

1

Introdução

A Bomba de Cavidades Progressivas (BCP) pertence à categoria das bombas rotativas de deslocamento positivo. Seu princípio de operação baseia-se em criar cavidades dentro das quais os fluidos são deslocados axialmente desde uma zona de baixa pressão (sucção) até uma zona de alta pressão (descarga), como resultado do movimento relativo de seus componentes.

Na figura 1.1 apresenta-se o desenho esquemático de uma BCP, identificando-se seus dois componentes, estator e rotor. O componente externo é o estator, dentro do qual posiciona-se o rotor, constituindo o conjunto que forma uma série de cavidades isoladas umas das outras por linhas de interferência. Ao girar o rotor dentro do estator, as cavidades movimentam-se axialmente da sucção para o recalque da bomba, promovendo a ação de bombeio.

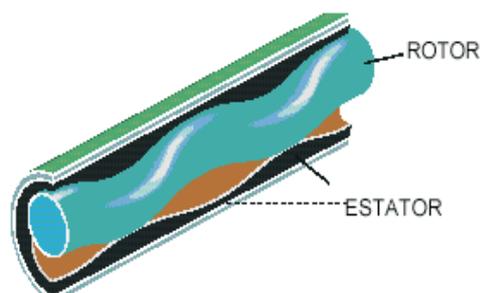


Figura 1.1: Componentes da BCP

O estator mais comum é composto externamente por um tubo de seção constante, no qual se insere um elemento de elastômero, sendo este tipo conhecido como estator deformável. Também existe o estator rígido, composto por peça única metálica, sendo que em ambos os casos, o estator é moldado no formato de uma hélice dupla interna. O rotor é sempre rígido, fabricado a partir de barras metálicas moldadas no formato de uma hélice externa, com superfície extremamente polida, geralmente formada por uma película de cromo.

Na sua configuração mais simples, a BCP é caracterizada por uma seção transversal de apenas um lóbulo. Neste caso, tem-se uma configuração 2:1 referindo-se ao número de lóbulos do estator e do rotor respectivamente.

Também existem BCP que possuem mais lóbulos, como pode ser visto na figura 1.2.

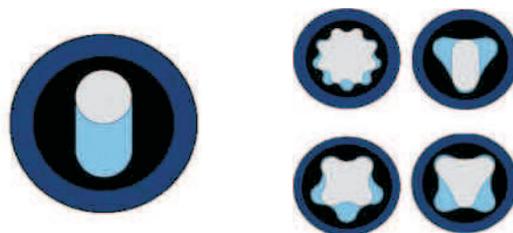


Figura 1.2: Gamboa [1]: seções transversais de BCP mono e multilobular

Apesar de ser um tipo de bomba amplamente empregada na indústria, quando se trata de utilização em poços de petróleo, ainda se encontram significativas lacunas de conhecimento sobre o funcionamento das BCP. Um grande desafio daqueles que se dedicam ao estudo das bombas de cavidades progressivas encontra-se no conhecimento do escoamento no interior das mesmas, em decorrência da complexidade de sua geometria e do acoplamento fluido-estrutura relacionado com a deformação da parede do estator. A simulação numérica deste escoamento evoluiu muito nos últimos anos, contribuindo para um melhor entendimento das características de operação das bombas. Porém, para superar a complexidade da BCP, os modelos existentes na literatura adotam simplificações, seja na geometria do rotor, no seu movimento, no escoamento através das folgas entre cavidades vizinhas ou na deformação da parede do estator. Um modelo simplificado do escoamento e da interação fluido-estrutura no interior das cavidades, que represente quantitativamente a operação da bomba, é de fundamental importância para o desenvolvimento desta tecnologia de bombeamento.

O escoamento no interior das bombas de cavidades progressivas tem sido tradicionalmente modelado como uma composição dos escoamentos de Couette e de Poiseuille, para definir o escorregamento, ou refluxo, entre cavidades consecutivas. O escorregamento, que ocorre tanto nos estatores rígidos, quanto nos deformáveis, corresponde ao volume de fluido que recircula dentro da bomba. O refluxo é responsável pela variação da vazão de fluido bombeado e é calculado pela diferença entre os volumes teórico e real fornecido pela bomba, em determinado intervalo de tempo.

Na BCP com estator rígido, define-se uma folga ou distância mínima entre o rotor e o estator, que está diretamente relacionada com o escorregamento. Na BCP com estator de elastômero, existe contato com o rotor, criando uma região conhecida como linha de selagem, que separa as cavidades. Em ambos os

casos, o escorregamento é função do diferencial de pressão, das propriedades dos fluidos e da geometria da bomba. A relação de diâmetros caracteriza a interferência, definida por Vetter e Wirth [5] como a menor distância entre o estator e rotor, sendo calculada pela diferença entre seus raios. Assim, a interferência será positiva para as BCP de elastômero, e será nula ou negativa para os estatores metálicos. A interferência nula significa que o estator e o rotor estão em contato, e a interferência negativa significa que existe uma folga entre os dois componentes. Na prática, todas as BCP com estator metálico são projetadas com interferência negativa, porque é inviável que rotor e estator metálicos operem em contato perfeito.

Embora a grande maioria das BCP seja de estator deformável, é crescente o uso de estatores metálicos. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo simplificado, porém preciso, para fluxo monofásico em BCP de estator rígido.

Como descrito anteriormente, o desempenho da bomba está diretamente relacionado ao escoamento através da folga entre cavidades consecutivas. Nesta região, devido à grande diferença de dimensão entre os comprimentos característicos longitudinal e transversalmente à folga, pode ser feita uma análise assintótica, com o objetivo de simplificar as equações diferenciais que descrevem o escoamento. Esta metodologia tem sido utilizada para o estudo de escoamento em anulares de poços, conforme descrito no trabalho de Pina e Carvalho [6].

No presente trabalho, a consideração de fluido Newtoniano e a aplicação da teoria da lubrificação permitiram obter a distribuição de pressão e o perfil de velocidade ao longo da bomba, através da solução de uma equação diferencial de segunda ordem, que é integrada através do método de diferenças centrais. A equação de Navier-Stokes tridimensional é transformada em uma equação de Poisson para o campo de pressão em duas dimensões, e é resolvida pelo método de diferenças centrais, reduzindo drasticamente o custo computacional das simulações.

Dada a complexidade da geometria da BCP, o trabalho foi dividido em duas etapas. Inicialmente foi adotada uma geometria simplificada que permitiu testar e validar o modelo. Numa segunda etapa implementou-se a geometria real de uma BCP com relação de passos do estator e do rotor igual a dois, conhecida como monolobular, que constitui o tipo de BCP mais utilizado na produção de petróleo,

Foi desenvolvido um programa numérico, implementado em ambiente Matlab®, para simular o escoamento no interior da BCP. Este programa permite realizar análises paramétricas da eficiência da bomba, variando-se a

viscosidade do líquido, o diferencial de pressão e a rotação, para qualquer modelo de bomba monolobular.

Os resultados são comparados a dados experimentais publicados, obtidos com BCP metálica bombeando fluidos de diferentes viscosidades, sob diversas condições operacionais. Os resultados deste trabalho também são comparados a dados apresentados por [4], obtidos de um simulador que resolve completamente as equações de Navier-Stokes, ressaltando-se a diferença do custo computacional destas duas soluções.