

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de P&D em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM SEPARADOR TRIFÁSICO DE PETRÓLEO

AUTORES:

Jonas Laedson M. da S. Santos¹, Caio M. Nesello¹, Paulo R. de A. Mariz¹, Marcelo da S. Pedro¹,
Arioston A. de Moraes Jr¹, Leopoldo O. A. Rojas¹
leopoldo@ct.ufpb.br / aamj@ct.ufpb.br

INSTITUIÇÃO:

¹Laboratório de Modelagem Computacional e Controle de Processos – LABMC, Departamento de Engenharia Química – DEQ, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9ºPDPETRO.

MODELAGEM, SIMULAÇÃO E CONTROLE DE UM SEPARADOR TRIFÁSICO DE PETRÓLEO

Abstract

Petroleum has a fundamental role in our society because it has been the main source of energy on the planet, and its derivatives are widely used in the production of various consumer goods such as cosmetics, lubricants, cleaning products and synthetic fabric. Oil exploitation fields, in most cases, produce oil, gas and water along with some impurities. Since the only interest of the market is in hydrocarbons, it is necessary to perform the primary oil processing, that consists of separating the oil, gas and the water from the fields. The three-phase separator is the equipment used for this operation, and it promotes the separation of three fluid phases from the oil reservoirs. The objective of this work was to study the primary oil processing by evaluating the separation of the three phases in the separator vessel through the modeling of the separator and the simulation of well conditions. The modeling was developed based on the mass balance of oil, water and gas in the separation process and oil chambers, resulting on a set of coupled ordinary differential equations, that were solved numerically by the Runge-Kutta method of Butcher and implemented in a Matlab® routine. According to the results presented, it was verified that the outflows of the process undergo major changes when disturbances occur in the inlet flows. Regarding the process variables, it was noted that the water level is a variable with critical relevance and it can be recommended the implementation of a control structure to control it within its desired values. The system pressure has shown to be the variable that presents the highest percentage increase, being in the minimum and maximum levels with frequency, so it is also recommended the implementation of a pressure control structure. Finally, the presented results showed that the variables presented coherent behaviors and, as soon as the transient disturbances of the feeding flows ceased, they stabilized in their steady state values.

1. Introdução

O petróleo tem uma importância grande na sociedade atual por ser matéria-prima para manufaturas de inúmeros bens de consumo e impactando na economia mundial e por ser uma fonte de energia com bom poder calorífico e de octanagem.

Uma desvantagem da produção de petróleo é que na sua maioria não é um fluido homogêneo, ocorrendo ao longo da vida do campo petrolífero a produção simultânea de óleo, gás, água e contaminantes. Campos petrolíferos geralmente possuem unidades de processamento primário que tem equipamentos construídos visando a separação dos componentes desejados, pois a necessidade do mercado está posicionada para produção de hidrocarbonetos seja óleo ou gás.

O processamento primário tem a finalidade de separar a fase líquida e gasosa de forma controlada a se obter óleo na sua forma estável para transporte e gás em condições pré-estabelecidas de segurança e transporte. A unidade que recebe a produção do processamento primário é a refinaria e, a depender da especificação da refinaria ou da viabilidade técnica-econômica, a planta de processamento pode ter uma complexidade maior.

O separador primário é um instrumento dedicado a receber do poço o fluido de produção trata a mistura a fim de separar as fases líquidas (em óleo e água) e gasosa. O dimensionamento deste equipamento depende das condições de escoamento, condições de poço e composição média

proveniente do poço (razão óleo/gás). O volume do separador pode ser explorado para amenizar as possíveis perturbações na alimentação (golfadas).

O trabalho teve por objetivo o estudo sobre o processamento primário de petróleo, avaliando a separação de três fases como óleo, água e gás no vaso separador através da modelagem deste equipamento e a simulação das condições de poço.

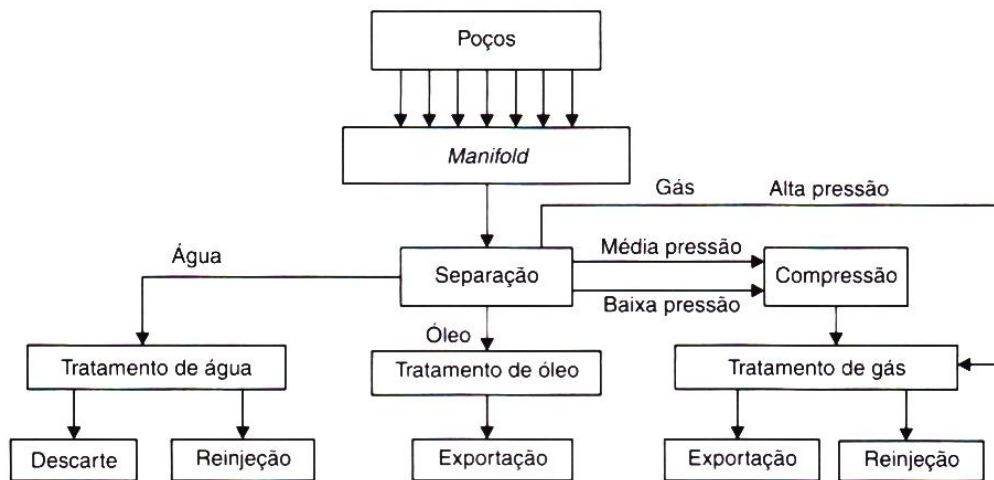


Figura 1. Esquema da unidade primária de processamento de petróleo.

2. Metodologia

A modelagem do separador trifásico foi realizada com base no balanço de massa de óleo, água e gás nas câmaras de separação e de óleo. Considerou-se o comportamento do gás como ideal sem gradientes de pressão significativos ao longo do separador, que a água e óleo estão perfeitamente separados e que há um defletor de névoa perfeito que só permite passagem de gás, retendo assim quaisquer partículas carregadas pelo gás.

A figura 2 representa um separador trifásico comum discriminando as câmaras de óleo, e água e as válvulas de saída de entrada dos fluidos e uma representação esquemática. Considerou-se a geometria do separador como um cilindro perfeito com as seções longitudinais e transversais dispostas segundo o esquema.

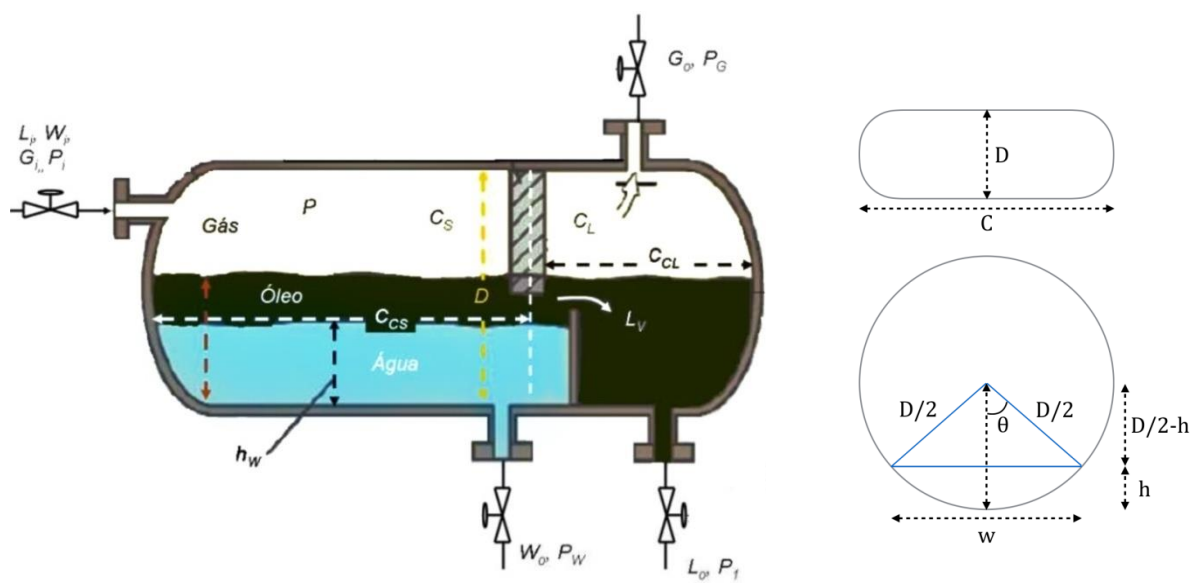


Figura 2 – Separador trifásico com malha de control e representação da seção do separador trifásico. Nunes, Giovani Cavalcanti; São Paulo: Blucher, 2010.

Substituindo seno e cosseno na área:

$$S = \frac{D^2}{4} \left[\arccos \left(1 - \frac{2h(t)}{D} \right) - 2 \left(\frac{(D - 2h(t))}{D} \right) \left(\frac{\sqrt{h(t)(D - h(t))}}{D} \right) \right] \quad (1)$$

2.1. Volume de Cilindro de Segmento Circular

O volume do cilindro ocupado por líquido é dado pela Equação 2.

$$V = \frac{V_c}{\pi} \left[\arccos \left(1 - \frac{2h(t)}{D} \right) - \frac{2(D - 2h(t))\sqrt{h(t)(D - h(t))}}{D^2} \right] \quad (2)$$

Onde V_C é o volume total do cilindro. Derivando em relação à altura e fazendo $V_c = C \frac{\pi D^2}{4}$ obtêm-se:

$$\frac{dV}{dh(t)} = 2C\sqrt{h(t)(D - h(t))} \quad (3)$$

Dessa forma a derivada temporal do volume do cilindro de segmento circular é dada pela Equação 4.

$$\frac{dV}{dh(t)} = 2C\sqrt{h(t)(D - h(t))} \frac{dh(t)}{dt} \quad (4)$$

2.2. Balanços

2.2.1. Balanço de líquido em C_S

Aplicando um balanço de líquido na câmara de separação S (CS), tem-se:

$$\frac{dV_{CS}}{dt} = L_i(t) + W_i(t) - W_o(t) - L_V(t) \quad (5)$$

Aplicando a Equação 4 à Equação 5 é possível obter a relação da altura de líquido (água + óleo) em C_S no separador com o tempo (equação 6).

$$\frac{dh_t}{dt} = \frac{L_i + W_i - W_o - L_V}{2C_{CS}\sqrt{h_t(D - h_t)}} \quad (6)$$

2.2.2. Balanço de óleo em C_L

Na câmara de separação L (C_L), em condições normais de operação, o único líquido presente será o óleo, por isso para este compartimento é feito um balanço, unicamente, de óleo.

$$\frac{dV_{CL}(t)}{dt} = L_V(t) - L_o(t) \quad (7)$$

Analogamente à seção 2.2.1, aplica-se a Equação 4 à Equação 7 a para obter a relação da altura de óleo em C_L com o tempo (Equação 8).

$$\frac{dh_t(t)}{dt} = \frac{L_V(t) - L_o(t)}{2C_{CL}\sqrt{h_L(t)(D - h_L(t))}}, h_t > h_L \quad \text{ou} \quad \frac{dh_t(t)}{dt} = 0, h_t \leq h_L \quad (8)$$

2.2.3. Balanço de água em C_s

A Equação 9 é obtida da mesma maneira como fora realizado anteriormente nas seções 2.2.1 e 2.2.2.

$$\frac{dV_{cs}^w}{dt} = W_t - W_o \quad (9) \rightarrow \quad \frac{dh_w}{dt} = \frac{W_t - W_o}{2C_{CL}\sqrt{h_w(D - h_w)}} \quad (10)$$

2.2.4. Balanço de gás no tanque

A fase gasosa do separador foi modelada idealmente, dessa forma o número de moles de gás é dado pela equação de Clapeyron.

$$n_G = \frac{V_t - V_{cs} - V_{CL}}{RT/P} \quad (11)$$

$$n_G = \frac{P}{RT}(V_t - V_{cs} - V_{CL}) \quad (12)$$

A vazão molar de gás de entrada e saída é apresentada, respectivamente, pelas Equações 13 e 14.

$$n_i = \frac{G_i}{RT/P} = \frac{PG_i}{RT} \quad (13)$$

$$n_o = \frac{G_o}{RT/P} = \frac{PG_o}{RT} \quad (14)$$

Para o balanço de gás, tem-se:

$$\frac{dn_i}{dt} = n_i - n_o \quad (15)$$

Substituindo as Equações 11 e 12:

$$\frac{dn_G}{dt} = \frac{P}{RT}(G_i - G_o) \quad (16)$$

Calculando $\frac{dn_G}{dt}$ através da Equação 10:

$$\frac{dn_G}{dt} = \frac{V_t - V_{cs} - V_{CL}}{RT} \frac{dP}{dt} - \frac{P}{RT} \left(\frac{dV_{cs}}{dt} + \frac{dV_{CL}}{dt} \right) \quad (17)$$

Com as Equações 6 a e 7 a, resulta:

$$\frac{dn_G}{dt} = \frac{V_t - V_{cs} - V_{CL}}{RT} \frac{dP}{dt} - \frac{P}{RT} (L_i + W_i - L_o - W_o) \quad (18)$$

O comportamento dinâmico da pressão no separador é dado pela Equação 14 ao igualar-se as Equações 11 e 12.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P(L_i + W_i - G_i - L_o - W_o - G_o)}{V_t - V_{cs} - V_{CL}} \quad (19)$$

Os parâmetros do separador trifásico utilizados na simulação encontram-se na Tabela 1. O separador trifásico, inicialmente, estava pressurizado a 8 bar possuindo uma altura de água de 0,5 m e 1 m de óleo em ambos os compartimentos.

2.2.5. Modelagem das válvulas.

As válvulas foram modeladas com base na equação de dimensionamento que relaciona vazão e perda de carga para fluidos não viscosos conforme a seguir:

$$f = C_v x \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho/\rho_{Ag}}} \quad (20)$$

O separador trifásico, inicialmente, estava pressurizado a 6 bar possuindo uma altura de água de 0,5 m e 1 m de óleo em ambos os compartimentos.

Tabela 1: Parâmetros Operacionais do Separador Trifásico. Parâmetro Valor

<i>Diâmetro (m)</i>	3
<i>Comprimento (CS) (m)</i>	5
<i>Comprimento (CL) (m)</i>	3
<i>Altura do Vertedouro (m)</i>	1,2
<i>Pressão de Descarga de Óleo (bar)</i>	6
<i>Pressão de Descarga de Gás (bar)</i>	6
<i>Pressão de Descarga de Água (bar)</i>	6
<i>Temperatura do Separador (K)</i>	303,15
<i>Massa Molecular do Ar (kg/gmol)</i>	0,02897
<i>Massa Molecular do Gás (kg/gmol)</i>	0,021
<i>Densidade do Óleo (kg/m³)</i>	850
<i>Densidade da Água (kg/m³)</i>	999,19

C_V^{MAXI}	1025
C_V^{MAXW}	410
C_V^{MAXG}	120

Fonte: Diego Di Domenico Pinto, Rio de Janeiro, 2009.

2.2.6. Algoritmo e metodologia para resolução das equações.

O processo também foi simulado em regime transiente empregando o método de Runge-Kutta de Butcher para sistemas de equações diferenciais ordinárias, empregando o *software Matlab®*.

3. Resultados e Discussão

Aqui serão apresentados os resultados mais relevantes obtido com a modelagem e simulação de uma unidade de separação trifásica do petróleo. Foram avaliados o comportamento transiente das variáveis: vazões de saída de água ($Wo(t)$), óleo ($Lo(t)$) e gás ($Go(t)$); os níveis de água ($HW(t)$) e de líquido total ($H_{CS}(t)$) da câmara de separação; o nível de óleo da câmara de óleo ($H_{CL}(t)$); e a pressão total do vaso separador ($P(t)$).

Não foi objetivo desse trabalho a modelagem do *gaslift*, o que daria uma avaliação e detecção criteriosa do momento em que se inicia uma golfada. O comportamento transiente da mistura óleo-água-gás necessita ser minimizado, haja vista que os equipamentos a posteriores (à jusante) no processo possam ser preservados. Sendo assim, as vazões de óleo (Li), água (Wi) e gás (Gi) da alimentação do separador trifásico foram simuladas como uma série temporal, de acordo com os gráficos das Figuras 3 a), b) e c).

Figura 3 a). Vazão de óleo (Li , entrada) pelo tempo.

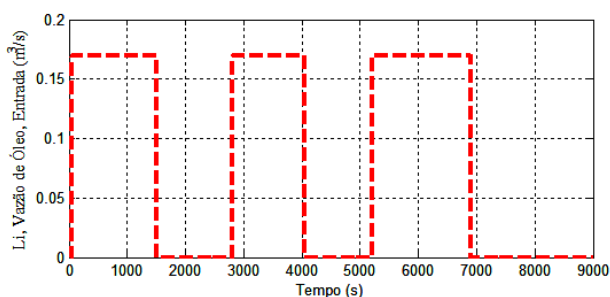


Figura 3 b). Vazão de gás (Gi , entrada) pelo tempo.

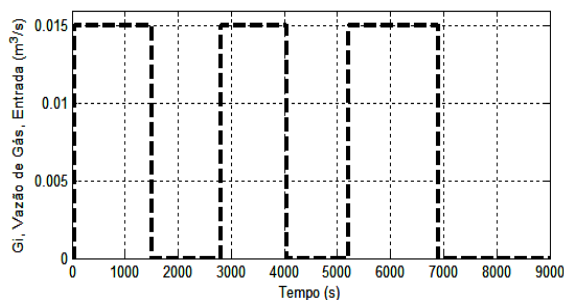
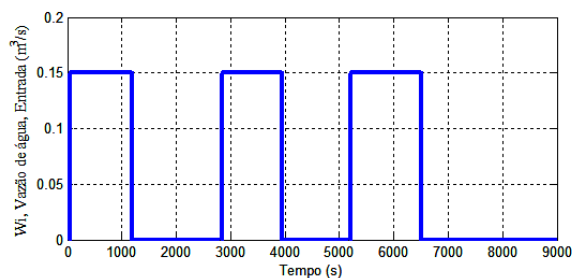


Figura 3 c). Vazão de água (W_i , entrada) pelo tempo.



O comportamento das vazões que fluem através das válvulas de saída de óleo (L_o), água (W_o) e gás (G_o) do separador são apresentados nos gráficos das Figuras 4 a), b) e c), respectivamente.

Figura 4 a). Vazão de óleo (L_o , saída) pelo tempo.

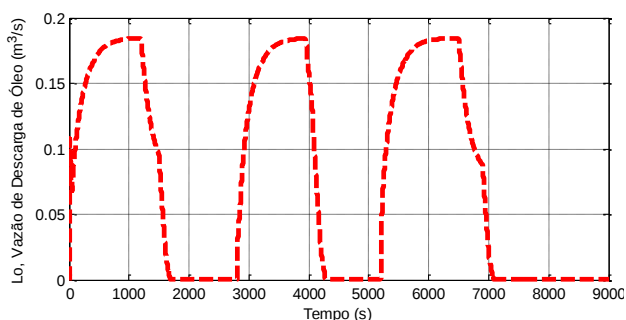


Figura 4 b). Vazão de água (W_o , saída) pelo tempo.

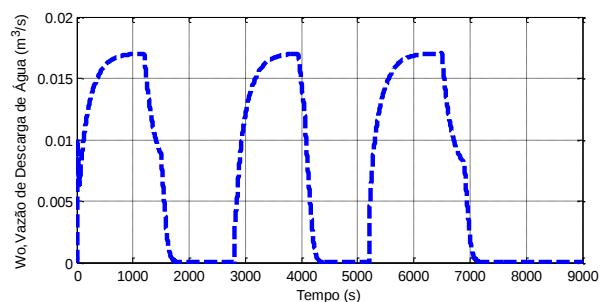
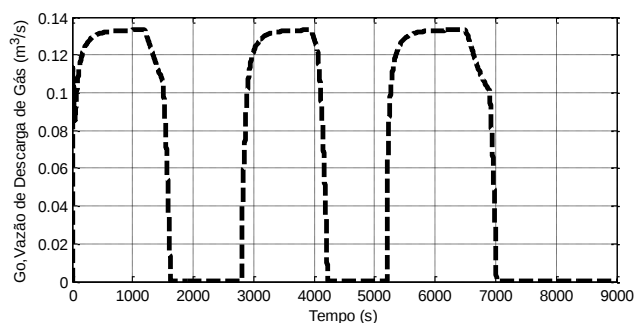
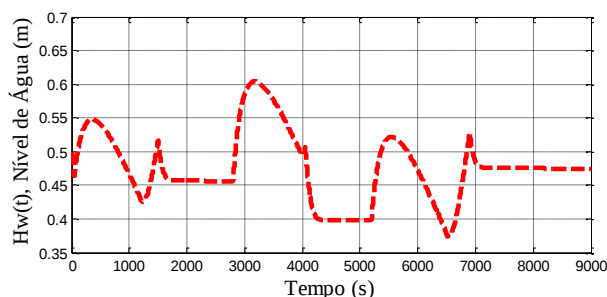
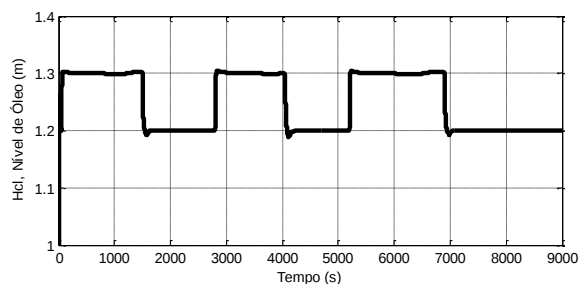
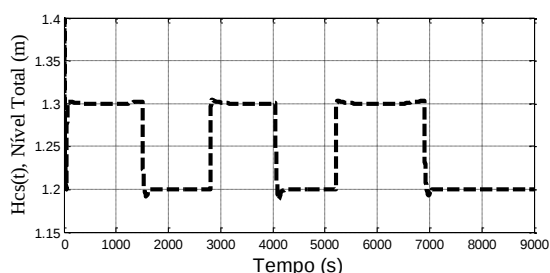
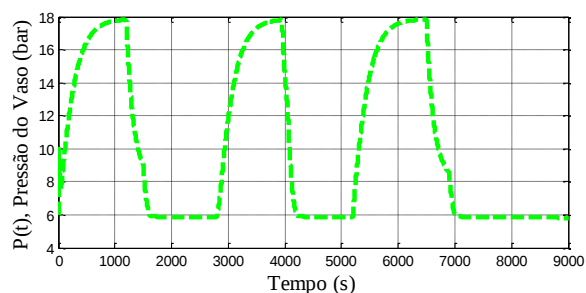


Figura 4 c). Vazão de gás (G_o , saída) pelo tempo.



De acordo com os gráficos das Figuras 4 a), b) e c), nota-se que a variável que apresentou maior oscilação, em termos de escala, foi a vazão de gás. Esse comportamento pode ser explicado haja vista que quando o nível total de líquido na câmara de separação aumenta, causa um aumento proporcional na pressão do vaso, sendo necessário aumentar a vazão de descarga de gás ($G_o(t)$).

O comportamento transiente do nível de água ($H_w(t)$) e de líquido total ($H_{cs}(t)$) são apresentados, respectivamente, nos gráficos das Figuras 5 a) e b). Enquanto que o comportamento transiente das variáveis de processo nível de óleo da câmara de óleo ($H_{cl}(t)$) e da pressão total do vaso separador ($P(t)$) são apresentados nos gráficos das Figuras 5 c) e d).

Figura 5 a). Nível de água ($H_w(t)$) pelo tempo.Figura 5 b). Nível de óleo ($H_{cl}(t)$) pelo tempo.Figura 5 c). Nível total ($H_{cs}(t)$) pelo tempo.Figura 5 d). Pressão do vaso ($P(t)$) pelo tempo.

De acordo com os resultados apresentados no gráfico da Figura 5 a), o nível de água da câmara de óleo é uma variável de extrema importância para o processo, a mesma pode levar o sistema a condições críticas de operação e diminuir a eficiência de separação do equipamento. Em termos de parâmetro de quantificação transiente, verifica-se que a variável pressão total do sistema ($P(t)$) foi a variável que apresentou maior sensibilidade dinâmica, apresentando uma sobre-elevação (*overshoot*) percentual de 200%, conforme apresentado no gráfico da Figura 5 d).

Por fim, verifica-se que os resultados apresentados mostram que mesmo operando na condição de malha aberta (sem controle), as variáveis apresentam comportamentos coerentes e estabilizam em regime estacionário no tempo de 7000 s, quando sanadas as perturbações nas vazões de alimentação.

4. Conclusões

Neste trabalho foi abordada a modelagem e a simulação transiente de um separador trifásico do petróleo. A modelagem foi desenvolvida com base no balanço de massa de óleo, água e gás nas câmaras de separação e de óleo, resultando em um conjunto de equações diferenciais ordinárias acopladas, sendo essas resolvidas numericamente pelo método de Runge-Kutta de Butcher e implementadas em rotina Matlab®. A vazão de alimentação demonstrou ser o grande distúrbio do processo, a ocorrência de golfadas (representada dinamicamente por séries temporais das vazões) colocou o sistema em diferentes condições de operação. O que reforça a relevância do trabalho sobre o conhecimento da dinâmica do processo via modelagem matemática. Foi verificado com os resultados apresentados, que as vazões de saída do processo sofrem grandes alterações quando ocorrem distúrbios nas alimentações. Com relação às variáveis de processo, notou-se que o nível de água é uma

variável de relevância crítica e que pode ser recomendado a implementação de uma estrutura de controle para essa variável, haja vista o fato de mantê-la dentro de seu valor desejado. Já a pressão do sistema demonstrou ser aquela variável que apresenta maior sobre elevação percentual, sendo essa elevada para patamares mínimos e máximos com frequência, recomenda-se também a implementação de uma estrutura de controle de pressão. Por fim, os resultados apresentados mostraram que as variáveis apresentaram comportamentos coerentes e estabilizaram em seus valores de regime estacionário, logo após serem sanados os distúrbios transientes das vazões de alimentação.

Referências Bibliográficas

Nunes, Giovani Cavalcanti; De Medeiros, José Luiz; Araújo, Ofélia de Queiroz Fernandes. **Modelagem e Controle na Produção de Petróleo – aplicações em MATLAB**, São Paulo: Blucher, 2010.

NUNES, Giovani Cavalcanti, **Modelagem e Simulação Dinâmica de Separador Trifásico Água-Óleo-Gás**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, Brasil, 1994.

Pinto, Diego Di Domenico; **Estratégias de controle contra intermitência severa na alimentação de separadores offshore**, Tese de Doutorado; Rio de Janeiro, 2009.

SILVEIRA, Magno Antonio Calil Resende. **Controle de um Processo de Tratamento Primário de Petróleo**, Dissertação de Mestrado; Rio de Janeiro, (2006).