



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

## ESCOAMENTO BIFÁSICO EM BOMBAS ELÉTRICAS SUBMERSÍVEIS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

*TWO-PHASE FLOW IN SUBMERSIBLE ELECTRIC PUMPS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS*

[Fernando Cyrilo de Oliveira](#)<sup>1\*</sup>, [Marcelo Cardoso dos Reis](#), & [Rodrigo Randow de Freitas](#)<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo.

<sup>1\*</sup> [fernandooliveira541@gmail.com](mailto:fernandooliveira541@gmail.com) <sup>2</sup> [marcelo1017@msn.com](mailto:marcelo1017@msn.com) <sup>3</sup> [rodrigo.r.freitas@ufes.br](mailto:rodrigo.r.freitas@ufes.br)

### ARTIGO INFO.

Recebido em: 30.03.2021

Aprovado em: 27.05.2021

Disponibilizado em: 07.07.2021

#### PALAVRAS-CHAVE:

Escoamento horizontal; Bifásico; Bomba elétrica submersível; ESP.

#### KEYWORDS:

Horizontal flow; Biphasic; Submersible electric pumps; ESP.

\*Autor Correspondente: Oliveira, F. C. de

### RESUMO

Os desafios tecnológicos na produção de petróleo e gás têm aumentado consideravelmente nos últimos anos devido à busca por segurança, redução de custos, otimização da produção e, conseqüentemente, a maximização dos lucros. Como, por exemplo, observa-se um grande número de estudos sobre a garantia de escoamento multifásico, com troca de calor em equipamentos submarinos, onde podem ocorrer diferentes padrões de escoamento. Assim, o presente trabalho buscou realizar uma análise bibliométrica na base SCOPUS®, avaliando o volume de publicações na área e as mais relevantes contribuições acerca do escoamento bifásico em bombas horizontais submersíveis. A pesquisa baseou-se em artigos com o termo “pump horizontal gas liquid ESP (Eletrical Submersible Pump)”. Como resultado, os diversos estudos apontaram significância para o entendimento do tema, sendo que a exploração em offshore em águas profundas faz com que aumente a procura de pesquisa a respeito de bombas submersíveis, como é o caso do S-BCSS.

### ABSTRACT

*The technological challenges in oil and gas production have increased considerably in recent years due to the pursuit of safety, cost reduction and optimization of production, as indicated by the large number of studies on the guarantee of disposal. A major concern is related to the multiphase flow with heat exchange in submarine equipment, where different flow patterns can occur. The present work carried out a bibliometric research in the base SCOPUS®, analyzing the volume of publications in the area and the most relevant contributions about the biphasic flow in submersible horizontal pumps. The research initially looked for articles that contained the words "horizontal pump gas liquid ESP (Eletrical Submersible Pump)", after a refinement, were chosen the 5 most recent articles in the database used.*



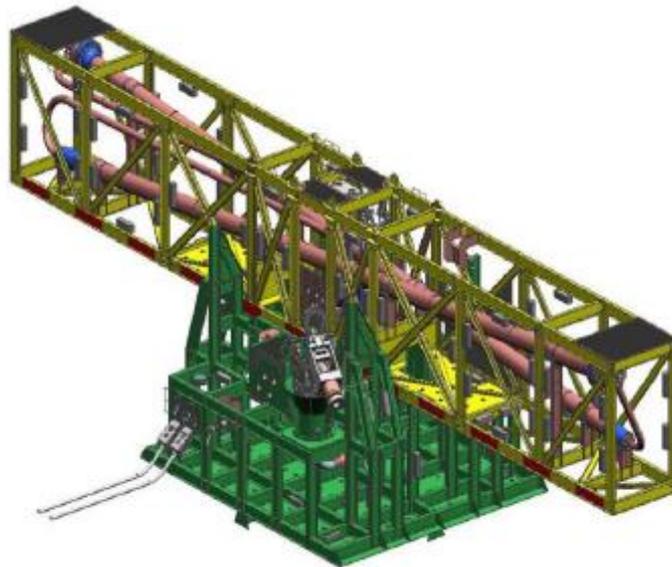
## INTRODUÇÃO

Quando o petróleo, constituído por uma mistura de compostos químicos orgânicos, escoar até a superfície devida unicamente à energia existente no interior da jazida configura o que é denominado poço surgente (Thomas, 2001). Porém, a produção por surgência natural é uma condição que ocorre normalmente no início da vida produtiva (Nunes, 2008). Com o esgotamento da energia do reservatório, ou a redução da vazão de produção a limites antieconômicos, uma energia suplementar é necessária para mobilizar os fluidos do fundo do poço até a superfície. Sendo assim, são utilizados os métodos de elevação artificial para aumentar a produção de petróleo e consequentemente os lucros (Betônico, 2013).

Segundo Betônico (2013), o Bombeio Centrifugo Submerso (BCS) e o Gás-Lift Contínuo (GLC) são os métodos mais utilizados em produção offshore. Em síntese, o BCS consiste em uma bomba localizada no fundo do poço e é acionada por um motor elétrico que, por sua vez, é acionado através de um cabo elétrico que está ligado à superfície (Varon, 2013).

Quando este equipamento é utilizado em poços marinhos seu conceito é chamado de Bombeio Centrifugo Submarino Submerso (BCSS). E quando não é instalado no fundo do poço e há uma configuração horizontal é conhecido de Bombeio Centrifugo Submarino Submerso em skid (S-BCSS), como mostra a Figura 1.

**Figura 1.** Modelo esquemático de um S-BCSS



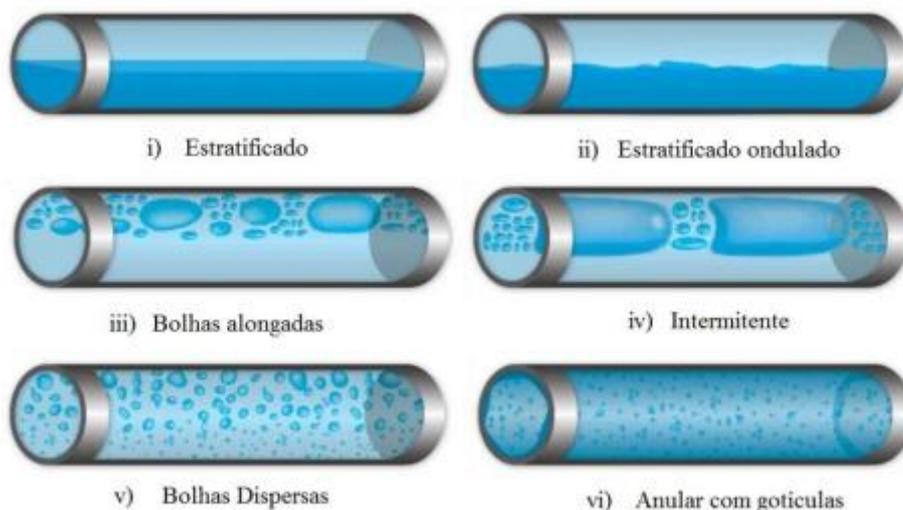
Fonte: Tarcha *et al.* (2015).

Entre os principais desafios desse modelo, está a transferência de calor para o resfriamento do motor e escoamento multifásico, principalmente gás-líquido, no espaço anular motor/tubo. Segundo Wallis (1969), o termo fase se refere ao estado em que uma substância se encontra, podendo ser gás, líquido ou sólido. O termo multifásico se refere ao caso simultâneo entre duas ou mais fases, seja de mesma natureza ou não. Esse escoamento multifásico ocorre com frequência no modelo estudado, e assim é necessário identificar como esse escoamento ocorre principalmente em geometrias horizontais. Bratland (2010) apresenta um esquema



representativo dos padrões de escoamento encontrados em regimes bifásicos (duas fases) em tubos horizontais, conforme observado na Figura 2.

**Figura 2.** Padrões de escoamentos bifásico líquido-gás em tubulações horizontais.



Fonte: Bratland (2010).

Desse modo, este estudo tem o objetivo de fazer uma análise bibliométrica na base SCOPUS® dos estudos mais recentes relacionados a esses desafios do escoamento multifásico que afetam o S-BCSS.

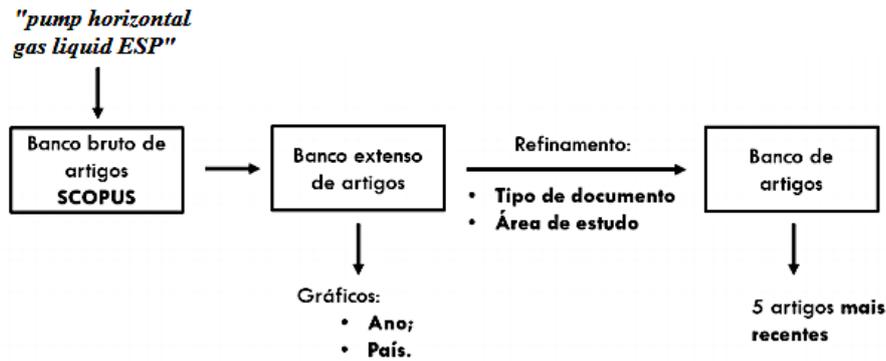
## METODOLOGIA

Para refinar a pesquisa, as primeiras buscas na base de dados SCOPUS® foram através dos termos “*bcss heat transfer*”, “*bcss heat transfer gas liquid*” e “*bcss horizontal gas liquid*”. Entretanto, os resultados não foram expressivos, retornando um número muito baixo de artigos. Desse modo, utilizou-se novos termos de busca, ESP (*Eletrical Submersible Pump*) e escoamento bifásico. A partir dessa consideração, a análise bibliométrica teve como refinamento a busca por trabalhos que apresentassem as palavras “*pump horizontal gas liquid ESP*”, entre os anos 2005 e 2019, espaço temporal total que compreende a base de dados disponível utilizada. Também foi possível determinar os países onde os trabalhos foram publicados e, por serem produtores de petróleo e possuírem vasta experiência na área, aumenta a relevância e confiabilidade dos dados.

Em seguida, os resultados da busca foram analisados para identificar quais trabalhos se alinhavam com a pesquisa. Assim, como uma forma de refinamento, os resultados foram apurados por tipo de documento e área de estudo, sendo que os artigos que se enquadraram na linha de pesquisa foram mantidos para análise, já os que não se enquadraram foram excluídos. Procurou-se, ao fim, selecionar os 5 artigos mais recentes. A Figura 3 demonstra, em síntese, o fluxograma do processo de seleção dos artigos.



**Figura 3.** Fluxograma do processo de seleção dos artigos



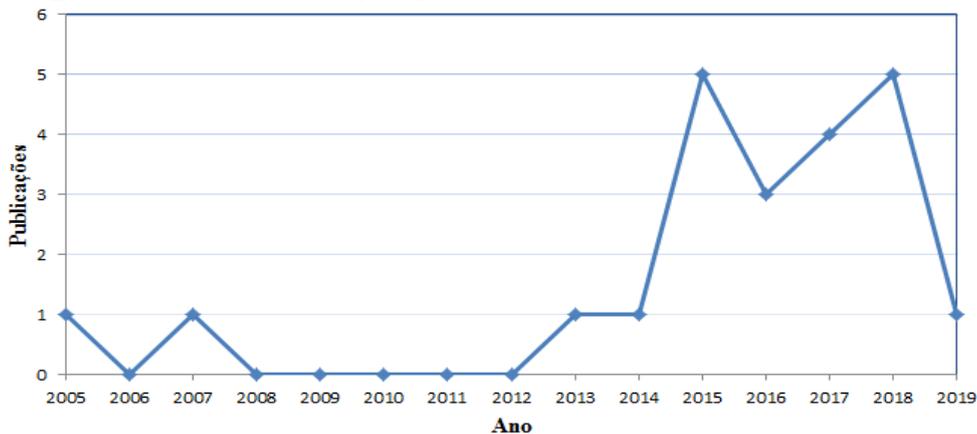
Fonte: Autores (2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mencionado, a busca na base de dados SCOPUS® com os termos de pesquisa “*bcss heat transfer*”, “*bcss heat transfer gas liquid*” e “*bcss horizontal gas liquid*” não gerou nenhum resultado. Assim, ao mudar o foco das buscas para palavras que remetam como esses desafios são tratados, como “*pump horizontal gas liquid ESP*”, foi obtido um banco de dados com 22 documentos.

O primeiro trabalho publicado na área foi em 2005, com o título “*What's new in artificial lift*” de Lea, Winkler e Snyder, que consistiu em apontar os quinze desenvolvimentos recentes em três categorias de tecnologia de elevação artificial, que incluem o bombeio mecânico com hastes, bombeio por cavidade progressiva (BCP) e *plunger lift*. É importante mencionar que fluxos bifásicos gás-líquido podem ser monitorados em caldeiras, reatores nucleares, transporte de petróleo, perfuração, resfriamento eletrônico e vários tipos de reatores químicos.

**Figura 4.** Número de citações por ano – 2005 até o 1º semestre de 2019



Fonte: SCOPUS, modificada pelos autores (2019).

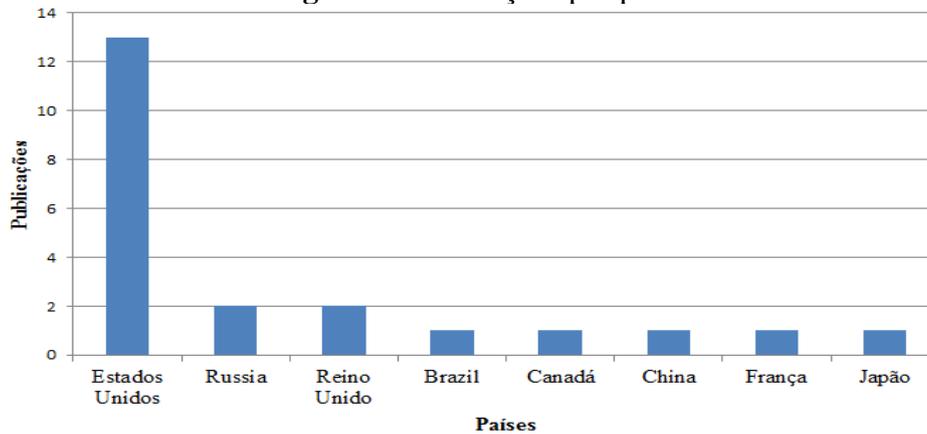
Apesar de algumas oscilações, a Figura 4 mostra um aumento notável no número de publicações acerca do assunto estudado, atingindo valores de pico nos anos de 2015 e 2018, ambos com 5 publicações. Também é importante salientar que a quantidade de citações no ano de 2019 é um valor parcial, pois abrange apenas a informação até o primeiro semestre do ano da pesquisa.

A Figura 5 apresenta a quantidade de publicações por país, até o dia 10 de julho de 2019. Percebe-se que os Estados Unidos é o país com mais trabalhos publicados. Pode-se mencionar



que um dos motivos dessa liderança seria quanto ao início de desenvolvimento de tecnologias específicas offshore (Austin et al., 2004). Com indícios de mudanças no ambiente tecnológico, com o surgimento de atividades e negócios exclusivamente dedicados à exploração offshore. O Brasil tem um número de publicações ainda bem discreto, ao lado de países como Canadá, China, França e Japão.

**Figura 5. Publicações por país**



Fonte: SCOPUS, modificada pelos autores (2019).

A Tabela 1 relaciona os cinco trabalhos mais recentes durante o período estudado disponível na base de dados utilizada, de acordo com seus respectivos títulos, autores e ano de publicação.

**Tabela 1. Dados dos cinco artigos mais recentes.**

	Título	Autores	Ano
1	Single point high pressure gas lift replaces ESP in permian basin pilot test	Pronk, B., Elmer, W., Harms, L., Nelle, W., Hacksma, J.	2019
2	Mechanistic modeling of electrical submersible pump ESP boosting pressure under gassy flow conditions and experimental validation	Jianjun Zhu <i>et al.</i>	2018
3	Experimental study of gas-liquid flow through a multi-stage, mixed-flow electric submersible pump	Dupoiron, M.	2018
4	A mechanistic model to predict flow pattern transitions in electrical submersible pump under gassy flow condition	Zhu, J., Zhang, J., Zhu, H., Zhang, H.-Q.	2018
5	Specifics of oil well operation in the conditions of high free gas content in the production stream	Volkov, M.G., Smolyanec, E.F.	2018

Fonte: SCOPUS, modificada pelos autores (2019).

Ao discorrer sobre os estudos apresentados na Tabela 1 acima, temos o trabalho de Pronk *et al.* (2019), que estuda o gás lift, um método de elevação artificial cada vez mais popular para poços não convencionais horizontais. Uma variação do gás lift é chamada de *Single Point High Pressure Gas Lift* (SPHPGL), conhecida pela ausência de válvulas de gás lift, é agora praticada devido à disponibilidade de equipamento de compressão de alta pressão de descarga. Este método de elevação foi uma alternativa competitiva às bombas elétricas submersíveis propensas a falhas, que são frequentemente usadas no início da vida útil dos poços horizontais para



produzir em altas taxas. Os autores forneceram a Análise de Sistemas da Nodal para apoiar essa afirmação, mas faltavam dados reais dos testes de campo, então os autores apelaram à indústria para implementar e aperfeiçoar essa tecnologia "não nova", mas oportuna.

Como um método de elevação artificial para a produção de óleo de alto fluxo, o desempenho de bombas elétricas submersíveis (ESP) é prejudicado com o aparecimento de gás, um fenômeno frequentemente encontrado em ESPs. Quando ocorre, os ESPs podem sofrer degradação moderada ou grave da cabeça acompanhada de redução da taxa de produção, bloqueio de gás e instabilidades de fluxo. Esse é o tema do trabalho de Jiecheng et. al. (2018). Para o projeto e a operação de um sistema de produção baseado em ESP, o modelo preciso é necessário para prever a pressão de reforço de ESP sob condições de fluxo gasoso. Neste estudo, um modelo mecanicista simplificado foi proposto para modelar o fluxo de gás-líquido dentro de um ESP rotativo. O modelo não apenas mapeia padrões de fluxo em ESPs, mas também captura as características de fluxo multifásico em termos de fração vazia de gás *in situ*, pressão de reforço, tamanho de bolha e outros parâmetros.

Já Dupoiron (2018) estuda as técnicas de velocimetria laser Doppler (LDV) e de alta velocidade, além de utilizar em um modelo transparente de uma bomba submersível comercial (ESP) de quatro estágios para caracterizar o fluxo através de uma faixa de frações de volume de gás de entrada de 0 a 30%. As medições demonstraram a presença de altos níveis de turbulência na esteira das pás do propulsor e as células de recirculação a baixas taxas de fluxo. Em condições gás-líquido, o tamanho da bolha variou dentro de um estágio de bombeamento, uma vez que a quebra ocorreu na ponta do rotor, e a coalescência foi dominante no difusor, especialmente em baixas vazões devido à recirculação.

O trabalho de Zhu *et. al.* (2018) também trata o arrastamento de gases que é frequentemente encontrado na bomba elétrica submersa. Quando isso ocorre, o ESP diminui o seu desempenho, dependendo da fração volumétrica do gás de entrada (GVF). O aumento de pressão resultante pode causar vibrações e curta vida útil dos ESPs. Para um melhor design do sistema ESP, é necessário um modelo mecanicista para prever com precisão seu desempenho com o fluxo gás-líquido. Semelhante à modelagem de fluxo de tubo multifásico, a identificação e classificação do padrão de fluxo dentro de um ESP rotacional é, portanto, de grande importância. Neste artigo, foi proposto um novo modelo mecanístico para mapear padrões de fluxo em ESP operados sob condições de fluxo gasoso. O modelo é validado por comparação com resultados experimentais com boa concordância. Para o fluxo bifásico, o incremento de pressão da ESP sofre de degradação mais severa à medida que o fluxo do gás aumenta. Com as curvas de desempenho obtidas em testes de surging ou mapeamento, padrões de fluxo ESP, incluindo fluxo de bolha dispersa, fluxo borbulhante, fluxo intermitente e fluxo segregado foram identificados.

O trabalho de Volkov (2018) retrata que uma variedade de características estruturais geológicas e físicas das reservas de petróleo e gás em desenvolvimento e as propriedades dos fluidos produzidos predeterminam a necessidade de aplicar abordagens individuais para resolver os problemas de melhoria da eficiência operacional dos poços em condições difíceis. Atualmente, as tarefas de estudo integrado de múltiplos fatores dos processos de movimentação de misturas



Citação (APA): Oliveira, F. C. de, Reis, M. C. dos, & Freitas, R. R. de. (2021). escoamento bifásico em bombas elétricas submersíveis: uma análise bibliométrica. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(3), 13-20.

gasosas e líquidas no fundo do poço - bomba - sistema de poço são relevantes para prever a intensidade das dificuldades na produção de petróleo e otimizar as condições de operação do equipamento de bombeamento submerso.

De acordo com Benthier (2014), pode-se dizer que a queda na pressão do fundo do poço abaixo da pressão do ponto de bolha de óleo, que é forçada a manter a taxa de recuperação de óleo necessária, garante que uma grande quantidade de gás livre entre poços direcionais e horizontais com o líquido. Assim, as diferenças significativas nas propriedades dos reservatórios e dos fluidos de formação determinam a necessidade de selecionar as condições ótimas de operação do poço, considerando as especificidades do movimento das misturas gás e líquido nos elementos atuantes das bombas e tubulações e a intensidade dos fatores complicadores que ocorrem devido ao aumento do teor de gás livre no fluido produzido. Além de ser uma dificuldade por si só, uma alta razão gás-óleo contribui para a ocorrência de dificuldades associadas, como a sedimentação de sais inorgânicos, parafina, asfalto, substâncias de resina e sólidos.

## CONCLUSÃO

A análise bibliométrica realizada permitiu localizar, em forma de artigos científicos, os avanços mais recentes no estudo de escoamento bifásico em bombas elétricas submersíveis. Como mostrado no trabalho e evidenciado na Figura 4, este tema começou a se destacar por volta de 2005, tendo um crescimento mais acentuado em 2015, provocado pelo interesse do governo dos Estados Unidos em investir em tecnologias específicas offshore, implicando diretamente em mudanças no ambiente tecnológico.

Os trabalhos revisados mostraram a necessidade de um melhor entendimento sobre a temática e que serão relevantes para estudos a serem realizados, já que, a partir deles, pode-se observar o que de mais recente foi publicado na área.

Por fim, a exploração offshore em águas profundas faz com que aumente a procura de pesquisas a respeito de bombas submersíveis, como é o caso do S-BCSS. A quantidade de gás presente nessas bombas torna o tema interessante para pesquisa, uma vez que esse gás deve ter uma presença mínima, pois ele é extremamente prejudicial a bomba.

## REFERÊNCIAS

Austin, D. B., Carriker, T., Mcguire J., Pratt, T., Priest, A. G. (2004). History of the offshore oil and gas industry in southern Louisiana: interim report. *Papers on the evolving offshore industry*. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, Nova Orleans, L.A., v. 1, 98p.

Benthier, A. D. (2014). *Análise do comportamento das curvas de pressão requerida na produção de poços de petróleo*. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Betônico, G. C. (2013). *Estudo da distribuição de temperatura em motores de bombas centrífugas submersas*. (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

Bratland, Ove. (2010). *Pipe Flow 2 Multi-Phase Flow Assurance*, Norway.



Citação (APA): Oliveira, F. C. de, Reis, M. C. dos, & Freitas, R. R. de. (2021). escoamento bifásico em bombas elétricas submersíveis: uma análise bibliométrica. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(3), 13-20.

Dupoiron, M. (2018). *Experimental Study of Gas-Liquid Flow Through a Multi-Stage, Mixed-Flow Electric Submersible Pump*. Montreal, Quebec, Canada. V003T12A005. 10.1115/FEDSM2018-83032.

Nunes, J. S. (2008). *Estudos, Modelagem e Simulação de Instalações de Produção de Petróleo no Simulador Pipesim com Ênfase na Otimização de "Gas-Lift" Contínuo*. (Projeto de Graduação). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

Osgouei, R. E., Ozbayoglu, E. M., Ozbayoglu, M. A., Yuksel, E. (2010, January). Flow Pattern Identification Of Gas-Liquid Flow Through Horizontal Annular Geometries. *Paper presented at the SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition, Mumbai, India*. doi: <https://doi.org/10.2118/129123-MS>.

Pronk, B., Elmer, W., Harms, L., Nelle, W., & Hacksma, J. (2019). Single Point High Pressure Gas Lift Replaces ESP in Permian Basin Pilot Test. *Society of Petroleum Engineers*. doi:10.2118/195180-MS.

Tarcha, B. A.; Borges, O. C., & Furtado, R. G. (2015). ESP Installed In a Subsea Skid at Jubarte Field. *SPE Artificial Lift Conference*. Latin America and Caribbean, Salvador, Bahia, Brazil. doi: <https://doi.org/10.2118/173931-MS>

Thomas, J. E. (2001). *Fundamentos De Engenharia De Petróleo* (2ª ed.). Rio de Janeiro: Editora Interciência.

Varon, M. P. (2013). *Estudo de uma bomba centrífuga submersa (BCS) com medidor de vazão*. (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

Volkov M.G., & Smolyanec E.F. (2018). *Specifics Of Oil Well Operation In The Conditions Of High Free Gas Content In The Production Stream*. Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry. Volume 11, Pg. 120-124.

Wicks, M., & Dukler, A.E. (1960). Entrainment and pressure drop in concurrent gas - liquid flow: I. Air - water in horizontal flow. *Aiche Journal*, 6, 463-468.

Zhu, J., Wang, Z., Zhu, H., Cuamatzi-Melendez, R., Martinez-Farfan, J. A., Jiecheng, Z., & Zhang, H.-Q. (2018). Mechanistic Modeling of Electrical Submersible Pump ESP Boosting Pressure Under Gassy Flow Conditions and Experimental Validation. *Society of Petroleum Engineers*. doi:10.2118/191638-MS.

Zhu, J., Zhang, J., Zhu, H., & Zhang, H.-Q. (2018). A Mechanistic Model to Predict Flow Pattern Transitions in Electrical Submersible Pump under Gassy Flow Condition. *Society of Petroleum Engineers*. doi:10.2118/190927-MS.

