



Joseph Kaleka Kalonji – josephkcalonji@gmail.com
Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia – DEPEG
Av. General Rodrigo Otavio, 6200, Coroado I
Cep: 69080-900 – Manaus – Amazonas

Fernando Falcão Nascimento – fernando_falcao_nascimento@hotmail.com
Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia – DEPEG
Av. General Rodrigo Otavio, 6200, Coroado I
Cep: 69080-900 – Manaus – Amazonas

Rafael da Silva Mendonça – mendonca.rms@gmail.com
Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia – DEPEG
Av. General Rodrigo Otavio, 6200, Coroado I
Cep: 69080-900 – Manaus – Amazonas

André Augusto Paiva Barreiros – andree.barreiros@gmail.com
Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia – DEPEG
Av. General Rodrigo Otavio, 6200, Coroado I
Cep: 69080-900 – Manaus – Amazonas

PROTÓTIPO: BOMBEIO MECÂNICO COM CONTROLE E MONITORAMENTO DE NÍVEL E VAZÃO NO RESERVATÓRIO

Resumo: *Este trabalho propõe a construção de um protótipo feito à mão de um bombeio mecânico com hastes, além de fazer o monitoramento e o controle de variáveis de processo ligadas à operação. Com o protótipo físico construído, é possível observar na prática os estudos teóricos sobre este importante método de elevação artificial na indústria petrolífera. Este protótipo tem objetivo didático, mostrando na prática o método de elevação e o monitoramento das variáveis de processo, auxiliando na análise do funcionamento e da operação do sistema.*

Palavras-Chave: *Bombeio Mecânico, Protótipo, Controle de Nível e Monitoramento de Vazão.*

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de elevação artificial são mecanismos utilizados para facilitar a produção de fluidos em poços não surgentes. Estes são: Bombeio Centrífugo Submerso, Gás-lift, Bombeio Mecânico e Bombeio por Cavidade Progressiva.

O bombeio mecânico com Hastes surgiu ainda no início da indústria de petróleo e é o método de elevação artificial mais empregado. Estima-se que dos poços equipados com elevação artificial, a nível mundial, aproximadamente 71% utilizam o sistema de bombeio mecânico. No Brasil, 73%

Organização



Promoção





dos poços produzem através do bombeio mecânico (ANA, 2015). Portanto, percebe-se que um bom entendimento deste método é indispensável para a formação de um aluno de Engenharia de petróleo.

O principal objetivo deste trabalho é construir um protótipo de bombeio mecânico com hastes totalmente funcional, em dimensões de bancada de laboratório, com o intuito de proporcionar aos alunos uma visão prática do funcionamento deste método de elevação artificial, assim como uma ferramenta didática para estudo de sensores, atuadores, e variáveis de processos, contribuindo desta forma para com o conhecimento prático e a formação de alunos da área de Petróleo e Gás.

2. BOMBEIO MECÂNICO COM HASTES

O Bombeio Mecânico com Hastes, comumente chamado de “Cavalo Mecânico”, é um dos métodos mais utilizados para elevação artificial de fluidos em poços *onshore* (poços localizados em terra). Esse mecanismo se baseia em retirar o fluido através de um movimento alternativo que cria um diferencial de pressão sobre o reservatório, resultando no aumento da vazão do fluido produzido (ANA, 2015).

Sendo mais específico sobre seu funcionamento, 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 haste transmite o movimento alternativo para o fundo do poço, acionando uma bomba que eleva os fluidos produzidos pelo reservatório para a superfície, portanto, ele pode ser utilizado em áreas onde não possui energia elétrica. (JOAO *et al.*, 2004)

Os principais componentes do bombeio mecânico com hastes são a bomba de subsuperfície, coluna de hastes, unidade de bombeio e motor Figura 1 (THOMAS, 2004). Este método possui como principais vantagens a instalação simples, pode ser utilizado em locais onde não há energia elétrica (utilizando-se de motor a combustão interna), em poços produtores de óleo viscoso, a reposição de componentes e acessórios é de fácil realização. Por outro lado, ele também possui algumas desvantagens como não ser indicada sua utilização em poços que produzam areia e em poços onde parte do gás produzido passa pela bomba, pois diminui a eficiência da bomba e, conseqüentemente a vazão e possui uma unidade bastante pesada e dispendiosa financeiramente quanto à sua instalação (LÁZARO, 2013).

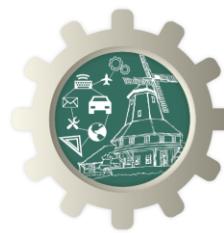
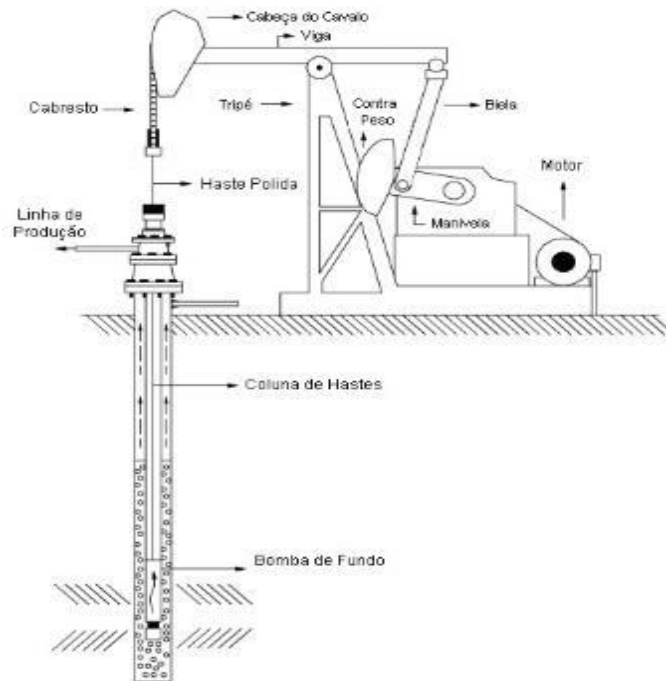


Figura 1. Esquema de bombeio mecânico.



Fonte- Heitor, 2009.

3. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Conforme mencionado anteriormente, a unidade de bombeio mecânico com hastes é dividida em partes: A bomba de subsuperfície, o motor elétrico ou de combustão, a coluna de hastes e a unidade de bombeio propriamente dita. Com isso, o desenvolvimento do protótipo foi baseado nessas subdivisões, buscando sempre dimensionar o tamanho, comprimento, largura e peso de cada um desses componentes para um funcionamento harmonioso e excelente do protótipo.

Bomba

Na construção da bomba, buscou-se imitar em escala reduzida o que realmente ocorre na bomba do “Cavalo Mecânico” em funcionamento. A bomba é constituída de um pistão, camisa, e válvulas de pé e de passeio. O princípio de funcionamento da bomba é a aplicação de uma pressão no interior da camisa pelo pistão com a conseqüente entrada de fluido na camisa e em seguida no através da abertura e fechamento das válvulas de pé e passeio, deslocando o fluido do reservatório para a superfície. Optou-se por iniciar-se pela bomba devido à complexidade da construção da unidade de bombeio.

Para a construção da bomba, foram utilizados canos de PVC de diâmetros diferentes, pequenas esferas de aço simulando as válvulas de passeio e de pé. Foram utilizados também reduções para o encaixe dessas esferas e a conseqüente vedação do “pistão” e da “camisa” para um aproveitamento máximo da pressão e, assim, otimizar a vazão do sistema.

Organização

Promoção



Unidade de bombeio

Para a construção da unidade de bombeio dimensionou-se um tamanho proporcional à bomba e ao possível motor a ser utilizado no projeto. Levou-se em conta também a estabilidade e segurança da unidade, fixando-a na plataforma através de parafusos para proporcionar uma maior estabilidade quando em funcionamento devido ao peso do pistão da bomba e um possível forte vibração do motor que poderia causar um colapso da estrutura. Baseou-se também em uma unidade real de bombeio, conforme a Figura 2 que demonstra a construção do tripé, da cabeça da unidade, do balancim, do cabresto, e da manivela.

Figura 2. Unidade de bombeio durante a montagem.



Representando o cabresto, utilizou-se um parafuso preso a um eixo na cabeça da unidade. O tripé ficou apenas um apoio duplo parafusado e fixado na plataforma de base. O Balancim, também chamado de braço, foi também pensado de forma a maximizar o curso do pistão. A caixa de redução representada na figura acima deu lugar a uma polia de ferro, uma correia e um conjunto de bielas para transmitir o movimento do motor para o balancim e realizar o bombeio. Todos os componentes foram fixados na plataforma para maior segurança e estabilidade.

Inicialmente, considerou-se a construção de uma unidade utilizando apenas madeira, a fim de se diminuir os custos financeiros do projeto. Com base no funcionamento e sincronismo com a bomba, será avaliado o desempenho da proposta.

Motor

Testes prévios identificaram que a utilização de um motor de liquidificador para transferir o movimento para a polia, que transmitiria para as bielas e dessas para o braço mecânico que realizaria o movimento alternativo para o pistão bombear o fluido. Ao se testar o motor de liquidificador, observou-se que este possuía uma alta velocidade de rotação e um baixo torque para o projeto. Sabia-se previamente que seria necessário um motor que tivesse como características um alto torque para prover a força requisitada pelo pistão com o fluido em seu interior e uma baixa velocidade de rotação para se evitar um bombeio rápido e descontrolado, diminuindo-se a vibração na estrutura como um todo e o desgaste do pistão ao friccionar com a camisa.

A saída então seria a utilização de um motor de torque mais potente e, portanto, considerou-se duas opções: o motor de uma máquina de lavar ou um motor de portão. Resolveu-se tentar o de portão, pois este é mais seguro quanto ao torque. Com o motor elétrico de portão, foi trocada a



catraca do mesmo por uma polia de ferro de diâmetro parecido para se adequar a correia e então transferir o movimento.

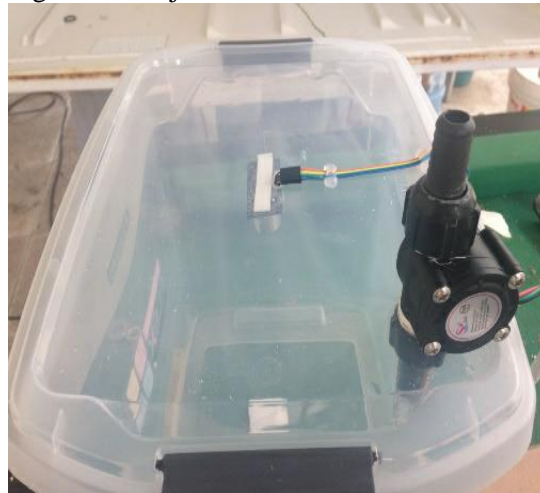
Com isso, o protótipo estaria quase totalmente pronto, faltando apenas alguns ajustes quanto aos reservatórios e aos sensores que serviriam de monitoramento e automação da unidade de bombeio e também a fixação final na plataforma de base constituída de uma placa de MDF.

Sensores

Com a unidade de bombeio mecânico de hastes pronta, realizou-se a inserção de sensores em locais específicos afim de monitorar e controlar algumas variáveis pertinentes ao sistema como o nível do reservatório secundário, a vazão de fluido bombeado pelo pistão. Para monitorar a vazão utilizou-se um sensor de vazão de efeito hall, modelo YF-S201 e o monitoramento da altura do fluido no tranque, utilizou-se um sensor ultrassônico HC-SR04. Uma vez que o fluido atingir um nível próximo do máximo, o Arduíno então desligará o motor, evitando o vazamento do fluido.

Para a utilização dos sensores pré-citados, foi necessária a programação no software do Arduíno para proporcionar o funcionamento correto do sistema de acordo com o esquema de funcionamento previsto anteriormente. Na Figura 3 mostra os sensores fixados na tampa do reservatório a ser monitorado.

Figura 3. Conjunto dos sensores fixados na tampa do reservatório.

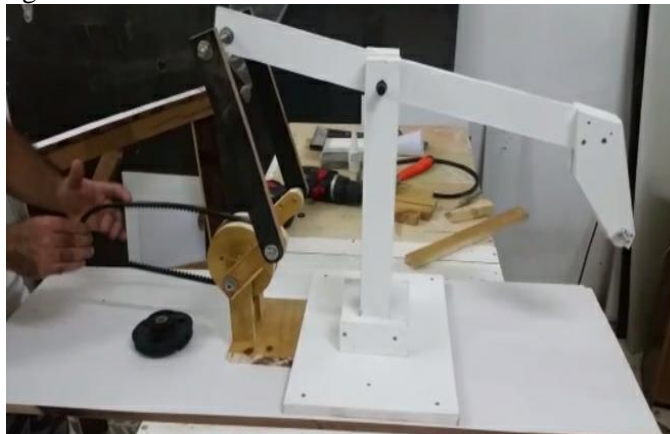


4. RESULTADOS

Com o intuito de construir um protótipo de bombeio mecânico totalmente funcional, em dimensões de bancada de laboratório, a ideia inicial para a construção da unidade de bombeio era de se utilizar material leve, porém suficientemente resistente para aguentar os diversos esforços de flexão, por isso optou-se por utilizar o MDF afim de se diminuir os custos financeiros do projeto. Seguiu-se essa ideia e se construiu a estrutura toda de madeira conforme a Figura 4.



Figura 4. Unidade de bombeio.



Testou-se então como estava funcionando sem a bomba e constatou-se que com qualquer esforço a correia acabava por escorregar na polia de madeira, como mostra a Figura 5.

Figura 5. Polia de madeira.



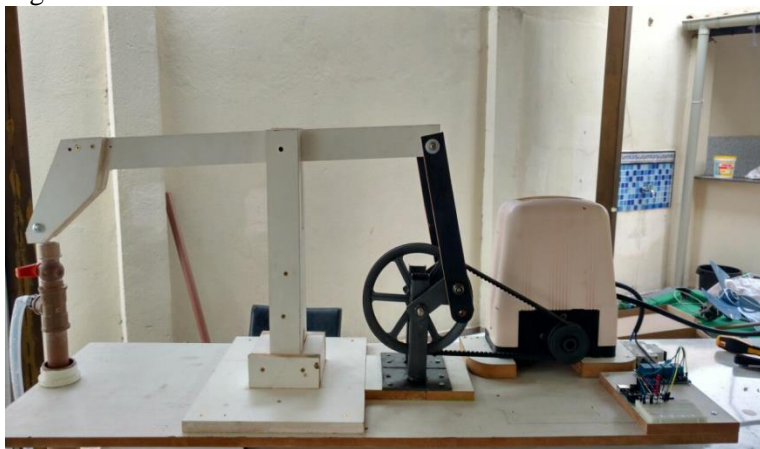
Então trocou-se a polia de madeira por uma polia de ferro de diâmetro maior para resolver o problema. Consequentemente, foi necessário a troca da correia por uma mais larga afim de encaixar na polia de ferro e sobrar espaço para o encaixe no motor a ser implementado, como mostra a Figura 6. As Figuras 7 e 8 ilustram a estrutura do protótipo final.



Figura 6. Polia de ferro.



Figura 7. Estrutura da unidade do bombeio.



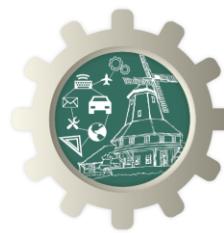
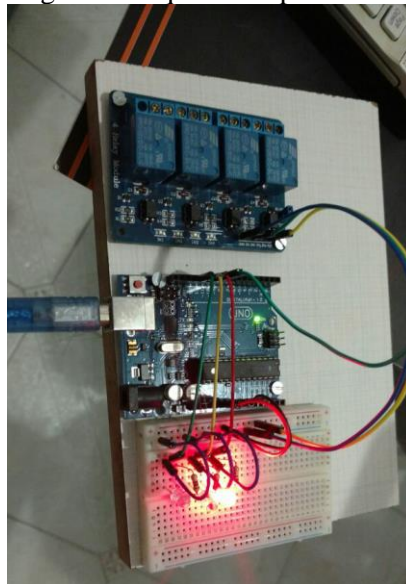


Figura 8. Estrutura da unidade de bombeio.

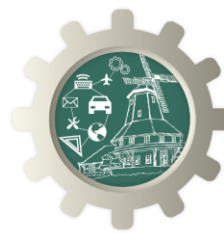


O controle e o monitoramento das variáveis de processo foram feitos com um microcontrolador arduino. Para isso usou-se uma placa de arduino, uma protoboard, um conjunto de relê e três leds (como indicadores localizados em campo). Todos os equipamentos foram interligados por meio de jumpers conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9. Esquema da placa do arduíno com relê e protoboard.



Com todos os sistemas prontos, o protótipo foi colocado em funcionamento e os resultados obtidos foram satisfatórios. A vazão média de bombeio registrada por meio do sensor de fluxo foi de 5,78 litros por minuto Figura 10. Enquanto o sistema estava em funcionamento, a altura do tanque de destino estava sendo monitorada por meio do sensor ultrassônico. Quando a distância entre a superfície da água e o sensor ultrassônico localizado no topo do tanque diminuiu até



aproximadamente 4.2 cm, o controlador, conforme programado, enviou um sinal abrindo o relê e consequentemente desligou o motor para evitar que a água transbordasse Figura 11.

Figura 10. Leitura do arduíno para uma vazão média de 5.78l/min.

```
Arquivo COM3 (Arduíno/Genuíno Uno) Enviar
4.55 L/min - 57s
12.65 cm
2.91 L/min - 58s
13.03 cm
float 14.55 L/min - 59s
float m 12.44 cm
int con 1.09 L/min - 60s
int i=0
Media por minuto = 5.78 L/min -
Serial
Inicio
//Def
pinMo 12.07 cm
pinMo
pinMo
pinMo
pinMo
[ ] Auto-rolagem Nenhum final-de-linha 9600 velocidade
pinMode(2, INPUT);
attachInterrupt(0, incpulso, RISING); //Configura o pino 2(Interrupção 0) para trabalhar como interrupção
Serial.println("\n\nInicio\n\n"); //Imprime Inicio na serial
}
void loop() {
//Tudo o mesmo
```

Figura 11. Leitura do arduíno para uma vazão nula.

```
Arquivo COM3 (Arduíno/Genuíno Uno) Enviar
5.12 cm
1.45 L/min - 44s
4.72 cm
//decla 8.91 L/min - 45s
float 5.12 cm
float m 9.64 L/min - 46s
int con 4.45 cm
int i=0 0.91 L/min - 47s
4.63 cm
void se 0.18 L/min - 48s
Serial 4.20 cm
Inicio 0.00 L/min - 49s
//Def 4.20 cm
pinMo 0.00 L/min - 50s
pinMo 4.20 cm
pinMo
pinMo
pinMo
[ ] Auto-rolagem Nenhum final-de-linha 9600 velocidade
pinMode(2, INPUT);
attachInterrupt(0, incpulso, RISING); //Configura o pino 2(Interrupção 0) para trabalhar como interrupção
Serial.println("\n\nInicio\n\n"); //Imprime Inicio na serial
}
void loop() {
//Tudo o mesmo
```

5. CONSIDERAÇÕES

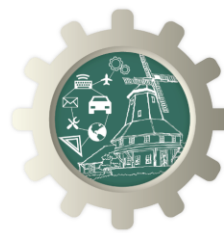
Com o projeto pronto e o protótipo em pleno funcionamento pode-se observar em escala menor como a elevação do fluido é feita pelo bombeio mecânico, conseguiu-se monitorar a vazão assim

Organização



Promoção





como a altura do fluido bombeado. Pode-se concluir que o protótipo atendeu ao objetivo inicial, podendo servir como equipamento didático para a instrumentação aplicada a indústria de petróleo.

Por meio desse protótipo podem ser realizados vários experimentos, por meio dos quais o aluno deverá ser capaz de:

- Entender o funcionamento dos sensores utilizados no protótipo;
- Entender a relação da velocidade de bombeio com a vazão produzida;
- Diferenciar os diferentes componentes de um sistema de bombeio mecânico;
- Calcular a eficiência da bomba;
- Verificar a influência da viscosidade do fluido no sistema de bombeio;
- Ter algumas noções básicas de programação em arduino.

Uma primeira proposta para os futuros alunos interessados em melhorar o equipamento, seria uma implementação de um sistema de realimentação automático para manter o fluido circulando entre o tanque inferior e o superior, com o objetivo de aumentar o tempo de funcionamento do protótipo e dar maior autonomia ao mesmo. A segunda proposta seria criar um sistema supervisorio para permitir ao usuário de interferir no processo quando necessário, modificando as variáveis de processos por exemplo. Uma terceira proposta seria adicionar ao sistema uma forma de controle da rotação do motor para evidenciar a relação entre a velocidade do ciclo e a vazão de bombeio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZERRA, Ana; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Centro Tecnológico. Protótipo De Uma Unidade De Bombeio Mecânico, 2015. 73p, Trabalho de conclusão de curso.

GOMES, Heitor; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. Desenvolvimento de um Sistema Inteligente para a Análise de Cartas Dinamométricas no Método de Elevação por Bombeio Mecânico, 2009. 52p, Tese (Mestrado).

NASCIMENTO, João. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Simulador Computacional para Poços de Petróleo com Método de Elevação Artificial por Bombeio Mecânico, 2013. 114 p, Dissertação (Mestrado).

THOMAS, José Eduardo. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 272 p.

THOMAZINI, Daniel.; ALBUQUERQUE, Pedro. Sensores Industriais –Fundamentos e Aplicações. 1. ed. Rio de Janeiro: Érica, 2012. 224 p

Joinville/SC – 26 a 29 de Setembro de 2017
UDESC/UNISOCIESC
“Inovação no Ensino/Aprendizagem em Engenharia”



COBENGE 2017
XLV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

PROTOTYPE: MECHANICAL PUMP WITH CONTROL AND MONITORING OF LEVEL AND FLOW IN THE RESERVOIR

Abstract: *This work proposes the construction of a prototype made by hand of a mechanical pump with rods, in addition to monitoring and controlling process variables linked to the operation. With the physical prototype built, it is possible to observe in practice, the theoretical studies on this important method of artificial elevation in the petroleum industry. This prototype has a didactic objective and shows in practice the method of elevation and the monitoring of the process variables aiding in the analysis of the operation and operation of the system.*

Key-words: *Mechanical Pump, Prototype, Level Control and Flow Monitoring.*

Organização



Promoção

