

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:

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE FALHA PARA O MÉTODO DE BOMBEIO MECÂNICO

AUTORES:

Eliara de Melo Medeiros¹, Carla Wilza Souza de Paula Maitelli¹, Harlene Cristina A. G. Soares¹

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio Grande do Norte¹

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º 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 9º PDPETRO.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE FALHA PARA O MÉTODO DE BOMBEIO MECÂNICO

Abstract

At the beginning of the productive life of oil wells, fluids reach the surface by natural flow. When these wells stop producing naturally and die, the need for supplemental energy arises through the artificial lift methods. The choice of a particular method of artificial lift for operation will depend on the applicability to that field or well. The most common and predominant method in number of wells is sucker rod pumping. Given this predominance of the method it is necessary to better understand its operation and limitations. Although all the project undertaken and the engineer's work through the steps, failures may occur either in the mechanics or in the pumping of the fluid. Because of this, it is necessary to study in greater details the failings of this method. Different types of faults can be diagnosed for the BM method: parted rod, locked plunger, gas lock, pump efficiency and fluid pounding, with their identification through the dynamometer card, the main tool used to diagnose and detect possible anomalies on its system. This work, from initial parameters, developed a software tool able to determine and diagnose three of covered faults (parted rod, locked plunger and gas lock) and consequently obtaining their respective dynamometer cards. Finally, the results were compared with dynamometer cards in simulation and with literature models for didactic.

Introdução

Na maioria das vezes, no início de sua vida produtiva, os poços de petróleo possuem a pressão do reservatório suficientemente elevada, os fluidos neles presentes alcançam naturalmente a superfície, dizendo-se que são poços surgentes, produzidos por elevação natural. Esses poços cumprem o pré-requisito de possuir pressão de fundo maior do que a soma das perdas de carga que ocorrem ao longo do fluxo até a superfície.

Quando esses poços não cumprem o pré-requisito, pressão de fundo maior do que a soma das perdas de carga, surge a necessidade de uma energia extra e técnicas de elevação artificial deverão ser aplicadas. Essa necessidade ocorre quando as perdas de carga são maiores que a pressão de fluxo no fundo ou quando a pressão no fundo não é suficiente para elevar o fluido naturalmente. Em virtude disso, os poços param de produzir e “morrem”, ou seja, poços improdutivos. Com o propósito dos poços voltarem a produzir e serem viáveis economicamente, é necessária a utilização de métodos de elevação artificial, métodos que irão fornecer energia ou amenizar as perdas de cargas ao longo do poço para ocorrer a elevação do fluido até a superfície.

A escolha do método de elevação artificial depende de vários fatores, tais como: viscosidade, presença de sólidos, composição do fluido, temperatura, profundidade, direção (vertical ou direcional), produtividade e custo. Esses fatores são essenciais para seleção do método a ser usado.

No método de elevação artificial bombeio mecânico, o movimento rotativo de um motor elétrico ou de combustão interna é transformado em movimento alternativo por uma unidade de bombeio, localizada próxima à cabeça do poço. Uma coluna de hastes transmite o movimento alternativo para o fundo do poço, acionando uma bomba que eleva os fluidos produzidos pelo reservatório para superfície (THOMAS, 2004).

O bombeio mecânico é o método mais utilizado em todo o mundo, sendo ele aplicado em apenas campos terrestres. A larga aplicação do método se dá pelo baixo custo, se comparado a outros métodos, alta eficiência energética, possibilidade de operação com fluidos de diferentes composições e viscosidade e em larga faixa de temperatura. Porém, esse método é problemático em poços que

produzem areia, em poços desviados e em poços onde parte do gás produzido passa pela bomba ou aplicações marítimas.

Ao longo da operação do sistema de bombeio, falhas poderão ocorrer, seja nos componentes da bomba de fundo, na haste ou equipamentos de superfície, prejudicando o desempenho do sistema e consequentemente a produção. Devido à importância da identificação das falhas no bombeio mecânico, a previsão de falhas ou comportamento do bombeio tornou-se o foco principal neste trabalho. O objetivo inicial foi desenvolvimento de uma ferramenta computacional para determinação e previsão das falhas e do comportamento do sistema de bombeio, estudar dos modelos e/ou critérios para determinar as falhas e prever o comportamento do sistema de bombeio e por fim, um teste de validação comparado com a ferramenta computacional Simulador de Bombeio Mecânico.

Metodologia

Primeiramente decidiu-se como seria feita a implementação computacional. Partindo dos critérios de se ter uma facilidade na criação, manuseamento e fácil acesso, decidiu-se que a elaboração seria através do *Excel*, pois ele possui um ambiente de desenvolvimento, *Visual Basic for Applications* (VBA), é possível escrever códigos de programação. E então, a partir da interface desenvolvida por SOARES (2016), apresentou na Figura 1, criou-se um subitem, *módulo de falhas*, Figura 2, que seria responsável pela previsão das cartas dinamométricas das falhas desenvolvidas neste trabalho.

EQUIPAMENTO INSTALADO					
COLUNA DE HASTES			HASTE POLIDA E REVESTIMENTO		
Quantidade de hastes na coluna			Diâmetro haste polida (in)		
2			1 1/4"		
Seção	Diâmetro (in)	Comprimento (m)	OD revestimento (in)		
1	7/8	914,41	5,5		
2	3/4	609,60	ID revestimento (in)		
			4,95		
			BOMBA		
			Diâmetro	1,75	in
			Profundidade (m)	1524,010	m
PROPRIEDADES DO FLUIDO PRODUZIDO			COLUNA DE PRODUÇÃO		
*API	30	–	Diâmetro Externo	2,875	in
BSW (%)	15%	%	Diâmetro Interno	2,441	in
RGO	100	(m³/m³)	Presença de Packer	Não	–
Densidade do gás	0,80	–	Presença de Âncora	Não	–
Eficiência de Separação do gás	40%	%	PROPRIEDADES DO MATERIAL (HASTES E TUBING)		
Viscosidade do óleo	Informar Viscosidade		Massa Específica	492,869	lbm/ft³
			Elasticidade Hastes	31000000	psi
			Elasticidade Tubing	31000000	psi
CONDIÇÕES OPERACIONAIS					
Temperatura na cabeça	95	*F	Informar Coeficiente de Atrito		
Gradiente Geotérmico	0,018	*F/m			
Pressão no Revestimento	2	kgf/cm²			
Pressão na Cabeça	2	kgf/cm²	PPRL	13484,03	lbf
Curso da Haste Polida	64	in	MPRL	7286,30	lbf
Frequência de bombeio	10	SPM	PRHP	8,40	hp
Espaço morto estático	0,21	m	PT	99163,68	lbf.in

Figura 1 - Interface do Dimensionador de BM, (SOARES, 2016)

CARTAS DINAMOMÉTRICAS			
INFORMAÇÕES MÉTODO DE GIBBS			MÓDULOS DE FALHA
Coeficiente de Amortecimento (0,05-0,15)	0,15	[GIBBS]	☐ Nenhuma ☐ Haste Partida ☒ Pistão Preso ☐ Interferência de Gás
Duração do Ciclo	6	s	
Número de ciclos a ser exibidos	1		

Figura 2 - Interface do Módulo de Falhas

Esse, módulo de falhas, dispõe de quatro opções de escolha. A primeira delas é *nenhuma*, ou seja, não existe falha e o resultado da carta é a padrão sem falha, as outras opções são: *haste partida*, *pistão preso* e *interferência de gás*, na qual a partir da sua escolha, o resultado vai ser uma previsão da carta característica de cada uma das falhas.

Na *haste partida*, ao selecionar essa opção, irá abrir um formulário, onde o usuário deve informar à profundidade onde vai ocorrer a ruptura da haste, na coluna de haste, Figura 3. Com a seleção dessa opção, serão calculadas algumas variáveis importantes necessárias para a resolução da equação diferencial, tais como: velocidade do som, incremento do tempo, comprimento dos segmentos acima da ruptura da coluna e incremento da variação do ângulo da manivela.

The image shows a software interface for fault selection. The main window, titled 'MÓDULOS DE FALHA', contains four radio buttons: 'Nenhuma', 'Haste Partida' (which is selected), 'Pistão Preso', and 'Interferência de Gás'. A secondary window, titled 'PROFUNDIDADE DE RUPTURA - HASTE PARTIDA', is open over the main window. It prompts the user to 'Informe a profundidade de ruptura:' and features a text input field followed by the unit 'm'. An 'INFORMAR' button is located at the bottom right of this sub-window.

Figura 3 - Módulo de Falha para Haste Partida

Ao selecionar a opção *pistão preso* no módulo de falhas, afirma-se que o pistão da bomba está sem movimento, ou seja, velocidade e movimento vão ser considerados zeros. Este tipo de falha segue o princípio da falha anterior, envolvendo as mesmas condições de contorno de superfície e condições iniciais, diferenciando nas condições de contorno de fundo. Assim, o resultado desta simulação para um pistão sem movimento será uma carta de superfície e fundo bem característica desse tipo de falhas, ou seja, sem alterar sua posição.

Na simulação da falha de *interferência de gás*, Figura 4, escolhe-se um valor alto para a razão gás-óleo (RGO) do poço e, como essa falha está relacionada à grande presença de gás na bomba e está profundamente ligada a uma ineficiência de separação de gás na entrada da bomba, então, a interferência de gás deve ser avaliada em conjunto com a variável eficiência de separação de gás no fundo. Portanto, ao se informar altos valores de RGO e uma baixa eficiência de separação de gás no fundo, o resultado será uma carta dinamométrica característica desse tipo de falha.

The image shows the same 'MÓDULOS DE FALHA' window, but now 'Interferência de Gás' is selected. A new sub-window, titled 'INTERFERENCIA DE GÁS', is open. It prompts the user to 'Informar Razão Gás-Óleo e Eficiência de Separação:'. It contains two input fields: 'Razão Gás-Oleo =' followed by the unit 'm³/m³', and 'Eficiência de Separação =' followed by the unit '%'. An 'INFORMAR' button is at the bottom of the sub-window.

Figura 4 - Módulo de Falha para Interferência de gás

Resultados e Discussão

Para testar a ferramenta computacional desenvolvida para diagnosticar as falhas a partir das cartas dinamométrica, utilizaram-se dados de um poço fictício, conforme a Tabela 1.

EQUIPAMENTOS INSTALADOS			EQUIPAMENTOS INSTALADOS		
Colunas de Hastes			°API		30
Nº de Hastes na Coluna		2	BSW(%)		15%
Seção	Diâmetro (in)	Comprimento (m)	RgO(m³/m³)		100
1	7/8	914,41	Densidade do gás		0,8
2	3/4	609,6	Eficiência de Separação do gás (%)		25%
Haste Polida e Revestimento			Viscosidade do óleo (cP)		100
Diametro Haste Polida (in)		1 1/4	EQUIPAMENTOS INSTALADOS		
Diametro Externo (OD) do revestimento (in)		5,5	Informações de gibbs		
Diametro Interno (ID) do revestimento (in)		4,95	Coeficiente de Amortecimento		0,01
Bomba			Duração de Ciclo(s)		6
Diâmetro (in)		1,75	Número de ciclos a ser exibidos		1
Profundidade (m)		1524,01	MÓDULO DE FALHAS		
Coluna de Produção			Haste Partida	Prof. De ruptura da haste (m)	400
Diâmetro Externo (in)		2,875	Pistão Preso	-	-
Diâmetro (in)		2,441	Interferência de gás	Razão gás óleo (m³/m³)	100
Presença do Parcker		Não		Eficiência de Separação do gás (%)	25
Presença da Âncora		Não			
Propriedades dos Material (Hastes eTubing)					
Diâmetro Externo (in)		2,875			
Diâmetro (in)		2,441			
Massa Específica (lbm/ft³)		492,869			
Elasticidade Hastes (psi)		31000000			
Elasticidade Tubing (psi)		31000000			
Propriedades dos Material (Hastes eTubing)					
Temperatura da cabeça (°F)		95			
gradiente geotérmico (°F/m)		0,018			
essão no Revestimento (kgf/cm		2			
Pressão na Cabeça (kgf/cm²)		2			
Curso da Haste Polida (in)		64			
Frequência de bombeio		10			
Espaço morto estático (m)		0,21			
Nível Dinâmico Inicial (m)		1480			

Tabela 1 – Dados de entrada utilizado na simulação

Com os dados de entradas e os obtidos, foi possível gerar as cartas dinamométricas de superfície e fundo para cada opção contida no item *módulo de falha*. Analisou-se o formato obtido nas cartas e as variáveis como: máxima carga (PPRL), carga mínima (MPRL) e o torque máximo (PT). E por fim, cartas geradas foram comparadas com resultados do *Simulador de Bombeio mecânico*.

Em princípio a partir dos dados, inseridos, analisou-se individualmente cada falha presente no *módulo de falhas*. Dessa forma para *Haste Partida*, percebe-se a seguir, Figura 5 (a) e (b), que as cartas dinamométricas de superfície e fundo apresentam semelhança com as cartas geradas através do *Simulador de bombeio Mecânico*, Simulador de BM, desenvolvido por NASCIMENTO (2005).

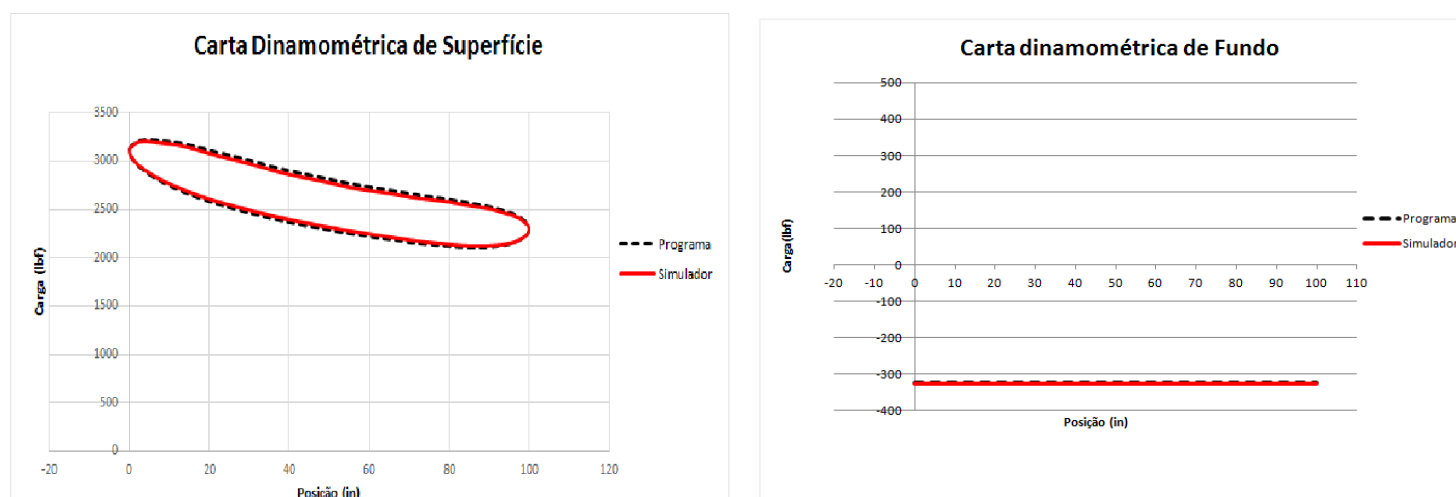


Figura 4 - Comparação das cartas de superfície (a) e Cartas de fundo para Haste partida (b).

A partir das cartas desenvolvidas, calculou-se a carga máxima, carga mínima e o *peak* torque (torque máximo), conforme mostrado na Tabela 2. Para melhor interpretação, compararam-se as variáveis do programa desenvolvido com as variáveis obtidas a partir do simulador e então calcular o erro relativo, a partir da abaixo.

$$Erro(\%) = \frac{|Valor_{simulador} - Valor_{desenvolvido}|}{Valor_{simulador}}$$

	Simulador	Desenvolvido	Erro (%)
PPRL (lbf)	3203	3221,4664	0,576534499
MPRL (lbf)	2123	2103,85	0,902025436
PT (lbf. In)	27006	27940,316	3,459660816

Tabela 2 - Erro Relativo para Haste partida

Segundo NASCIMENTO (2005), a inclinação presente nas cartas com haste partida, depende da frequência de bombeio, ou seja, quanto menor a frequência de bombeamento, menor será a inclinação da carta. Sendo assim, conclui-se que a inclinação de uma carta de haste partida está intimamente ligada à frequência de bombeio.

Ao analisar a segunda falha, Pistão preso, Figura 6 (a) e (b), permite-se a avaliação da carga máxima nas hastes e análise das tensões de ruptura das hastes. Comparando as cartas dinamométricas obtidas no Simulador de BM e a ferramenta computacional desenvolvida, percebeu-se que o formato é o mesmo da carta padrão. Compararam-se os resultados a partir das variáveis escolhidos como parâmetro e calculou-se o erro relativo, conforme a Tabela 3

	Simulador	Desenvolvido	Erro (%)
PPRL (lbf)	35803	35749,09	0,150573974
MPRL (lbf)	9605	9618,9652	0,145395107
PT (lbf. In)	554900	653253,13	17,72447828

Tabela 3 - Erro Relativo para Pistão Preso

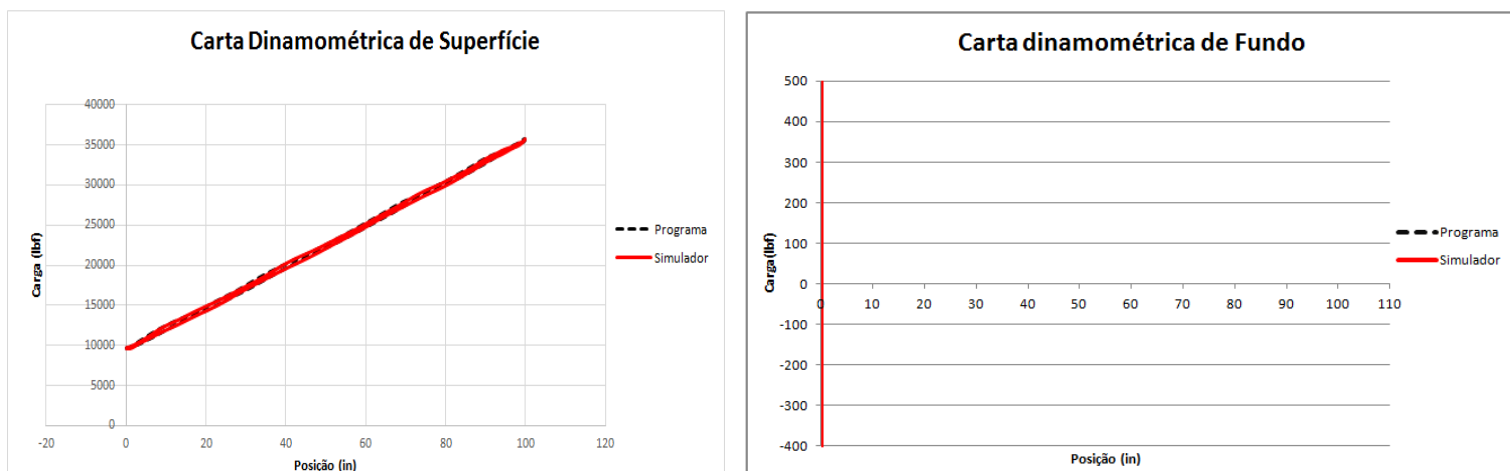


Figura 6 - Comparação das cartas de superfície (a) e Cartas de fundo para Pistão Preso (b).

Na falha, *interferência de gás*, Figura 7 (a) e (b), observou-se que para os altos valores de RGO e para uma baixa eficiência de separação a carta dinamométrica de fundo obtida, apresenta um aspecto parecido com a de pancada de fluido, porém com uma curva mais suave no curso descendente, devido à compressibilidade do gás.

Ao comparar a carta dinamométrica de superfície e fundo, nota-se visivelmente uma diferença nos formatos das cartas, isso se deve ao fato dessa falha não possuir uma modelagem própria e depender da manipulação de variáveis (RgO e Eficiência de separação do as). Devido a isso, para comprovar e melhor interpretar o resultado obtido, calcularam-se os erros relativos, de acordo com a Tabela 4.

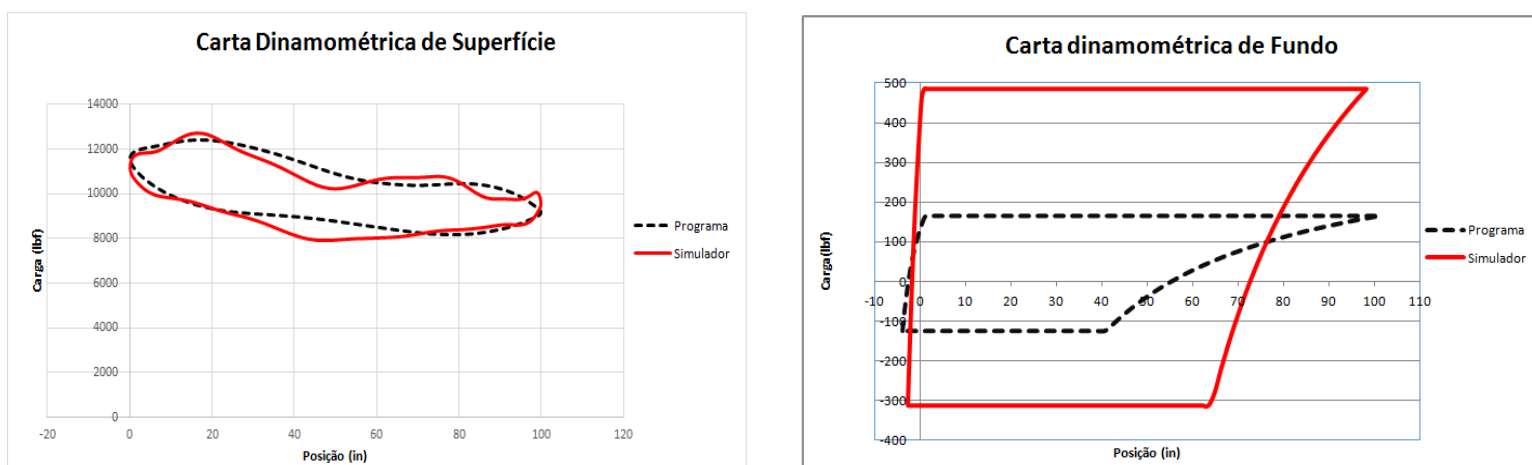


Figura 7 - Comparação das cartas de superfície (a) e Cartas de fundo para Interferência de gás (b).

	Simulador	Desenvolvido	Erro (%)
PPRL (lbf)	13168	12285,32187	6,703205715
MPRL (lbf)	9268	8304,06143	10,40071828
PT (lbf. In)	97488	99531,51103	2,096166742

Tabela 4 - Erro Relativo para Interferência de gás

Por fim, nota-se que o programa desenvolvido e o *Simulador de BM* ao gerar as cartas e compará-las têm uma precisão considerável. Porém, para melhor eficácia do programa deve-se testar um maior número de poços.

Conclusões

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para o método de elevação artificial de petróleo, bombeio mecânico, tal ferramenta é capaz de apresentar através da previsão das cartas dinamométricas as falhas e o comportamento do sistema de BM. Porém, de todas as falhas e condições operacionais citadas, apenas três foram desenvolvidas, foram elas: haste partida, pistão preso e interferência de gás. Sendo as outras abordadas teoricamente, mas não desenvolvidas na prática devido a uma modelagem mais complexa.

A metodologia empregada para obter as cartas dinamométricas foi baseada na modelagem descrita (COSTA, 1995) algumas alterações, obtendo a equação do movimento e então através das soluções numéricas em conjunto com os critérios e condições desenvolvidas para as falhas, a modelagem do sistema.

No intuito de validar a ferramenta computacional desenvolvida, compararam-se as cartas obtidas através dessa ferramenta com as fornecidas pelo Simulador de BM, utilizando-se apenas os dados de um poço virtual. Todas as cartas geradas foram similares às obtidas pelo simulador e os formatos também estavam de acordo com os previstos na literatura, provando que o programa atingiu o objetivo proposto e podendo ser usada para efeito didático.

Embora as cartas dinamométricas sejam facilmente obtidas, o desafio maior é a sua interpretação, ainda mais quando essas cartas diagnosticam falhas no sistema do bombeio mecânico, sendo necessário um maior estudo e interpretação para determinar o tipo de falha característica.

Por fim, como recomendação para trabalhos futuros baseados na ferramenta computacional, seria interessante rever a modelagem para melhorar a precisão das cartas, testar a ferramenta em mais poços, para então ser validada para poço real e incorporar as outras condições operacionais: pancada de fluido, eficiência da bomba e parafinação.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Automação em Petróleo (LAUT/UFRN), pela parceria para o desenvolvimento da pesquisa.

Referências Bibliográficas

COSTA, R.O., Bombeamento Mecânico Alternativo em Poços Direcionais, Dissertação de Mestrado, Campinas/SP, 1995.

NASCIMENTO, João Maria Araújo do. Simulador Computacional para Poços de Petróleo com Método de Elevação Artificial por Bombeio Mecânico. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

SOARES, H. C. A. G. Previsão de cartas dinamométricas de superfície e fundo através do modelo de Gibbs. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

TAKÁCKS, G., Sucker-rod Pumping Manual, PennWell Books, 2002.

THOMAS, J.E., Fundamentos de Engenharia de Petróleo, editora. Interciência, 2º edição, Rio de Janeiro, 2004.