

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA EFICIÊNCIA DA SEPARAÇÃO ÁGUA-ÓLEO EM SEPARADORES TRIFÁSICOS POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL MULTIVARIADO

Caroline Maria Bezerra de Araújo¹; Helenise Almeida do Nascimento²; Claudia Jessica Cavalcanti³; Maurício Alves da Motta Sobrinho⁴; Maria Fernanda Pimentel⁵

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química – carolinemariaba@gmail.com

² Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química - helenise_almeida@hotmail.com

³ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química - jesscavalcanti16@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química - mottas@ufpe.br

⁵ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química - mfernanda.pimentel@gmail.com

RESUMO

A produção de petróleo geralmente é acompanhada pela produção conjunta de água e gás. Durante o percurso até a superfície, devido às severas condições de temperatura e pressão, acaba ocorrendo a mistura entre os componentes. Logo, a separação de óleo, gás e água deve ser uma das primeiras etapas a serem executadas após a extração do petróleo. Vários métodos podem ser utilizados para separação da água do óleo, sendo mais comuns a separação por flotação, hidrociclones, e pela utilização de separadores trifásicos. Assim, o presente trabalho visa estudar um sistema composto por um separador trifásico, avaliando a influência das variáveis: temperatura, pressão de operação e tipo de separador para dois tipos de óleo (leve e pesado), através da realização de dois planejamentos experimentais fatoriais 2^3 , a fim de descobrir as melhores condições de operação. O objetivo é obter maior vazão de óleo na corrente de produto, bem como a menor quantidade de água na corrente de óleo. A simulação do separador trifásico foi realizada com o auxílio do *software Hysys® da Aspen2006*, em modo estacionário. No geral, após a execução dos experimentos e análise de dados, observou-se que o efeito tipo de separador não tem influência estatisticamente significativa em nenhum dos sistemas propostos e que a melhor condição de operação, obtida para o sistema proposto, dentro da faixa estudada, ocorre quando a temperatura encontra-se em seu nível mais baixo e a pressão em seu nível mais elevado.

Palavras-chave: produção de petróleo, separador trifásico, planejamento experimental fatorial, simulação.

1. INTRODUÇÃO

A produção do petróleo normalmente é acompanhada pela produção de água e gás. Durante o percurso até a superfície, devido às severas condições de temperatura e pressão, ocorre então a mistura entre os componentes, principalmente da água com óleo [SANTOS,

2013]. Assim, a separação de óleo, gás e água deve ser uma das primeiras operações a serem executadas após a extração do petróleo bruto. Depois da extração nos poços, os líquidos obtidos vão para a etapa de processamento primário, que tem como objetivo realizar a separação das três fases [VILEINISKIS *et. al.*, 2016].

A separação da água é a mais complexa e importante do processo, já que sua presença na linha do óleo pode elevar a corrosão e formação de hidratos [DANTAS *et. al.*, 2012]. A água presente no óleo pode estar sob a forma livre ou de emulsão, sendo esta última bastante indesejada, uma vez que a estabilidade das emulsões água em óleo apresenta-se como grande problema na separação primária [SANTOS, 2013]. Por outro lado, a corrente de água produzida que sai após o processamento primário também necessita de tratamento adequado para que possa ser descartada [DANTAS *et. al.*, 2012].

Várias técnicas podem ser utilizadas para separação da água do óleo, sendo mais comum a separação por flotação, membranas, hidrociclones, ou por meio de métodos gravitacionais, como é o caso dos vasos separadores trifásicos. Tais equipamentos são separadores tipo convencional, amplamente utilizados, que executam a separação das três fases, mantendo-as dentro da especificação [DANTAS *et. al.*, 2012].

Por outro lado, tem-se que uma vez que vários poços de petróleo, especialmente os mais antigos, são cada vez menos econômicos devido a elevados custos de produção e recuperação reduzida; a realização de estudos mais aprofundados acerca de variáveis que influenciam no processo de separação e que apontem para as melhores

condições de operação, visando aumentar a eficiência são de suma importância. Tais estudos podem levar a uma melhoria no processo de recuperação do petróleo, além da redução no impacto ambiental [ZENG *et. al.*, 2016].

Diante do que foi apresentado, tem-se que o presente trabalho visa estudar um sistema composto por um separador trifásico, avaliando a influência das variáveis: temperatura, pressão de operação e tipo de separador para dois tipos de óleo (leve e pesado), através da realização de dois planejamentos fatoriais 2^3 , a fim de descobrir as melhores condições de operação. O objetivo é obter maior vazão de óleo na corrente de produto, bem como a menor quantidade de água na corrente de óleo; buscando assim, aumentar a eficiência do processo como um todo.

2. METODOLOGIA

A simulação do separador trifásico foi realizada com o auxílio do *software Hysys® da Aspen 2006*, em modo estacionário. O modelo termodinâmico escolhido foi o de Antoine. Em relação a isto, vale ressaltar que o Hysys contém mais de 35 modelos matemáticos para equilíbrio líquido-vapor, líquido-líquido e cálculo de entalpias; entretanto, neste caso optou-se por usar o de

Antoine (geralmente utilizados para sistemas de baixa pressão que se comportam idealmente) pelo fato deste ter sido o que melhor se adequava ao sistema proposto [ARAUJO, 2015].

Durante a simulação, foram avaliados dois sistemas que diferem em relação a composição da fase óleo na corrente de alimentação. Assim, no primeiro caso, considerou-se apenas a presença de “óleo leve” (C2 - C10) e no segundo caso, apenas a presença de “óleo pesado” (C11 - C20) compondo a fração de óleo na corrente de produção.

Neste caso, preferiu-se não incluir uma variável “tipo de óleo”, referindo-se à composição do óleo, no planejamento fatorial. Ao invés disso, realizou-se dois planejamentos, uma vez que o tipo de óleo com que se vai trabalhar já é algo previamente determinado antes do projeto do separador, sendo claramente relevante e portanto significativo para o processo como um todo.

Na Figura 1 encontra-se ilustrado o esquema do processo de separação em estudo, sendo alimentado com uma vazão total de 10861,376 m³/dia, assumindo-se que os volumes de água, óleo e gás na corrente de entrada são iguais. Considerou-se também o volume do separador igual a 1 m³, análogo ao utilizado na Unidade de Tratamento e

Processamento de Fluidos da Bacia Potiguar (UTPF) [ARAUJO, 2015], e a pressão de entrada do fluido no separador igual a 10 bar.

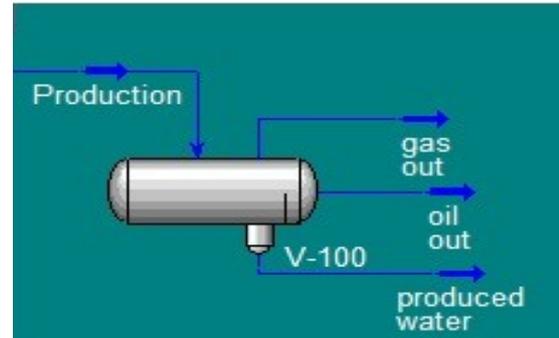


Figura 1: esquema do separador trifásico utilizado durante os experimentos.

Com o intuito de avaliar a eficiência da separação água/óleo no separador trifásico, foram realizados dois planejamentos experimentais fatoriais 2³ completos (um para óleo leve e outro para óleo pesado), tendo como variáveis: temperatura (1), tipo de separador (2) e a pressão de operação (3). Os níveis dessas variáveis são apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: níveis das variáveis do planejamento fatorial 2³.

Variáveis	(-)	(+)
(1) Temperatura, °C	30	50
(2) Tipo de separador	Vertical	Horizontal
(3) Pressão de Operação, bar	6	9

Os dados da Tabela 1 foram escolhidos com base nos valores de operação mais comuns na literatura para um separador trifásico [UNIVERSIDADE PETROBRAS,

2007]. A avaliação do planejamento foi realizada levando em consideração o tipo de óleo presente na corrente de alimentação com relação as duas respostas de saídas, que foram: a vazão de óleo (m³/h) e a fração mássica da água na corrente de óleo (%). Tal avaliação foi elaborada utilizando o *software Statistica*®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante os experimentos, tanto para a resposta em relação a vazão de óleo na saída do separador, quanto referentes à fração mássica de água da corrente de óleo, são dados pelas Tabelas 2 e 3 a seguir, de acordo com o tipo de óleo estudado.

Tabela 2: matriz do planejamento fatorial 2³ com as respostas para o óleo do tipo leve.

Experi- mentos	Variáveis			Vazão de óleo na saída (m ³ /h)	Fração Mássica da água (%)
	(1)	(2)	(3)		
1	-	-	-	252,1	0,01348
2	+	-	-	222,1	0,02962
3	-	+	-	252,1	0,01348
4	+	+	-	222,1	0,02962
5	-	-	+	267,6	0,01510
6	+	-	+	238,6	0,03360
7	-	+	+	267,6	0,01510
8	+	+	+	238,6	0,03360

Tabela 3: matriz do planejamento fatorial 2³ com as respostas para o óleo do tipo pesado.

Experim- entos	Variáveis			Vazão de óleo na saída (m ³ /h)	Fração Mássica da água (%)
	(1)	(2)	(3)		
1	-	-	-	402	0,00623
2	+	-	-	401,7	0,01428
3	-	+	-	402	0,00623
4	+	+	-	401,7	0,01428
5	-	-	+	402,6	0,00637
6	+	-	+	402,2	0,01482
7	-	+	+	402,6	0,00637
8	+	+	+	402,2	0,01482

A análise dos resultados obtidos pelos planejamentos fatoriais 2³ será feita com base nos gráficos normais, obtidos por meio do *software Statistica*, dados pelas Figuras 2, 3, 4 e 5 a seguir. Isto se dá pelo fato dos experimentos terem sido feitos utilizando-se um *software* de simulação, onde não há possibilidade de realização de repetições.

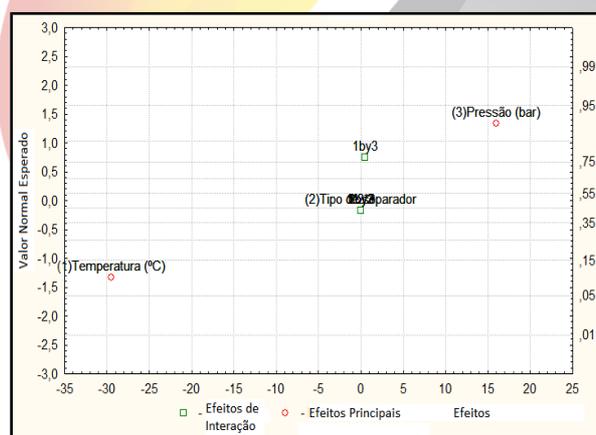


Figura 2: gráfico normal para vazão de óleo leve na saída do separador.

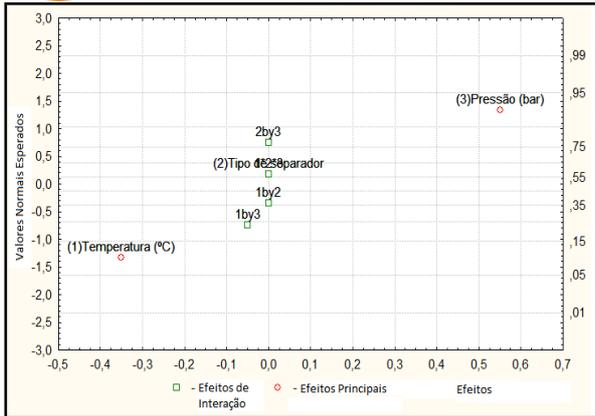


Figura 3: gráfico normal para vazão de óleo pesado na saída do separador.

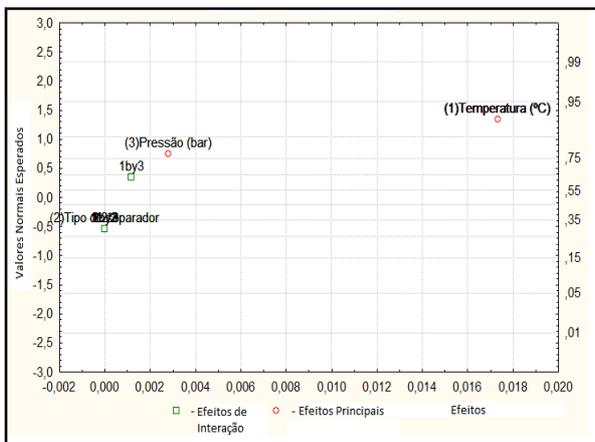


Figura 4: gráfico normal para fração de água de óleo leve na saída do separador.

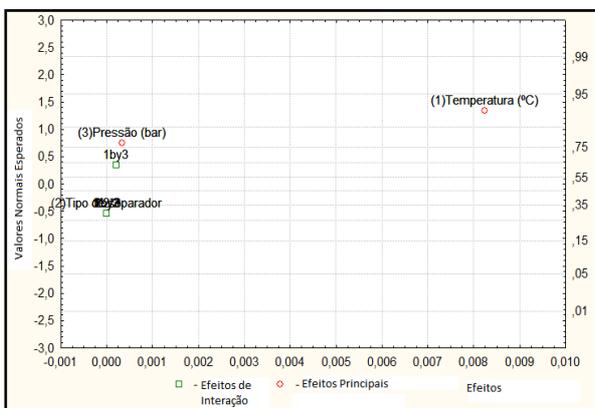


Figura 5: gráfico normal para fração de água de óleo pesado na saída do separador

Inicialmente, a partir da análise geral dos quatro gráficos normais, observa-se que o efeito principal tipo de separador, bem como os efeitos de interação de dois e três fatores não apresentam significância estatística a 95 % de confiança, já que os valores foram bem próximos de zero. Dessa forma, tais efeitos, em alguns casos, também acabaram ficando sobrepostos nos gráficos.

Tais resultados eram esperados, pois assumiu-se que as vazões volumétricas de água, óleo e gás são iguais. Sabe-se que separadores verticais são selecionados quando a razão gás-líquido é alta e, por outro lado, separadores horizontais são geralmente utilizados para grandes volumes totais de líquido. Como neste caso, tem-se que a quantidade de líquido não difere muito da quantidade de gás, o efeito tipo de separador, de fato, não deve ser significativo para o sistema em questão [SOUZA, 2015].

3.1. Vazão de óleo

A princípio, de acordo com os resultados das Tabelas 2 e 3, nota-se que, dentro da faixa estudada, a maior vazão de óleo na saída do separador corresponde ao valor de 267,3 m³/h para óleo leve e 402,6 m³/h para óleo pesado. Em ambos os casos, tais resultados são obtidos com a temperatura

no nível inferior e a pressão de operação em seu nível superior.

Por meio da análise dos gráficos normais dados pelas Figuras 2 e 3, é possível notar que apenas os efeitos principais temperatura e pressão são significativos, tanto para o óleo leve, quanto para o óleo pesado. Neste caso, tem-se que de fato, a temperatura influencia de forma negativa no processo, de modo que a melhor condição de operação, onde se obtém maior vazão de óleo na saída do separador, seria com a temperatura em seu nível inferior. Isso pode ser justificado pelo fato de que quanto maior a temperatura, mais componentes do óleo líquido passariam para a fase vapor, indo para a corrente de gás.

Por outro lado, em relação ao efeito da pressão, tem-se que esta influencia de forma positiva no processo, de modo que a melhor condição de operação, onde se obtém maior vazão de óleo, ocorreria quando a pressão de operação estivesse em seu nível mais elevado.

No entanto, vale ressaltar que uma maior pressão de operação, neste caso, indica uma menor queda de pressão dentro do separador, o que geraria uma menor turbulência dentro do vaso. Isso poderia, de certa forma, diminuir a chance de formação de emulsões dentro do separador, contribuindo assim para explicar o fato de que a separação ocorre de forma mais eficiente

quando a pressão se mantém maior, mais próxima à de entrada no vaso.

3.2. Fração mássica de água na corrente de óleo

Inicialmente, de acordo com os resultados das Tabelas 2 e 3, tem-se que dentro da faixa estudada, a menor fração de água na corrente de óleo corresponde a 0,01348% para óleo leve e 0,00623% para óleo pesado. Em ambas as situações, tais resultados são obtidos com a temperatura e a pressão de operação em seus níveis inferiores.

Entretanto, tanto para o óleo leve, quanto para o óleo pesado, é possível notar por meio da análise dos gráficos normais dados pelas Figuras 4 e 5, que apenas o efeito principal temperatura é significativo, já que os demais efeitos (incluindo o efeito da pressão) não são considerados estatisticamente significativos.

Neste caso, observa-se que a temperatura influencia de forma negativa no processo, de modo que a melhor condição de operação, onde se obtém a menor fração de água na corrente de óleo na saída do separador, ocorre com a temperatura em seu nível menos elevado. Isso pode ser justificado pelo fato de que quanto maior a temperatura, maior a formação de vapor d'água, e este por sua vez, acaba indo para a corrente mais leve (superior), que neste caso é a corrente de óleo.

4. CONCLUSÕES

A avaliação das melhores condições de operação para o sistema composto por um separador trifásico em estudo, com o intuito de melhorar sua eficiência foi realizada mediante planejamentos experimentais 2^3 completos e sem repetições.

No estudo, observou-se que o efeito do tipo de separador não apresenta influência estatisticamente significativa, em nenhum dos sistemas propostos e que o efeito da temperatura é bastante significativo para as duas respostas consideradas. Com relação ao efeito da pressão, tem-se que este mostrou-se significativo apenas para a resposta vazão de óleo.

Dessa forma, no geral, observa-se que a melhor condição de operação obtida para o sistema proposto (isto é, aquela onde a separação acontece de modo mais eficiente), dentro da faixa estudada, ocorrerá quando a temperatura se encontrar em seu nível mais baixo e a pressão em seu nível mais elevado, dentro do separador trifásico, no caso, 30°C e 9 bar .

5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química (PPGEQ) da

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Departamento de Engenharia Química (DEQ) da UFPE.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. F. *Dimensionamento de vasos separadores de petróleo*. 2014, 33p. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia de Petróleo. Natal- RN.

ARAUJO, C. M. B. *Avaliação de processos de tratamento de água da produção do petróleo por oxidação avançada usando HYSYS*. 2015. Monografia, Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química. Recife- PE.

DANTAS, A. F. A.; LINHARES, L. L. S.; PINTO, J. E. M. G.; ARAUJO, F. M. U.; MAITELLI, A. L. *Evaluation and optimization of three phase separator vessel controlled by PI controls applying particle swarm optimization*. 10th Portuguese Conference on Automatic Control, Portugal, 2012.

SANTOS, W. L. *Tecnologia de micro-ondas aplicada a desestabilização de emulsões de petróleo*. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, 2013.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

SOUZA, A. L. L. *Projeto básico de um vaso separador trifásico de gás, água e óleo de acordo com o Código ASME VIII Divisão II*. 2015, 247p. Monografia, Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica. Niterói- RJ.

UNIVERSIDADE PETROBRAS - Escola de Ciências e Tecnologias E&P. Processamento Primário de Petróleo. Editora Rosana Kunert. Rio de Janeiro, 2007.

VILEINISKIS, M.; REMENYTE-PRESCOTT, R.; RAMA, D.; ANDREWS, J. *Fault detection and diagnostics of a three-phase separator*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v. 41, p. 215–230, 2016.

ZENG, Q.; WANG, Z.; WANG, X.; ZHAO, Y.; GUO, X. *A novel oil–water separator design and its performance prediction*. Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 145, p. 83–94, 2016.

