nas cargas térmicas dos fornos[1].

4.2 MELHORIAS NA DESSALGADORA E BATERIA

A REPAR possui em sua carteira dois projetos de melhoria que visam instalar melhorias no seu sistema de dessalgação e na bateria de preaquecimento. Ambos os projetos foram modelados e os resultados obtidos serviram como base para tomada de decisão durante as fases de definição de escopo e do projeto básico.

4.3 UTILIZAÇÃO DO P-2102A/B COM DP

Durante os anos de 2012 e 2013 a REPAR vivenciou um problema crônico de formação de sais de cloro no interior de sua fracionadoras atmosférica. A formação de sais levou a uma completa parada na retirada lateral da corrente de querosene, o que fez parar a troca de calor querosene x petróleo nos permutadores P-2102A/B.

Foi verificado que a corrente de diesel pesado que passa no permutador P-2104C/D ainda saía com uma temperatura adequada para ser utilizado nos P-2102A/B no lugar do querosene. O modelo então foi utilizado para estudar os ganhos desta solução e serviu de base o projeto de construção de tubulação interligando os sistemas. Os resultados estão resumidos na Tabela 2.

4.4 PARADA DA UNIDADE DE VÁCUO

Em novembro/dezembro de 2014 a unidade U-2100 precisou parar sua torre a vácuo para realizar a substituição da linha de resíduo de vácuo (RV). Nesse cenário foi solicitado um estudo do comportamento da unidade processando um petróleo atípico, incluindo a determinação das novas condições operacionais e da carga máxima de processamento alcançável.

Com o uso do modelo foi possível avaliar os sistemas críticos como as dessalgadoras, temperatura final de bateria, cargas térmicas dos fornos e fracionamento dos produtos.

Os resultados não apontaram restrições críticas nos sistemas, sendo a carga da unidade limitada pelo escoamento do Resíduo Atmosférico (RAT). A simulação indicou uma carga de 25000 m³/d, maior que a inicialmente estabelecida de 21000 m³/d, carga esta que foi praticada durante a parada.

Tabela 2 – Estudo de diesel pesado no P-2102A/B.

VARIÁVEL	BASE	ESTUDO	DELTA
Temp. da dessalgadora - 1º estágio /°C	141,7	148,3	6,6
Temp. da dessalgadora - 2º estágio /°C	138,4	142,5	4,1
Temp. final da BPA /°C	266,5	267,3	0,8
Temp. Diesel para água de resfriamento /°C	157,7	117,2	-40,5
Carga Térmica da BPA /(Gcal/h)	180,4	182,1	1,7
Carga Térmica do Forno Atmosférico /(Gcal/h)	96,4	95,7	-0,7
Carga Térmica dos Condensadores /(Gcal/h)	38,5	39,2	0,7

Fonte: OS AUTORES, 2013.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um modelo completo que integrou a simulação da bateria de preaquecimento com as torres de destilação trouxe grandes benefícios, tanto no desenvolvimento de projetos de engenharia básica, quanto no acompanhamento diário da unidade.

Apesar de a sua construção ser muito trabalhosa, o seu uso posterior é rápido e fácil.

O modelo desenvolvido foi utilizado, com sucesso, em várias ocasiões melhorando o embasamento técnico para a tomada de decisão.

A metodologia utilizada na construção da simulação da UDAV pode também ser facilmente estendida às outras unidades tais como de Craqueamento Catalítico, Coqueamento Retardado, Desasfaltação e Hidrotratamento, podendo levar ainda ao desenvolvimento de um modelo que permita a avaliação de todo parque de refino.

REFERÊNCIAS

[1] CENPES. Petrobras. **Estudo conceitual de adequação da U-2100 da REPAR para produção de diesel S10**: CT CS 006/2014: CENPES/EB-AB-G&E/CS. Rio de Janeiro, 2014.



Alexandre Ramos Jungmann

Graduação (2007) em Engenharia Química pela UFRJ. Atua na execução de projetos de engenharia básica para Unidades de Destilação, tendo

anteriormente trabalho na UO-BC como acompanhante de processo de plataforma. CENPES/EB-AB-G&E/CS – Rio de Janeiro, RJ. Chave: U3AA.
E-mail: ajungmann@petrobras.com.br.



André Cosentino Bellote

Graduação (2003) em Engenharia Química pela UFPR, Atuou na REPLAN e RPBC no acompanhamento do processo de destilação. REPAR/OT/OP – Araucária, PR. Chave: CX2E.

E-mail: bellote@petrobras.com



Fonte: Banco de Imagens Petrobras.