

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE VÁLVULA GAVETA SUBMARINA DE ÁGUAS PROFUNDAS EM POÇOS PRODUTORES DE BAIXA LÂMINA D'ÁGUA

STUDY OF THE USE OF DEEPWATER SUBMARINE GATE VALVE IN LOWWATER PRODUCING WELLS

SILVA, Lanuciano Cristiano da¹
PEREIRA, Leonardo Dias²
BENTES, Flavio Maldonado³

Resumo: O trabalho consiste em um estudo da utilização de um modelo de válvula gaveta projetada para ser utilizada em poços de produção de petróleo com lâmina d'água considerada profunda (401 metros à 1500 metros) em poços produtores de águas rasas (até 400m). É apresentado nesse trabalho uma comparação entre as curvas de atuação paraconjuntos FSC (*fail safe closed* ou fecha quando falha) e FSO (*fail safe open* ou abre quando falha) identificando suas principais diferenças, operação e pontos de elevada criticidade.

Palavras-chave: arvore de natal molhada; ANM; válvulas de controle; válvulas gaveta.

Abstract: This article presents a study the use of a gate valve model designed to be used in oil wells with deep water depth (401 meters to 1500 meters) in shallow water producing wells. (up to 400m). This paper presents a comparison between the performance curves for fail safe closed (FSC) and fail safe open (FSO) sets identifying their main differences, operation and high criticality points.

Key-words: wet christmas tree; WCT; control valves; gate valves.

¹ Engenheiro Mecânico pela UNISUAM (lanucianogh@gmail.com)

² Mestre em engenharia mecânica pela PUC-Rio (leonardo.diaspereira@souunisuam.com.br)

³ Doutor em Engenharia Mecânica pela COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (flavio.bentes@gmail.com)

1. INTRODUÇÃO

A produção de petróleo e gás natural a nível nacional deu um grande salto desde 2006 com a descoberta da camada pré-sal, com isso, a indústria do petróleo obteve crescimento se fortalecendo (ALVARENGA, 2017), porém, o mercado nacional de equipamentos para exploração marítima (*offshore*) com qualidade comprovada ainda é um gargalo para o setor (ROSETTO, 2016).

De acordo com Gasparetto (2014), a projeção da demanda de válvulas do tipo esfera e gaveta entre os anos 2013 e 2021 é respectivamente de 328 e 274 unidades para atender a estimativa de instalação de 1411 equipamentos submarinos até 2020 pela Petrobras, estes equipamentos contemplam no mínimo uma válvula, destacando-se no sistema as de bloqueio (gaveta e esfera).

Considerando o volume de equipamentos submarinos instalados e que na projeção ainda serão colocados em uso é nítida a sua importância e o destaque que possuem no mercado, por se tratar de equipamentos para a exploração em águas profundas, sua disponibilidade e confiabilidade devem ser extremamente elevados visto os custos atrelados às operações de intervenção.

Mashiba (2011), afirma ser essencial garantir a operacionalidade e longevidade destes equipamentos e para isso o desenvolvimento dos componentes que compõe os equipamentos submarinos devem ter como base dados empíricos e modelos matemáticos permitindo assim maior detalhamento quanto à sensibilidade do projeto face as variações dos parâmetros operacionais

Analisar o comportamento de atuação das válvulas é importante uma vez que se entende as relações entre as pressões e os movimentos do pistão, essa análise é realizada por meio de um gráfico temporal onde são registradas as pressões de acionamento hidráulico quando abertas e fechadas. Observa-se então pontos específicos conhecidos como pontos chaves ou notáveis, resultado das alterações na pressão do atuador e sua posição sendo comumente chamados de assinatura de pressão (Mashiba, 2011).

Este trabalho tem como objetivo principal realizar um estudo da utilização de uma válvula do tipo gaveta projetada para ser utilizada em poços de petróleo de lâmina d'água profunda em poços produtores de águas rasas, será analisada a viabilidade técnica desse tipo de aplicação por meio de uma análise qualitativa.

Por se tratar de um assunto estratégico para todos os países do mundo, é de grande importância traçar melhores estratégias no que se refere a utilização dos ativos das empresas exploradoras de petróleo e gás natural de modo a reduzir os custos elevando o lucro.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Etimologicamente, a palavra petróleo tem origem do latim *petroleum*, *petrus*, pedra e *oleum*, óleo (Michaelis, 2016), sua importância para a sociedade é indiscutível não somente no que se refere aos combustíveis, mas também por ser matéria prima para os mais diversos produtos, como calçados e até mesmo cosméticos, por conceito podemos dizer a respeito do petróleo:

[...]um líquido viscoso, em geral de coloração escura, que ocorre naturalmente, cuja composição química varia de lugar para lugar. Em geral, contém compostos de enxofre, oxigênio, nitrogênio, metais e outros elementos. É formado por uma mistura de diferentes hidrocarbonetos com diferentes pontos de ebulição, sendo matéria-prima de grande importância para a economia (MILLIOLI, 2009, p. 29).

Entende-se por produção de petróleo a fase constituinte da indústria petrolífera compreendida pela exploração, completação, produção e refino do produto extraído, todas as etapas envolvidas na produção de petróleo ocorre de duas maneiras distintas, em terra (*onshore*) e no mar (*offshore*), porém só acontece caso a etapa de prospecção revele o potencial comercial da região, ou seja, somente a partir de estudos específicos e a constatação de viabilidade comercial que um determinado poço será explorado para produção de petróleo.

Dentre os diversos fatores que impulsionam a exploração e o desenvolvimento de tecnologias para se extrair petróleo nas mais diversas profundidades o mais impactante para as economias globais está a instabilidade no Oriente Médio, a elevação da demanda global de petróleo, o esgotamento das reservas de petróleo em lâminas d'água rasas e o elevado potencial de produção em águas profundas e ultra profundas.

No Brasil, a exploração em área *offshore* se iniciou em 1968 no campo de Guaricema (Sergipe) em uma lâmina d'água de 30 metros, porém, foi somente na década de 80, que a Petrobras começou a realizar diversos estudos e descobertas importantes na área, tais descobertas se iniciaram na Bacia de Campos, onde estão os campos de produção batizados com nomes de peixes encontrados na região, Albacora, Marlim, Albacora Leste, Marlim Sul, Marlim Leste, Barracuda, Caratinga, Espadarte e Roncador (Petrobrás, 2010)

Atualmente a Bacia de Campos tem 39 campos produtores sob responsabilidade da Petrobras, garantindo aproximadamente 80% da produção nacional, esses campos possuem potencial reserva de aproximadamente 9,7 bilhões de barris em uma área que se aproxima aos 120 mil quilômetros quadrados em lâminas d'água acima de 1500 metros (Figura 3).

De acordo com a Petrobras (2019), com o plano piloto do campo de Lula e a entrada de produção da FPSO Cidade de Angra dos Reis em outubro de 2006 as expectativas de novas descobertas de reservas no pré-sal (profundidade superior a 4000 metros) aumentaram, devido as peculiaridades deste tipo de reservas os projetos possuem maior criticidade, principalmente

quando comparados com as explorações *onshore* e de água rasas, obrigando o desenvolvimento de novas tecnologias.

Conforme Herdeiro (1997), é importante o empenho na redução dos custos referentes a exploração e produção em águas profundas e ultra profundas para que as atividades sejam rentáveis do ponto de vista dos riscos financeiros e operacionais.

2.1. Sistemas complementares de produção submarina

Sistemas submarinos são utilizados na produção *offshore* quando a utilização de unidades marítimas fixas é inviável devido a elevada altura de lâmina d'água e as características do reservatório explorado, quando utilizadas, escoam a produção por tubulações submarinas até a unidade de processamento, esta pode ser do tipo fixa, flutuante ou uma unidade de processamento em terra.

Dentre as principais vantagens de serem utilizados sistemas submarinos para produção tem-se:

- a possibilidade de ser feita a perfuração e a completação dos poços produtores antes da conexão da plataforma de produção;
- pode ser utilizada por uma unidade de produção ou unidade flutuante do tipo *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) ou Semi Submersível (SS);
- possibilidade de conexão da unidade flutuante com poços distantes no ponto de vista geográfico.

Os principais componentes que constituem um sistema submarino são:

- ANM - árvore de natal molhada;
- conjunto de válvulas manifold;
- dutos flexíveis.

2.2. ANM ou árvore de natal molhada

O equipamento conectado no poço e que realiza a abertura ou fechamento do fluxo de petróleo é chamado de árvore de natal molhada (ANM), é basicamente constituído por um conjunto de válvulas do tipo gaveta que atuam totalmente abertas ou fechadas, linhas de fluxo e um sistema conectado à um painel de controle encontrado na unidade de produção para sua operação em caso de emergência (GARCIA, 1999).

Sua função é manter a segurança operacional do poço produtor e a lógica operacional das válvulas que fazem parte do conjunto visto a necessidade da constante atuação de modo a mantê-las abertas durante a extração do fluido (ANTUNES et al., 2003).

As árvores de natal molhadas são classificadas quanto à sua instalação, conexão e controle conforme detalhado no Quadro 1.

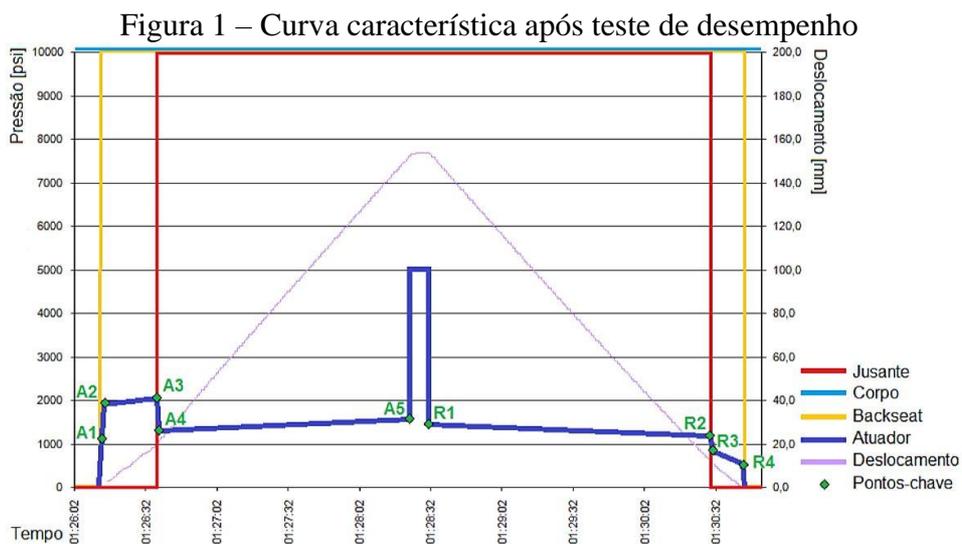
Quadro 1 – Classificação dos tipos de árvores de natal molhadas (ANM)

Operadas por mergulhador	Operadas sem mergulhador
<i>diver operated (DO)</i>	<i>diver less pull-in (DL)</i>
<i>diver assisted (DA)</i>	<i>diver less lay-away (DLL)</i>
	<i>diver less guideline less (GLL)</i>

Fonte: Thomas, (2001)

2.3. Curva característica e relevância

A curva característica ou assinatura característica de uma válvula representa o torque exercido pelo atuador para acionar a haste (retorno ou avanço) que por sua vez atua diretamente no obturador da válvula restringindo ou liberando o fluxo de fluido. As informações da curva característica são obtidas por meio do chamado “teste de desempenho”, onde são “lidos” os dados durante a atuação do conjunto para após diversos acionamentos seja determinado os parâmetros de desempenho do conjunto, conforme figura 1.



Fonte: Adaptado de Euthymiou, (2011)

De acordo com Euthymiou (2011), a curva característica possui pontos que podem identificar o desempenho e possíveis restrições operacionais da válvula conforme pode ser observado no Quadro 2:

Quadro 2 – Pontos de uma curva característica

Ponto	Descrição
A1	Início do movimento da haste de <i>override</i> do atuador: valor da pressão de atuação quando o <i>backseat</i> está na iminência de abrir. Ponto não identificável em testes realizados com zero de pressão no corpo da válvula.
A2	Início do movimento da gaveta: valor da pressão de atuação no momento em que se dá a equalização entre as pressões do corpo e do <i>backseat</i> .
A3	Início de comunicação: maior valor da pressão de atuação antes da sua queda abrupta, ainda com diferencial de pressão entre montante e jusante.
A4	Completa equalização: valor da pressão de atuação no momento em que ocorre a completa equalização entre as pressões de montante e jusante.
A5	Final de avanço do atuador: maior valor da pressão de atuação antes do seu aumento abrupto até a Pressão Nominal de Trabalho do Atuador (PNTA).
R1	Início do retorno do atuador: menor valor da reta vertical traçada pela pressão de atuação no início do movimento de retorno do atuador.
R2	Fim de comunicação: maior valor da pressão de atuação antes da sua queda abrupta, ainda sem diferencial de pressão entre montante e jusante.
R3	Completo diferencial: valor da pressão de atuação no momento em que a jusante da válvula atinge a completa despressurização devido ao fim de comunicação entre montante e jusante.
R4	Final de retorno do atuador: maior valor da pressão de atuação antes da sua queda brusca até a completa despressurização. Neste ponto ocorre também a despressurização completa do <i>backseat</i> .

Fonte: Adaptado de Euthymiou, (2011)

Ressalta-se que os testes são realizados em ambiente controlado com vazão de fluido estabelecida na ordem de 1 *l/min* (um litro por minuto).

2.4. Sistema de controle multiplexado

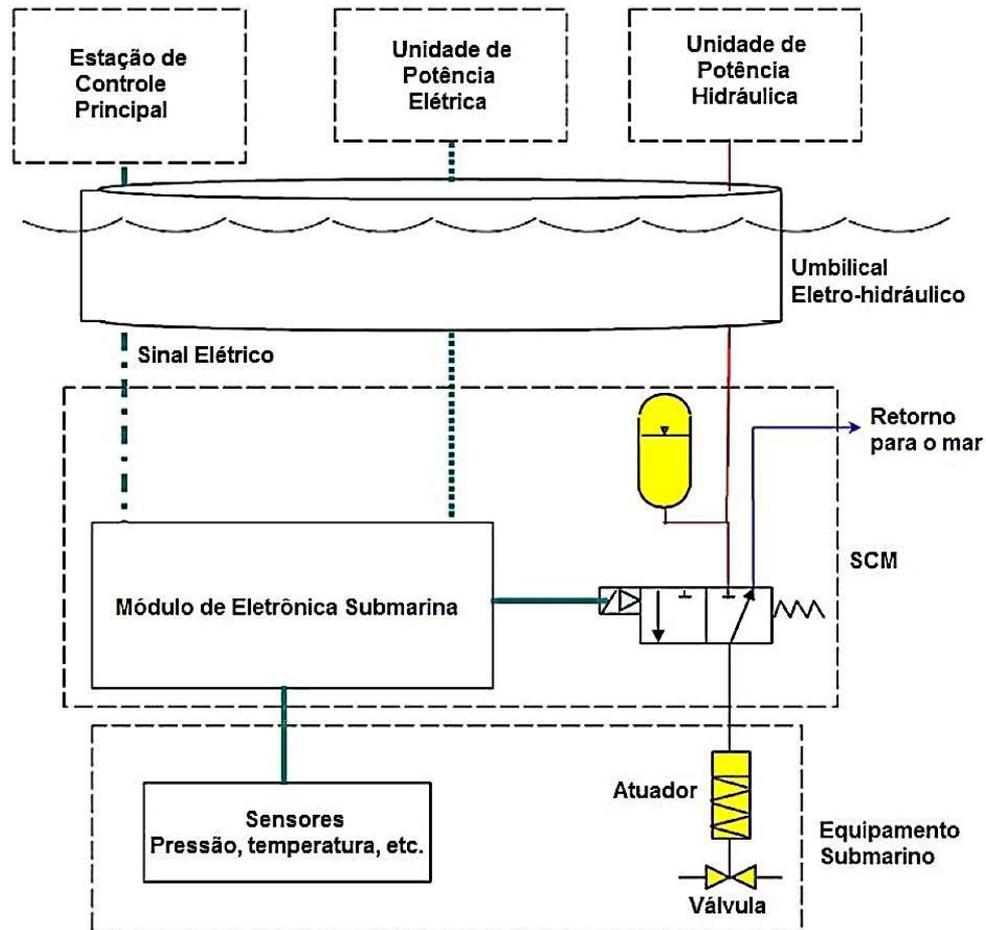
Responsável por controlar as funções envolvidas na operação das ANM e outros componentes submarinos, o módulo de controle submarino ou *subsea control module* (SCM) monitora constantemente diversos parâmetros inerentes à produção de petróleo tais como:

- Pressão;
- Temperatura;
- Vazão;
- Corrosão/Erosão;
- Presença de particulados no fluido extraído.

Esse sistema é dividido em duas partes, uma localizada na unidade de exploração (UEP) onde estão todos os controles lógicos e de potência, a outra se encontra em ambiente submarino

sendo composta pelos componentes que controlam a vazão e distribuição da potência gerada pela outra seção do sistema encontrada na superfície, conforme a figura 2.

Figura 2 – Detalhamento do sistema de controle multiplexado



Fonte: Adaptado de CSUB, (2016)

Apesar da alta complexidade e elevada quantidade de componentes submarinos esse sistema possui maior eficiência e tempo de resposta reduzido se comparado com sistemas utilizados outrora tais como o sistema hidráulico direto possuindo diversas vantagens do ponto de vista operacional:

- Possibilidade de controlar sistemas de unidades de produção mais complexos e com maior profundidade;
- Possibilidade de controlar diversos equipamentos com um único umbilical de controle interligando a UEP e os sistemas submarinos;
- Possibilidade de controlar e monitorar a operação dos poços, sua produção e integridade;
- Possibilidade de utilizar umbilical de controle com peso reduzido visto o diâmetro reduzido dos dutos hidráulicos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta deste estudo é viabilizar a utilização de válvulas gaveta projetadas para serem utilizadas em lâminas d'água profunda em lâminas d'água de menor profundidade através da substituição/adequação dos seus componentes internos para as novas condições de uso. Por ser uma proposta conceitual será sugerida uma opção de alteração facilmente atendida em condições *offshore*, ou seja, operações que podem ser realizadas em uma plataforma em alto mar sem a necessidade de transbordo do equipamento para oficinas localizadas “em terra”.

Serão consideradas nessa proposta os dados originais de projeto de uma válvula atuada de 130,2mm projetada para atuar em lâminas d'água profunda (acima de 1500 metros):

- Pressão máxima de passagem: 34,5 MPa;
- Pressão máxima da linha de controle: 20,7 MPa;
- Fluido de controle: HW-525.

Foi realizado uma memória de cálculo (Quadro 3) de modo a estabelecer os parâmetros físicos e operacionais originais da válvula gaveta (VG) para posteriormente serem utilizados na elaboração das soluções que serão sugeridas.

Quadro 3 – Memória de cálculo dos parâmetros originais da VG

Variável	Abreviatura	Dados
Diâmetro do bore	Db	130,18mm
Lâmina d'água de atuação	WD	2000m
Pressão à montante da VG	Pm	34,5MPa
Força mínima da mola	FmM	89,76kN
Força Máxima da Mola	FMM	138,22kN
Diâmetro do pistão	Dp	139,7mm

Fonte: Autoria própria, (2019)

Para a elaboração do projeto de adaptação teve que ser levada em consideração a pressão máxima de acionamento da válvula (Pmax), de acordo com a folha de dados da válvula DA *series* do fabricante Dril-Quip, a pressão máxima de controle (PmaxLC) desta válvula em sua concepção original é de 20,7MPa. Sendo considerado o fator API (90%).

4 RESULTADOS

4.1 Elaboração da proposta: substituição do pistão

Para elaboração da primeira proposta de adequação da válvula gaveta foi necessário coletar de dados (Quadro 4) de outra válvula adequada para as novas condições de modo a correlacionar os dados

no *software* MathCad, de licença acadêmica, a válvula escolhida foi uma do mesmo modelo e fabricante, porém com *setup* distinto da válvula inicialmente analisada.

Quadro 4 – Memória de cálculo dos parâmetros da primeira proposta

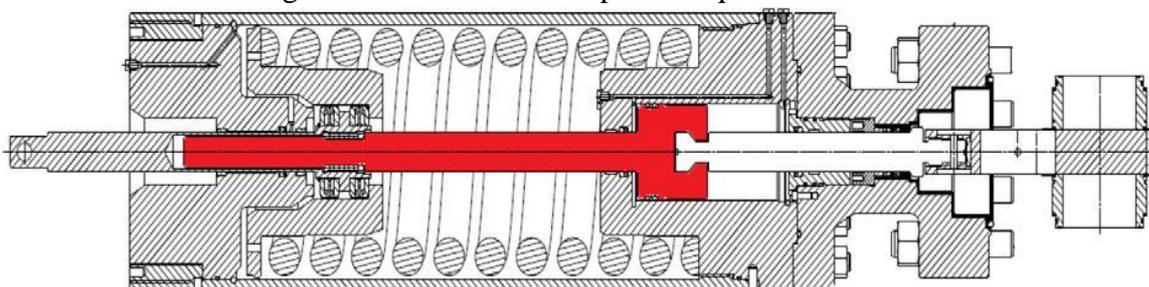
Variável	Abreviatura	Dados
Pressão máxima de controle	PmaxLC	9,3 MPa
Lâmina d'água mínima	WD	300 m
Pressão do fluido de passagem	Pm	20,68 MPa
Tipo de fluido de controle	-	HW-525

Fonte: Autoria própria, (2019)

Diante dos novos parâmetros que irão atuar sob a válvula reprojetaada foi necessário reavaliar a pressão máxima de acionamento da válvula (P_{max}) e a pressão máxima de controle (P_{maxLC}), considerando a pressão máxima de acionamento em 10,34Mpa foi considerado o fator API (90%), obtendo-se o parâmetros de ajuste para a pressão da linha de controle.

Tendo em vista que a pressão da linha de controle é determinada no projeto do sistema, a solução encontrada para a elevação da força de atuação do acionador é incrementar o diâmetro externo do pistão detalhado na Figura 3.

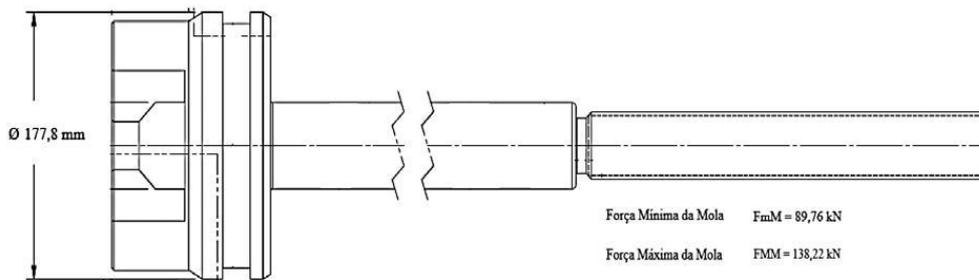
Figura 3 – Detalhe do componente que será alterado



Fonte: Adaptado de Dril-Quip, (2014)

De acordo com as correlações realizadas e considerando que a mola já existente permanecerá a mesma foi determinado o diâmetro externo do pistão de modo que se acomode perfeitamente no corpo do *bonnet* exercendo sua função e atendendo as novas exigências.

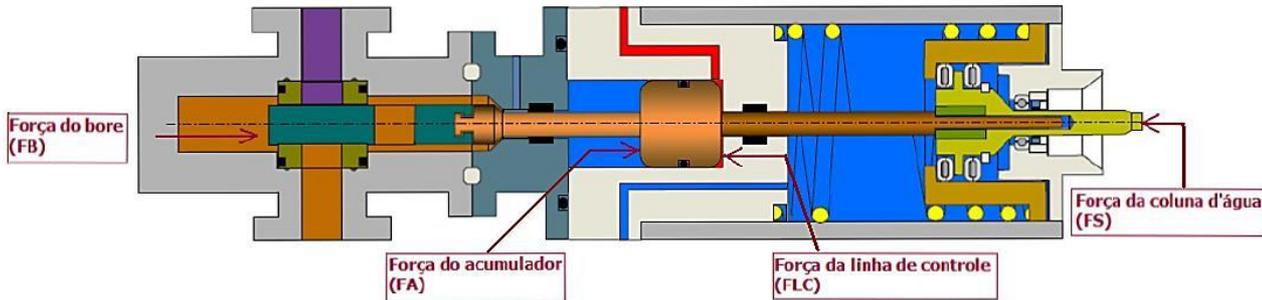
Figura 4 – Detalhe do pistão modificado



Fonte: Adaptado de Dril-Quip, (2014)

A figura 5 apresenta um desenho esquemático do pistão modificado acoplado.

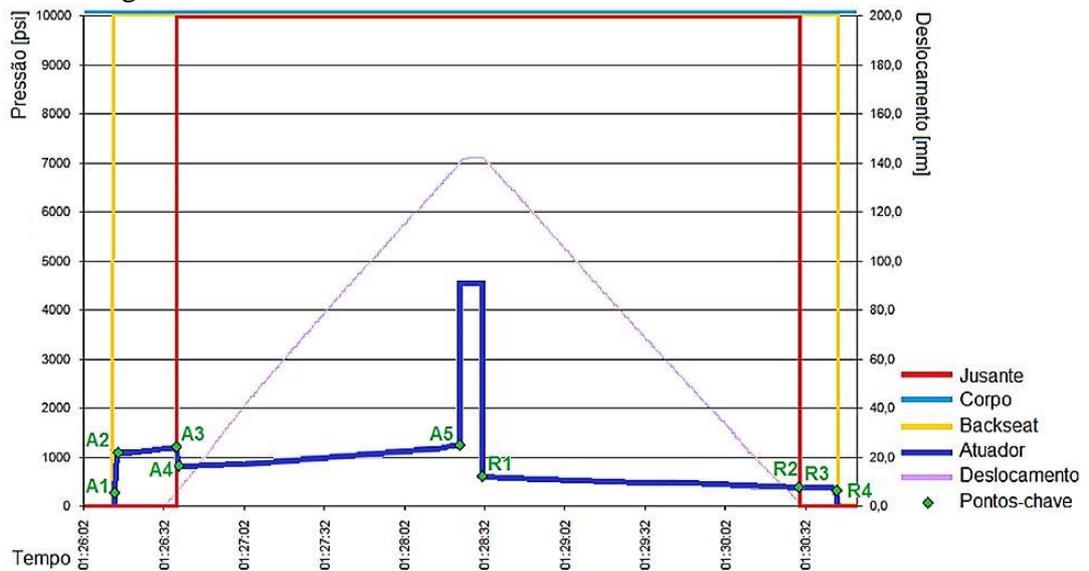
Figura 5 – Detalhe do pistão modificado para atender a proposta



Fonte: Adaptado de Dril-Quip, (2014)

Após o levantamento dos dados relacionados às características físicas e forças atuantes sobre a válvula foi necessário verificar os pontos da curva característica, conforme a figura 6.

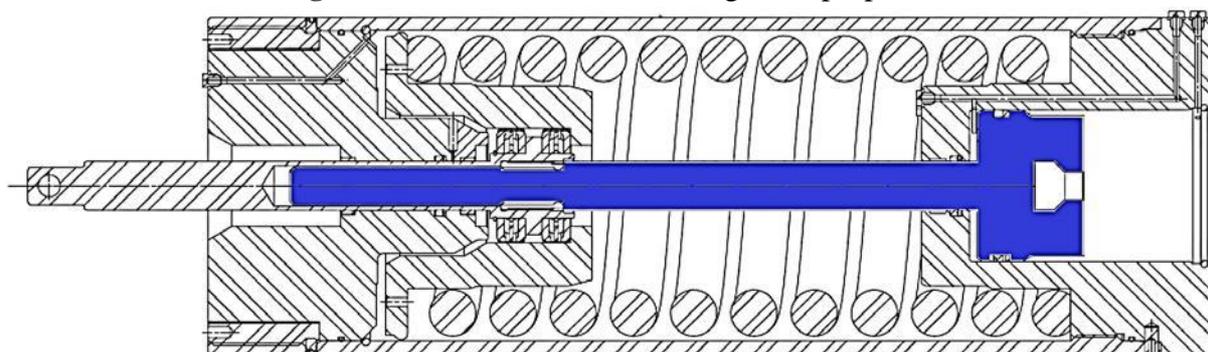
Figura 6 – Curva característica da válvula modificada



Fonte: Autoria própria, (2019)

Nota-se que o valor mínimo da pressão necessária para o retorno do pistão (*back pressure*) é inferior ao valor encontrado no ponto R4 da curva característica evidenciando a efetividade da atuação da válvula. Logo, é possível afirmar que as mudanças propostas atendem as exigências de instalações em lâminas d'água de menor profundidade permitindo a alteração do atuador como ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Atuador modificado seguindo proposta



Fonte: Adaptado de Dril-Quip, (2014)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou realizar um estudo da utilização de uma válvula do tipo gaveta projetada para ser utilizada em poços de petróleo de lâmina d'água profunda em poços produtores de águas rasas por meio da adequação de seus componentes internos, em específico o pistão.

Além da apresentação do cenário da exploração de petróleo no Brasil foram apresentados os diversos tipos de árvores de natal molhadas, assim como os principais componentes que constituem as válvulas do tipo gaveta para posteriormente apresentar o desenvolvimento do estudo.

Com base em folhas de dados, cálculos teóricos e desenhos isométricos foram expostos de forma qualitativa os parâmetros envolvidos na proposta de alteração do pistão de uma válvula gaveta submarina projetada para atuar em lâmina d'água profunda, como referencial foi utilizado os parâmetros de atuação de uma válvula gaveta que atualmente se encontra em uma ANM instalada em um poço produtor com lâmina d'água de 300 metros.

A vantagem em considerar a proposta sugerida é o fato de a implantação das modificações minimizar possíveis impactos nos custos e prazos referentes a compras de novas válvulas possibilitando intercambialidade entre projetos com profundidades distintas. Apesar da proposta sugerida levar em consideração a minimização dos custos não foi possível quantificar o percentual de redução com tais modificações visto estas informações serem de domínio das empresas que adquirem as válvulas objeto deste estudo.

A despeito do demonstrado neste estudo, entende-se como melhor opção a utilização da válvula em sua concepção original uma vez que a API 6D (API, 2015), norma que determina a forma na qual devem ser produzidas as válvulas em todos os seus requisitos e os respectivos critérios de aceitação para indústrias de óleo e gás, orienta o rastreio e certificação de todos os materiais, processos de usinagem, montagem do conjunto, testes de performance e qualificação da válvula, estas condições exigidas pela *American Petroleum Institute* (API) demandaria elevado custo para se estabelecer um

laboratório *offshore* específico para a adequação das válvulas conforme sugerido neste estudo, inviabilizando a concretização do proposto.

Neste estudo não foi considerado o parâmetro da temperatura que a válvula está exposta, como sugestão para futuros trabalhos acadêmicos avaliar a operacionalidade da válvula modificada em diferentes temperaturas de processo.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, D. "Passados 11 anos do anúncio da sua descoberta, o pré-sal já responde por praticamente metade do total de petróleo e gás natural produzido no Brasil". Portal G1 Economia, 23 Dezembro 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/pre-sal-responde-por-quase-metade-do-petroleo-produzido-no-pais-e-fatia-de-estrangeiras-chega-a-33.ghtml>>. Acesso em: 22 out. 2019.

ANTUNES, R. C. F.; ET AL. Sistemas de produção em instalações marítimas. Rio de Janeiro: Apostila do programa de trainees Petrobras, 2003.

API. API SPEC 6D 24TH ed. - *Specification for Pipeline and Piping Valves; Twenty-Fourth Edition; Effective*. [S.l.]: American Petroleum Institute, 2015.

CSUB. *Catalogue subsea products. Arendal, Norway: CSUB Composite Products and Solutions*, 2016.

DRIL-QUIP. *High Performance Gate Valves, Block Valves and Actuators Catalogue (2014)*. Houston, Texas: Dril-Quip, Inc., 2014.

EUTHYMIU, E. J. Metodologia para testes funcionais em válvulas submarinas. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 2001.

GARCIA, J. E. L. *Árvore de natal molhada*. Rio de Janeiro: Apostila da PETROBRAS/E&PBC/GEPRO/GENPO/GOSUP, 1999.

GASPARETTO, D. Projeto e validação de válvulas industriais do tipo esfera com revestimento anticorrosivo orgânico interno. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado UFRGS 95p., 2014.

HERDEIRO, M. A. N. Instalação de sistemas submarinos de produção em áreas remotas. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado COPPE/UFRJ, 1997.

MASHIBA, M. H. S. A influência dos parâmetros de operação e projeto no desempenho de atuação hidráulica de válvulas submarinas do tipo gaveta. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 2011.

MICHAELIS. Dicionário Brasileiro de Língua Portuguesa Michaelis 4 ed. São Paulo: Ed. Melhoramentos, 2016.

MILLIOLLI, V. S. Avaliação da potencialidade da utilização de surfactantes na biorremediação de solo contaminado com hidrocarbonetos de petróleo. Rio de Janeiro: Tese de Doutorado UFRJ, 2009.

- PETROBRAS. Curso de introdução à engenharia submarina. Rio de Janeiro: Universidade Petrobras RH/UP/ECTEP - Petrobras Petróleo Brasileiro S.A., 2010.
- PETROBRAS. *General Presentation for Investor Relations*. Rio de Janeiro: Petrobras Petróleo Brasileiro S.A., 2010.
- PETROBRAS. Nossas reservas provadas em 2018. Fatos e Dados, 28 agosto 2019. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/nossas-reservas-provadas-em-2018.htm>>. Acesso em: 22 out. 2019.
- PETROBRAS. Site institucional, 28 Agosto 2019. Disponível em <<http://www.petrobras.com.br/>>.
- RAGAZZONI, S.; CAMPANELLI, G. *Very large size valves and actuator - design and testing. Rhodes - Greece: International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE) June 17-22, 2012.*
- ROSETTO, D. R. Avaliação da integridade estrutural de projetos de válvulas do tipo trunnion e/ou gaveta utilizadas nas instalações de petróleo. Porto Alegre: Tese de Doutorado UFRGS 177p., 2016.
- SANTOS, M. D. J. R. Análise de Confiabilidade das Principais Válvulas de Controle de uma Árvore de Natal Subsea. Niterói: Universidade Federal Fluminense - UFF, 2017.
- SCHWEITZER, P. A. Handbook of Valves. Chicago: Industrial Press Inc., 1972.
- SOTOMAYOR, H. B. Estudo comparativo entre válvulas hidráulicas. Rio de Janeiro: Projeto de Graduação UFRJ 110p., 2016.
- SOUZA, D. D. Seminário S11 - Complementação de poços: equipamentos de superfície. Campina Grande: Dissertação de Pós Graduação em Engenharia de Materiais UFCG 35p., 2010.
- THOMAS, E. T. Fundamentos da engenharia de petróleo. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.