

## 2

### Levantamento Bibliográfico

As bombas de cavidades progressivas (BCP) são aplicadas em diversas atividades industriais desde a década de 1930, quando seu princípio básico foi apresentado pelo engenheiro francês René Moineau. Um forte nicho de aplicação de BCP encontra-se na indústria de petróleo, nas atividades de perfuração (para acionamento de brocas) e de produção. Embora no Brasil a utilização de BCP como método de elevação artificial em poços de petróleo tenha ocorrido há apenas cerca de 25 anos, em outros países, principalmente o Canadá, seu uso para esta finalidade existe desde a década de 1960 e continua a crescer, principalmente porque as mesmas constituem a melhor alternativa para produção de óleos viscosos, do ponto de vista de eficiência energética. A crescente descoberta e produção de petróleos pesados em vários países tem motivado o aprofundamento do conhecimento destas bombas, dando origem a diversos trabalhos de pesquisa, tanto nos meios acadêmicos quanto industriais.

Embora a BCP seja uma bomba com larga aplicação industrial, a literatura disponível sobre a mesma ainda é bastante limitada. São raras as publicações de cunho acadêmico, dentre as quais destaca-se Cholet [7], onde se encontra uma descrição da geometria e dos materiais dos dois componentes da BCP, rotor e estator. No âmbito das publicações científicas, a maior parte dos textos são relacionados às aplicações para produção de petróleo. Esta revisão bibliográfica detalhará este tipo de material selecionou-se artigos dedicados ao estudo do funcionamento da bomba e ao escoamento no seu interior. Uma grande fonte de informações encontra-se na tese de mestrado de Gamboa [1], publicada durante o período em que o autor trabalhava no centro de pesquisas da empresa PDVSA (Petróleos de Venezuela S.A.). Neste trabalho são detalhados a geometria e o princípio de funcionamento da BCP, apresentando os quatro parâmetros geométricos responsáveis pelo deslocamento dos fluidos no interior da BCP: o número de lóbulos do estator, o diâmetro do rotor, a altura da cavidade e a excentricidade (distância entre as linhas centrais do estator e do rotor).

Dado que a BCP é uma bomba relativamente recente na história das máquinas hidráulicas, e dada a complexidade de sua geometria, o conhecimento

do funcionamento dos fenômenos físicos no seu interior tem sido, na maioria das vezes, oriundo de trabalhos experimentais.

Inicialmente analisou-se alguns trabalhos puramente experimentais, tais como Mercedes [8], Olivet [9], Vetter e Wirth [5] e Bratu [10], além do já citado Gamboa [1]. Em seguida foram analisados trabalhos que associaram experimentos a modelos analíticos, tais como Gamboa [1] e Martin *et al* [11]. Nestes trabalhos encontram-se estudos de BCP com estator elastomérico e com estator metálico, tanto em fluxo monofásico quanto multifásico.

Dos trabalhos experimentais destacam-se as seguintes conclusões:

- A eficiência volumétrica é bastante afetada pelos parâmetros operacionais, tais como diferencial de pressão, rotação, viscosidade do fluido e principalmente pela fração de gás;
- Algumas características construtivas das bombas, tais como folga/interferência e excentricidade, modificam significativamente os resultados, porém avaliar seus efeitos experimentalmente é difícil dada a grande quantidade de bombas que deveriam ser testadas.
- Não foi estabelecida nenhuma correlação experimental para representar a distribuição de pressão nem a eficiência volumétrica da bomba, impossibilitando a ampliação destes resultados a outras bombas em distintas condições operacionais.

Dentre os trabalhos que apresentam modelos analíticos para descrever o escoamento na BCP, destacam-se as conclusões a seguir:

- Os primeiros trabalhos de simulação da BCP dedicaram-se à análise da distribuição dos esforços e da deformação dos componentes da bomba.
- O escoamento no interior da BCP é governado pela passagem do fluido através da zona de estreitamento entre o estator e o rotor, tanto nas BCP de elastômero quanto nas metálicas.
- A maioria dos trabalhos dedica-se a desenvolver uma modelagem hidrodinâmica para a BCP com interferência, porém todos esbarram na dificuldade de representar a deformação do elastômero.

Em 1995, Vetter e Wirth [5] pesquisaram sobre as bombas com estator metálico, demonstrando que a eficiência volumétrica de uma bomba sem contato entre estator e rotor pode ser elevada, o que garante um nicho de aplicação para este tipo de bomba. Neste trabalho, os autores contestaram curvas de fabricantes, apresentando resultados distintos, que ensejaram novos estudos experimentais com BCP metálicas.

Olivet *et al* [2] realizou estudos experimentais sobre o desempenho de bombas com estatores rígidos operando com fluxo monofásico e multifásico. Este trabalho foi pioneiro em experiências de laboratório com bombas metálicas operando com líquido e gás (água e ar) e seus resultados serviram de base para o modelo proposto posteriormente por Gamboa *et al* [3]. Nas figuras 2.1 e 2.2 encontram-se representações esquemáticas da bancada de testes e do posicionamento dos sensores de pressão no estator, utilizados por Olivet *et al* [2].

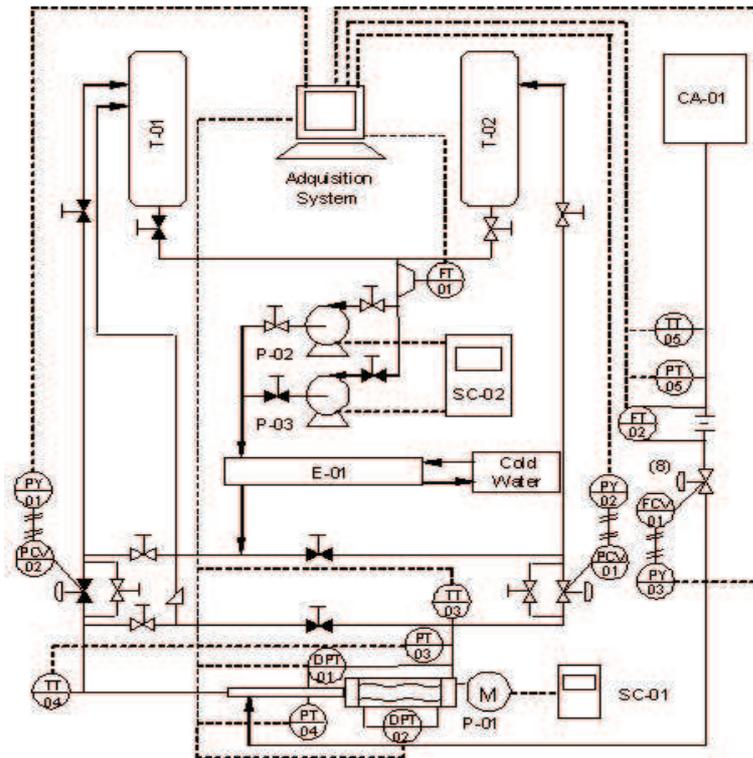


Figura 2.1: Olivet *et al* [2]: esquema do aparato de testes de BCP

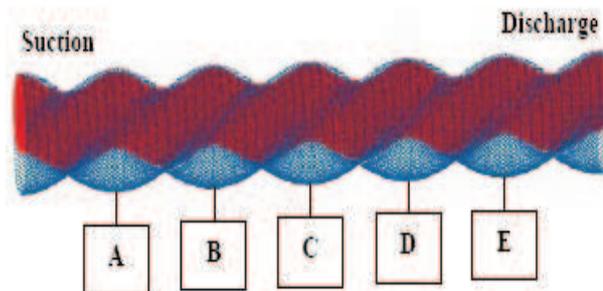


Figura 2.2: Olivet *et al* [2]: pontos de posicionamento dos sensores de pressão e temperatura

Gamboa *et al* [3] apresentaram um modelo para bombas de lóbulos único, abordando tanto os estatores deformáveis quanto os estatores rígidos, onde foi demonstrado que o desempenho dos primeiros é governado apenas pelo regime de fluxo entre as folgas, porém nos últimos a deformação do elastômero deve ser considerada. Neste modelo, para os estatores rígidos adota-se uma área constante para o escorregamento, enquanto que para os estatores de material polimérico, a deformação do estator é preponderante, considerando-se uma área variável para o escorregamento, expressa por uma função quadrática que envolve o movimento do rotor e o diferencial de pressão entre as cavidades. Uma representação esquemática da BCP com destaque para as áreas de escorregamento de fluidos pode ser vista na figura 2.3. Neste trabalho, que comparou os dados do modelo com resultados experimentais, foi identificada a necessidade de aprimoramentos na obtenção do fator de fricção utilizado no cálculo do escorregamento. Além disso, o modelo ficou restrito aos tipos de BCP estudados, não sendo possível aplicá-lo a outras geometrias.

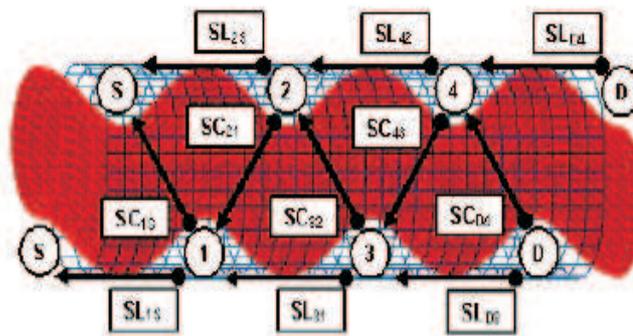


Figura 2.3: Gamboa *et al* [3]: representação do modelo de escorregamento

Por último foi estudado o recente trabalho publicado por Paladino *et al* [4], que também apresenta uma revisão da literatura, comentando os diferentes modelos existentes, suas simplificações e limitações que motivaram o desenvolvimento de um simulador do escoamento entre o rotor e o estator, utilizando um pacote comercial de dinâmica de fluidos computacional: CFX/ANSYS. O trabalho foi desenvolvido com base no modelo completo da geometria das cavidades e da cinemática do rotor para BCP monolobular com estator rígido, adotando-se dois valores de folga entre o rotor e estator. Os autores comentam as dificuldades enfrentadas para gerar a malha para o simulador, uma vez que se trata de uma malha móvel e com regiões de dimensões muito pequenas. Na figura 2.4 encontra-se uma visão da estrutura de blocos da malha utilizada. Embora os resultados mostrem claramente o potencial da simulação para o estudo do escoamento no interior de BCP, o tempo computacional para a sim-

ulação da bomba é extremamente alto, tornando a análise do funcionamento de uma bomba real, em função dos diversos parâmetros de operação, uma tarefa de custo muito elevado e de pouca praticidade.

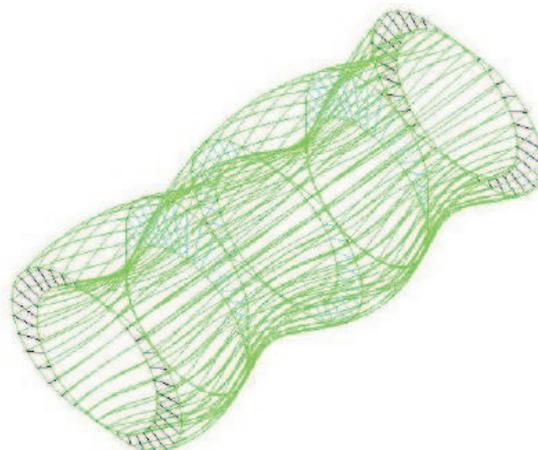


Figura 2.4: Paladino *et al* [4]: topologia de blocos usada na geração da malha

A partir dos trabalhos pesquisados, pode-se concluir que o comportamento da BCP ainda não está satisfatoriamente modelado, havendo oportunidade para o desenvolvimento de modelos e ferramentas práticas que permitam fazer previsão de comportamento, variando-se parâmetros geométricos e operacionais.

Um modelo simplificado que apresente resultados satisfatórios pode ser acoplado a simuladores do sistema de elevação de petróleo por BCP, tornando-os uma ferramenta mais completa e confiável para projeto e verificação de poços. Eventualmente tal ferramenta poderá ser aplicada na otimização de poços, conjugada com sistemas de aquisição de dados em tempo real. Para exemplificar a pertinência desta aplicação, cita-se a tese de doutorado de Assman [12], onde se encontra uma modelagem do sistema de BCP e um simulador que pode ser aplicado tanto para dimensionamento quanto para controle. Neste trabalho, considerado um marco no desenvolvimento de sistemas especialistas de BCP, a bomba é representada somente pelo diferencial de pressão requerido, portanto o acoplamento do presente modelo poderia acrescentar uma relevante contribuição para a simulação completa do sistema.