

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



ANÁLISE DA GEOMETRIA DO DIFUSOR EM EJETORES DE SUPERFÍCIE INSTALADOS EM POÇOS DE PETRÓLEO

Neyla Karolinne Laurentino Varela e Lindemberg Jesus Nogueira Duarte

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

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 9º PDPETRO.

ANÁLISE DA GEOMETRIA DO DIFUSOR EM EJETORES DE SUPERFÍCIE INSTALADOS EM POÇOS DE PETRÓLEO

Abstract

Ejectors are equipment that operate using kinetic energy of a moving fluid generated due to its high speed to pump a secondary fluid. At the depth of some wells such as, for example, those using pumped artificial elevation methods, gas separators are placed to guide them to the annulus in order to reduce the damage that gas can cause. From there, comes a new problem which can also be derived from a high gas-liquid ratio (GLR), the accumulation of gas in the annulus, increasing flow pressure of the reservoir, and consequently decreasing production of the well. One way to reduce this problem is to attach the casing to the flow line through a check valve. This valve operates through differential pressure, allowing passage only in the direction casing-flow line, which occurs when the line pressure is lower than that of the annulus. For cases where the flow line pressure is equal to or greater than that of the annulus, it's possible to connect an ejector to the well head, increasing their production due to realization of the trapped gas absorption in the annulus that causes the reduction in casing pressure. The software WHE design of oil-gas ejectors, assisted in the geometry for use of simulation in CFX in the analysis of the best angle of diffuser inclination and, consequently, its length, without changing the diameter of the throat and the diffuser's output diameter. It was concluded that, through the analysis of the behavior of the gas volume fraction, the flow lines and the pressure and velocity graphs along the ejector, the best behavior was the simulation with the lowest divergence angle of the diffuser.

Keywords: Ejector, CFX, design, angle, diffuser.

Introdução

Os métodos que utilizam sistema de bombeio têm diminuição da eficiência da bomba devido à presença de gás em sua sucção. Parte deste gás, que pode ser oriundo do próprio petróleo ou de projetos de injeção de vapor, é redirecionado para o anular através da ação de separadores de gás instalados na sucção das bombas. O espaço anular é, então, conectado à linha de surgência através de uma válvula de retenção, que permite o fluxo apenas no sentido anular-linha, o que ocorrerá sempre que a pressão do revestimento for superior à da linha. No entanto, em várias situações práticas, a pressão de linha é alta, fazendo com que a válvula de retenção não abra (ou abra apenas quando a pressão de revestimento for muito alta) e o gás fique aprisionado. Este fato acarreta então em um aumento da pressão de revestimento, que acaba por reduzir a vazão de produção entregue ao poço devido à maior contrapressão imposta ao reservatório.

Para essas situações, pode ser implementado um ejedor que tem finalidade de reduzir a pressão de revestimento através da sucção do gás com o uso da energia cinética da própria produção do poço, resultando em um baixo custo. Os ejedores são bastantes confiáveis e adaptáveis devido a sua estrutura não possuir partes móveis e, por isso, é possível a passagem de fluidos com partículas, além da passagem de grandes volumes de gases com partículas parcialmente pequenas, caso contrário, as partes móveis poderiam ser facilmente erodidas, degradadas ou poderia ocorrer golfadas (LIAO, 2008). Eles operam com diversos tipos de fluídos, possibilitam instalações em áreas remotas ou inacessíveis, são compactos, de fácil construção e necessitam de pouca manutenção em uma longa vida útil, diminuindo o custo da operação e, portanto, são muito utilizados (CUNNINGHAM, 1974)

A instalação do ejedor deverá ser próxima à cabeça do poço para retirar o gás do anular, diminuindo a contrapressão exercida pelo gás subsistente e, então, melhorando a produção do poço. Esse estudo está fundamentado no modelo mais comum para aplicações de ejedores líquido-gás, o qual é composto por quatro seções principais: o bocal, a câmara de sucção, a garganta (também chamada de câmara de mistura) e o difusor.

A utilização da ferramenta *CFX*, da ANSYS, possibilita uma análise da melhor geometria, modelagem e refinamento de ejetores de superfície que serão instalados em poços de petróleo. Além disso, o *software* *WHE* que busca definir o melhor dimensionamento de ejetores, ajudou a definir a melhor obtenção de parâmetros geométricos para o ejetor estudado através da inclusão de alguns dados como pressão e vazão de entrada e de sucção, entre outros (ALVARES, 2015 ; QUEIROZ, 2016 ; CHAGAS, 2016).

Esse trabalho tem como objetivo a utilização da ferramenta *CFX* para o estudo do desempenho de ejetores de superfície utilizados em poços de petróleo que possuem alta quantidade de gás acumulado no anular, seja pela injeção de vapor ou pela alta razão gás-líquido (RGL), visando melhorar sua produtividade com menos recursos financeiros, assim como melhorar o desempenho energético dos métodos de elevação, através da análise das dimensões e comparação dos resultados.

Metodologia

O *software* (*WHE*) é um e implementado na plataforma *Visual Basic* (*VB*) para dimensionamento e análise de performance de um ejetor a partir da utilização de equações de transporte aplicadas a ele (CHAGAS, 2016). O *software* possui dois módulos, Dimensionador e Performance, e recebe dados de entrada que reflete o estado do ejetor, retornando as suas dimensões apropriadas e sua eficiência.

A *CFX* é uma ferramenta de *software* de alto desempenho de Dinâmica de Fluidos Computacional (*CFD*), que proporciona rápida e robusta soluções confiáveis e precisas em uma ampla gama de *CFD* e aplicações mult-física. Essa ferramenta pertence à empresa de *software* especializada na simulação digital, *Ansys*, Inc, e é reconhecida pela sua excelente precisão, robustez e velocidade com máquinas rotativas (ANSYS, 2009; ANSYS, 2016). Ela é selecionada a partir da plataforma conhecida como *Workbench*, que contém todas as ferramentas disponibilizadas pela empresa.

Para esse trabalho, foram simulados 5 casos com ângulos de divergência baseados na literatura sugerida. Assim, a Tabela 1 mostra os ângulos de divergência do difusor simulados nesse trabalho e a relação do comprimento com o diâmetro da garganta. O diâmetro da garganta utilizado, como já mencionado, foi de 0,32 in, equivalente a 0,8128 cm.

Tabela 1 - Parâmetros de simulação

Simulação	Ângulo (graus)	Comprimento do difusor (cm)	Relação do comprimento com o diâmetro da garganta
1	3	66,592	$\approx 81,93 \times dg$
2	5	40,000	$\approx 49,21 \times dg$
3	8	24,832	$\approx 30,55 \times dg$
4	10	19,793	$\approx 24,35 \times dg$
5	14	13,997	$\approx 17,22 \times dg$

Na Tabela 1 é possível observar que a relação do comprimento do difusor com o diâmetro da garganta não encontra-se conforme a literatura mencionada anteriormente. Isso ocorreu devido a não alteração dos diâmetros da saída da garganta e da saída do difusor, assim, foi modificado para análise apenas o ângulo de divergência do difusor. Dessa forma, a partir da alteração da angulação, o comprimento também foi alterado. A Figura 1 representa a geometria dos casos simulados na *CFX*.

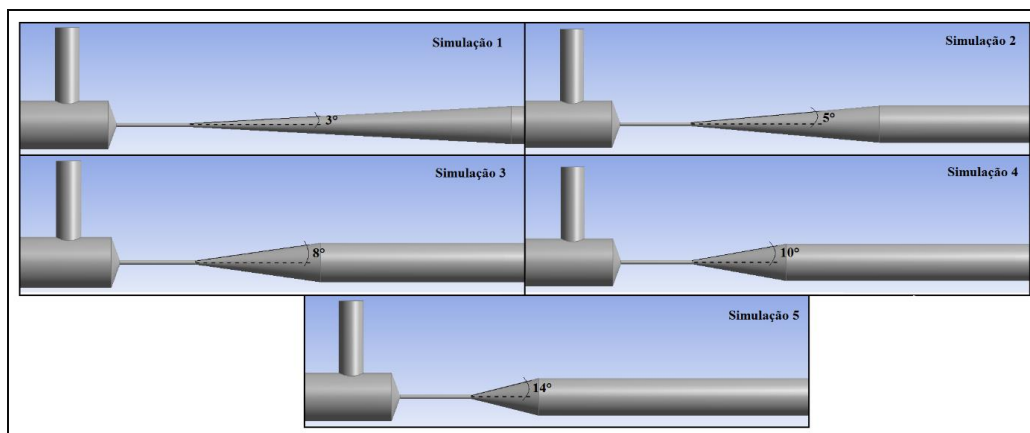


Figura 1 - Geometria dos casos simulados na CFX

Resultados e Discussão

Na Figura 2 é demonstrado o resultado do comportamento da pressão através de gráficos gerados nas simulações realizadas.

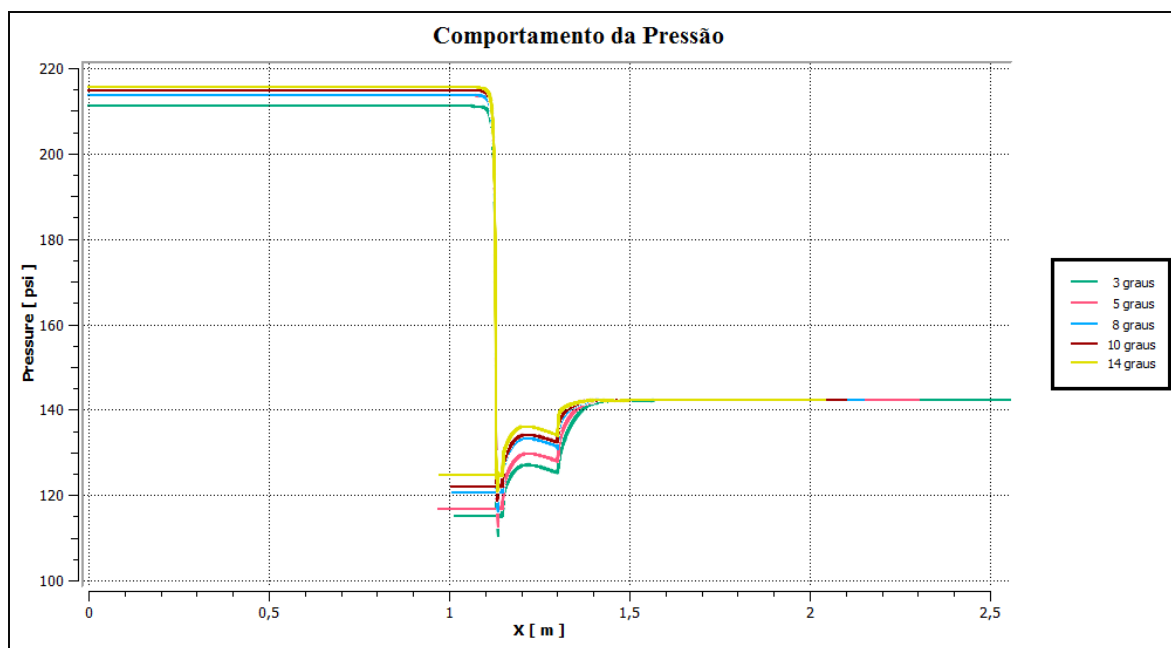


Figura 2 - Comparativo das pressões de todas as simulações

Como pode ser observado na Figura 2, todos os gráficos de pressão gerados nas simulações se comportaram conforme a teoria. Primeiramente, todos obtiveram uma pressão inicial elevada que, ao passar pelo bocal, foi reduzindo até a saída do bocal devido à alta velocidade do fluido motriz. A pressão de sucção manteve-se constante até o encontro do gás com o fluido motriz na saída do bocal. A alta velocidade presente gerou uma queda de pressão fazendo com que o gás fosse succionado, arrastando-os para a garganta.

Na garganta já ocorre uma recuperação da pressão e também perda de carga devido a sua reduzida seção transversal. Já no difusor, ocorre ainda mais um ganho de pressão, devido ao aumento da área, gerando uma diminuição na velocidade e, conseqüentemente, um aumento da pressão. Assim, todos os casos simulados, ao final, possuem uma pressão de saída definida como uma condição de contorno de 142,2 psi.

Na Tabela 2 é possível verificar que o ejetor com 3 graus de divergência no difusor possui uma menor pressão de sucção do que os demais e o ejetor com 14 graus de divergência no difusor apresenta uma maior pressão de sucção. Também pode ser verificado que a pressão na entrada do bocal do ejetor com 3 graus também é a menor de todas. Essa pressão vai aumentando a medida em que ocorre o aumento da angulação. Como a pressão de saída do difusor é equivalente para todas as simulações, o ejetor de 14°, depois da perda de pressão, teve uma recuperação de pressão mais rápida até o difusor, porém, não melhor, já que possui uma pressão de entrada do bocal e de sucção maior que os demais ângulos, e devido a isso, succionando menos gás para a câmara de sucção.

Tabela 2 - Valores das pressões em função do ângulo do difusor.

Variáveis	3 graus	5 graus	8 graus	10 graus	14 graus
P_{pi} (psi)	≈ 211,5	≈ 213,5	≈ 213,5	≈ 215,0	≈ 216,0
P_s (psi)	≈ 115,0	≈ 117,0	≈ 121,0	≈ 122,5	≈ 125,0
P_d (psi)	142,2	142,2	142,2	142,2	142,2
P_m (psi)	≈ 125,5	≈ 127,5	≈ 121,0	≈ 132,5	≈ 134,0
P_{p1} (psi)	≈ 111,0	≈ 112,5	≈ 116,5	≈ 118,5	≈ 121,0
$\Delta P_d / \Delta P_{pi}$	0,28187	0,26114	0,22919	0,21297	0,18901

A Figura 3 representa o comportamento da fração volumétrica de gás durante o ejetor nas simulações realizada.

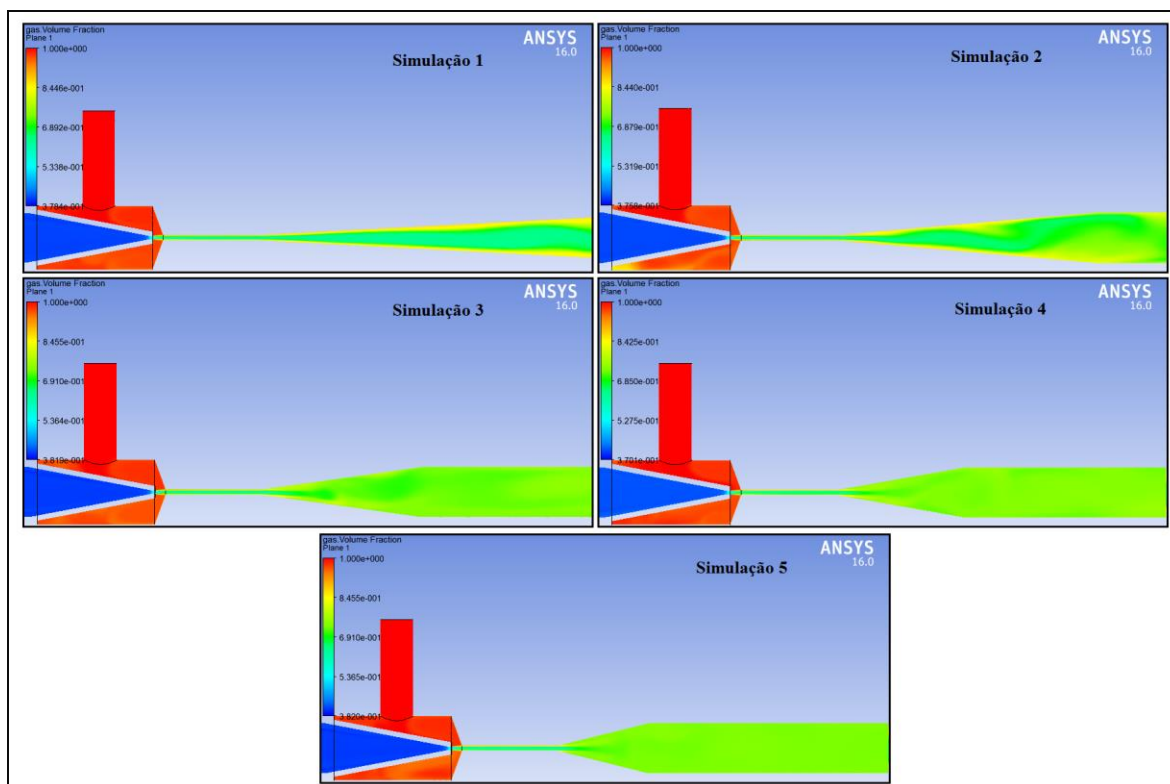


Figura 3 - Comportamento da fração volumétrica de gás nas simulações realizadas

Na Figura 3 é possível notar uma diferença entre a fração volumétrica de gás nas câmaras de sucção das simulações 2, 3, 4 e 5. Isso significa que nessas simulações, principalmente na simulação 2, existe algum acúmulo de líquido. Já na câmara de sucção da simulação 1, quase não possui líquidos acumulados, ou seja, apresentam valores próximos dos 100% de gás definidos como condição de contorno da câmara de sucção. Na saída do bocal é possível verificar, em todas as simulações, um equilíbrio na fração volumétrica de gás devido ao encontro do fluido motriz com o fluido secundário e, então, seguindo para a garganta.

Na garganta, é notado o acúmulo de gás nas paredes e os líquidos concentrados no centro, representando o regime de fluxo a jato. Também é possível perceber que em todas as simulações ocorreu a mistura na garganta. O regime a jato entra em transição ainda no difusor, como pode ser observado na Figura 3, porém nas simulações 4 e 5, ele tende a se estabilizar. Já nas demais simulações, essa estabilidade ocorre após o difusor e ainda apresenta concentrações localizadas de gás.

A Figura 4 mostra o comportamento das linhas de fluxo ao longo do ejetor nas simulações realizadas.

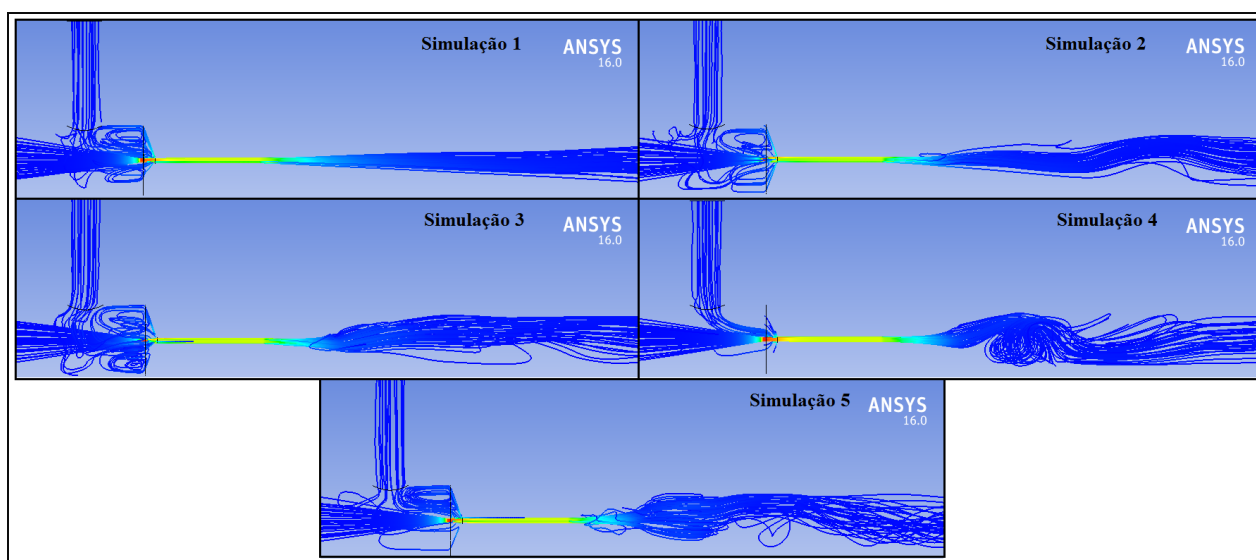


Figura 4- Comportamento das linhas de fluxo nas simulações realizadas

Como pode ser observado na Figura 4, na câmara de sucção das simulações 1, 2, 3 e 5, as linhas de fluxo do fluido succionado apresentam um padrão circular, dessa forma, o fluido encontra-se em um escoamento giratório, também conhecido como vórtex ou vórtice. Esses vórtices podem ser explicados devido a diferença de pressão das regiões vizinhas, dessa maneira, o fluido tende a equilibrar o sistema e fluir mudando a direção original do escoamento.

Já as linhas de fluxo da câmara de sucção da simulação 5 não formatam vórtex, porém, foram formados no difusor. Isso ocorreu, provavelmente, devido ao pequeno comprimento do difusor unido com uma maior pressão e menor velocidade, dificultando o escoamento do fluxo turbulento de fluidos misturados da garganta ao longo do percurso do difusor para comprimir os fluidos misturados à pressão ambiente na saída do difusor.

As simulações 1, 2 e 3, exibiram um melhor comportamento nas linhas de fluxo no difusor, provavelmente, devido ao comprimento maior do difusor, fazendo com que o fluxo escoasse de forma mais contínua.

Conclusões

Nesse trabalho foi desenvolvida uma análise da geometria do difusor em ejetores de superfície instalados em poços de petróleo. Essa análise foi baseada em resultados obtidos na ferramenta CFX, que apresentou resultados satisfatórios para a interpretação sobre o comportamento do ejetor.

Durante a avaliação da pressão, foi possível concluir que todas as simulações demonstraram estar conforme a teoria. Também foi possível concluir que a medida em que o ângulo de divergência do difusor aumenta, maior é a pressão na entrada do bocal, de sucção e da saída do bocal, e menor é a queda de pressão relativa. Tendo em vista que é necessário uma menor pressão na entrada e saída do bocal e de sucção para succionar uma maior quantidade de gás e uma maior queda de pressão relativa para uma menor perda de carga e maior recuperação de pressão no difusor aumentando a eficiência energética do difusor, conclui-se que os ejetores com menores angulações de divergência, 3, 5 e 8 graus, obtiveram melhor comportamento da pressão.

Na análise da fração volumétrica de gás, conclui-se que nas simulações 2, 3 e 5 ainda existe um acúmulo de líquido na câmara de sucção, isso ocorreu, provavelmente, devido à pressão de sucção ser maior e uma menor velocidade na saída do bocal, fazendo com que o líquido não seja completamente arrastado para a garganta junto com o gás.

A análise do comportamento das linhas de fluxo ao longo do ejetor permitiu concluir que quanto maior o ângulo de divergência do difusor mais desorganizadas são as linhas, criando vórtex, e dificultando o escoamento do fluxo turbulento. Porém, ainda existem movimentos giratórios na câmara de sucção.

Por fim, conclui-se que quanto menor o ângulo de divergência do difusor, melhor é o comportamento dos fluidos ao longo do ejetor, tendo em vista que os diâmetros de saída da garganta e do difusor não foram modificados. Assim, as simulações de 3 e 5 graus possuíram melhores comportamentos, porém, a simulação de 5° apresentou acúmulo de líquido na câmara de sucção, concluindo que o melhor ângulo de divergência apresentado foi o de 3 graus.

Agradecimentos

À Petrobras.

Referências Bibliográficas

ÁLVARES, K. C. M. **Análise da Performance de Ejetores Instalados em Poços de Petróleo**. Dez. 2015, 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

ANSYS, Inc. **ANSYS CFX**. Disponível em <<http://resource.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics/Fluid+Dynamics+Products/ANSYS+CFX>>. Acesso em 02/10/2016.

ANSYS. **ANSYS CFX - Solver Theory Guide**. Canonsburg, Pennsylvania: ANSYS, Inc., Release 12.1, Nov. 2009a. 254 p.

CHAGAS, K. W. **Validação e análise de modelo de ejetor para despressurização do anular de poços produtores**. 2016. 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

CUNNINGHAM, R. G. **Gas Compression with the Liquid Jet Pump**. Journal of Fluids Engineering. [S.l.]: ASME, v. 96, 3. ed., p. 203-215, Sept. 1974a.

CUNNINGHAM, R. G.; DOPKIN, R. J. *Jet Breakup and Mixing Throat Lengths for the Liquid Jet Gas Pump*. Journal of Fluids Engineering. [S.l.]: ASME, v. 96, 3. ed., p. 216-226, Sept. 1974b.

DROZDOV et al. *Stand Research and Analysis of Liquid-Gas Jet-Pump's Operation Characteristics for Oil and Gas Production*. Denver, Colorado: SPE 146638, 2011. 9 p.

ENGINEERING SCIENCES DATA UNIT. *Ejectors and Jet Pumps – Design and Performance for Incompressible Liquid Flow*. [S.l.]: ESDU 85032. Dec. 1985. 101 p.

JOHANNESSEN N. H., *Ejector Theory and Experiments*. Danish Accademic of Tech. Sci.. Transactions of the ATS, (1951), No. 1, Copenhagen.

KASTNER L. J. and SPOONER J. R., *An Investigation of the Performance and Design of the Air Ejector Employing Low-Pressure Air as the Driving Fluid*. Proc. of the Inst. of Mech. Eng., (1950), Vol. 162, 149-159.

LIAO C. *Gas Ejector Modeling for Design and Analysis*. Dec. 2008, 269p. Dissertation (Doctor of Philosophy) - Texas A&M University, College Station, 2008

QUEIRÓZ, C. D. de O. **Desenvolvimento de uma Ferramenta Computacional para o Dimensionamento de Ejetores Acoplados à Cabeça de Poço**. Mai. 2015, 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

WITTE, J. H. *Mixing Shocks and their Influence on the Design of Liquid-Gas Ejectors*. Dec, 1962, 111 p. Doctoral Thesis (Engineering Science) – Department of Mechanical Engineer, Technical University of Breda. Breda, Netherlands, 1962.