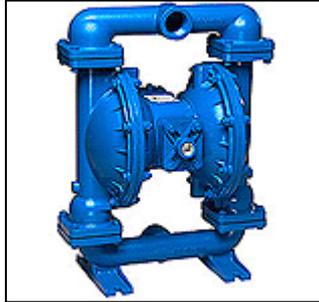


## Unidade II

### Bombas de Deslocamento Positivo ou Bombas Volumétricas



## 2.1 Princípio de Funcionamento das Bombas de Deslocamento Positivo

As **Bombas de Deslocamento Positivo ou Volumétricas** caracterizam-se por produzir, em uma ou mais de suas câmaras, variações do volume interno, o que acarreta ou provoca variações de pressões responsáveis pela aspiração ou recalque do fluido (obedecendo a equação  $P.V = \text{constante}$ , ou seja, quando o volume aumenta, a pressão cai e o fluido é aspirado; quando o volume interno diminui, a pressão aumenta e o fluido é recalcado).

São também chamadas de volumétricas, pois o volume que o líquido ocupa e desocupa nas câmaras é conhecido.

Podem possuir uma ou mais câmaras, em cujo interior o movimento de um elemento propulsor comunica energia de pressão ao fluido, provocando o seu escoamento.

A vazão é proporcional à geometria (tamanho) da bomba e a velocidade com que se movimenta o elemento propulsor.

As bombas de deslocamento positivo são usadas para pressões elevadas e descargas relativamente pequenas, conforme se verifica na Figura 1:

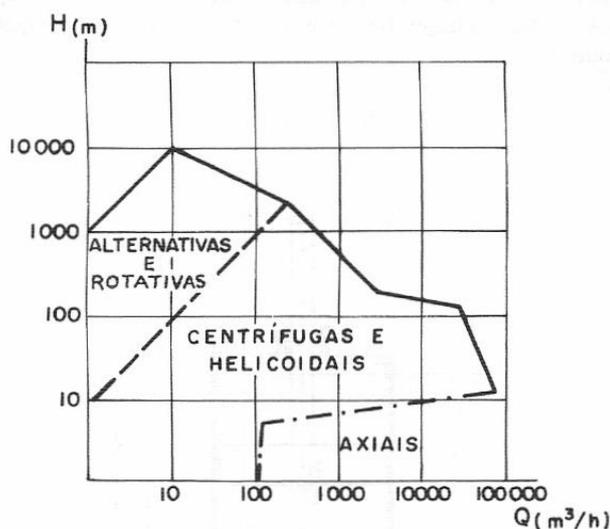
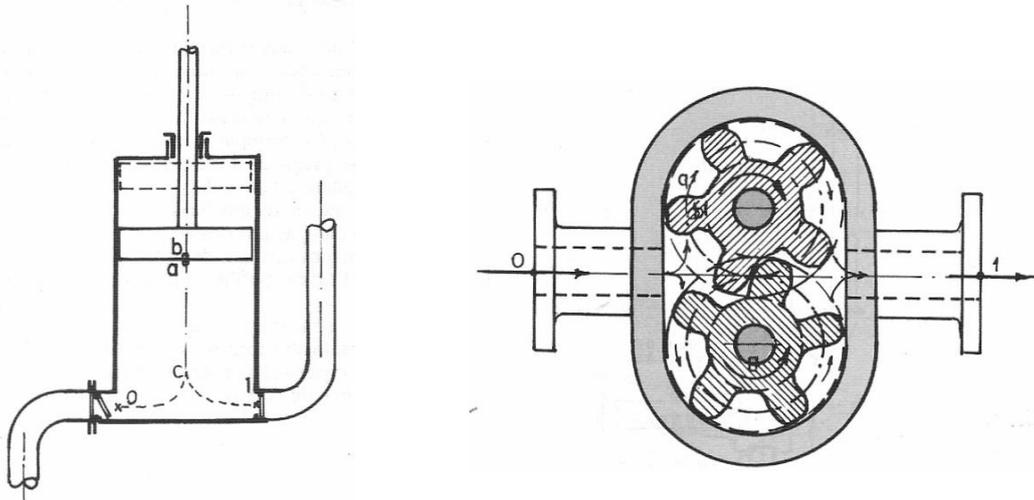


Figura 1: Campo de Emprego das Bombas

As Bombas de Deslocamento Positivo tem como Característica Principal que a partícula líquida, em contato com o elemento que comunica energia, tem praticamente a mesma trajetória que a do ponto do elemento o qual está em contato.

Assim, por exemplo, na bomba de êmbolo aspirante-premente, representada pela Figura 2, a partícula líquida *a* tem a mesma trajetória retilínea do ponto *b* do pistão, exceto nos trechos de concordância inicial e final *0-c* e *c-1*. Na bomba de engrenagem Figura 3, a partícula líquida *a* tem aproximadamente a mesma trajetória circular que a do ponto *b* do dente da engrenagem, exceto nos trechos de concordância na entrada e na saída do corpo da bomba.

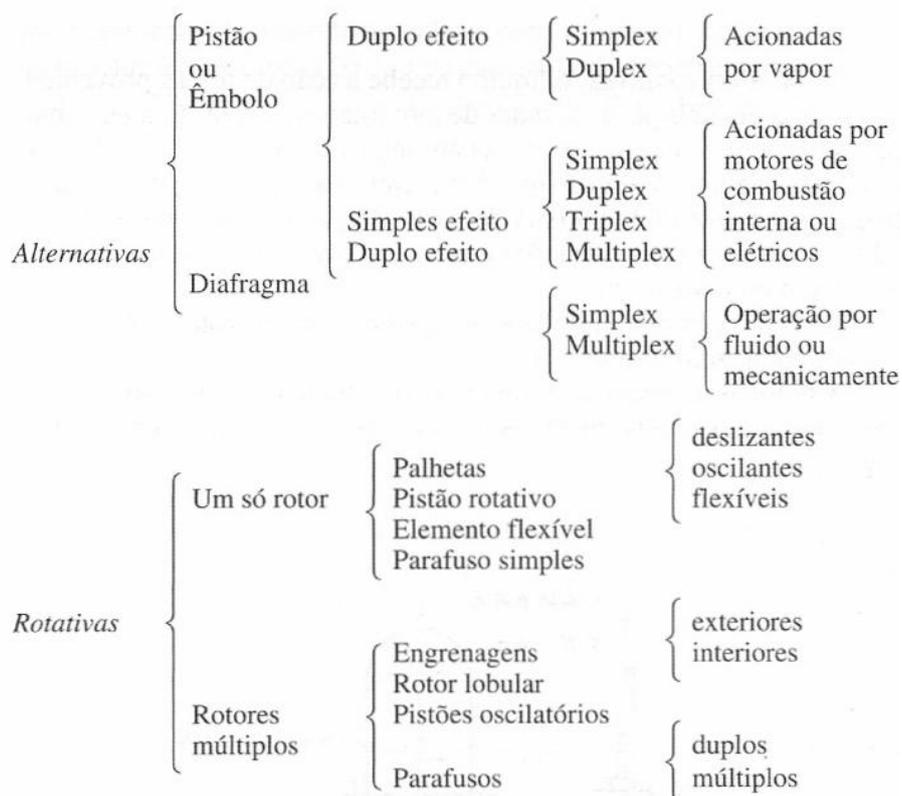


Figuras 2 e 3: Exemplo de Trajetória das Partículas em Bombas de deslocamento Positivo

Vantagens das Bombas de Deslocamento Positivo em relação às Centrífugas:

- Aspiração mais fácil
- Melhor eficiência
- Não há necessidade de escurvamento
- São mais adequadas para altas pressões e baixas vazões

**2.2 Classificação das Bombas de Deslocamento Positivo**



## 2.3 Bombas de Deslocamento Positivo Alternativas

Neste tipo de bomba, o elemento bombeador faz um movimento de vai-e-vem, alternando o seu sentido (movimento alternativo). O líquido recebe a ação de forças diretamente de um pistão ou êmbolo ou de uma membrana flexível (diafragma).

Princípio de Funcionamento: No curso da aspiração o pistão, êmbolo ou diafragma tende a produzir vácuo no interior da bomba, provocando o escoamento do líquido existente em um reservatório, cuja pressão (atmosférica) é maior do que a pressão no interior da câmara. No curso da descarga o elemento bombeador tende a diminuir o volume interno, aumentando a pressão interna provocando o deslocamento para a descarga da bomba.

### Tipos

#### 2.3.1 Bomba de Pistões

Podem ser de:

*Simples efeito* – quando apenas uma face do êmbolo atua sobre o líquido.

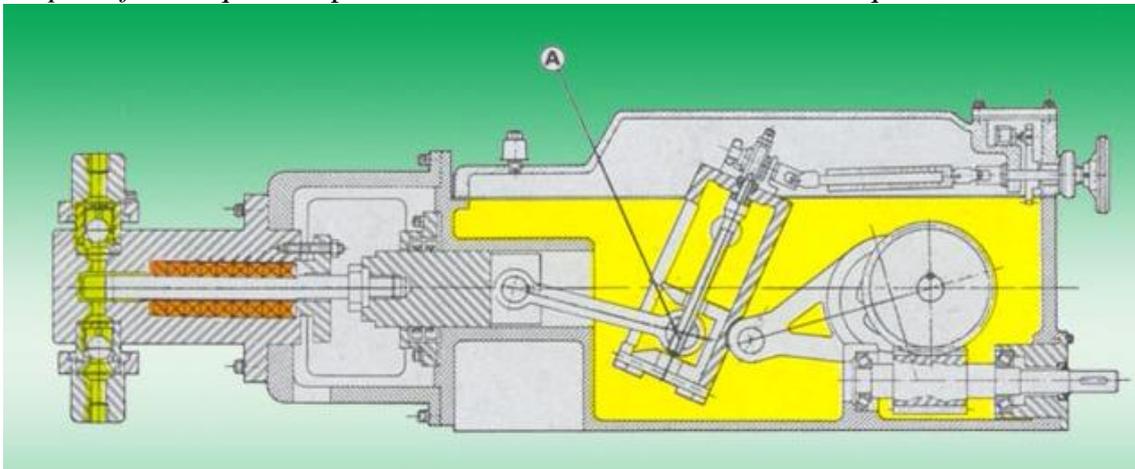


Figura 4: Bomba de Pistões Simples Efeito

*Duplo efeito* – quando as duas faces atuam.

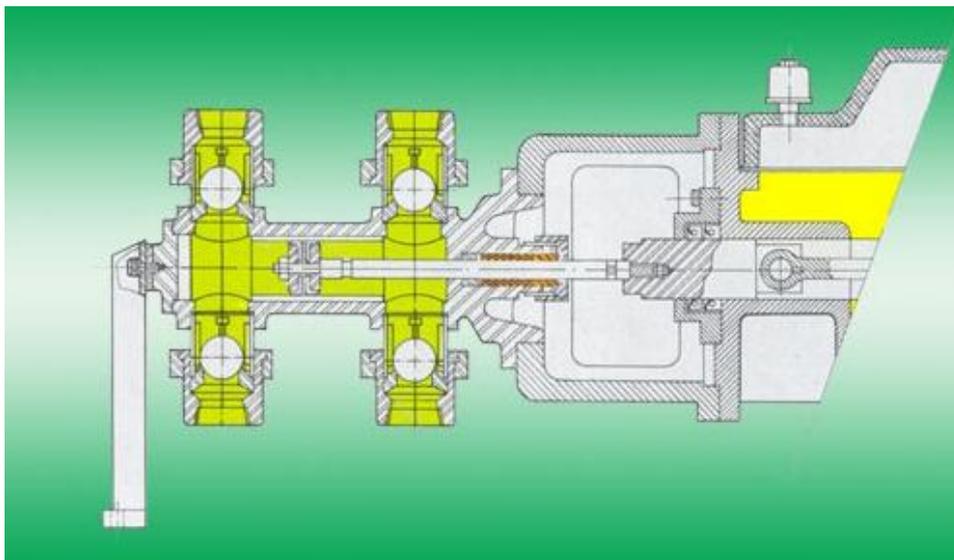


Figura 5: Bomba de Pistões Duplo Efeito

Também podem ser:

*Simplex* – quando existe apenas uma câmara com pistão ou êmbolo.

*Duplex* – quando são dois os pistões ou êmbolos.

*Triplex* – quando são três os pistões ou êmbolos.

*Multiplex* – quando são quatro ou mais pistões ou êmbolos.

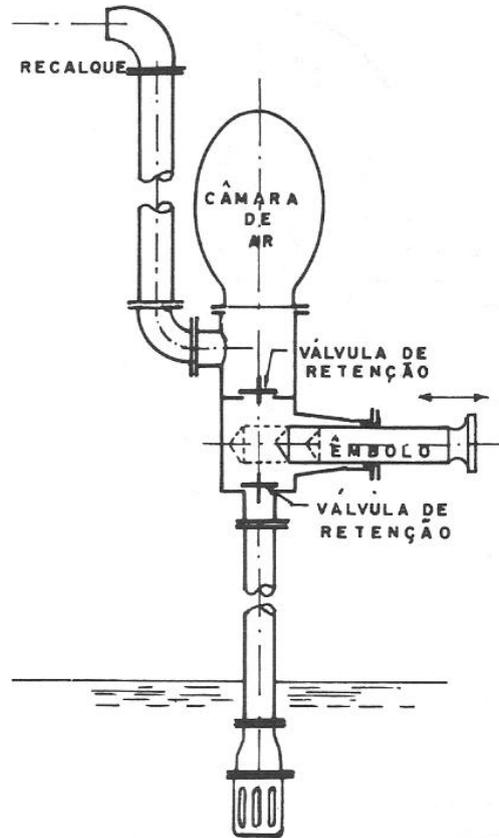


Figura 6: Exemplo de Bomba de Pistões com Câmara de ar (amortecedor de pulsação).

### Acumuladores ou Amortecedores de Pulsação

O uso de um acumulador fornece meios de armazenar os fluidos incompressíveis (líquidos) sob pressão, pois os líquidos não podem ser comprimidos e armazenados sob pressão para serem utilizados posteriormente, diferentes dos gases.

O armazenamento no acumulador é obtido quando o líquido, sob pressão, entra na câmara do acumulador e, posteriormente, qualquer queda de pressão na abertura de entrada criará uma reação no elemento elástico (ar...), forçando o líquido a sair do acumulador. Desta forma, a principal função de um acumulador é de diminuir a pulsação na descarga de uma bomba alternativa.

Existem três tipos de acumulador:

- Comprimindo uma mola

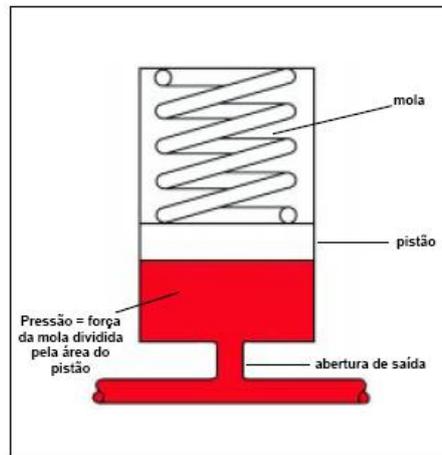


Figura 7: Acumulador Carregado à mola

- Comprimindo um gás (+ comum)
  - Sem separação (gás com líquido)

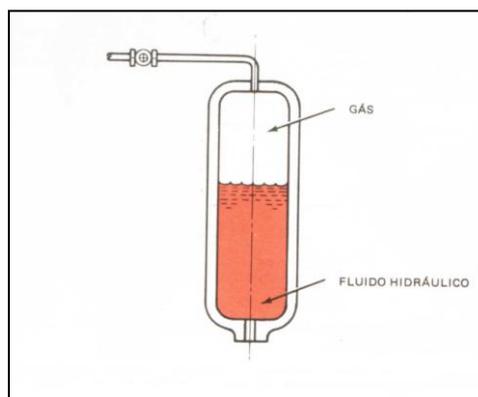


Figura 8: Acumulador sem separação (gás/líquido)

- Diafragma (borracha sintética)

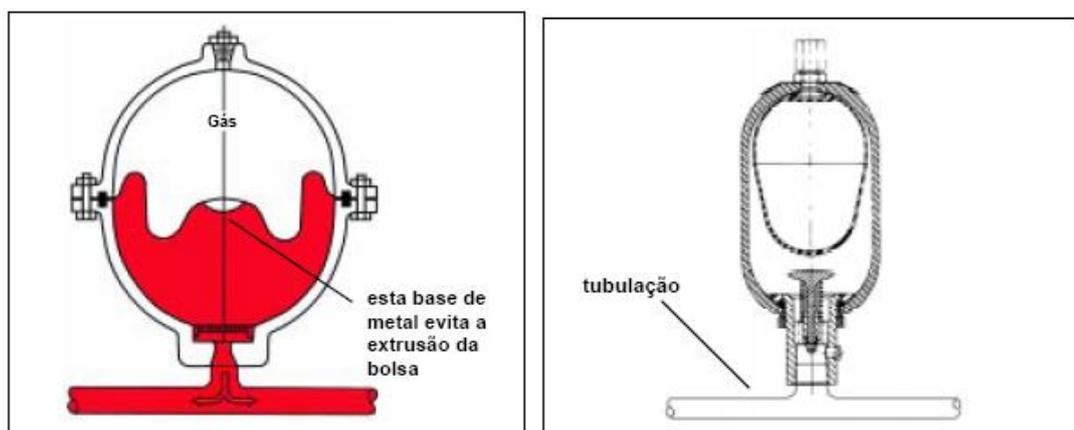


Figura 9: Acumulador de Diafragma e tipo Bexiga

- Pistão (gás aciona um pistão)

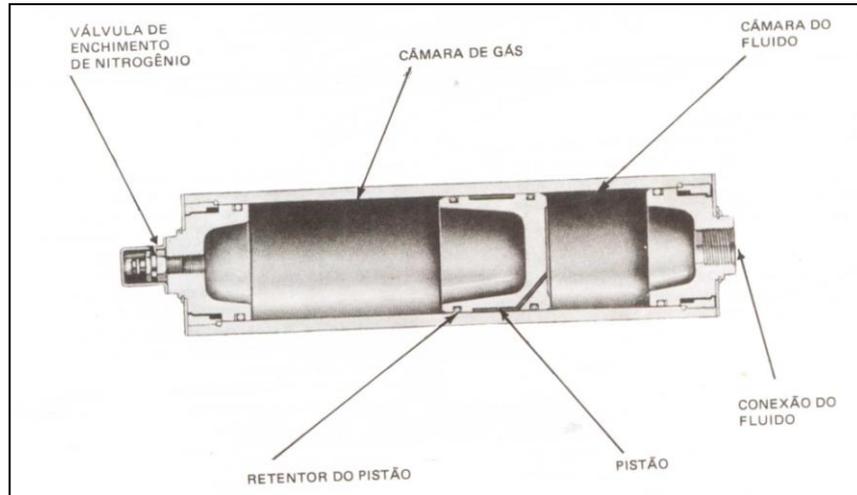


Figura 10: Acumulador de pistão acionado por gás

- Levantando um peso

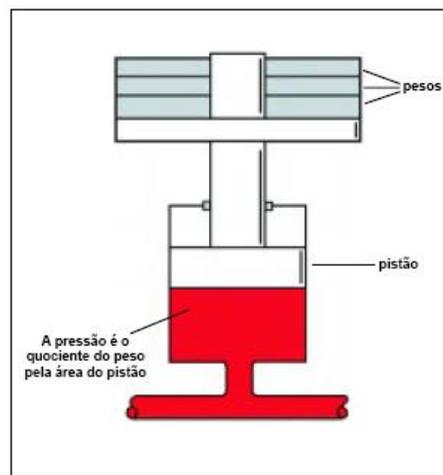


Figura 11: Acumulador Carregado por peso

### 2.3.2 Bomba de Diafragma

Funcionamento: O elemento que fornece energia ao líquido é uma membrana acionada por uma haste com movimento alternativo. O movimento da membrana, em um sentido, diminui a pressão da câmara fazendo com que seja admitido um volume de líquido. Ao ser invertido o sentido do movimento da haste, este volume é descarregado na linha de recalque, onde ocorre o aumento da pressão.

A membrana pode ser acionada hidráulicamente, mecanicamente (pistão), por campo eletromagnético, por ar comprimido...

O fluxo é pulsante, utilizando-se, em algumas bombas, acumuladores ou amortecedores de pulsação.

Necessidade de válvula de alívio no início da linha de recalque.

Usos: Bomba submersa de água (acionamento eletromagnético); Bombas dosadoras (Tratamento de água, produtos químicos); Bombas de combustível (Veículos).

São bastante utilizadas para bombear produtos químicos (tóxicos, abrasivos, inflamáveis, agressivos), pois são projetadas para não possuírem vazamentos, não possuindo gaxetas.

Para funcionarem como bombas dosadoras é necessário variar a velocidade do elemento que aciona a membrana.

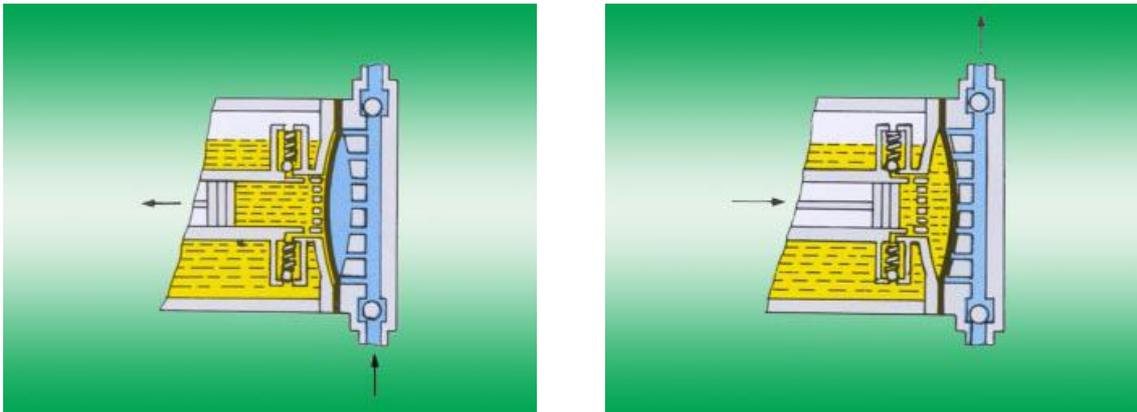


Figura 12: Desenho Esquemático de uma Bomba de Diafragma

## 2.4 Bombas de Deslocamento Positivo Rotativas

Nestas bombas, de uma maneira geral, o líquido recebe a ação de forças provenientes de uma ou mais peças dotadas de movimento de rotação que, comunicando energia de pressão, provocam o escoamento deste líquido. “Existe uma redução de pressão na entrada, provocando a aspiração e, com o movimento de rotação, o líquido é deslocado para a saída.”

A vazão é proporcional ao volume do líquido aprisionado na câmara formada entre o rotor e a carcaça (geometria da bomba) e também é função da velocidade de rotação do rotor.

As bombas rotativas são empregadas para bombear uma grande variedade de líquidos, numa ampla faixa de pressões, descargas, viscosidade e temperaturas. Algumas destas bombas, não podem funcionar com líquidos que contêm substâncias sólidas em suspensão ou partículas abrasivas, uma vez que, sendo as folgas mínimas, a bomba ficaria sujeita a paralisações ou a um rápido desgaste.

### Vantagens:

- Proporcionam vazão uniforme (algumas têm uma pulsação mínima)
- São auto-aspirantes
- As dimensões são reduzidas (fundações e bases pequenas)
- Elevado rendimento
- Pouca vibração

### Desvantagens:

- Desgastam-se rapidamente com a presença de substâncias abrasivas no líquido
- O rendimento varia de modo acentuado com a viscosidade do fluido.
- O custo é conseqüência da necessidade de precisão de usinagem e de folgas muito pequenas.

São empregadas em: sistemas de lubrificação sob pressão, processos químicos, comandos e controles hidráulicos de máquinas, transmissões hidráulicas, instalações petrolíferas, indústrias alimentícias...

## **2.4.1 Bombas de Deslocamento Positivo Rotativas – Um só Rotor**

### **a) Bomba de Palhetas**

São constituídas basicamente por uma carcaça que encerra um rotor com ranhuras, nas quais se alojam as palhetas. O rotor gira em torno da carcaça ou de um anel, formando uma câmara fechada. Através do acionamento do eixo, o rotor ganha rotação, as palhetas tendem a se afastar do centro do rotor pela ação da força centrífuga. Com isso, as palhetas se mantêm em contato com o anel ou a carcaça que, por sua vez, são excêntricas em relação ao eixo do sistema. Devido a esta excentricidade, as câmaras formadas entre duas palhetas vão variando o volume. Com o aumento progressivo do volume, o líquido é succionado, ou seja, a entrada da bomba está localizada em um ponto onde ocorre a expansão do tamanho das câmaras de acordo com o sentido de rotação. Com o giro, as câmaras vão diminuindo de volume e, as palhetas vão se introduzindo novamente ao rotor. Com esta redução de volume, a pressão aumenta e o líquido é expelido para fora da bomba.

### Tipos:

- Balanceada
- Descarga Constante
- Descarga Variável

Balanceada: Tem duas saídas opostas em relação ao eixo, de forma a ter duas forças de mesma intensidade e sentidos opostos atuando sobre o eixo, evitando o esforço de flexão ao qual o eixo fica submetido nos pinos de pressão. Evita-se a carga radial sobre o eixo e os mancais da bomba.

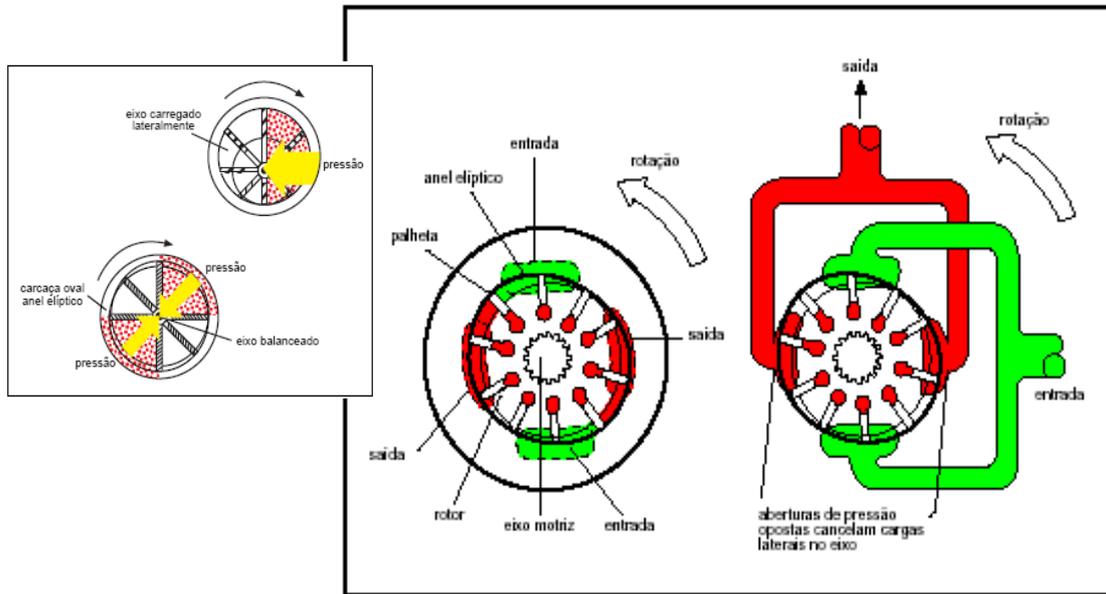


Figura 13: Bomba de Palhetas do Tipo Balanceado

Descarga Constante: São constituídas basicamente por uma carcaça que encerra um rotor com ranhuras, nas quais se alojam as palhetas. O rotor gira em torno da carcaça, formando uma câmara fechada. Através do acionamento do eixo, o rotor ganha rotação, as palhetas tendem a se afastar do centro do rotor pela ação da força centrífuga. Com isso, as palhetas se mantêm em contato com a carcaça que, por sua vez, é excêntrica em relação ao eixo do sistema. Devido a esta excentricidade, as câmaras formadas entre duas palhetas vão variando o volume. Com o aumento progressivo do volume, o líquido é succionado, ou seja, a entrada da bomba está localizada em um ponto onde ocorre a expansão do tamanho das câmaras de acordo com o sentido de rotação. Com o giro, as câmaras vão diminuindo de volume e, as palhetas vão se introduzindo novamente ao rotor. Com esta redução de volume, a pressão aumenta e o líquido é expelido para fora da bomba.

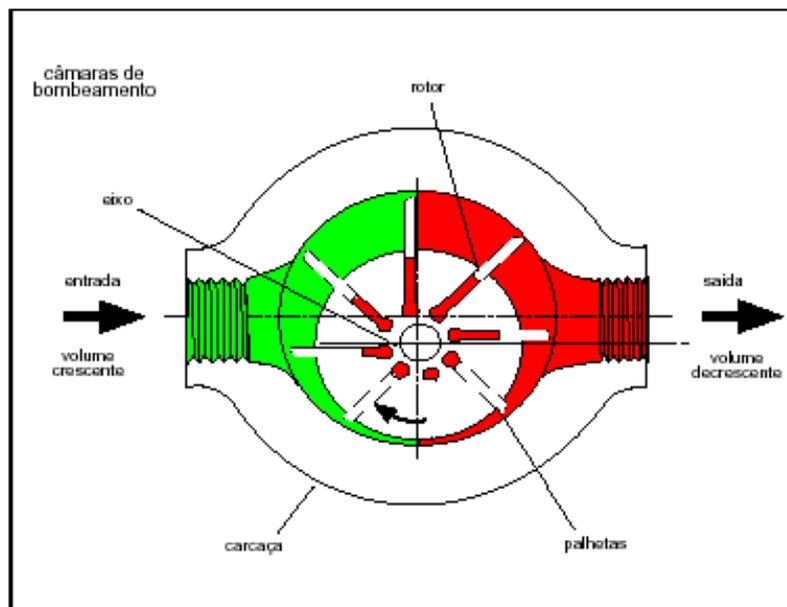


Figura 14 - Bomba de Palhetas de Descarga Constante

Descarga Variável: De forma geral, as bombas de palhetas de descarga variável possuem um compensador de pressão, o compensador de pressão controla a pressão máxima do sistema, onde o volume da bomba é modificado automaticamente com o deslocamento de um anel, que é regulado através do ajuste da mola do compensador. Este movimento do anel faz com que se varie a vazão do sistema, se o anel ficar centralizado, a vazão cai a zero, ao mesmo tempo que se mantém a pressão do sistema.

A bomba de palhetas com compensador possui vantagens como: maior resistência a picos de pressão, não necessita de válvula de alívio, vazão variável,...

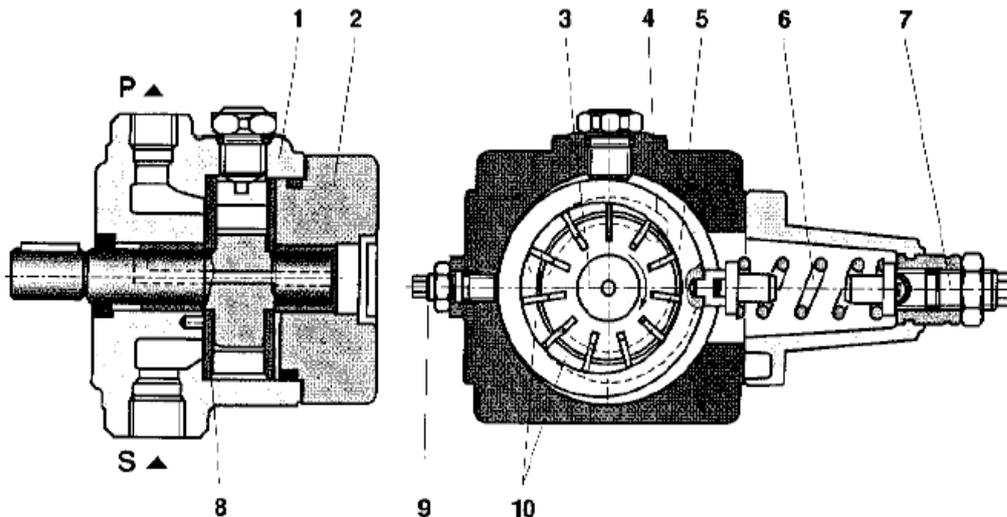


Figura 15 – Bomba de Palhetas de Descarga Variável

São compostas pela carcaça (1), tampa (2), rotor (3), palhetas (4), anel de estator (5), mola de compressão (6), parafuso de ajuste (7), e disco de comando (8).

Para a limitação da vazão máxima a bomba está equipada com um parafuso de ajuste (9). Dentro do anel estator (5) gira o rotor acionado (3). As palhetas, guiadas no rotor, são pressionadas contra a pista deslizante interna do anel estator (5), dada a ação da força centrífuga.

O processo de sucção e deslocamento ocorre da seguinte forma: As células (10), necessárias para o transporte do fluido, são formadas pelas palhetas (4), do rotor (3), do anel estator (5), do disco de comando (8), e da tampa (2). Os volumes das células (10) aumentam de forma crescente mediante a rotação do rotor (3) e, com isto são preenchidos com fluido hidráulico através do canal de sucção (S). Ao atingirem o máximo de seu volume, as células (10) são separadas do canal de sucção. Com a continuação de giro do rotor (3) as células recebem comunicação com o lado de pressão e, reduzindo seu volume, deslocam o fluido hidráulico através do canal (P) para dentro do sistema.

A regulagem de pressão é feita obedecendo ao seguinte processo: O anel estator (5) é mantido em sua posição excêntrica inicial mediante a mola (6). A pressão de operação máxima requerida no sistema é regulada no parafuso de ajuste (7) através da mola (6). A pressão em decorrência da resistência de operação atua no lado de pressão sobre a pista deslizante interna do estator contra a força da mola (6). Uma vez atingida a pressão correspondente à força da mola ajustada, o anel estator (5) é deslocado de sua posição excêntrica em direção à posição zero. O fluxo volumétrico ajusta-se ao valor demandado neste exato momento. Tendo atingido a pressão máxima ajustada na mola (6), então a bomba regula para vazão próxima de zero. A pressão de operação é

mantida, e somente o óleo de fuga (dreno interno) é repostado. Com isto a potência de perda e o aquecimento do fluido hidráulico são mantidos reduzidos.

### b) Bomba de Parafuso Simples ou Bomba Helicoidal

Bomba de Arquimedes: Helicóide em chapa colocado em uma calha aberta.

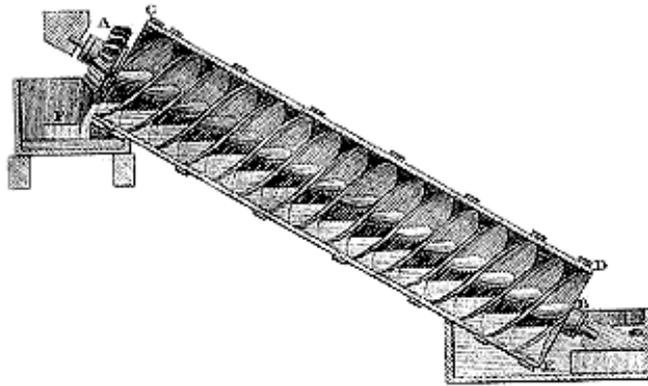


Figura 16: Bomba de Archimedes

A Bomba de Parafuso Único, de Parafuso Simples ou Bomba Helicoidal de câmara progressiva, consta de um rotor, que é um parafuso helicoidal que gira no interior de um estator elástico, cuja forma interna tem o formato de um parafuso de duas entradas. O rotor gira em torno do eixo principal e em torno do estator. Este movimento faz com que a substância que está sendo bombeada se desloque da boca de aspiração até o recalque, sem que haja variações em sua forma.

O estator pode ser feito de Borracha Natural (várias durezas, resistente a abrasão), de Borracha Sintética (neoprene, perbunan) ou de materiais sintéticos (teflon, poliamida, PVC, polipropileno...).

O rotor pode ser de aço especial temperado, aço cromo-níquel, aço cromo-níquel-molibdênio, ligas especiais,...

Alguns usos deste tipo de bomba são em indústrias de processamento de arroz (encharque do arroz parbolizado), em levante de esgotos e para produtos químicos.



Figura 17: Bomba Helicoidal

### c) Bomba de Elemento Flexível ou Peristáltica

Funciona através do movimento peristáltico do rotor em relação a um tubo de material plástico. O líquido passa por um tubo de borracha, ou outro material plástico, muito flexível e resistente. O líquido bombeado não faz contato com as partes mecânicas da bomba.

É utilizada para produtos químicos corrosivos, como equipamento médico (circulação de sangue).



#### Construção:

A bomba é composta por:

1. Cabeçote em forma de ferradura, para guiar a mangueira do cartucho hidráulico,
2. O próprio cartucho hidráulico, que é a mangueira na qual corre o produto a ser dosado,
3. Os roletes, montados no braço porta-rolete, que pressionam a mangueira do cartucho hidráulico contra o cabeçote,
4. O eixo central da bomba, que gira o braço porta-rolete
5. Conexão para mangueira de aspiração da bombona (entrada da bomba)
6. Conexão para mangueira de injeção (saída da bomba)
7. Motor elétrico, engrenagens de redução, eletrônica de controle com regulagem, leds, etc.

As partes em movimento da bomba são o eixo central, braço porta-rolete e os próprios roletes. O cartucho hidráulico e o cabeçote são fixos.

Figura 18: Exemplo de Bomba Peristáltica

## 2.4.2 Bombas de Deslocamento Positivo Rotativas – Múltiplos Rotores

### a) Bomba de Engrenagens

A bomba de engrenagens consiste basicamente de uma carcaça com orifícios de entrada e de saída, e de um mecanismo de bombeamento composto de duas rodas dentadas. Uma das rodas dentadas, a motora, é ligada a um eixo que, por sua vez, é conectado a um elemento acionador (motor). A outra roda dentada é a movida.

Em bombas maiores, as rodas dentadas são chavetadas ao eixo, e o eixo, por sua vez, recebe outras rodas dentadas para a transmissão, não havendo contato entre as rodas dentadas no interior da bomba.

Funcionamento: No lado da entrada “na sucção”, os dentes da roda dentada se desengrenam, ocorre uma zona de baixa pressão, e o líquido entra na bomba, sendo conduzido pelo espaço existente entre os dentes e a carcaça para o lado da saída “descarga”, onde os dentes se engrenam, ocorre uma zona de alta pressão, forçando o líquido para fora do sistema.

Tipos:

EXTERNAS (dentes se engrenam nas suas circunferências externas).

- Dentes Retos (é a mais comum e de mais fácil fabricação). Os dentes retos promovem uma carga radial não balanceada.
- Dentes Helicoidais. O engrenamento promove um esforço longitudinal paralelo ao eixo, prejudicando os mancais axiais.
- Duplo Helicoidal ou “espinha de peixe”. Neste tipo de bomba, o esforço longitudinal que ocorre na de dentes helicoidais não existe, pois é balanceado pelo duplo helicoidal.

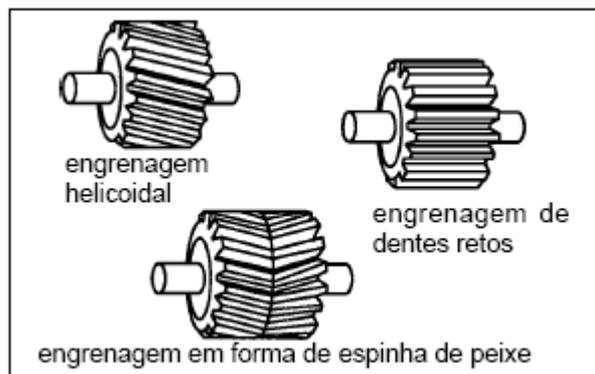


Figura 19: Tipos de Engrenagens (Bombas)

INTERNAS (a roda dentada menor se engrena na circunferência interna da roda dentada maior).

- Dentes Retos (com crescente)
- Tipo Gerotor

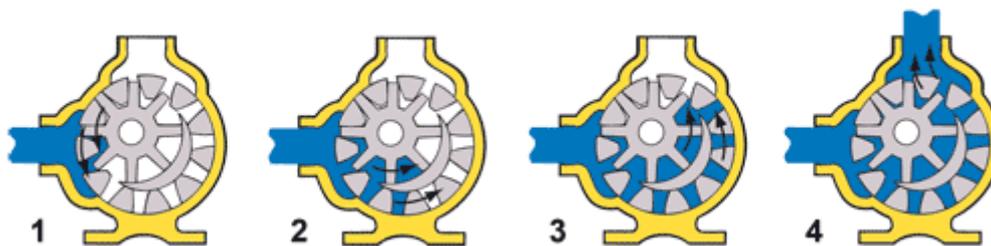
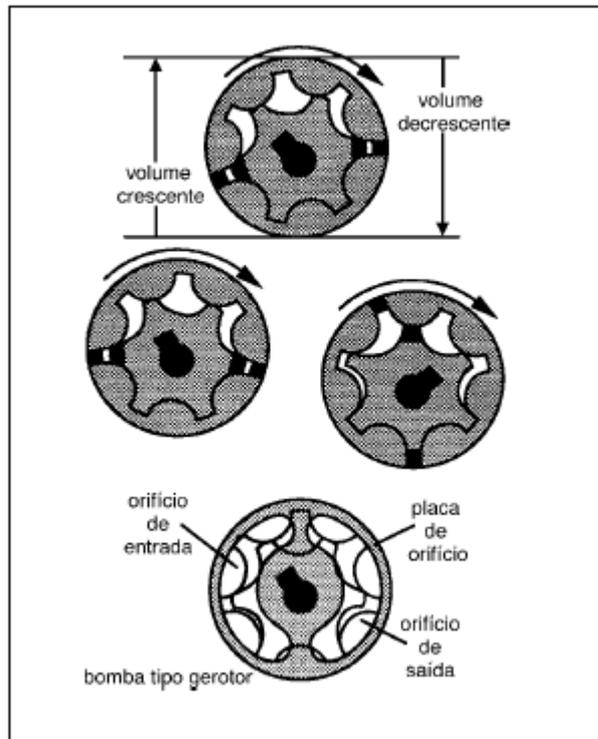
São bombas usadas para substâncias líquidas e viscosas, lubrificantes ou não, que não contenham corpos sólidos granulados.

A vazão é proporcional à rotação e às dimensões dos dentes.

A vida útil é limitada devido à alta pressão na saída da bomba, que impõe uma carga radial não balanceada nas engrenagens e mancais, provocando um desgaste rápido.

São econômicas, possuem construção simples e apenas duas peças móveis.

São utilizadas em muitos lugares: indústria alimentícia, farmacêutica, irrigação, apicultura, comandos hidráulicos, em circuitos lubrificantes...



1. A parte escura mostra o fluido iniciando o preenchimento dos espaços entre os dentes das engrenagens. As duas setas indicam o sentido de rotação.
2. Nesta ilustração, podemos observar como o fluido é carregado pelas engrenagens interna e externa, em duas câmaras separadas pela "meia-lua".
3. Os espaços entre os dentes das engrenagens encontram-se completamente preenchidos pelo fluido, que está sendo carregado da zona de sucção para a zona de descarga.
4. O fluido começa a ser expulso da bomba através da tubulação de descarga.

Figura 20: Funcionamento de uma Bomba de Engrenagens Internas

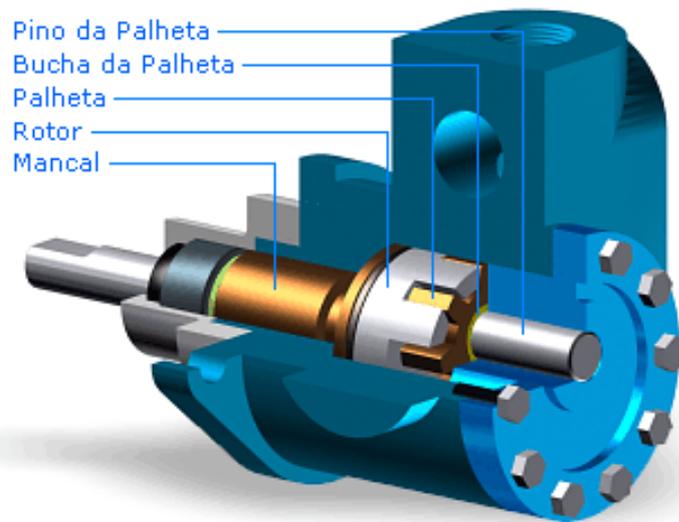
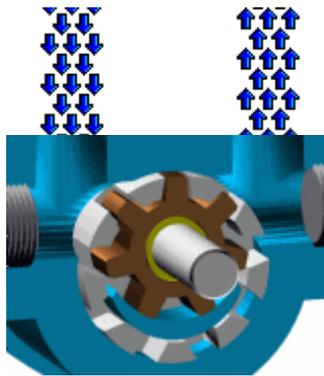


Figura 21: Bomba de Engrenagens Internas

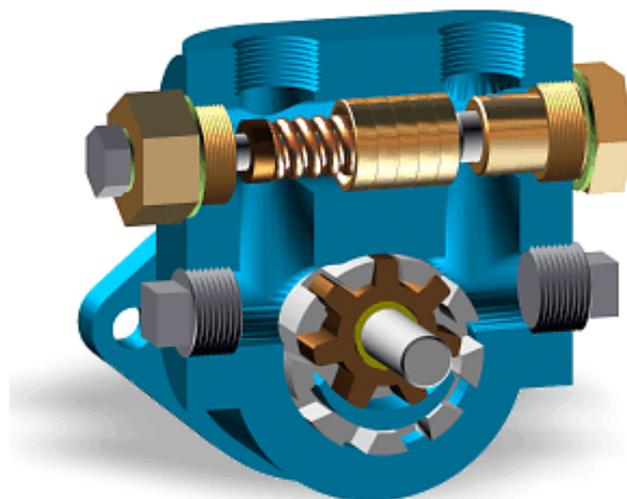


Figura 22: Bomba de Engrenagens Internas com válvula de alívio

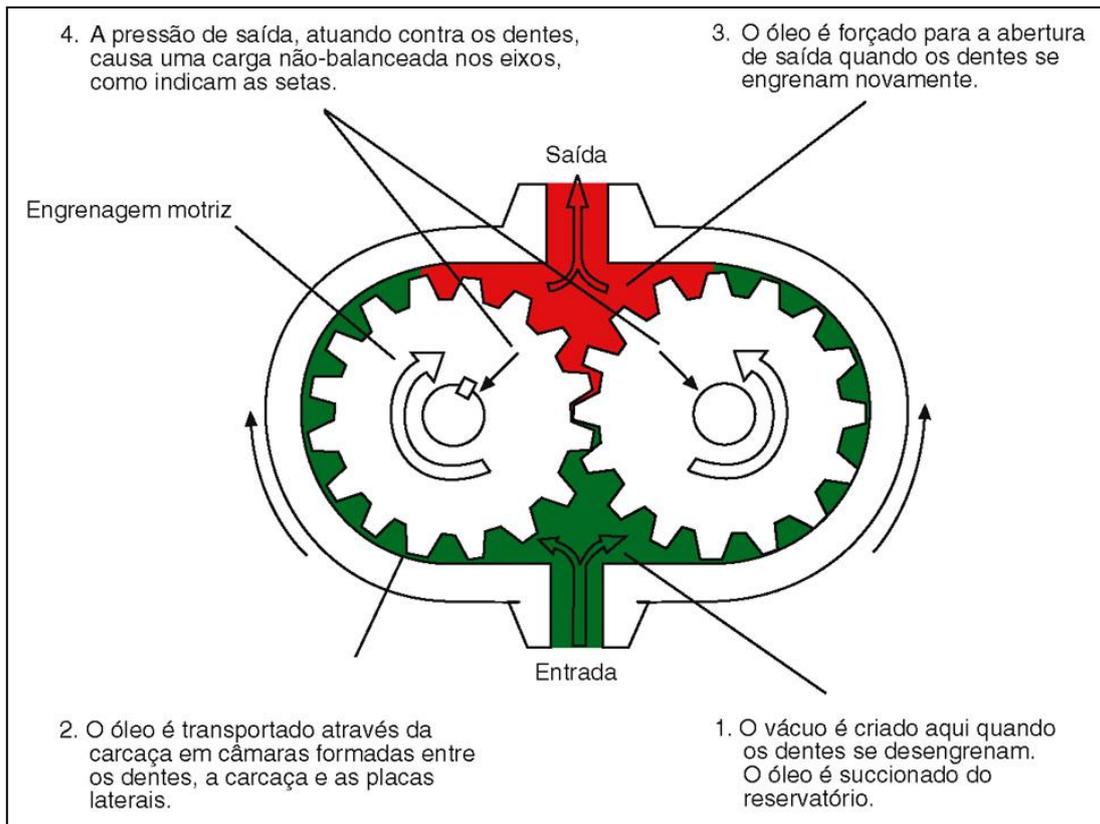


Figura 23: Desenho Esquemático do Funcionamento de uma Bomba de Engrenagens



Figura 24: Bomba de Engrenagens

## b) Bomba de Parafusos

As bombas de parafusos ou de helicóides constam de dois ou três parafusos, conforme o tipo. O fluido é admitido na extremidade e, devido ao movimento de rotação e ao formato dos filetes dos parafusos, que não tem contato entre si, é empurrado para a parte central onde é descarregado.

O movimento se realiza com engrenagens externas à bomba, em caixa de óleo ou graxa para lubrificação.

Conduzem líquidos e gases limpos. Alcançam grandes pressões e tem elevada rotação. Com capacidade de até 300 m<sup>3</sup>/h.

Tem como vantagens serem silenciosas e sem pulsação.



Figura 25: Bomba de Parafusos

## c) Bomba de Rotores Lobulares

O princípio de funcionamento é idêntico ao das bombas de engrenagens, só que ao invés de rodas dentadas são utilizados rotores do tipo “roots”, chamados também de lóbulos.

Não existe contato entre os lóbulos, os rotores são acionados por rodas dentadas externas à bomba.

Quando comparada a bomba de engrenagens, a vazão não é tão suave, o nível de ruído é maior e o custo é mais elevado.

Pode bombear pequenas partículas sólidas.

Poderá possuir 2 ou 4 lóbulos, quanto maior o número de lóbulos, maior a eficiência da bomba.

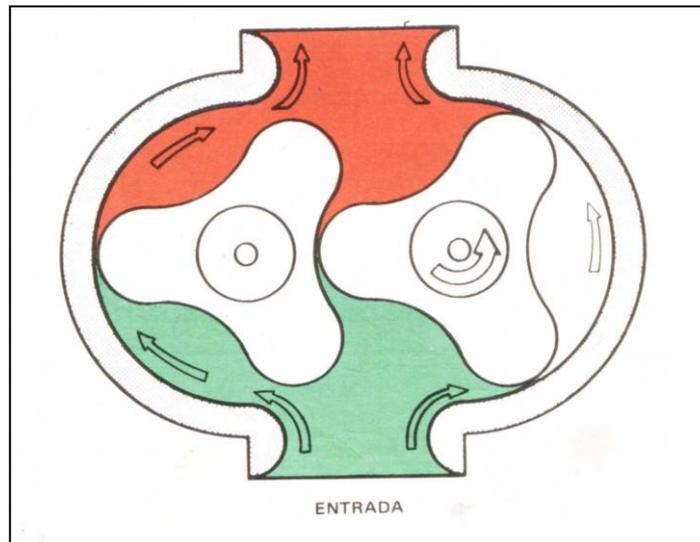


Figura 26: Bomba de Rotores Lobulares

#### **d) Bomba de Pistões Rotativos (Axiais e Radiais)**

Funcionam baseadas no princípio de que se um dos pistões produz um movimento alternativo dentro de uma câmara, succionará o fluido num sentido e o expelirá no sentido contrário.

São unidades de alto rendimento e são fabricadas para pequenas e grandes vazões. A maioria tem capacidade para operar com pressões de 10 a 200 bar, porém alguns modelos podem operar com pressões mais altas.

Por terem deslocamento variável (regulagem de vazão), são excelentes para aplicações em grandes prensas e transmissões hidrostáticas. Como as peças componentes destas bombas são fabricadas com grande precisão, com tolerância mínima, recomenda-se uma boa qualidade do líquido e, também, rigorosas condições de limpeza para que se tenha uma vida útil prolongada.

Pistões Radiais ou Oscilatórios: São dispostos radialmente. O deslocamento do líquido depende do tamanho, do número de pistões do conjunto, bem como do curso dos mesmos.

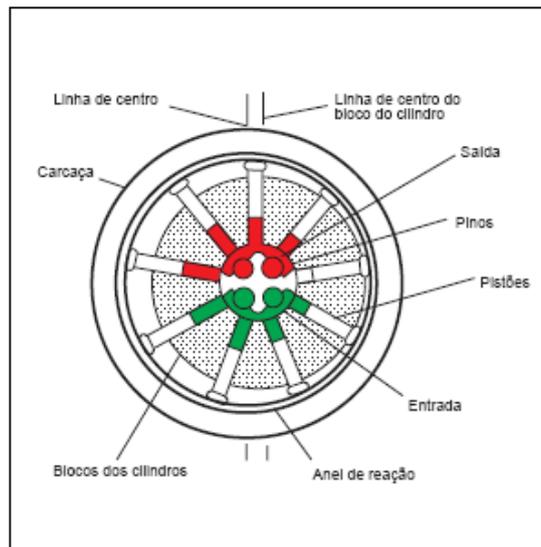


Figura 27: Bomba de Pistões Rotativos Radiais

Pistões Axiais: O conjunto de cilindros e o eixo estão na mesma direção e os pistões se movimentam paralelamente ao eixo de acionamento.

Os tipos podem ser: com placa inclinada, com placa oscilante ou com eixo inclinado.

O deslocamento é determinado pelo tamanho, pela quantidade de pistões e pelos seus cursos, sendo controlado pela inclinação da placa. Então, para variar o deslocamento, movimenta-se o ângulo da placa que, por sua vez, fica instalada sobre um balancim. A inclinação da placa aumenta ou diminui o curso dos pistões.

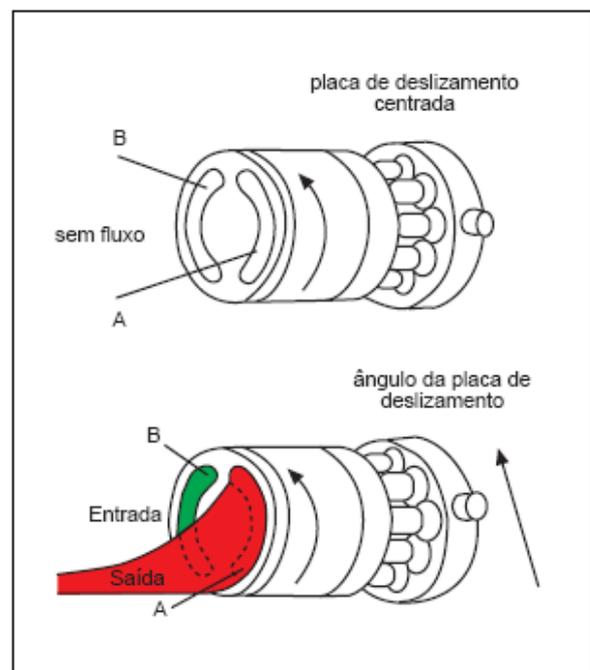
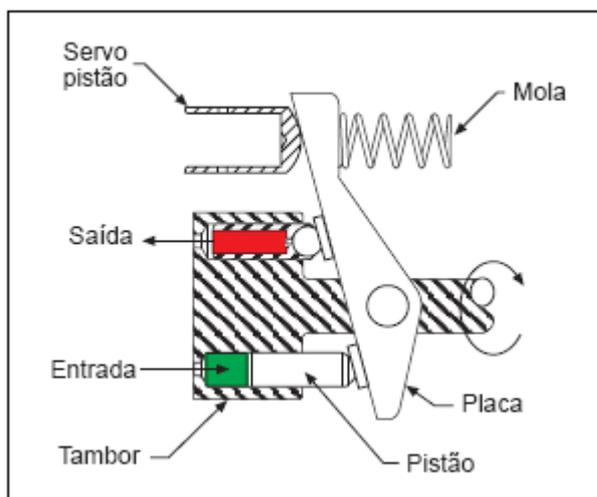


Figura 28: Bomba de Pistões Rotativos Axiais

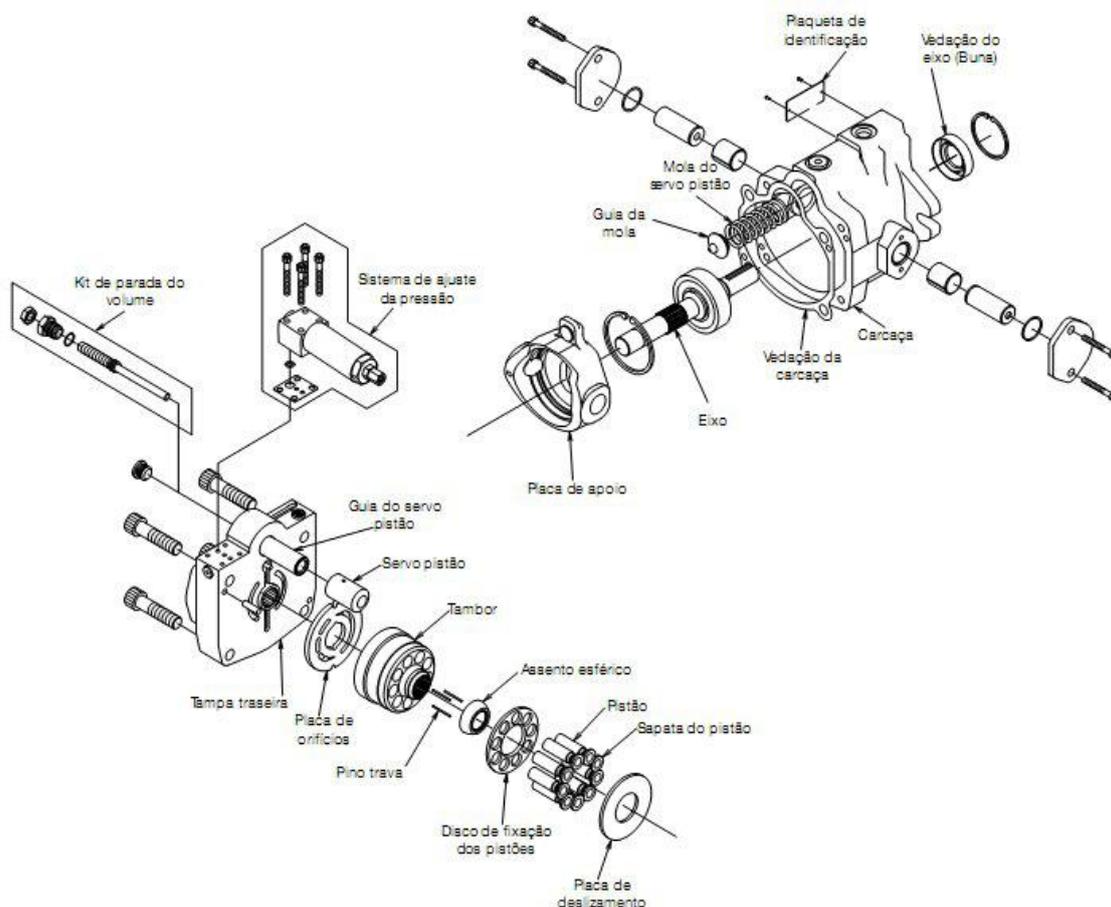


Figura 29: Desenho de Montagem – Bomba de Pistões Rotativos

## 2.5 Referências Bibliográficas

- Apostila 2001-1 BR. Tecnologia Hidráulica Industrial desenvolvida pela Parker Training em 1999. Disponível em: <<http://www.parker.com.br>>
- CARVALHO, Djalma F., *Instalações Elevatórias. Bombas*. 3ª Ed., Depto. de Engenharia Civil, PUC- MG, Belo Horizonte, 1977. 355 p.
- LIMA, Epaminondas P. C., *Mecânica das Bombas*. Rio de Janeiro, 2ª Ed., Editora Interciência, PETROBRAS, 2003. 610 p.
- MACINTYRE, Archibald Joseph. *Máquinas Motrizes Hidráulicas*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 648 p.
- MACINTYRE, Archibald Joseph. *Bombas e Instalações de Bombeamento*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.