



## PROTÓTIPO: SEPARADOR TRIFÁSICO HORIZONTAL

**Resumo:** *Com o avanço do uso dos combustíveis fósseis como fonte energética, avanços tecnológicos estão sendo acrescentados à essa área. Por ser considerado uma mistura oleosa e raramente produzido como fluido homogêneo, o petróleo necessita passar por procedimentos de separação e refinamento até chegar a produtos de valor comercial. Este trabalho tem por objetivo demonstrar o processo de construção de um separador trifásico onde numa instalação de processamento primário de fluidos o gás, por ser menos denso, é inicialmente separado do líquido por ação da gravidade em equipamentos denominados separadores. O separador trifásico construído é dotado de vários dispositivos internos para aumentar a eficiência de separação. A pressão no separador é mantida por um controlador que atua regulando o fluxo de saída do gás na parte superior. O líquido separado deixa o vaso através de uma válvula de descarga, cuja abertura ou fechamento é efetuado através de um controlador de nível. Por apresentar uma maior área superficial de interface permitindo uma melhor separação líquido/gás e gás/líquido e juntamente com um controle automatizado desenvolvido pela equipe, o separador construído se demonstrou funcional, promovendo uma melhor separação de dois líquidos imiscíveis, em comparação com a separação de líquido/gás presente na injeção desses fluidos no sistema.*

**Palavras-chaves:** *Separador trifásico, Gás, Petróleo, Protótipo.*

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



**UNISOCIESC**  
Educação e Tecnologia

Promoção



**ABENGE**  
Associação Brasileira de Educação em Engenharia



## 1. INTRODUÇÃO

O petróleo é considerado uma mistura oleosa e raramente é produzido como fluido homogêneo, necessitando passar por processos de separação e refinamento até os produtos de valor econômico, óleo e gás.

A primeira etapa de separação é realizada na planta de processamento primário de petróleo que consiste em equipamentos que buscam atender as especificações do mercado. Dentre esses equipamentos, o vaso separador é responsável pela separação das fases do fluido produzido e é classificado quanto à posição, horizontal ou vertical, e quanto ao número de fases, bifásico ou trifásico.

Os separadores verticais são recomendados quando há grande razão gás-líquido, pois toda a área da seção transversal do vaso está disponível para o escoamento do vapor. Estes separadores são mais apropriados para um maior controle do nível da fase líquida e conseqüentemente abranger o menor espaço possível na planta. É importante salientar que este tipo de separador possui uma geometria que facilita a retirada de sólidos produzidos, diferente dos separadores horizontais, os quais são preferíveis quando a vazão de líquido apresenta-se elevada, pois para um mesmo volume de líquido, estes fornecem uma maior superfície de contato entre os fluidos, favorecendo a separação das fases. Em relação aos verticais, os separadores horizontais necessitam de uma maior área disponível para instalação (GÓIS *et al.*, 2013).

Independente da forma, os vasos separadores de petróleo geralmente possuem quatro seções principais, além dos controles necessários. As seções de separação primária, secundária, aglutinação e coleta de líquido operam de acordo com princípios físicos de separação posteriormente estudados. Em busca de um aumento na eficiência de separação, muitos vasos são dotados de equipamentos internos, como defletores de entrada e extratores de névoa.

Diante da importância que os vasos separadores apresentam na indústria do petróleo, este projeto tem por finalidade descrever o procedimento de construção de um protótipo de Separador Trifásico Horizontal a fim de separar as três fases presentes na mistura: água, óleo e gás. O processo de separação consiste em separar o fluido multifásico extraído dos poços, composto principalmente por água, óleo e gás, em suas diferentes fases. Nas unidades de produção de petróleo offshore, essas operações são realizadas na unidade de separação. No presente trabalho, a unidade de um separador trifásico horizontal é modelada de acordo com NUNES *et al* (2010).

A utilidade desse separador se dá ao separar e remover qualquer água livre (camada de água limpa que aparece no fundo, após a decantação de uma emulsão de óleo ou água) que possa estar presente durante o processo (STORMWATER, 2006). O separador possui formato retangular e horizontal e é composto por duas seções denominadas: câmara de separação e câmara de óleo, ambas separadas por um vertedouro. Devido à diferença de densidades entre o óleo e água e ao tempo de retenção do fluido na seção de acumulação de líquido, apareceram:

- Uma camada de água no fundo vaso (água livre);
- Uma camada de emulsão sobre a camada água;
- Uma camada de óleo sobre esta última.



## 2. SEPARAÇÃO PRIMÁRIA DO PETRÓLEO

Ao longo da vida produtiva de um poço de petróleo, são produzidos, simultaneamente, água, gás e óleo. Assim, a separação primária de petróleo tem como objetivo separar as fases do fluido produzido para que os produtos de valor econômico possam atender as especificações do mercado. Em uma instalação de processamento primário de fluidos, o gás, por ser menos denso, é inicialmente separado do líquido por ação da gravidade em equipamentos denominados separadores. Na separação líquido/gás, os separadores utilizam-se dos seguintes mecanismos:

- Decantação: Por ação da gravidade e diferença de densidades entre os fluidos existentes na mistura;
- Separação inercial: Os fluidos ao entrarem no separador, se chocam contra defletores, o que provoca uma rápida redução da velocidade e direção, provocando a queda do líquido e a subida do gás;
- Força centrífuga: A corrente fluida ao entrar no separador tende a fazer um movimento circular pela sua parte interna. O efeito centrífugo age diferencialmente sobre as fases, fazendo com que a de maior densidade se projete com mais intensidade contra as paredes, tendendo a descer.
- Aglutinação das partículas: O contato das gotículas de óleo dispersas sobre uma superfície facilita a coalescência, aglutinação e conseqüentemente, a decantação dos fluidos mais pesados.

## 3. VASOS SEPARADORES

### 3.1. Seções internas de um separador

Independente da forma, os vasos separadores de petróleo geralmente possuem quatro seções principais, além dos controles necessários.

#### (1) Seção Primária

Localizada na entrada de fluidos para o vaso, o fluido choca-se com defletores ou passa por difusores que lhe impõem um movimento giratório, fazendo com que o líquido se precipite no fundo do vaso. Nessa seção acontece a separação da maior parte do líquido;

#### (2) Seção de Acumulação

Localizada no fundo do separador, nessa seção ocorre a separação das bolhas gasosas que ficaram no seio do líquido após a separação primária e para que essa separação seja efetiva, é necessário um tempo de residência de 3 a 4 minutos;

#### (3) Separação Secundária

Localizada no topo do separador, onde se separam as gotículas menores de líquido carregadas pelo gás após a separação primária. A turbulência é um fator que influencia fortemente essa separação.

#### (4) Aglutinação

Localizada no topo do separador próximo à saída de gás, as gotículas de óleo arrastadas pelo gás que não foram separadas pelas seções anteriores, são aglutinadas em

Organização



Promoção



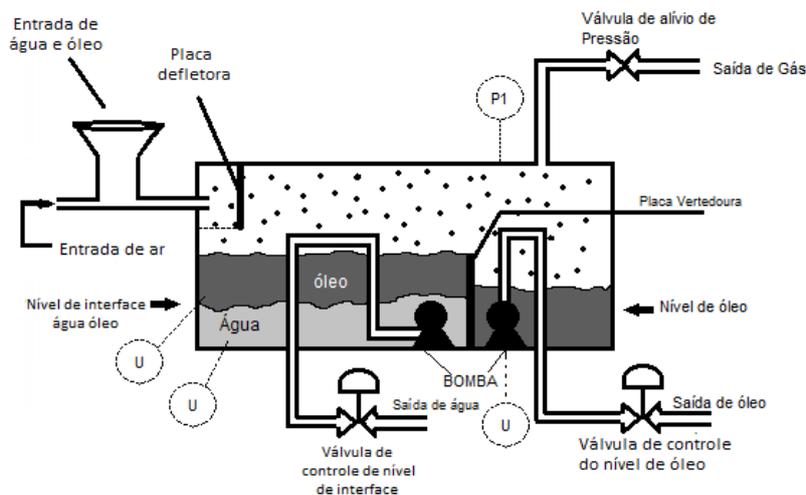


meios porosos e recuperadas. Se as gotículas de óleo forem muito pequenas, podem ser utilizados extratores de névoa. Por motivos de simplificação não foram utilizados meios porosos nem extratores de névoa para impedir que essas pequenas gotículas arrastadas pelo gás, sejam armazenadas junto ao mesmo.

### 3.2. Desenvolvimento do protótipo

O esquema abaixo ilustra o separador trifásico horizontal construído. Este é dotado por uma câmara de acúmulo de óleo obtida com a instalação de uma placa vertedora cuja a finalidade é verter o óleo pela parte superior e separar a câmara da seção de acúmulo de líquido. O esquema ilustra também as válvulas controladoras de pressão e de níveis de óleo e interface, que, por meio de equipamentos eletropneumáticos, fazem o controle do fluxo de saída dos fluídos e das variáveis de operação do vaso (pressão e níveis).

Figura 1. Esquema com as válvulas controladoras de pressão e de nível e as vazões de saída e entrada: gás, óleo e água.



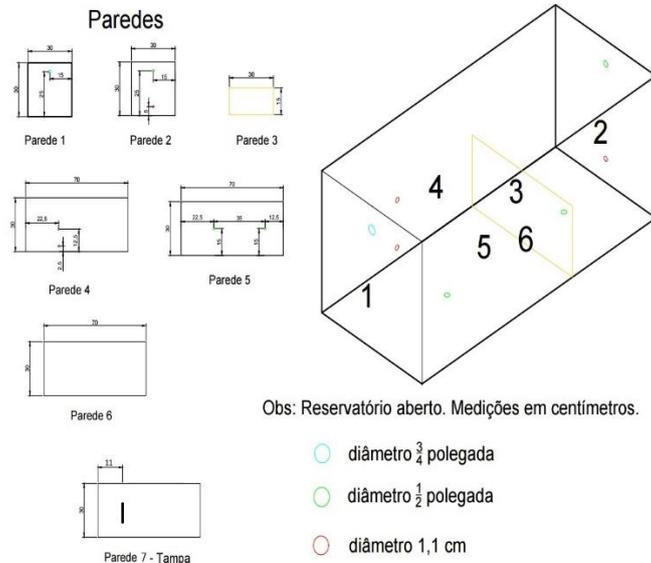
Um dos desafios do trabalho foi desenvolver um reservatório que possibilitasse tanto o isolamento do meio externo, reduzindo fatores que pudessem interferir no processo, e que contivesse os fluídos internamente, eliminando qualquer possibilidade de vazamentos, a fim de obter resultados de confiabilidade.

A solução veio através de um reservatório de vidro, que possui uma espessura de 5mm, e selagem de silicone, possibilitando que todo o processo fosse visível. Os sensores de nível e pressão foram instalados em furos na parede do reservatório, conforme Figura 2.

Vale ressaltar que o formato geométrico escolhido para o reservatório não representa o melhor formato para este processo (separação com pressão interna maior que pressão externa do sistema), uma vez que o mesmo apresenta 8 vértices em sua estrutura, aumentando as tensões nesses pontos. Para este experimento o melhor formato, apresentaria bordas arredondadas, algo próximo de um cilindro, porém com as faces laterais também arredondadas, reduzindo estas tensões e possibilitando maiores pressões dentro do sistema, reduzindo o risco de rachaduras e possíveis vazamentos, porém devido ao alto custo para manufatura deste protótipo de melhor geometria, escolheu-se um formato mais simplificado e de custo mais acessível, assim como o material composicional que foi utilizado (vidro).



Figura 2. Desenho esquemático do reservatório.

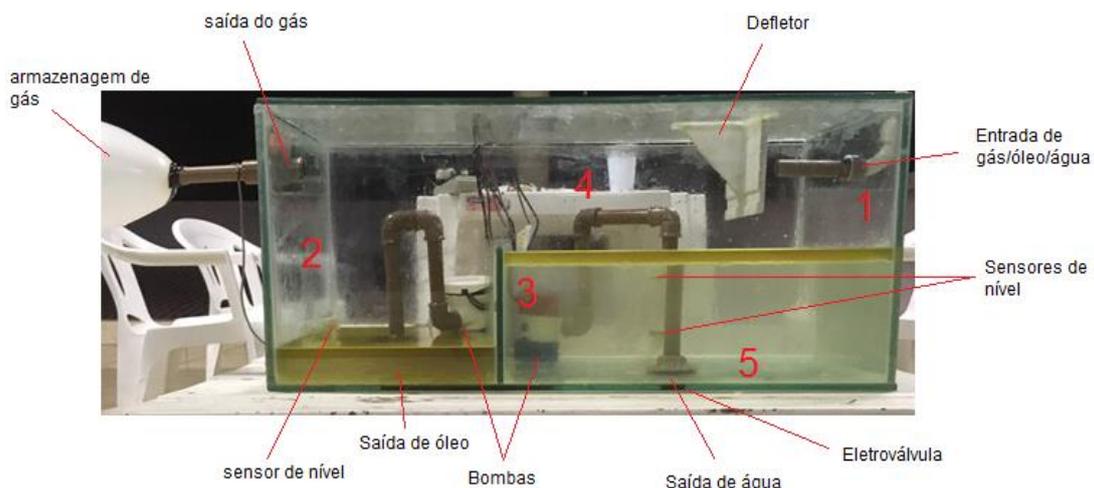


As proporções são de 70 cm de comprimento, 30cm de largura e 30cm de altura. A parede 1 representa a entrada do processo, nele está apenas o furo ao qual entrará a mistura óleo/água/gás. Na parede 2 estão o furo superior, para saída do gás, e na parte inferior o sensor de nível, que acionará a bomba assim o que nível de óleo levantar a boia do sensor, e desligará a bomba assim o nível de óleo foi insuficiente para erguer a boia.

Na lateral 4, estão os sensores de nível para água, uma vez que foram colocadas pequenas espirais de metal ao redor da boia, para que somente na presença de água, o empuxo fosse o suficiente para erguer as boias, e na presença de óleo as boias se mantivessem posicionadas na região inferior do sensor. Assim conseguiremos ter um controle do máximo e mínimo de água permitido nesta região do separador, impedindo que haja passagem de água para a região do óleo, e que o óleo seja extraído pela saída de água.

A parte 5 é o fundo do reservatório e nele se encontram os furos para saída da água, antes do anteparo 3, e para o óleo após o anteparo. Na tampa estão localizados o sensor de pressão, para controle da pressão do gás, e o defletor próximo a entrada dos fluidos. A função do anteparo 3 é conter a água e possibilitar a passagem do óleo, até certo nível.

Figura 3. Imagem real do reservatório.



Organização



Promoção





#### 4. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

O começo do processo se dá pela entrada de óleo, água e ar no vaso separador. O ar é injetado por um compressor que impulsiona a água e o óleo, direcionando eles para primeira parte do reservatório, chamados de separador primário. Esse fluido, composto de três fases, se choca com o defletor que está localizado logo à frente da entrada do reservatório, separando assim a fase líquida e a fase gasosa. A fase líquida por conta da sua massa específica ser bem maior que a do gás irá se precipitar na parte de baixo do reservatório. O gás arrasta consigo gotículas de água e óleo que entraram em suspensão. A fase líquida ao ser depositada no reservatório primário, por conta da diferença de massa específica entre óleo e água, formará duas fases de líquidos. O óleo se encontrará na parte superior, justificada por sua densidade ser inferior a da água.

Com a entrada de mais fluido no processo, o nível de óleo irá ultrapassar o vertedouro, fazendo com que o óleo seja despejado no segundo reservatório, que é próprio para o seu armazenamento. O gás representado pelo ar injetado do compressor irá se separar por meio de uma saída localizada na parte superior do reservatório, essa saída possui uma válvula de alívio controlada manualmente. O sensor de pressão responsável por medir a pressão dentro do reservatório controlará a abertura e fechamento da válvula. Este processo de abertura e fechamento da válvula para alívio de pressão e separação do gás ocorre manualmente, porém como projetos futuros pretende-se implementar um processo automatizado para realizar esta atividade.

##### 4.1. Controle do processo

Neste projeto as principais variáveis a serem controladas estão associadas ao seu inventário, sendo o nível de óleo e o nível de água na câmara de separação e a pressão no interior do separador.

Todo nosso código foi feito no programa Arduíno Studio, e a linguagem de programação utilizada foi a linguagem C++ (com pequenas modificações). Essa é a linguagem que utilizamos para controlar as variáveis e automatizar os processos. A programação foi dividida em três etapas principais de acordo com os controles já citados anteriormente

##### *Controle de nível*

O controle de nível realizado no processo ocorre nas duas seções do reservatório, câmara de separação e câmara de óleo, a partir do uso de sensores de nível. Na câmara de separação há dois sensores de nível, o primeiro na parte inferior e o segundo na parte superior do reservatório, e ambos os sensores foram ajustados para serem acionados somente em contato com a água.

Quando a boia do sensor de cima é erguida, significa que teremos a presença de água, logo, este nível atingido representa o máximo de água aceitável nesta região do separador, pois se for excedida, poderemos ter a passagem de água para a região em que desejamos apenas a presença de óleo, então a bomba de esgoto é acionada. Essa bomba pode ser submersa e sua função é fazer a sucção da água para a saída da parte primária. Uma válvula solenoide é utilizada para fazer o fechamento e abertura da passagem de água na saída. Ela se faz necessária pelo fato de que ao desligar a bomba a água ainda continua sendo escoada para a saída. Isso é explicado pela gravidade exercendo sua força de descida do fluido a partir do cano.

Esta primeira etapa consiste no acionamento da bomba e eletroválvula, porém devemos garantir que apenas água seja extraída nessa região, para isso temos o sensor inferior, que desligará a bomba assim que nível mínimo de água for atingindo, isso ocorre quando a boia

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





do sensor não estiver mais boiando, ou seja, quando não estiver mais em contato com a água, desta maneira impedimos que óleo seja retirado juntamente com a água, garantindo que o separador realize sua principal função (Figura 4).

Figura 4. Programação do controle da retirada de água.

```
if (sensoralta == 0){  
    digitalWrite(bomba_agua,HIGH);  
    digitalWrite(valv1,HIGH);  
}  
if (sensorbaixa == 1 && sensoralta == 1){  
    digitalWrite(bomba_agua,LOW);  
    digitalWrite(valv1,LOW);  
}
```

Na câmara de óleo, o processo é basicamente o mesmo com a diferença que nesta câmara há presença de apenas um líquido, então utilizou apenas um sensor de nível (Figura 5).

Figura 5. Programação do controle da retirada de óleo.

```
if (sensoroleo == 1){  
    digitalWrite(bomba_oleo,HIGH);  
    digitalWrite(valv2,HIGH);  
}  
if (sensoroleo == 0) {  
    digitalWrite(bomba_oleo,LOW);  
    digitalWrite(valv2,LOW);  
}
```

### **Controle de Pressão**

Foi utilizado o sensor de pressão MPX5700ap que é capaz de medir a pressão em gases entre 15 kPa a 700 kPa e apresenta excelente relação de custo-benefício. Este modelo foi escolhido devido a sua capacidade de medir a pressão absoluta e de se adaptar melhor aos requisitos do reservatório. Para realizar o monitoramento da pressão no processo descrito, a medição foi feita para retirar o gás do reservatório de maneira adequada através de uma válvula de alívio, a fim de evitar problemas, principalmente, de cunho estrutural. Estipulou-se uma medida de pressão máxima para o interior do reservatório e quando alcançada será sinalizada por meio do uso de um buzzer, que irá emitir um sinal sonoro, que indicará que a válvula de alívio deverá ser aberta de forma manual (Figura 6).

Figura 6. Controle da pressão no interior do separador.

```
if (sensorValue > 1030.0)  
{  
    // Aciona o buzzer na frequencia relativa ao Dó em Hz  
    tone(buzzer,261);  
    // Espera um tempo para Desativar  
    delay(200);  
    //Desativa o buzzer  
    noTone(buzzer);  
}
```

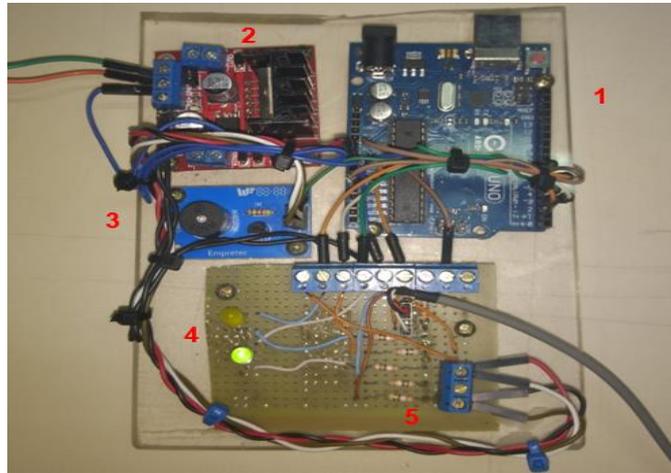
### **Circuito**

O circuito montado apresenta a configuração de acordo com a Figura 7. Ele é composto pelo controlador (arduíno uno) utilizado no projeto, o modulo do L298N que é responsável



pelo acionamento das válvulas solenoides e das bombas. O buzzer ( item 3 da imagen) foi utilizado como aviso sonoro referente ao momento que a pressão limite é atingida. O módulo 4 representa o circuito anexo ao controlador arduíno, contendo os leds referentes a abertura das válvulas solenoides e resistores.

Figura 7. Circuito do separador trifásico, composto por: 1-Arduíno; 2-L298; 3-Buzzer; 4-Led; 5-Resistores.



## 5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

### 5.1 Testes com os fluidos

Para a realização dos testes com os fluidos, utilizou-se óleo queimado, lubrificante e azeite, a fim de decidir qual o melhor a ser utilizado de forma que obtivéssemos a melhor segregação entre os fluidos na execução do projeto, assim como, o melhor custo-benefício. Realizou-se o teste para duas situações diferentes:

#### *Uso de Óleo Queimado*

Foram utilizados 150 ml de óleo queimado e 150 ml de água. A partir deste teste não foi possível obter uma separação adequada entre o fluido e a água, sendo perceptível a presença de moléculas pequenas de óleo na fase da água.

#### *Uso de Óleo Lubrificante*

Utilizou-se 150 ml de óleo queimado e 150 ml de água. O resultado desta manipulação não foi satisfatório visto que ao se utilizar óleo lubrificante como fluido, observou-se uma rápida separação entre o óleo e a água, porém com a formação de emulsão, o que não é desejado.

#### *Uso de Azeite*

Utilizou-se 150 ml de azeite e 150 ml de água. O resultado desta manipulação foi satisfatório visto que ao se utilizar azeite como fluido, observou-se uma rápida separação entre o azeite e a água, e sem a formação de emulsão, o que é essencial para que o separador funcione de forma eficiente.

Com base nos testes dos fluidos observamos que ao se utilizar óleo queimado, lubrificante e azeite, os primeiros não apresentaram resultados satisfatórios, já o terceiro se demonstrou eficaz. Primeiro, ao se utilizar óleo queimado como fluido, não foi possível obter uma segregação apropriada entre o fluido e a água, sendo muito nítida a existência de moléculas pequenas de óleo na fase da água o que causaria problemas na ativação dos



sensores. Já o óleo lubrificante, apresentou emulsão, o que é um problema, visto que o sensor do tipo boia não funcionava corretamente após passar da emulsão. Na terceira tentativa, ao se utilizar azeite como fluido, observou-se uma rápida segregação entre o óleo e a água, sem a formação de emulsão, o que não é desejado. Essa separação ocorre de maneira mais eficiente com o azeite pelo fato de possuir propriedades totalmente diferentes da água, assim como, densidades, estruturas e até polaridades distintas.

A partir disso, concluiu-se que o melhor fluido a ser utilizado seria o azeite.

### 5.2 Sensores de nível

O processo aqui descrito utiliza 03 sensores de nível, sendo 02 deles utilizados para controlar o nível da água, tais sensores precisaram ser ajustados de tal forma que ao entrar em contato com o óleo não viessem a ser acionados, esperando pela passagem da água para ser ativado. Para isso foi necessário anexar fios de cobre aos sensores, tornando-o mais leve que a água, porém mais pesado que o óleo, fazendo com que a condição de acionamento fosse atendida.

### 5.3 Uso de Válvula Solenóide

A princípio seriam utilizadas duas válvulas solenóides com o objetivo de escoarem os fluidos, óleo e água, porém com a realização dos testes de funcionamento do protótipo, observamos que a válvula solenóide não apresentava um bom funcionamento escoando os fluidos com uma vazão muito pequena quando não nula. Tal problema se dá ao fato de que essas válvulas necessitam de certa pressão mínima dentro do reservatório para que os fluidos escoem através delas, mas esse valor mínimo não foi obtido apenas com a pressão que o volume dos fluidos exercia, assim, o escoamento tornou-se impossibilitado. Para resolver este impasse foram colocadas duas bombas, uma na fase óleo e outra na fase óleo e água, com objetivo de aumentar a velocidade de escoamento dos fluidos e, conseqüentemente elevar a pressão até o ponto necessário para que as eletroválvulas funcionassem de forma satisfatória, por meio de testes as bombas se mostraram eficientes para solucionar o problema.

## 6. CONCLUSÃO

No processo de produção do petróleo, a água é um dos contaminantes mais indesejados sobre duas óticas, a econômica e a ambiental: ao ser produzida, a mesma deve ser removida na plataforma de produção, caso contrário aumentará o custo de transporte de fluidos às refinarias, uma vez que será transportado um bem que não tem valor no processo produtivo de refino. Além disso, por apresentar elevado teor de sal em sua composição, pode causar incrustações no sistema de transporte e dificultar a operação das refinarias. Já do ponto de vista ambiental, o descarte de água produzida sem tratamento adequado pode acarretar impacto no meio ambiente visto a toxicidade de seus constituintes e a quantidade de compostos orgânicos que carrega consigo. A fim de evitar estas circunstâncias, os equipamentos de separação de água e óleo devem ser bastante eficientes a fim de reduzir custos e levar em consideração a qualidade da água destinada ao descarte no mar.

Em termos dessa separação, a função deste equipamento é somente manter dentro de limites toleráveis as seguintes quantidades:

- Líquido arrastado no gás;
- Água arrastada no óleo (BSW);

Organização



Promoção





- Óleo arrastado na água (TOG).

A partir da análise dos testes verificamos a importância de um bom controle do processo, no qual, auxiliados pelo uso de sensores de nível e pressão, foi possível manter dentro de limites toleráveis as seguintes quantidades citadas acima.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

FILGUEIRAS, N.G.T. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Modelagem, análise e controle de um processo de separação óleo/água. Dissertação (Mestrado).

SANTOS, R.R.; SOTOMAYOR, O.A.Z. MPC com controle das saídas por faixas de um processo de produção de petróleo “offshore”. In: XIX Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2012), Campina Grande: PB, 2012.

SILVEIRA, M.A.C.R. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Controle de um processo de tratamento primário de petróleo. Dissertação (Mestrado).

## PROTOTYPE: HORIZONTAL THREE-PHASE SEPARATOR

**Abstract:** *With the advance of the use of fossil fuels as an energy source, technological advances are being added to this area. Because it is considered an oily mixture and rarely produced as a homogeneous fluid, oil needs to undergo separation and refinement procedures until reaching products of commercial value. This work aims to demonstrate the process of construction of a three - phase separator, when in a primary fluid processing facility, the gas, being less dense, is initially separated from the liquid by gravity in equipment called separators.*

*The built three-phase separator is provided with several internal devices to increase the separation efficiency. The pressure in the separator is maintained by a controller that regulates the gas outlet flow at the top. The separated liquid leaves the vessel through a discharge valve, the opening or closing of which is effected through a level controller. Because it has a larger interface surface area allowing a better separation of liquid / gas and gas / liquid and together with an automated control developed by the team, the built-in separator proved to be functional, promoting better separation of two immiscible liquids compared to the separation of liquid / gas present in the injection of these fluids into the system.*

**Keywords:** *Three-phase separator, Gas, Oil, Prototype.*