

ANÁLISE DO BOMBEIO MECÂNICO COM HASTES NA ELEVÇÃO DO PETRÓLEO E MODELAGEM DE UM SISTEMA DE SUPERFÍCIE

Fábio do Nascimento Monteiro¹

Larissa Rafaella Barbosa de Araújo²

Marcus Vinícius Nunes Lima Rocha³

Samya Mayra Santos Silva⁴

Jaqueline Silva de Albuquerque da Guia⁵

Engenharia de Petróleo



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Uma das etapas mais importantes da exploração do petróleo é o transporte do fluido da subsuperfície (reservatório) para a superfície. Esta etapa é conhecida como elevação, a qual pode ocorrer por surgência, em casos de poços onde a pressão no reservatório é alta o suficiente para trazê-lo à superfície, ou pode ocorrer através de algum método de elevação artificial. Dentre estes métodos, destaca-se o Bombeio Mecânico com Hastes, seja pela sua tecnologia já consagrada, seja pela sua fácil implantação e manutenção. O acompanhamento do estado do sistema de bombeio mecânico é feito através da leitura de uma carta, chamada de carta dinamométrica, a qual consiste de um gráfico que relaciona variáveis de estado do sistema, refletindo as condições atuais do bombeio. Observou-se então, a importância do Bombeio Mecânico com Hastes para a indústria petrolífera. Viu-se a necessidade da modelagem de um sistema de bombeio mecânico de superfície em um software computacional, para analisar os movimentos descritos e a relação das partes em funcionamento. Dado as características competitivas do mercado atual, que exige uma alta confiabilidade em seus equipamentos, acarretando na diminuição de custos através de uma manutenção eficiente, viu-se a necessidade de produzir um estudo com foco no Bombeio Mecânico com Hastes. Com o intuito de esclarecer o processo de funcionamento deste tipo de método de elevação artificial, os pesquisadores desenvolveram um sistema de subsuperfície do mesmo, utilizando o programa de modelagem SolidWorks® versão 2014.

PALAVRAS-CHAVE

Bombeio Mecânico com Hastes. Elevação Artificial. SolidWorks.

ABSTRACT

One of the most important stages of oil exploration is the transportation of the fluid from the subsurface (tank) to the surface. This step is known as elevation, which can occur by upwelling in cases where the wells in the reservoir pressure is high enough to bring it to the surface, or may happen through any method of artificial lift. Among these methods, there is the Pumpjack, either by its technology already established, either by its easy deployment and maintenance. Tracking the pumping unit system status is done by reading cards, called a dynamometer cards, which consists of a graph that relates system state variables, reflecting the current pumping conditions. It was noted then, the importance of Pumpjack for the oil industry. It was verified the need of modeling a pumping system surface in a computer software to analyze the movements described and the relation of the mechanic that makes it work. Given the competitive characteristics of the current market, which requires high reliability of its equipment and resulting in lower costs through efficient maintenance, we saw the need to produce a study focusing on Pumping Unit. In order to clarify the operating procedure of this type of artificial lift method, the researchers developed an even sub-surface system using SolidWorks® modeling program version 2014.

KEYWORDS

Pumpjack. Artificial Lift. SolidWorks.

1 INTRODUÇÃO

Com a descoberta de novas jazidas de petróleo se faz necessário a utilização de métodos para trazê-lo à superfície. Com a exceção da elevação natural, na qual o óleo migra naturalmente para a superfície devido à diferença de pressão, a intervenção humana, por meio de métodos artificiais, é imprescindível para obter uma recuperação satisfatória do fluido em questão.

Para a escolha do método ideal, é preciso que haja um estudo detalhado do tipo de óleo que será trabalhado, sua profundidade e as questões ambientais que norteiam todo o processo exploratório.

Dentre os métodos de elevação mais usuais, destaca-se o Gás Lift, conhecido como uma técnica de elevação que usa energia de um gás para elevar o fluido; o Bombeio Mecânico com Hastes seja pela sua tecnologia simples e já dominada pelos engenheiros, seja pelo seu baixo custo e fácil manutenção; o Bombeio Centrífugo submerso (BCS) que utiliza a energia do próprio poço para realizar a elevação, e por fim o Bombeio por Cavidades Progressivas (BCP) que utiliza como principal componente para realizar a elevação uma bomba de cavidades progressivas.

Para realizar a modelagem experimental destes métodos, com o intuito de analisar os componentes em simulação animada, a indústria utiliza softwares computacionais tais como o SolidWorks®. Pelo fato deste ter o uso simplificado e vasta possibilidade de modelagem, foi bastante disseminado no ensino superior, principalmente nos cursos de engenharia.

2 METODOLOGIA

Para a elaboração deste artigo foram utilizados os periódicos Capes e o *Ebsco host*, que oferecem no formato digital artigos renomados. Também foram realizadas pesquisas bibliográficas de apoio, por meio de livros disponíveis na biblioteca do Centro Universitário Tiradentes (UNIT).

Após a reunião deste vasto material de estudo, os pesquisadores decidiram focar no do Bombeio Mecânico com Hastes, devido a sua importância para a indústria petrolífera e a possibilidade de produzir no programa de modelagem SolidWorks® versão 2014 um modelo do equipamento de superfície.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Posteriormente à escolha do método a ser trabalhado de forma mais abrangente, viu-se a necessidade de modelar um componente do método em questão no programa SolidWorks® versão 2014, a fim de avaliar o comportamento das peças a serem trabalhadas e fomentar o estudo do referido programa de modelagem, visando a sua importância para a engenharia.

4 MÉTODOS DE ELEVAÇÃO

4.1 ELEVAÇÃO NATURAL

Conhecida também como surgência, a elevação natural compreende, na sua maioria, poços que estão no início de sua vida produtiva e possuem pressão suficiente para promover o fluxo de fluídos até a superfície, utilizando apenas a energia do reservatório. Os poços surgentes, se comparados a poços de elevação artificial, possuem equipamentos mais simples com menor custo de manutenção (THOMAS, 2004).

4.2 BOMBEIO CENTRÍFUGO SUBMERSO (BCS)

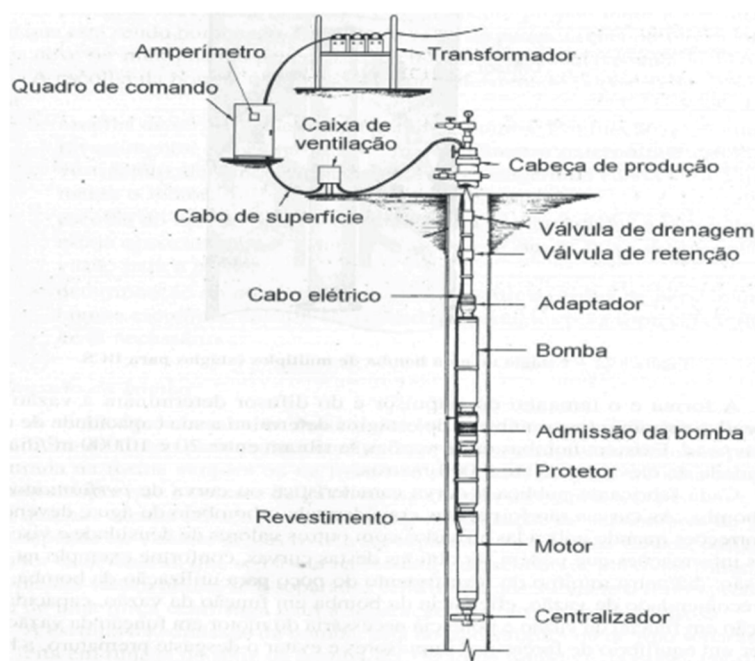
O método do Bombeio Centrífugo Submerso baseia-se na utilização de um conjunto de bombeamento, que contém uma bomba centrífuga submersa acoplada a um motor elétrico que oferece energia para o fluido sob forma de pressão, fazendo com que este se eleve para a superfície. É considerado flexível quanto

à quantidade de tipos de poços em que pode atuar como os com alto teor de água, baixo teor óleo-gás e os que possuem fluidos mais viscosos. Porém, tem limitação a poços que produzem areia e os que produzem Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) (THOMAS, 2004).

4.3 bombeio por cavidade progressiva (BCP)

O bombeio por cavidade progressiva (BCP), é um método de elevação artificial, em que a energia é transferida para o fluido por meio de uma bomba de cavidade progressiva, esta bomba fica imersa no poço de petróleo, sendo constituída de um rotor e um estator (THOMAS, 2004).

Figura 1 – Poço produtor por bombeio centrífugo submerso



Fonte: LEONEZ (2011).

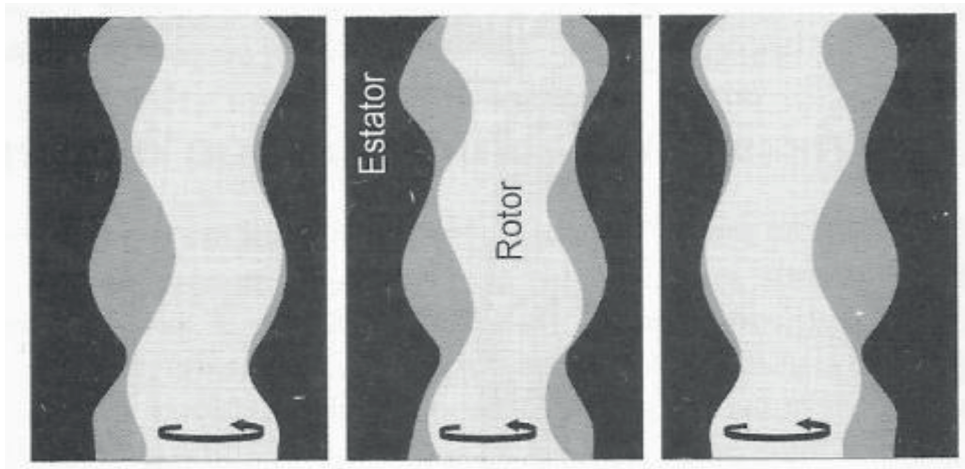
4.3.1 Sistema de Superfície

O sistema BCP de superfície é composto pelo cabeçote, motor e o quadro de comando.

4.3.2 Sistema de S

O sistema de BCP de subsuperfície é composto pela bomba, estator e rotor.

Figura 2 – geometria do rotor, estator e variação das cavidades



Fonte: Thomas (2014).

4.4 GAS-LIFT

Gas-lift é um método de elevação artificial que utiliza a energia contida em gás comprimido para elevar fluido (água e/ou óleo) até a superfície. É um método muito versátil em termos de vazão (1 a 1700 m³/d), de profundidade (até 2600 metros, dependendo da pressão do gás de injeção), e é propício para poços com alto teor de areia, elevado razão gás-líquido, além de exigir investimentos relativamente baixos para poços profundos (THOMAS, 2004).

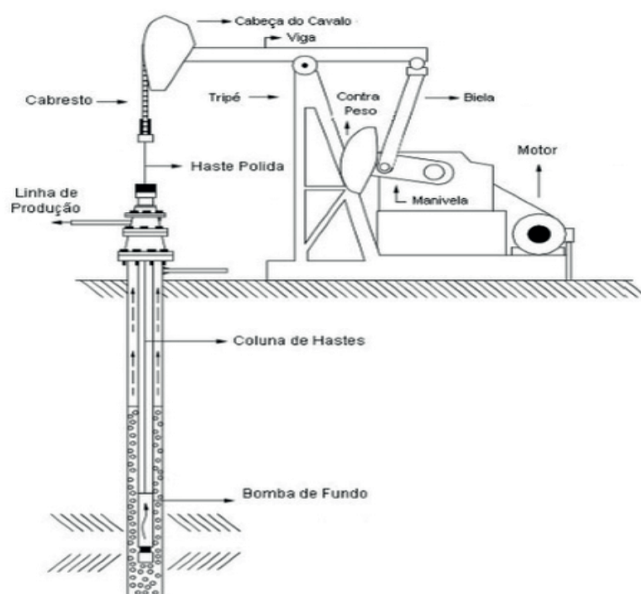
Segundo Leonez (2011) “O contínuo e intermitente são os principais tipos de gas-lift utilizados nos poços de petróleo”. O gas-lift contínuo consiste na injeção de gás a alta pressão continuamente na coluna de produção, tendo como objetivo de gaseificar o fluido desde o ponto de injeção até a superfície. O aumento da quantidade de gás na coluna de produção diminui o gradiente médio de pressão, tendo como consequência a diminuição da pressão de fluxo no fundo e aumento da vazão.

4.5 BOMBEIO MECÂNICO COM HASTES

Segundo Thomas (2004), este é o método de elevação artificial mais utilizado em todo o mundo, quando os fluidos do reservatório não possuem energia suficiente para chegar até a superfície. É caracterizado por um movimento rotativo de um motor elétrico ou de combustão interna, esse movimento é transformado em movimento alternativo por uma unidade de bombeio, localizada próxima a cabeça do poço. Uma coluna de hastes transmite o movimento alternativo para o fundo do poço, acionando uma bomba que eleva os fluidos até a superfície.

O sistema de bombeio mecânico com hastes tem como principais componentes: bomba de subsuperfície, coluna de hastes, unidade de bombeio e motor, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Bombeio mecânico



Fonte: Gomes (2009).

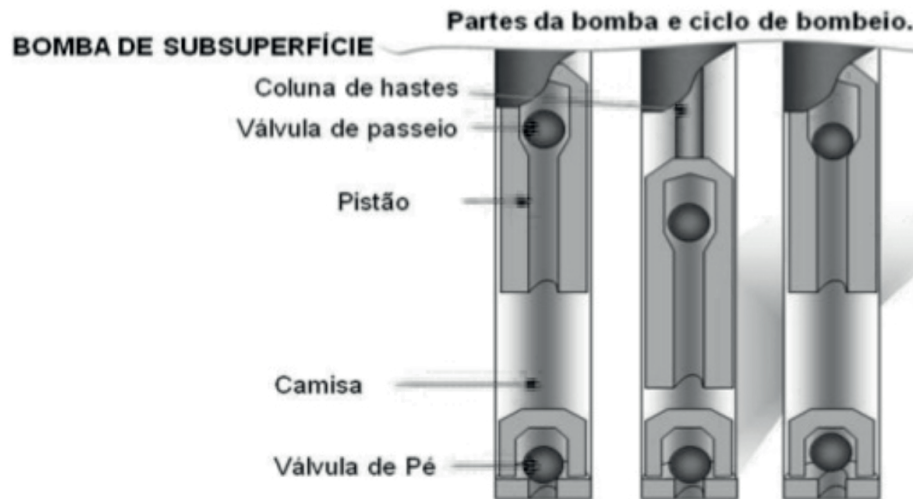
Algumas características devem ser analisadas antes da utilização desse método, são elas: Requer o monitoramento ininterrupto do comportamento da bomba de fundo, já que grande parte dos problemas relacionados ao desempenho da UB ocorre sobre os elementos que constituem a bomba de fundo; Instalação simples; Fácil reposição dos componentes; Não recomendado para poços que produzem óleo parafinado; Quando há a presença de gás, existe uma drástica redução na capacidade de bombeio de líquido no sistema; Para poços que produzem óleo viscoso, esse método é recomendado.

4.5.1 Componentes Principais do Bombeio Mecânico

4.5.1.1 Bomba de subsuperfície

Sua função é fornecer energia ao fluido vindo da formação, elevando-o para a superfície. A transmissão de energia ao fluido ocorre sob a forma de aumento de pressão. A bomba é do tipo alternativo, de simples efeito, com as seguintes partes principais: camisa, pistão, válvula de passeio e válvula de pé (THOMAS, 2004).

Figura 4 – Bomba de subsuperfície



Fonte: Adaptações de Silva (2002).

A bomba de subsuperfície divide-se em dois tipos de curso: ascendente (upstroke), quando o peso do fluido no interior da coluna, faz com que a válvula de passeio fique fechada. Uma baixa pressão é criada na camisa da bomba entre o pistão e a válvula de pé, fazendo ela se abrir, dando passagem ao fluido localizado no anular para dentro da bomba. O fluido que está perto da cabeça do poço vai para a linha de produção, e sequencialmente é levado ao vaso separador. E descendente (downstroke) onde a compressão dos fluidos que estão na camisa da bomba faz com que a válvula de pé se feche. Com o pistão ainda descendo, as pressões acima e abaixo da válvula de passeio ficam iguais e ela se abre, dando passagem ao fluido para cima do pistão, retornando ao novo ciclo.

Thomas afirma, ainda, que para cada profundidade da bomba e vazão desejada de fluido existe diferença entre o pistão, fazendo com que não haja esforço desnecessário dos equipamentos da superfície.

Para compreender melhor o funcionamento do bombeio mecânico, é imprescindível que seja demonstrado o processo de deslocamento volumétrico do fluido, onde a quantidade deste fluido é descolada pela bomba de fundo em função da área e do curso do pistão durante o ciclo de bombeio (GOMES, 2009).

Como a área do pistão A_p é dada por:

$$A_p = \frac{\pi d^2 p}{4}$$

Onde d_p é o diâmetro do pistão. Considerando S_p o curso do pistão em polegadas, apresentamos o volume deslocado em um ciclo V_d , polegadas cúbicas, dado por:

$$V_d = \frac{\pi d_p^2 S_p}{4}$$

O regime de bombeio é representado por N ciclos por minuto, desta forma podemos determinar o deslocamento volumétrico P_d , em $\text{pol}^3 / \text{dia}$, como:

$$P_d = 1440 \frac{\pi d_p^2 S_p}{4} N$$

Segundo Gomes, 2009 alguns fatores podem causar imprecisão nesses cálculos, como:

- Compressibilidade do óleo e da água;
- Presença de gás associado;
- Enchimento incompleto da bomba;
- Perdas por escorregamento.

4.5.1.2 Coluna de hastes

As hastes operam em ambientes que podem ser abrasivos, corrosivos ou ambos. Pode haver cargas cíclicas, já que o peso do fluido acima da bomba é mantido pela coluna de hastes no curso ascendente; já no curso descendente é sustentado pela coluna de produção. Pelos esforços alternativos a coluna de hastes é um ponto crítico do sistema (THOMAS, 2004)

No mundo são utilizados diversos tipos de hastes. Podem-se encontrar hastes de aço até de fibra de vidro, sendo utilizadas com mais frequência as de aço. Os fatores que determinam a escolha da haste são as condições do poço e a composição química das extremidades metálicas para alguns tipos (THOMAS, 2004).

A haste que fica no cume da coluna é chamada de polida, pois a mesma tem a superfície externa polida. A mesma tem a finalidade de vedar a cabeça do poço contra possíveis vazamentos em conjunto com o stuffingbox (NASCIMENTO, 2005).

Haste polida é a que está sujeita as maiores cargas, entre elas estão:

- Peso das hastes(W_r) – é o peso das hastes no ar;

- Força de empuxo (W_b) – é o peso do fluido deslocado pelas hastes;
- Força de aceleração (F_{ac}) – é a força que causa variação de velocidade das hastes;
- Força de fricção (F_f) – atua no sentido oposto ao movimento das hastes e ocorre devido ao atrito haste/fluido. O seu é diretamente proporcional a velocidade das hastes;
- Peso do fluido (W_f) – é o peso da coluna de fluido que está acima do pistão. Esta força atua somente no curso ascendente, justamente quando a válvula de passeio está fechada.

O cálculo da carga total imposta á haste polida é a soma de todas as forças descritas acima:

$$W = W_r + W_b + F_{ac} + F_f + W_f$$

4.5.1.3 Unidade de bombeio

A unidade de bombeio é o equipamento que converte o movimento de rotação do motor em movimento alternativo das hastes. A escolha de uma unidade de bombeio para determinado poço deve levar em consideração o máximo torque, a máxima carga e o máximo curso de haste polida que irão ocorrer no poço. A unidade escolhida deve atender às três solicitações de forma a não sofrer danos quando da operação (THOMAS, 2004).

4.5.1.3.1 Estrutura

É composta por concreto ou perfis de aço, servindo de base para o tripé, a caixa de redução e o motor.

4.5.1.3.2 Tripé

Formado por 3 ou 4 perfis de aço, deve suportar toda carga da haste polida.

4.5.1.3.3 Viga transversal

Deve ter resistência suficiente para suportar de um lado a carga da haste polida e do outro a força transmitida pela biela.

4.5.1.3.4 Cabeça da UB

Suporta a carga da haste polida por meio de dois cabos de aço (cabresto) e uma barra carreadora.

4.5.1.3.5 Biela e manivela

Transmitem movimento ao balancim.

4.5.1.4 Contrapesos

Quando o fluido é elevado o motor somente fornece energia no curso ascendente, no curso descendente a gravidade é responsável pelo movimento das hastes. Para elevar os fluidos o motor exige força cíclica o que causa a redução da sua vida útil. Na intenção de minimizar esse desgaste são utilizados contrapesos que são colocados na manivela ou na viga de unidade. Sendo assim no curso de ascendente os contrapesos descem o que diminui a potência requerida do motor, já no curso descendente o motor fornece energia e eleva os contrapesos. Sendo assim ocorre uma distribuição mais uniforme das cargas, fazendo com que o motor seja exigido de forma mais contínua e aumentando sua vida útil.

4.5.1.5 Caixa de Redução

Transforma e energia de alta velocidade e baixo torque do motor em energia de alto torque e baixa velocidade. A redução é feita por meio de polias e de engrenagens. É projetado e construído para operar nos sentidos de rotação horária e anti-horária, devendo ser bipartido na linha de centro dos eixos (ROSSI, 2003).

4.5.1.6 Motor

O motor utilizado em um poço deve ter a potência necessária para elevar os fluidos desde o nível dinâmico até a superfície, sendo assim a soma das duas parcelas é igual à potência a ser entregue à haste. Podem ser elétricos ou de combustão interna. Nos locais onde existe energia elétrica são utilizados motores elétricos, pois possuem uma maior eficiência. Em locais isolados, onde a construção de uma rede para distribuição de energia elétrica não é viável economicamente, são utilizados motores de combustão interna (ROSSI, 2003).

4.5.2 Acompanhamento do Poço em Produção

4.5.2.1 Carta dinamométrica

Atualmente, a carta dinamométrica é uma das ferramentas mais utilizadas para analisar e avaliar como se encontram as condições e o desempenho do sistema do método de elevação artificial, bombeio mecânico. Uma carta dinamométrica é nada mais do que um gráfico que representa os efeitos que são gerados pela carga atuante na bomba, durante um ciclo de bombeio. Neste gráfico, a abscissa

irar representar a posição da haste polida e a coordenada vai representar a força que está aplicada no sistema (GOMES, 2009)

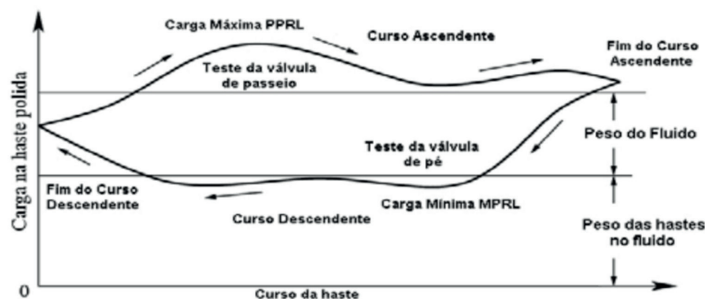
Para obter a carta dinamométrica é utilizado um equipamento conhecido como dinamômetro na haste polida para medir os esforços que ocorrem durante um ciclo de bombeio completo. Há dois tipos de cartas dinamométricas, a carta de superfície e a de fundo, estas cargas podem ser medidas tanto na superfície com o dinamômetro ou com um dispositivo especial de medição de força no fundo do poço na profundidade da bomba ou por meio de modelos matemáticos (LIMA, 2014)

Na carta de superfície obtêm-se importantes parâmetros do sistema de bombeio mecânico, tais como as cargas máximas e mínimas na haste polida, a potência requerida para a unidade de bombeio e o ajuste do contrabalanço da unidade de bombeio, atualmente, são utilizadas as cartas de superfície para estimar cartas de fundo, pois um dinamômetro conectado à haste polida localizada na superfície capaz de gerar essas cartas (CARVALHO, 2014).

Por causa dos efeitos dinâmicos, alongação das hastes e cargas inerciais a carta dinamométrica vai apresentar uma deformação, desta forma, a interpretação exata da mesma com o desempenho e as condições do sistema torna-se uma tarefa árdua. Tais cartas de fundo podem ser obtidas com a medição de fundo ou por meio de algoritmos que vai eliminar os fatores de deformação da mesma, logo, as cartas de fundo apresentam indicações mais eficientes sobre a condição operacional da bomba de fundo, sendo assim, são muito utilizadas para solucionar os problemas no sistema de BM (LIMA, 2014).

Com as cartas dinamométricas de fundo de poço a interpretação do funcionamento do sistema de bombeio é mais direta do que a carta de superfície, é também por meio da carta de fundo que é mais fácil distinguir modos de operações do sistema de bombeio, alguns são: normal, pancada de fluido, interferência de gás, vazamento de válvula de passeio e pé, escorregamento na bomba, furo na coluna de produção, espaçamento de produção, espaçamento de fundo incorreto e parafina (LIMA 2014).

Figura 5 – Carta dinamométrica



Fonte: Thomas (2004).

5 MODELAGEM DO SISTEMA DE SUPERFÍCIE

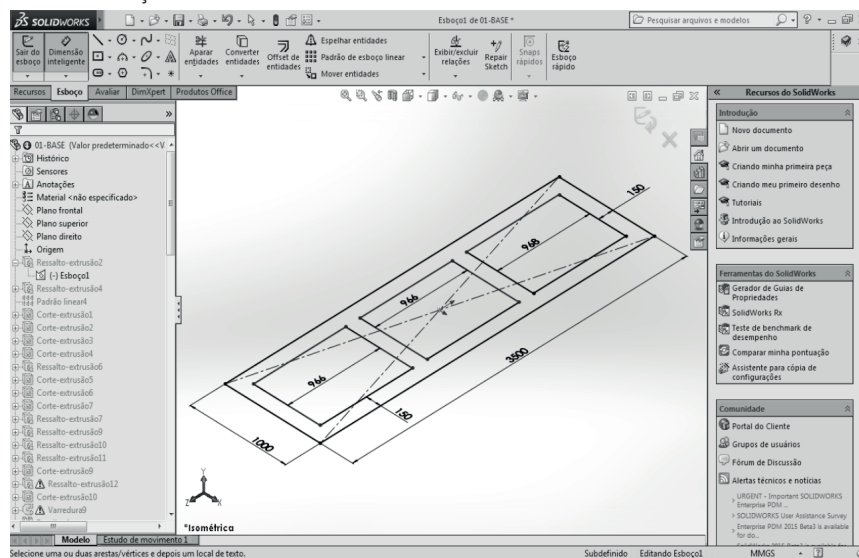
Para iniciar a modelagem do equipamento conhecido como cavalo-mecânico, foi necessário criar medidas de referência por meio de imagens e vídeos de modelos reais pesquisados na internet, visto que não foi encontrado nenhum projeto que se adequasse às necessidades dos pesquisadores. Percebeu-se então, que os projetos são desenvolvidos com base nas condições encontradas no campo de produção e no tipo de material a ser extraído.

Por meio destes exemplos, começou-se a modelagem por uma estrutura única composta pela base, tripé, caixa de redução e motor, pois estes componentes não precisam ser modelados sozinhos, visto que não há movimentação entre eles. Para isso deve-se pedir um novo documento do tipo peça, pois somente no final da modelagem, quando todas as peças estiverem feitas, é que se pede um novo documento do tipo montagem.

É importante salientar que o programa oferece recursos para aqueles que não estão familiarizados com suas funções, como tutoriais e informações gerais, disponíveis na aba “Recursos do SolidWorks”, no lado direito da janela principal.

A medida de referência escolhida para a montagem da base de aço foi de um retângulo de 3,5 metros de largura por 1 metro de comprimento, conforme mostra a Figura 6. Lembrando que as dimensões adotadas estão em milímetros, conforme mostra a indicação “MMGS” (milímetro, grama, segundo), na aba inferior, do lado direito, ao lado da interrogação (ajuda e dicas rápidas), podendo ser alteradas.

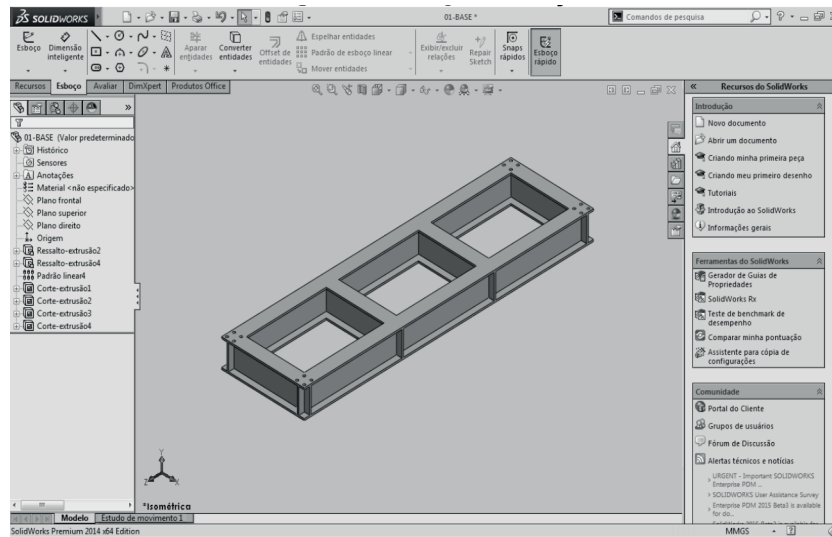
Figura 6 – Marcações da base



Fonte: Dados dos autores.

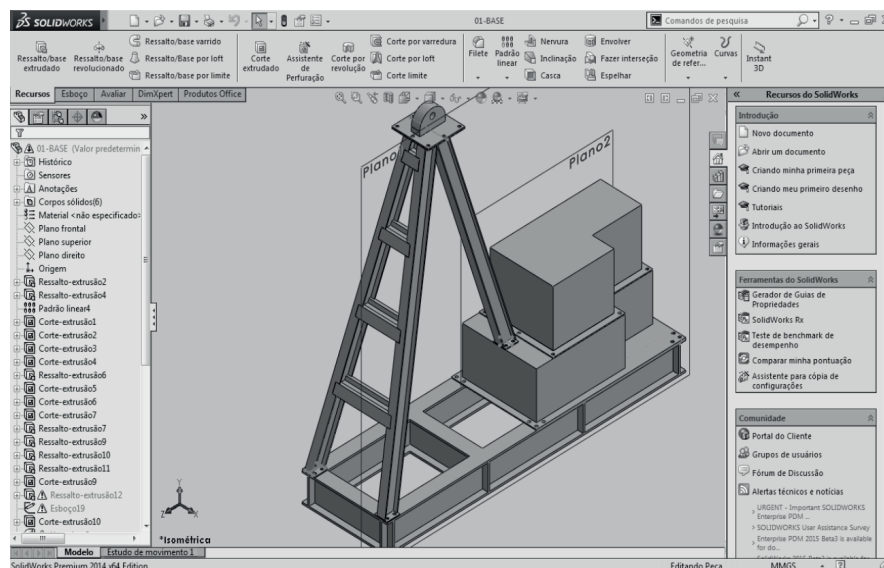
Utilizando o recurso “Ressalto/base extrudado”, desenhou-se sobre as marcações da base vigas de 20 mm de espessura, com 300 mm de altura. Por meio do recurso “Corte extrudado”, foi possível fazer furos na peça, onde foram colocados parafusos de 30 mm de diâmetro, igualmente espaçados, para mera complementação da visualização com o intuito de assemelhar-se ainda mais com um modelo real, uma vez que trata-se de uma peça única onde todos os componentes já estão ligados entre si. Conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Vigas de aço



Fonte: Dados dos autores.

Figura 8 – Base com tripé



Fonte: Dados dos autores.

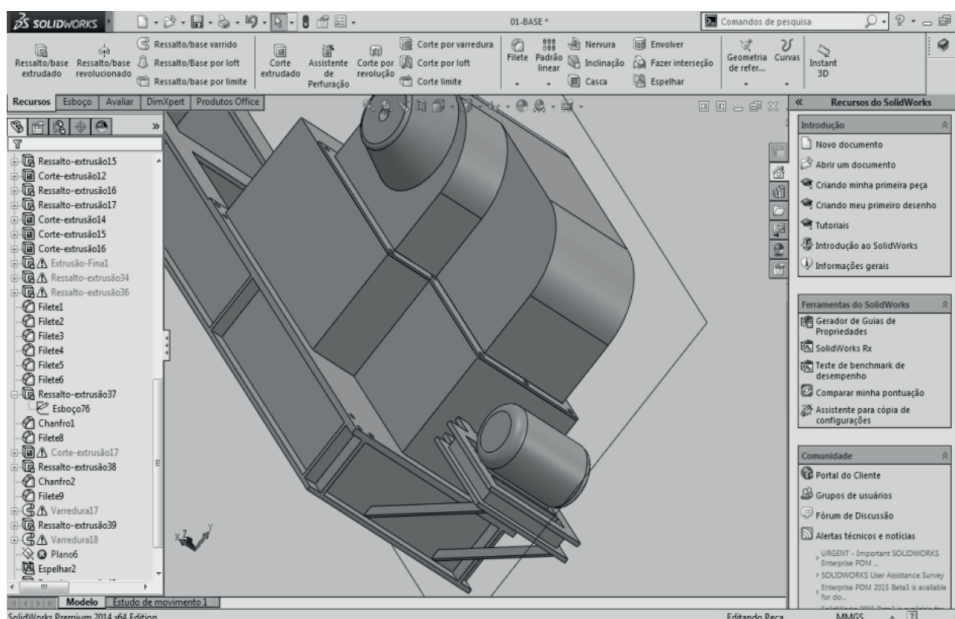
Posteriormente, utilizando o recurso “Ressalto/base extrudado”, fez-se uma “caixa” com chapas de 10 mm de espessura e 500 mm de altura, onde foram apoiadas as regiões de encaixe dos contrapesos, motor e um dos pés do cavalo.

Os pés foram feitos utilizando o recurso “Ressalto/base varrido”. Primeiramente, desenhou-se o perfil das vigas que darão origem aos pés na base de suporte, e depois fez-se a linha indicadora do caminho, ligando os planos inicial e final do pé. A caixa que servirá de apoio aos contrapesos foi feita aos moldes da caixa da figura 10 e as vigas que ligam os dois pés frontais do tripé foram feitas utilizando-se o recurso “Ressalto base/extrudado”, selecionando a opção de direção “até a superfície”.

Para arredondar as arestas da região da caixa de redução que servirá de apoio aos contrapesos utilizou-se o recurso “filete”.

Para fazer o suporte para o eixo dos contrapesos, fez-se uma extrusão dos dois lados da caixa de redução, seguido de um furo passante, no qual passará o eixo. O suporte para o motor, localizado na parte posterior da caixa de redução, foi feito por meio do comando “Ressalto/base varrido”, aos moldes dos tripés. Já para o motor, foi necessário criar um plano sobre o seu suporte e realizar a extrusão de uma peça cilíndrica, seguido de um filete em suas arestas.

Figura 9 – Região posterior da caixa de redução



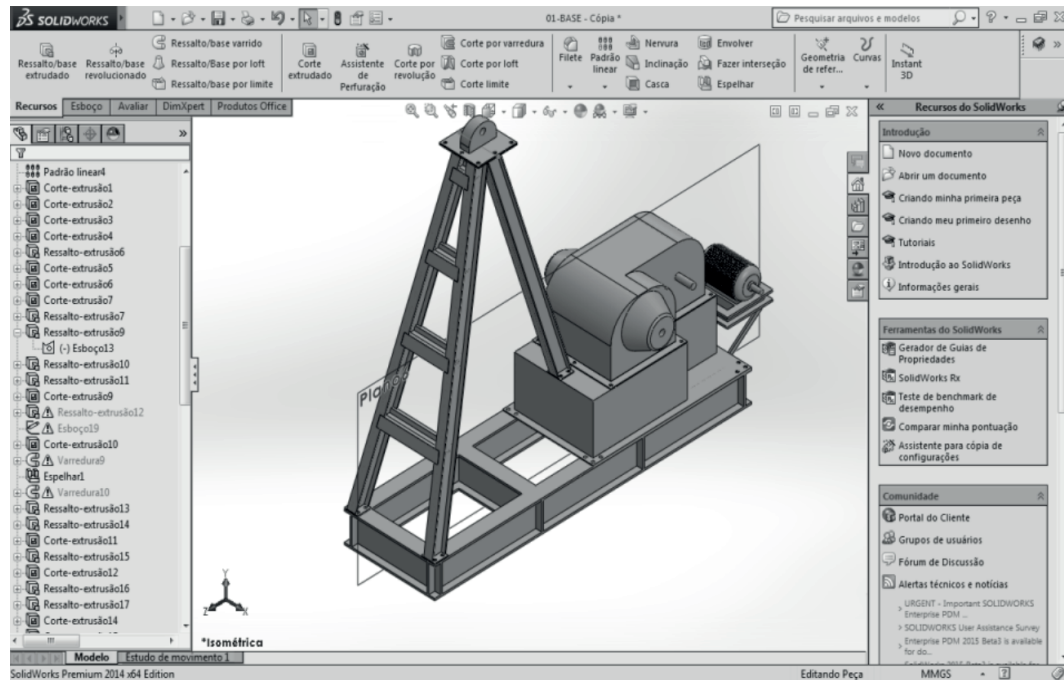
Fonte: Dados dos autores.

O detalhe que envolve o motor foi feito por meio do recurso “Padrão circular”, o qual para seu esboço foi criado um pequeno retângulo no mesmo plano que serviu

de base para a construção do cilindro do motor, seguido de um ressalto extrudado. Para o seu eixo, foi criado um círculo de diâmetro 30 mm em um plano do cilindro, seguido de um ressalto extrudado.

Após este processo, foi concluído o objetivo de criar uma peça única composta pela base, tripé, caixa de redução e motor. Conforme pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Peça única

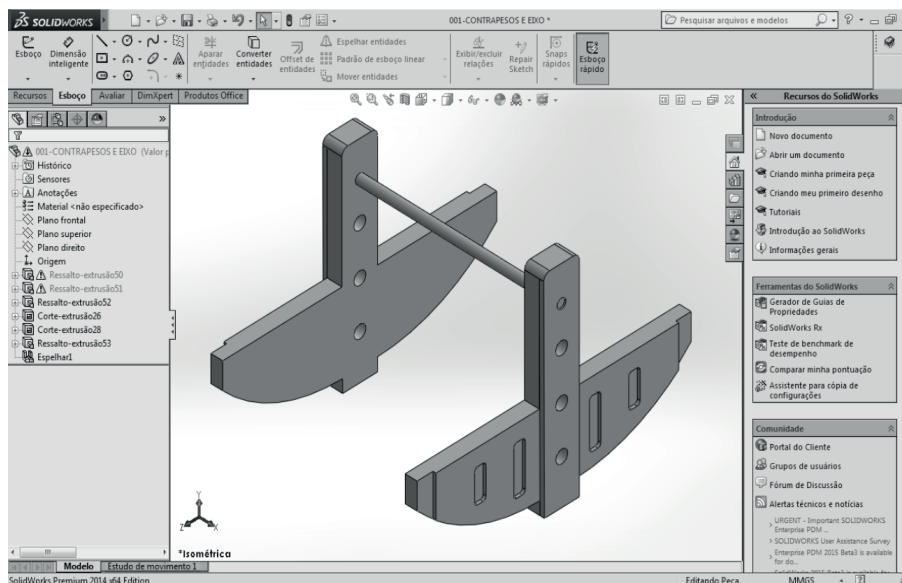


Fonte: Dados dos autores.

Para a próxima etapa, onde foram feitas as peças sobressalentes, fez-se necessário a criação de vários novos documentos do tipo peça, um para cada uma. Este processo é repetido: pede-se um novo esboço, desenha-se a figura desejada, cota-se o desenho com o comando “Dimensão inteligente”, e realiza-se um ressalto extrudado, seguido de ajustes particulares de cada peça.

Os contrapesos foram feitos, seguindo este processo como base, onde para o esboço tem-se a criação de um “T” invertido, seguido de uma extrusão, sendo que o eixo pode ser feito no próprio contrapeso por meio do comando “Ressalto/base extrudado”. Criado um contrapeso e metade do eixo, utilizou-se o comando “Espelhar corpos”, tendo como plano de simetria um plano entre os dois contrapesos e que divide o eixo ao meio.

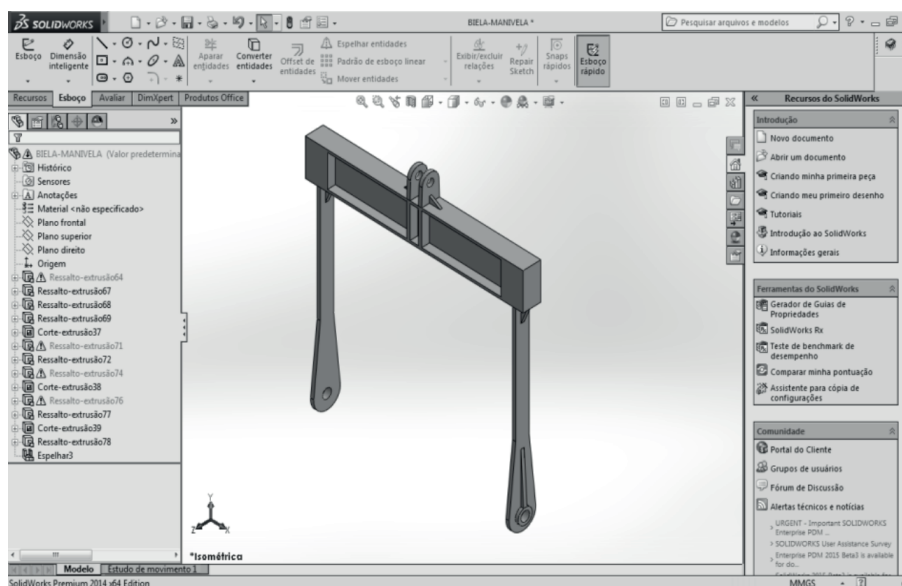
Figura 11 – Contrapesos



Fonte: Dados dos autores.

A biela e a manivela também foram feitas como uma peça única, uma vez que não há movimento entre elas. Atentando-se, entretanto, para as regiões de encaixe com os contrapesos e com a cabeça do cavalo mecânico, as quais devem ser meticulosamente planejadas, a fim de realizar um encaixe perfeito e não atrapalhar o movimento. Utilizou-se também o comando para espelhar corpos, uma vez que há um plano de simetria na peça, e proporciona maior agilidade na construção desta.

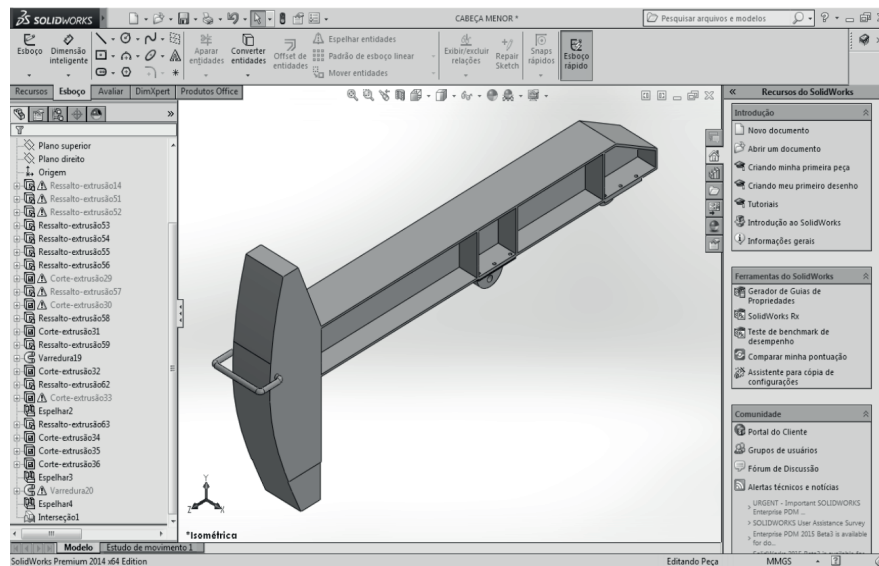
Figura 12 – Biela e Manivela



Fonte: Dados dos autores.

Para a cabeça do cavalo, também, se tomou como base um plano longitudinal como plano de simetria.

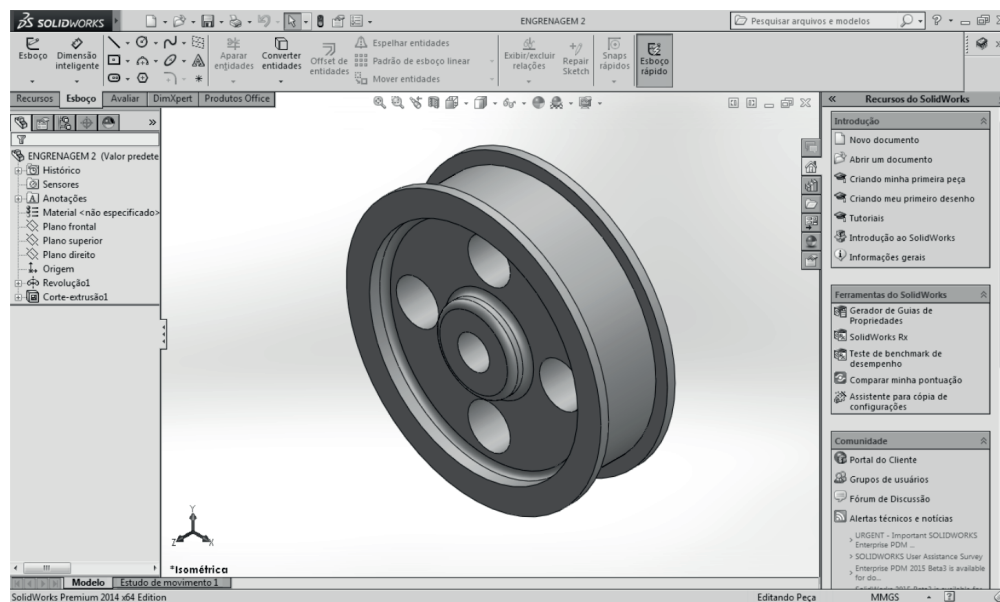
Figura 13 – Cabeça da unidade de bombeio



Fonte: Dados dos autores.

As duas polias foram feitas da mesma forma, contudo a polia que fica na caixa de redução tem o diâmetro maior.

Figura 14 – Polia



Fonte: Dados dos autores.

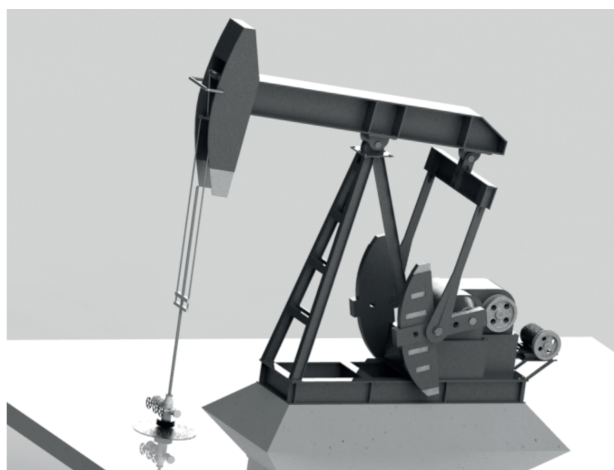
As últimas peças a serem feitas foram o parafuso e o conjunto referente aos cabos que ligam o sistema de subsuperfície à cabeça da unidade. Os parafusos são meramente ilustrativos e não terão a função de prender os componentes durante a animação, para isso basta realizar o comando “Ressalto/base extrudado” em um círculo de mesmo diâmetro do furo onde o parafuso será inserido, criando um cilindro, e posteriormente fazer duas porcas, também por extrusão, nas áreas planas do cilindro.

Para o sistema de cabos foi necessário a criação de um aparato que simulasse os cabos e que ficasse concêntrico ao sistema de subsuperfície durante a animação, uma vez que o programa SolidWorks® não tem a opção de criar cabos de aço.

O último passo da modelagem do protótipo consiste na união das peças e na animação do conjunto. Para isso deve-se criar um novo documento do tipo montagem, acessar na aba montagem a opção “Inserir componentes” e inserir todos os componentes feitos. Para unir os componentes deve-se clicar na opção “posicionar” e ir encaixando um a um, de forma que o próprio programa já realiza uma montagem prévia após a seleção das circunferências de diferentes peças (as quais ficam automaticamente concêntricas) e das faces (que ficam automaticamente coincidentes).

Posteriormente, deve-se realizar o estudo de movimento, clicando nesta opção localizada no canto inferior esquerdo. Coloca-se então a simulação de rotação de um motor no eixo dos contrapesos e no eixo de uma polia, uma vez que as polias estejam ligadas por uma correia o movimento será transmitido entre elas, e uma vez que os componentes: cabeça, biela/manivela e contrapesos, estejam devidamente posicionados o movimento também irá se perpetuar. Após esta seleção de simulação de movimento, o programa dá a possibilidade de criação de um vídeo, onde a peça rotaciona entorno de um eixo, realizando o movimento pré-selecionado.

Figura 15 – Concretização do protótipo de uma unidade de bombeio



Fonte: Dados dos autores.

5 CONCLUSÃO

Diante do apresentado, pode-se concluir que cada método de elevação artificial apresenta limitações, entre elas: resistência a areia, a viscosidade do óleo, profundidade e inclinação do poço. De acordo com essas restrições é possível fazer a escolha correta do método a ser trabalhado, proporcionando assim, a economia de recursos e uma maior quantidade de óleo a ser produzido.

O Bombeio Mecânico com Hastes é o método de elevação artificial mais utilizado, devido os baixos custos de instalação e manutenção, sendo muito indicado para poços que produzem óleo de alto nível de viscosidade. Todavia possui limitações principalmente com relação à profundidade do óleo e a inclinação do canal de perfuração até a formação que será explorada.

Uma etapa fundamental do trabalho foi a utilização do software Solidworks® versão 2014, pois por meio dele foi possível fazer a modelagem da Unidade de Bombeio Mecânico, possibilitando uma visão mais ampla do funcionamento e dos constituintes da unidade.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Lucas Gurgel de. **Obtenção de cartas dinamométricas de fundo através de dados de sensores de subsuperfície**. Disponível em: <sigaa.ufrn.br/sigaa/verProducao?idProducao=2402375&key=ccf00af4da7663444c6279504563228a>. Acesso em: 15 out. 2015.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **SolidWorks® Premium 2013: plataforma CAD/CAE/CAM para projeto, desenvolvimento e validação de produtos industriais**. São Paulo: Érica, 2013.

GOMES, Heitor Penalva. **Desenvolvimento de um sistema inteligente para a análise de cartas dinamométricas no método de elevação por bombeio mecânico**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2009.

LEONEZ, Ronnifran Cabral de Lima. Métodos de elevação utilizados na engenharia de petróleo—uma revisão de literatura. Disponível em: <www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/ronnifran_trabalhofinal_rev_mvn4-ELEVA%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: 25 set. 2015.

LIMA, Fábio Soares de. **Detecção e classificação de modos de operações do bombeio mecânico via carta dinomométrica**. Disponível em: <repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/12894/1/HeitorPG.pdf>. Acesso em: 12 out. 2015.

NASCIMENTO, J. M. A. **Simulação computacional para poços de petróleo com método de elevação artificial por bombeio mecânico.** Disponível em: <ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/JoaoMAN.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2015.

ORDOÑEZ, Bernardo. **Proposta de controle de operação de poços com bombeio mecânico através da pressão de fundo.** Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90890/258570.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 10 out. 2015.

ROSSI, N. C. M. **Bombeio mecânico:** apostila Universidade Corporativa PETROBRAS, abril de 2003.

SILVA, W. M.; SANTOS, J. C. **Elevação artificial em poços de petróleo.** Sergipe: ETFSE, 2002.

SOUZA, L. H. de A. *et al.* Aplicação do bombeio mecânico com hastes na elevação do petróleo. **Cadernos de Graduação** – Ciências Exatas e Tecnológicas. Sergipe, out. 2013.

THOMAS, José Eduardo. *et al.* **Fundamentos de engenharia de petróleo.** 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência; Petrobrás, 2004.

Data do recebimento: 11 de janeiro de 2016

Data de avaliação: 2 de fevereiro de 2016

Data de aceite: 18 de fevereiro de 2016

-
1. Acadêmico do Curso de Engenharia de Petróleo do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: fabioengenhariap@hotmail.com
 2. Acadêmica do Curso de Engenharia de Petróleo do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: larissarafaella01@hotmail.com
 3. Acadêmico do Curso de Engenharia de Petróleo do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: marcusvnunes@outlook.com
 4. Acadêmica do Curso de Engenharia de Petróleo do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: samya.may@hotmail.com
 5. Docente do Curso de Engenharia de Petróleo do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: Jaqueline_silva@al.unit.br