

Instalação Industrial

Fábio Inocência Kravetz

INFORMAÇÕES SOBRE O AUTOR

Fábio Inocêncio Kravetz

- Doutorando em Engenharia Elétrica.
- Mestre em Engenharia Elétrica.
- Graduado em Engenharia Industrial Elétrica, com ênfase em Eletrônica/Telecomunicações.

Sobre o Autor

É doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR (2018). Graduado em Engenharia Industrial Elétrica, com ênfase em Eletrônica/Telecomunicações pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR (2014). Atuou na área de circuitos de transmissão, ultrassom, circuitos de recepção e FPGA (2011). Atualmente, trabalha no desenvolvimento de conversores estáticos de elevado desempenho para fontes alternativas de energia, assim como na área de docência, desde 2015, ministrando aulas na área de Engenharia Elétrica.

INTRODUÇÃO DO LIVRO

Olá, aluno(a)! Este material está subdividido em 4 unidades: 1 - Organização Industrial, 2 - Bombas e Compressores, 3 - Máquinas Térmicas e 4 - Processos Complementares.

Os temas citados serão detalhados neste material, cuja função é proporcionar ao leitor uma melhor compreensão do funcionamento e da organização de uma instalação industrial, assim como os respectivos equipamentos que podem estar contidos nela, dependendo do ramo industrial.

Na Unidade I, trataremos do tópico “Organização Industrial”, considerando a Engenharia da Produção; assim, serão abordados assuntos que tratam da organização de uma empresa, de maneira geral, além dos conceitos de sistemas produtivos e gestão do desenvolvimento organizacional para o melhor funcionamento da empresa.

Na Unidade II, trabalharemos com tópico “Bombas e Compressores”, sendo apresentado os diversos tipos existentes, além de uma descrição detalhada do funcionamento desses equipamentos e sua importância e aplicabilidade nos diversos ramos industriais. Além disso, discutiremos sobre como operar e realizar a manutenção de maneira adequada nesses equipamentos para aumentar sua vida útil deles. Por fim, discutiremos, de maneira geral, o tema ar comprimido, visto que este é utilizado em compressores, por exemplo.

Na Unidade III, trataremos acerca do tema “Máquinas Térmicas”, sendo que, primeiramente, faremos um breve histórico do surgimento e da evolução desses equipamentos até os dias atuais e, conseqüentemente apresentaremos os tipos, a descrição do funcionamento e as aplicações das caldeiras, turbinas a vapor e motores de combustão interna, considerando os ciclos Otto e Diesel.

Por fim, na Unidade IV, abordaremos os “Processos Complementares” existentes na indústria, como: ventilação industrial, fornos industriais, banhos industriais e trocadores de calor. Esses subtópicos são necessários em uma indústria para a segurança ou o bem-estar dos funcionários, considerando a ventilação industrial ou, no caso dos banhos industriais, que fornecem uma maior resistência e melhoria na estética de determinada peça, por exemplo.

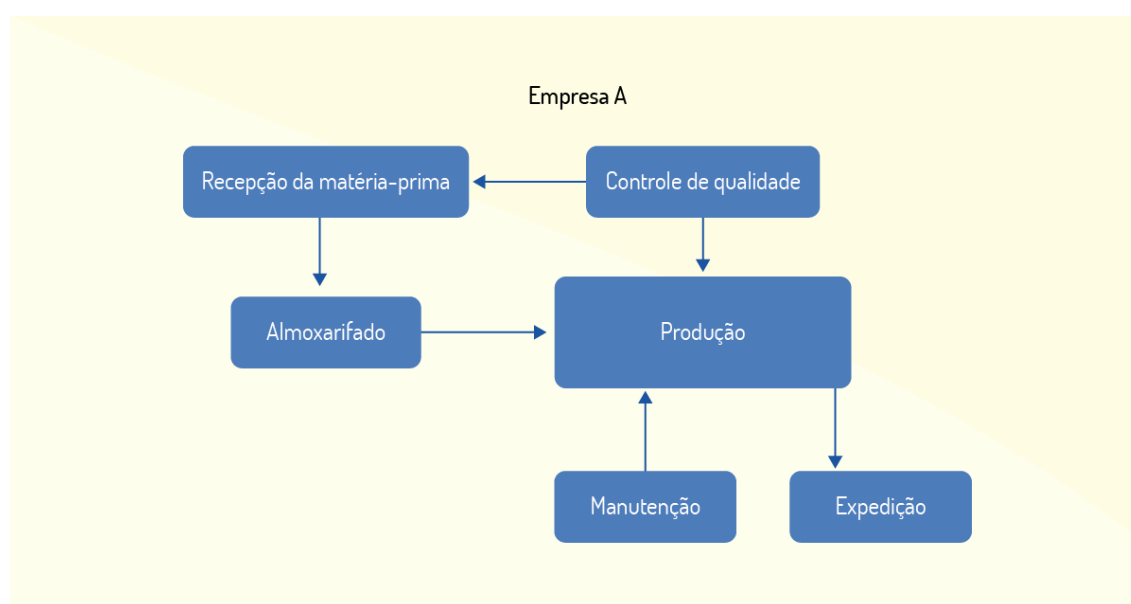
UNIDADE I

Organização Industrial e suas Principais Características

Fábio Inocência Kravetz

Introdução

A organização industrial advém da Economia (ciência que estuda a atividade econômica, além da análise da produção, distribuição e consumo de bens e serviços). A Unidade I aborda o tema organização industrial, no âmbito da Engenharia de Produção, integrando os aspectos econômicos aos conceitos de sistemas produtivos e gestão do desenvolvimento organizacional. Os tópicos tratados, nesta unidade, são: recepção de matéria-prima, estoque, almoxarifado, controle de qualidade, produção, manutenção e expedição. A figura, a seguir, apresenta o leiaute da empresa hipotética A, apresentando os setores da empresa e como eles se relacionam.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A recepção de matéria-prima consiste no recebimento do material e posterior verificação, para liberação ou recusa dele. Caso o material seja aceito, ele é armazenado, no estoque e, posteriormente, é dada entrada no almoxarifado.

O estoque, basicamente, é composto pelos recursos armazenados que são necessários para a produção, no entanto podem conter matérias-primas, produtos finais ou inacabados.

O almoxarifado é uma área de extrema importância para as empresas, visto que se constitui de um ambiente destinado à armazenagem de produtos e matérias-primas para uso interno da empresa. É importante salientar que almoxarifado e estoque são termos distintos. O almoxarifado, como dito, anteriormente, destina-se à guarda (armazenamento) de matérias-primas imprescindíveis à produção e diversos insumos necessários aos funcionários e demais setores. Já o estoque consiste nos materiais presentes, fisicamente, no almoxarifado, ou seja, é o

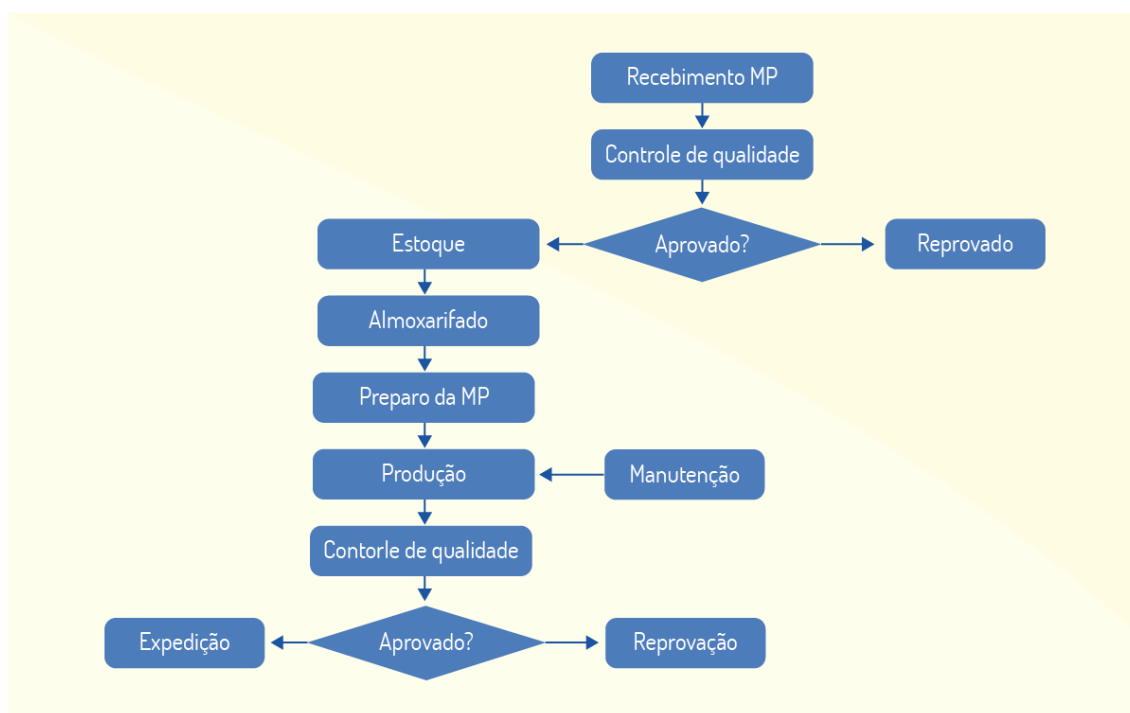
agrupamento de produtos que são guardados, em determinado setor, neste caso, o próprio almoxarifado, sendo que, esses produtos estão aguardando suas utilizações pelos demais setores da empresa.

O controle de qualidade é um método utilizado, para verificar a qualidade de serviços e produtos de acordo com determinadas especificações padrões.

A produção, ou, melhor dizendo, o setor de produção é o responsável pela transformação das matérias-primas em produto acabado, é o coração da indústria.

A manutenção, no ramo industrial, trata-se de uma mescla de metodologias aplicadas a equipamentos, sendo seu objetivo assegurar o funcionamento dos equipamentos da melhor forma possível.

A expedição é uma ação dentro da armazenagem que é efetuada, após o produto final ser vendido e embalado, ou seja, o produto fica pronto para o envio ao consumidor (cliente).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Recepção de matéria-prima

Conforme Tompkins e White (1984, p. 145),

Pode-se definir a recepção como a porta de entrada das empresas, visto que, todos os materiais, mercadorias e equipamentos que entram nas instalações passam pela área de recepção. Se esta não funcionar de modo correto então irão entrar nas empresas materiais em quantidades incorretas, danificados ou com defeito. Assim sendo a área de recepção é uma zona crítica, que se não estiver a operar adequado pode criar dificuldades operacionais nas empresas.

Esta é a etapa inicial, que começa a partir da recepção do material, na entrega do fornecedor, até a entrada no estoque. Na chegada, estes materiais já passam por uma verificação quantitativa e qualitativa.

A primeira etapa da recepção é a descarga dos materiais, que ocorre por meio de transportadoras ou afins. Conforme o tipo de material recebido, é necessário o uso de equipamentos para movimentação, como: empilhadeiras e paleteiras. O próximo passo são as conferências quantitativa, qualitativa e de regularização. A Figura 1.1 apresenta a recepção da matéria, em uma indústria, sendo descarregada, conferida e armazenada com uma empilhadeira.



Figura 1.1 - Recepção de matéria-prima

Fonte: Aurora72 / 123RF.

A Figura 1.2 apresenta a matéria-prima, em uma indústria química, sendo armazenada após as conferências quantitativa e qualitativa pelo controle de qualidade e sendo detalhadas na sequência.



Figura 1.2 - Recepção de matéria-prima

Fonte: Industryview / 123RF.

- **Conferência quantitativa:** neste primeiro momento, verifica-se a quantidade de produtos que estão sendo recebidos com a quantidade apresentada na nota fiscal.
- **Conferência qualitativa:** em um segundo momento, é realizada uma perícia técnica por um funcionário do controle de qualidade, verificando-se as condições nas quais o material se encontra com as descritas na nota.
- **Regularização:** nesta etapa, após as conferências qualitativa e quantitativa e a verificação da matéria-prima pelo controle de qualidade, decide-se aceitar ou recusar e, na sequência, finalizar este processo.

Para a produção de uma empresa acontecer, precisa-se de matérias-primas, visto que elas tornam-se os produtos finais, ao longo do processo produtivo. Os materiais necessários à produção estão em constante movimento, em uma empresa, desde a recepção da matéria-prima do fornecedor pelo almoxarifado até o produto final chegar ao depósito. A Figura 1.3 apresenta o fluxo de materiais em uma empresa.

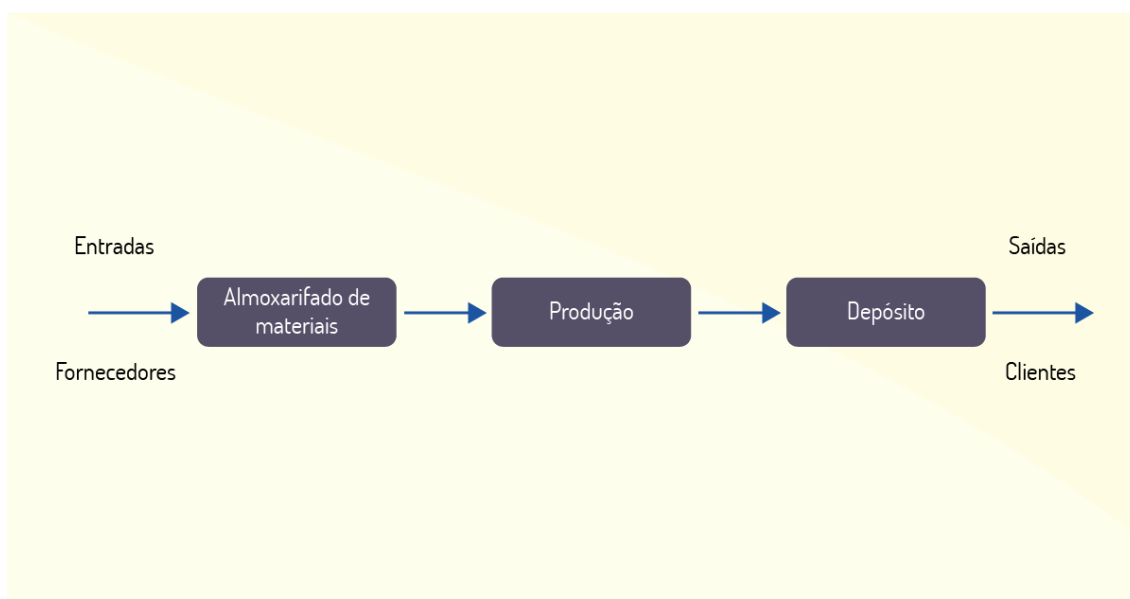


Figura 1.3 - Fluxo de materiais em uma empresa

Fonte: Adaptada de Chiavenato (2006).

As matérias-primas recebidas são os elementos básicos para que a produção tenha sua sequência garantida. Sabendo disso, tem-se que a recepção da matéria-prima e posterior armazenamento de modo adequado é de fundamental importância para o restante do processo. O almoxarifado recebe os produtos primários adquiridos de **fornecedores externos** por intermédio do **setor de compras**. O setor de compras libera os materiais adquiridos (comprados) para entrada no almoxarifado, exclusivamente, após a autorização do setor de **Controle de Qualidade**.

Neste tópico, foi discutido como é realizada a recepção de matéria-prima, em uma empresa, e todo seu processo de conferência até a entrada no almoxarifado.

Estoque

O estoque é um item essencial, em uma indústria, visto que trabalha em conjunto com o setor de produção, pois este sempre necessita de algum item armazenado, para o continuar o processo. No entanto o excesso de estoque é prejudicial à empresa e mostra que a oferta dos produtos finais está maior que a demanda, além do alto custo pelo fato de o estoque estar parado. A falta de estoque também é danosa à empresa e pode acarretar paradas, na linha de produção. A obtenção de um controle adequado do estoque depende de algumas características, como:

- organização física;
- controle do fluxo de entradas e saídas;
- inventários periódicos;
- treinamento dos funcionários.

Portanto, pode-se observar que o estoque, se bem gerenciado, é de fundamental importância para a empresa e pode traduzir-se em vantagem competitiva, pois possibilita a disponibilidade do produto final para o cliente.

Tipos de estoque

Os estoques são classificados em duas categorias, considerando a estrutura do produto:

- **demandas independentes:** têm origem na solicitação de clientes externos. Esse tipo de pedido é esperado, pois depende do comportamento do mercado em que o cliente está inserido.
- **demandas dependentes:** esse tipo de demanda depende, diretamente, das demandas independentes. Esse tipo de estoque é previsto e baseado no produto final da qual a demanda faz parte. Como exemplo, pode-se citar uma moto (demanda dependente) que precisa dos pneus (demanda independente).

A Figura 1.4 apresenta um exemplo didático sobre demandas dependentes e independentes. Uma indústria automotiva qualquer depende, diretamente, das indústrias de pneus, pois sem estes o carro não poderá ser vendido ao consumidor final, logo, é uma demanda dependente. Por exemplo, caso a indústria automotiva tenha um pedido de um consumidor por um carro específico, a relação entre consumidor e indústria automotiva é uma demanda independente. No entanto este carro específico precisará de cinco pneus exclusivos, o que caracteriza uma demanda dependente do consumidor com a fábrica de pneus, visto que, além dos pneus padrões produzidos pela empresa, esta terá que fabricar outros cinco pneus “diferentes” para o carro específico. Já um usuário que tenha um veículo qualquer só adquire pneus novos, quando precisa trocá-los, em determinada época, portanto, esse fato está fora do controle da empresa, caracterizando uma demanda independente.

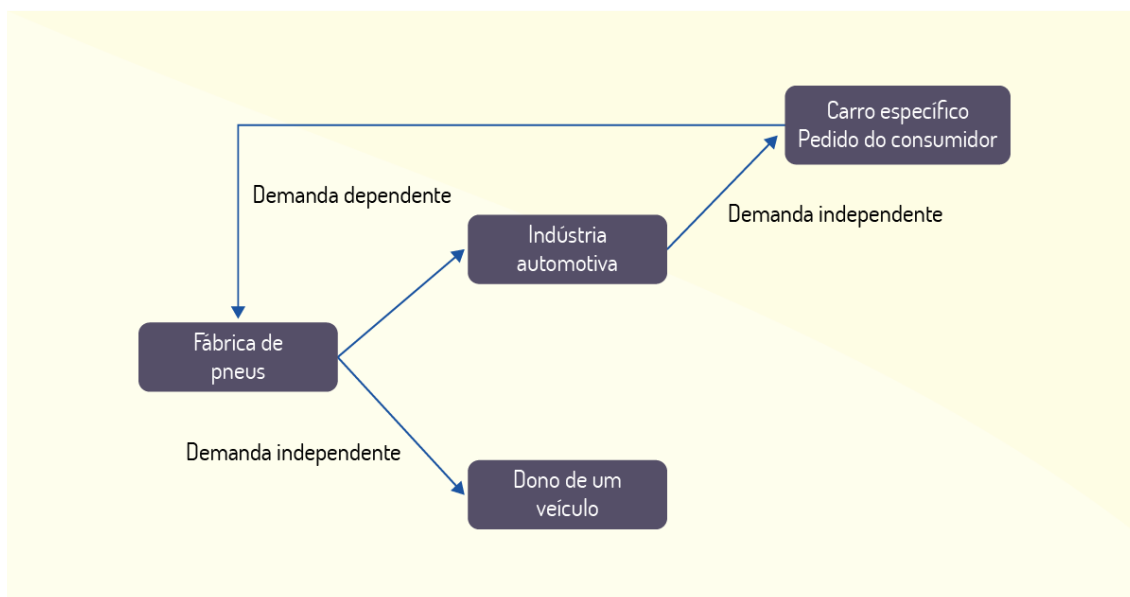


Figura 1.4 - Demandas dependentes e independentes

Fonte: Elaborada pelo autor.

Outro ponto a ser destacado é a classificação contábil dos estoques, que pode ser subdividida em cinco classes:

- **estoques materiais:** contempla a totalidade das matérias-primas que são utilizadas, direta ou indiretamente, na fabricação do produto final da empresa em questão.
- **estoques de produtos em processo:** produtos que estão incorporados ao sistema produtivo (produção), todavia, não são o produto final.
- **estoques de produtos acabados:** este de fato é o produto final pronto para ser entregue ao cliente.
- **estoques em trânsito:** estes produtos já foram finalizados, em determinada indústria, e foram encaminhados a outra indústria ou outro tipo de cliente, no entanto não chegaram ao seu destino final.
- **estoques em consignação:** produtos enviados a outra indústria, mas pertencentes à fabricante. Basicamente, este tipo de estoque consiste na empresa A colocar alguns ou todos seus produtos para venda em outra organização. Empresas de *e-commerce*, por exemplo, utilizam este tipo de estoque, visto que não possuem lojas físicas. A Figura 1.5 apresenta um exemplo de estoque consignado. Para ilustrar melhor este tipo de estoque, imaginemos a seguinte situação:

O dono da empresa GoodMichel, que vende pneus e tem lojas em diversos estados do Brasil, é procurado pela empresa TSdub, fabricante de rodas que fica situada no estado do Paraná, sendo que esta procura uma parceria. Após conversarem, combinam o seguinte acordo: A empresa TSdub despacha seus produtos (rodas de liga leve) à empresa GoodMichel e esta disponibiliza um determinado espaço para que as rodas sejam ofertadas, em suas lojas, sem a necessidade de compra pela empresa GoodMichel. Parte do lucro das vendas fica com a empresa GoodMichel e o restante com a TSdub. Esta modalidade de estoque tem vantagens tanto para o consignante (TSdub) quanto para o consignatário (GoodMichel), pois as rodas de liga leve serão ofertadas, em diversas regiões do País, aumentando sua possibilidade de compra, o consignatário não se preocupa em ter que fazer o estoque ser vendido, visto que, caso o produto não seja vendido, é devolvido ao fabricante sem custos.



Figura 1.5 - Estoque consignado

Fonte: Mihai Andritoiu / 123RF.

No estoque consignado, um estabelecimento ou organização vende produtos de algumas empresas que fabricam e os fornecem para venda.

Níveis de estoque

Controlar o nível de estoque de uma empresa é primordial, pois, por meio deste controle, pode-se diminuir possíveis desperdícios e gerenciar os custos associados. A Tabela 1.1 apresenta a variação do estoque de determinado produto:

Dia	Estoque inicial	Recebimento	Consumo	Estoque final
Segunda-feira	830	2500	450	2880
Terça-feira	2880	0	450	2430
Quarta-feira	2430	0	450	1980
Quinta-feira	1980	2500	150	4030
Sexta-feira	4030	0	450	3580

Tabela 1.1 - Variação do estoque em função do tempo

Fonte: Adaptada de Chiavenato (2006).

A Tabela 1.1 descreve uma empresa que recebe materiais somente às segundas e quintas-feiras, logo, o controle de estoque precisa ser adequado, para suprir a demanda do setor de produção, nos dias em que não há recebimento de matérias-primas. O controle de estoque compreende ações, como: planejamento, organização e controle de fluxo de matérias-primas, produtos acabados e afins. Caso seja feito de modo adequado, possibilita às organizações saberem o momento exato de realizarem novos pedidos, este fato oferece maior eficiência à empresa e reduz desperdícios.

Análise de estoque

Como verificado, os estoques, se bem administrados, geram oportunidades de negócios para as empresas, mas, para fazer essa análise, os responsáveis pela administração da empresa precisam de ferramentas que permitam isto. Neste âmbito, temos a ferramenta de análise ABC. Conforme Carvalho (2002, p. 226), “a curva ABC ou diagrama de Pareto é um método de classificação de

informações para que se separem os itens de maior importância ou impacto, os quais são normalmente em menor número”. Os itens são classificados como (CARVALHO, 2002):

- **Classe A:** “de maior importância, valor ou quantidade, correspondendo a 20% do total – podem ser itens do estoque com uma demanda de 65% num dado período” (CARVALHO, 2002, p. 226);
- **Classe B:** “com importância, quantidade ou valor intermediário, correspondendo a 30% do total – podem ser itens do estoque com uma demanda de 25% num dado período” (CARVALHO, 2002, p. 226);
- **Classe C:** “de menor importância, valor ou quantidade, correspondendo a 50% do total – podem ser itens do estoque com uma demanda de 10% num dado período” (CARVALHO, 2002, p. 226).

A Figura 1.6 apresenta um exemplo do diagrama de Pareto ou regra 80/20. Este princípio diz que 80% de sua receita ou resultados vem de 20% dos seus clientes ou esforços.

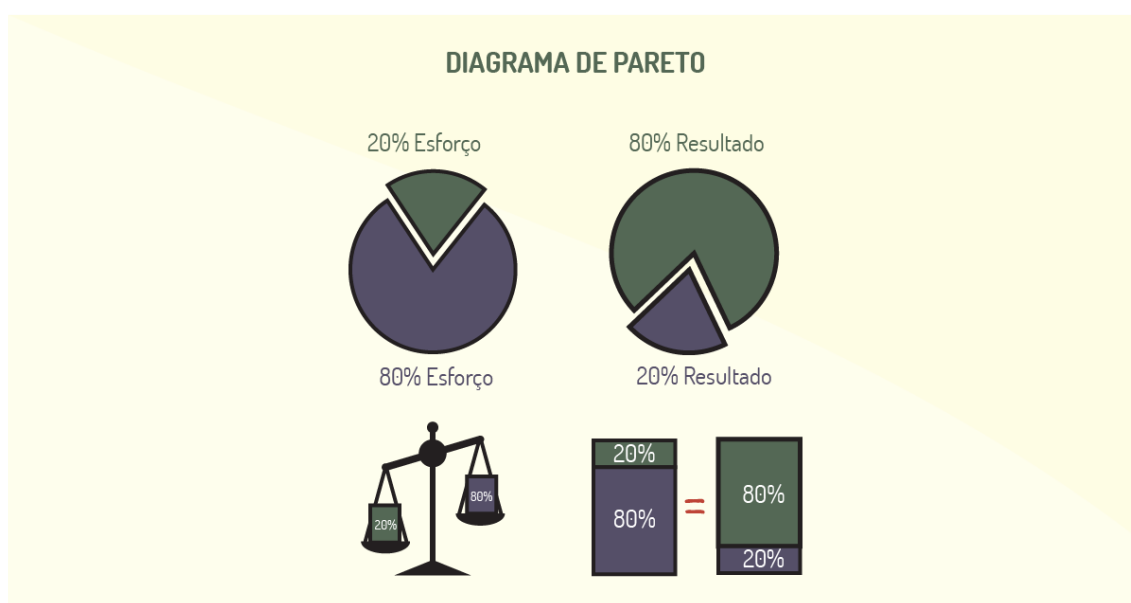


Figura 1.6 - Diagrama de Pareto

Fonte: Oksana Desiatkina / 123RF.

A classificação ABC, em muitas empresas, é avaliada em relação ao impacto de sua falta, ou seja, a análise é feita de forma cruzada entre criticidade (importância, prioridade) e o conceito ABC, sendo classificados como:

- **Classe A:** a falta deste item pode parar a produção como um todo;
- **Classe B:** a falta deste item pode ocasionar pequenos defeitos nos produtos;
- **Classe C:** a falta deste item não afeta ou afeta pouco.

Inventário

Este tópico trata dos tipos de inventários físicos existentes e dos respectivos cálculos necessários para saber se o estoque está tendo um controle adequado. Em relação aos tipos de inventários, temos:

- **inventário periódico:** este tipo de inventário é realizado, geralmente, duas vezes ao ano. Tem como foco a criação de demonstrativos financeiros, além disso, demonstra, facilmente, as falhas nos controles operacionais realizados.
- **inventário rotativo:** este tipo de inventário promove a obtenção de alta exatidão, nos estoques, sendo realizado em períodos programados. Este tipo de inventário promove a identificação e correção de possíveis falhas.

Após realizado o inventário, calcula-se a acurácia dos controles, este termo apresenta a porcentagem de itens corretos do inventário e a fórmula de cálculo é:

$$\text{Acurácia} = \text{Número de itens corretos} / \text{Número total de itens} \quad (1)$$

ou

$$\text{Acurácia} = \text{Valor dos itens corretos} / \text{Valor total dos itens} \quad (2)$$

Quando se realiza um inventário, é necessário medir sua eficiência. O termo acurácia tem a função de verificar o que está de fato presente, na fábrica (quantidade física), e o que está apontado (registrado) no sistema. As fórmulas acima são a razão entre número de itens corretos e o número total de itens que estão registrados, no sistema, caso a empresa em questão tenha um controle de estoque adequado, o valor da acurácia é muito próximo de 1. No exemplo a seguir, é apresentado um cálculo da acurácia para melhor entendimento.

Uma empresa x realiza um inventário anual e o número total de itens, na empresa, registrados no sistema é de 5.500. Alguns funcionários são designados, para realizar a contagem dos itens de fato existentes e chegam ao número de 3.000 itens. Qual é acurácia desta empresa?

$$\text{Acurácia} = 3000/5500$$

$$\text{Acurácia} = 0,55$$

Por meio deste exemplo, é possível verificar que a empresa x não possui um controle de estoque adequado, visto que o valor de acurácia está muito distante de 1, pois o número entre itens registrados, no sistema, e o de fato existentes, na empresa, estão muito discrepantes.

Em relação à segunda acurácia, referente ao ponto de vista do valor, temos o seguinte exemplo: uma empresa tem um parafuso e uma turbina, no estoque, registrados pelo sistema. O parafuso custa R\$1,00 e a turbina R\$10.000.000,00. O funcionário da empresa identificou apenas a turbina no estoque.

De acordo com a acurácia referente à quantidade de produtos, ela é igual a 0,5. De acordo com a acurácia referente ao ponto de vista de valor, ela é igual a 0,9999999. Esta diferença ocorre, visto que a acurácia referente à quantidade de produtos, geralmente, é muito discrepante da acurácia referente ao ponto de vista de valor. No entanto, se a acurácia referente à expressão (1) for muito alta ($\geq 99\%$), a acurácia referente à expressão (2) também será alta. Portanto, a segunda fórmula de acurácia (2) deve ser utilizada, quando a expressão (1) for menor ou igual a 99%.

Outra medição de extrema importância e que pode e deve ser realizada em relação aos estoques é o nível de serviço. Segundo Lélis (2016, p. 74), “essa medição diz que quanto mais requisições dos clientes forem atendidas nas quantidades e especificações desejadas, maior será o nível de serviço”. Este indicador impacta, diretamente, em como a empresa está atendendo seu cliente, portanto, este é almejado também pelos setores que têm contato direto com o cliente, como é o caso do setor de vendas. Segundo Bertaglia (2006, p. 318),

[...] organizações preocupadas com as necessidades dos clientes e voltadas para elas, utilizam o conceito de ‘serviço ao cliente’ para avaliar o desempenho do sistema de controle de estoques. Uma medida bastante comum é a taxa de atendimento ao pedido que é a relação entre a quantidade de itens disponíveis e a quantidade de itens demandada pelo cliente.

A fórmula do nível de serviço é:

$$\text{Nível de serviço} = \text{Número de requisições atendidas} / \text{Número de requisições efetuadas}$$

O almoxarifado da empresa Y, no período de três meses, recebeu 2.500 requisições de materiais em geral, tendo em média 1,85 itens por pedido. Neste período, entregou-se 4.000 unidades dos itens pedidos. Qual é o nível de serviço?

$$\text{Nível de serviço} = 4.000 / (2.500 * 1,85)$$

$$\text{Nível de serviço} = 86,49\%$$

Giro e cobertura de estoque

O giro de estoque, também conhecido como rotatividade dos estoques, representa a quantia de vezes, em um determinado período de tempo, que o estoque foi renovado.

Conforme Martins e Alt (2009, p. 203), “o giro de estoques mede quantas vezes, por unidade de tempo, o estoque se renovou ou girou”. Já Bertaglia (2006, p. 317) diz que “o giro de estoques corresponde ao número de vezes em que o estoque é consumido totalmente durante um determinado período (normalmente um ano). Esse indicador é calculado com base na relação do volume de vendas do ano dividido pelo capital médio investido em estoque”.

$$\text{Giro de estoque} = \text{Valor consumido no período} / \text{Valor de estoque médio no período}$$

Para melhor entendimento da fórmula do giro do estoque, é apresentado um exemplo de cálculo na sequência.

Uma empresa tem custo das vendas de R\$ 10.000.000,00 ao ano. No estoque desta empresa, considerando matéria-prima, produtos inacabados e produtos acabados, tem-se um valor próximo de R\$ 125.000,00. O giro de estoque é?

$$\text{Giro de estoque} = 10.000.000,00 / 125.000,00$$

$$\text{Giro de estoque} = 80$$

Este valor significa que o estoque, nessa empresa, se renova oitenta vezes por ano.

Conforme Szabo (2015, p. 45), “a cobertura de estoque é o oposto do giro de estoques. Enquanto para o giro de estoques, quanto maior, melhor, para a cobertura de estoques, quanto menor, melhor”. A cobertura de estoques mostra o quanto um estoque conseguirá abastecer uma certa demanda de produção, em um determinado período de tempo. A fórmula que define a cobertura de estoque é:

$$\text{Cobertura de estoque} = \text{Estoque médio} / \text{Demanda}$$

Para melhor entendimento da fórmula da cobertura de estoque, é apresentado um exemplo de cálculo na sequência.

Uma empresa possui, em seu estoque, R\$ 55.000,00 em produtos. Sabendo que o fluxo de valor é de R\$ 15.000,00 por semana, qual é a cobertura de estoque?

$$\text{Cobertura de estoque} = 55.000,00 / 15.000,00$$

$$\text{Cobertura de estoque} = 3,67$$

A empresa tem estoque para suprir o setor de produção por três semanas.

Neste tópico, foi discutido o estoque e o quanto ele é importante para as empresas, de forma geral, visto que, caso seja bem administrado, torna-se uma vantagem competitiva para a empresa.

Almoxarifado

No processo produtivo, a metodologia de armazenagem é muito importante devido às diferentes necessidades pelas quais as empresas passam, tanto na produção quanto na comercialização. O armazenamento de materiais é necessário, basicamente, para suprir as necessidades do setor de produção, mas também é indispensável, para armazenar os produtos finais (produtos acabados) que compõem as vendas da empresa. Nesta unidade, trataremos o termo almoxarifado como uma das fases mais importantes, na etapa de armazenamento de materiais.

Inicialmente, um almoxarifado consistia em um local onde os materiais eram armazenados de forma desordenada, com o uso de mão-de-obra desqualificada. No entanto, com o passar do tempo e o advento da tecnologia, surgiram ferramentas que permitem o controle, manuseio e armazenagem de materiais com mais segurança e agilidade.

Conforme Chiavenato (2006), o almoxarifado encarrega-se de armazenar as matérias-primas e outros materiais necessários à produção e aos funcionários, diferentemente do depósito (expedição) que se incumbe de armazenar os produtos acabados destinados à venda aos clientes. No almoxarifado, conforme Figura 1.7, são estocados, majoritariamente, as matérias-primas necessárias à produção. Este setor recebe os produtos primários adquiridos de **fornecedores externos** por intermédio do **setor de compras**. O setor de compras libera os materiais adquiridos (comprados) para entrada no almoxarifado, exclusivamente, após a autorização do setor de **Controle de Qualidade**. Depois destas etapas iniciais serem concluídas com sucesso, as matérias-

primas são, devidamente, armazenadas, no almoxarifado, e começam a ser solicitadas pelos inúmeros setores da empresa, por meio das **Requisições de Materiais (RMs)**.

As requisições de materiais atendem, basicamente, três finalidades:

1. **autorização de saída de material do almoxarifado:** trata-se de uma ordem, para retirar insumos (matérias-primas e afins) do setor de almoxarifado, caso estes sejam necessários ao setor de produção.
2. **lançamento de saída de material:** as RMs possibilitam o controle das saídas de material do almoxarifado por meio da data de retirada que consta na RM, e esta deve estar, devidamente, preenchida para um controle eficiente.
3. **cálculo do custo de produção:** as RMs atendidas são encaminhadas para a contabilidade de custos.

Logo, nota-se que as RMs atuam como um pedido (ordem), para retirar material do almoxarifado e propiciam meios de controlar as saídas de material deste setor.

A Figura 1.7 apresenta o fluxo de materiais no almoxarifado.

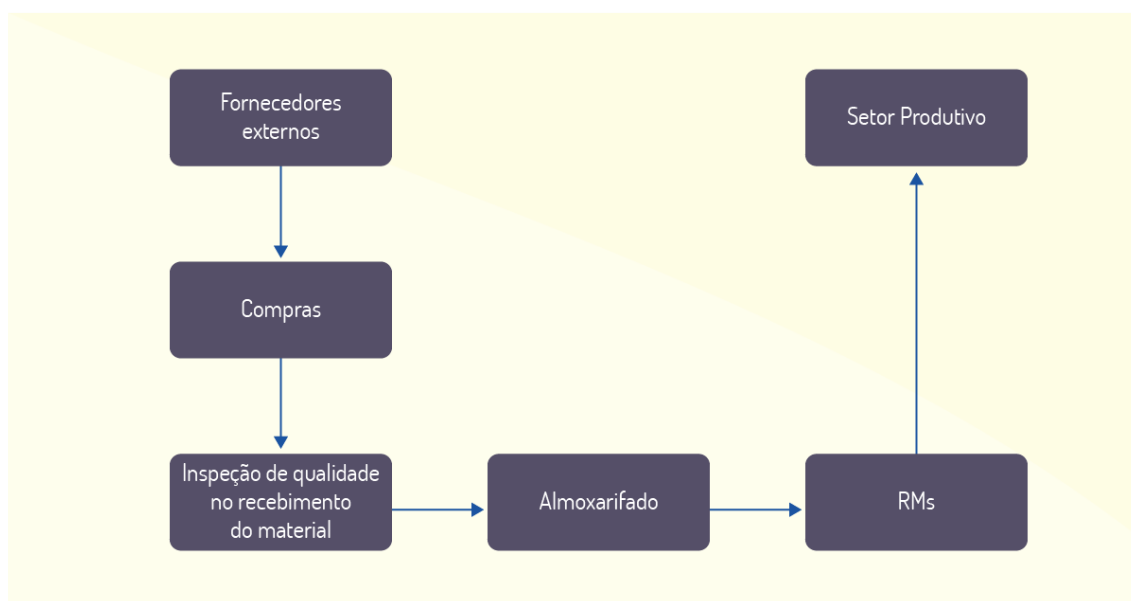


Figura 1.7 - Fluxo de materiais no almoxarifado

Fonte: Adaptada de Chiavenato (2006).

Portanto, têm-se que as principais funções do almoxarifado são:

1. garantia de que as matérias-primas e outros materiais necessários à produção estejam na quantidade adequada e armazenados corretamente;
2. controle adequado que impeça a existência de discrepância de entrada e saídas de materiais;
3. instalações adequadas que permitam movimentação e distribuição rápida para atendimento do cliente (setor produtivo).

A concepção de almoxarifado e depósito está em desuso, em muitas empresas, visto que não agregam valor aos produtos. De fato, em muitas empresas, o almoxarifado e depósito foram, praticamente, eliminados, usando a filosofia do *just in time* (JIT), por exemplo. No entanto, em algumas empresas, estas estruturas são fundamentais, como: grandes redes varejistas, supermercados, empresas virtuais. As lojas virtuais, por exemplo, encontram problemas, ao fazerem a entrega do produto vendido ao cliente, logo, necessitam ter produtos em estoque devido às oscilações que as vendas enfrentam em determinados períodos.

Arranjo físico (*layout*)

Este termo trata como pessoas, equipamentos e materiais são acomodados da maneira mais satisfatória possível no sistema produtivo. A disposição física destes entes de maneira adequada acarreta menores desperdícios e resposta rápida a possíveis problemas, entre outros ganhos que influenciam, diretamente, na produção de produtos e/ou serviços.

As principais finalidades do arranjo físico são:

- integrar máquinas, pessoas e materiais, possibilitando uma produção mais eficiente;
- limitar a movimentação de materiais;
- possibilitar um fluxo aceitável de materiais e produtos, ao longo do processo produtivo, impedindo gargalos de produção;
- propiciar o emprego eficiente do espaço ocupado;
- simplificar e melhorar as condições de trabalho;
- proporcionar versatilidade, caso haja possíveis mudanças.

O arranjo físico é demonstrado pelo *layout*. Conforme Chiavenato (2006), o *layout* é um gráfico que representa a disposição espacial, a área ocupada e a localização de máquinas, pessoas e materiais. Pode representar também a disposição das seções envolvidas no processo produtivo.

Considerando o almoxarifado e o depósito, as principais características de *layout* são:

- **itens de estoque:** os itens referentes às matérias-primas do almoxarifado e os produtos acabados de maior saída do depósito necessitam estar próximos à saída da expedição, para facilitar a movimentação. Esta ideia se repete para itens de grande peso e volume. A Figura 1.8 apresenta diversos itens na expedição de uma indústria.



Figura 1.8 - Itens de estoque

Fonte: Dumayne / 123RF.

- **corredores:** os corredores, em um almoxarifado ou depósito, simplificam o acesso às matérias-primas e produtos em estoque. Todavia, apesar dos corredores facilitarem o acesso às mercadorias, não podem ser em grandes quantidades, visto que diminuem o espaço de armazenagem. A Figura 1.9 apresenta corredores do setor de depósito.

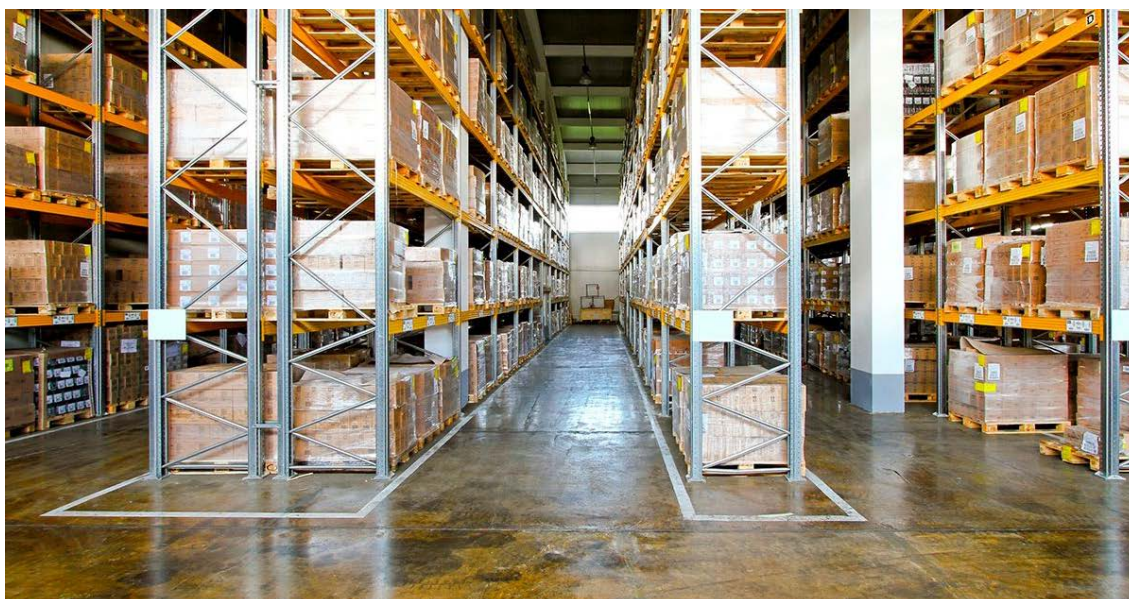


Figura 1.9 - Corredores de depósito

Fonte: Baloncici / 123RF.

- **portas de acesso:** segundo Chiavenato (2006), as portas que levam aos ambientes onde ficam armazenadas as matérias-primas e produtos acabados precisam possibilitar o acesso de equipamentos necessários à movimentação deles, como: empilhadeiras, carrinhos e afins. Tanto largura como altura devem ser, devidamente, dimensionadas. A Figura 1.10 apresenta a porta de acesso do setor de produção para o setor de produtos acabados.



Figura 1.10 - Porta de acesso

Fonte: Katarzyna Białasiewicz / 123RF.

- **empilhamentos ou prateleiras:** em um almoxarifado ou depósito, geralmente, existem empilhamentos e prateleiras. Caso existam, deve-se considerar a altura máxima e peso dos materiais, além das limitações dos equipamentos, como empilhadeiras, em relação à elevação máxima. A Figura 1.11 apresenta produtos armazenados, em prateleiras, em um depósito.



Figura 1.11 - Depósito de uma indústria

Fonte: Jozef Polc / 123RF.

Um ponto importante a ser observado é que os três tipos de *layout* vistos apresentam vantagens e desvantagens e precisam ser bem analisados, para saber qual se encaixará melhor no sistema produtivo da empresa em questão.

A Figura 1.12 apresenta exemplos de diferentes tipos de almoxarifado de indústrias distintas para melhor compreensão do leitor.



(a)



(b)

(a)

(b)

Figura 1.12 - (a) Almoxarifado de uma indústria metalúrgica; (b) Almoxarifado de uma indústria automotiva

Fonte: Dolgachov / 123RF; Olena Kachmar / 123RF.

Existem três tipos de *layout*: de processo, de produto e estacionário. Vamos verificar cada um deles a seguir.

***Layout* de processo**

Esse tipo de *layout* também é chamado de *layout* funcional e é um arranjo físico no qual as estações de trabalho não ficam dispostas em uma sequência fixa, isto é, este tipo de arranjo organiza máquinas com a mesma funcionalidade de blocos, como exemplo, pode-se citar uma indústria gráfica, visto que as máquinas de impressão ficam em um bloco e as máquinas de corte em outro bloco. Este *layout* é empregado, quando a produção é, relativamente, baixa e o produto em questão sofre constantes mudanças, sendo a principal vantagem desse arranjo a versatilidade. Já as desvantagens referem-se aos custos elevados de produção e de movimentação de materiais. O *layout* de processo, geralmente, necessita de uma área maior de espaço útil, devido ao armazenamento provisório de materiais em processamento.



Figura 1.13 - Indústria têxtil

Fonte: Eduardo Lopez Coronado / 123RF.

A Figura 1.13 apresenta uma indústria têxtil que retrata com fidelidade o *layout* de processo. Nesta configuração, os produtos sofrem constantes mudanças, visto que a produção é baixa, as “estações de trabalho” são, praticamente, autônomas (independentes), ou seja, quando o produto chega em uma determinada estação de trabalho, esta não depende da estação anterior, para realizar seu trabalho, considerando que ele tenha sido feito de maneira correta.

***Layout* de produto**

Esse tipo de *layout* também é chamado de linear e é um arranjo físico no qual o produto se move pela linha de produção, ou seja, as máquinas são dispostas de maneira que qualquer ação vital, para confeccionar determinado produto, passe por estações de trabalho organizadas em uma sequência estática (indústria automotiva). Este *layout* é empregado quando o produto é padronizado e não sofre mudanças, sendo as principais vantagens desse arranjo os custos reduzidos de produção e de movimentação de materiais, além da simplicidade do planejamento e de controle da produção. Já as desvantagens referem-se aos altos investimentos em equipamentos e a ausência de versatilidade. Esse tipo de *layout* é bastante empregado no sistema de produção contínua.



Figura 1.14 - Linha de produção automotiva

Fonte: Vladimir Salman / 123RF.

A Figura 1.14 apresenta uma linha de produção, em uma indústria automotiva, representando com fidelidade o *layout* de produto.

***Layout* estacionário**

Esse tipo de *layout* é um arranjo físico no qual o produto que está sendo fabricado é imóvel e os recursos imprescindíveis a sua construção movem-se ao seu redor. Este *layout* é empregado, quando o produto é de grande porte, como: navios, aviões, prédios, maquinários pesados e de grande porte. A principal vantagem desse arranjo é a grande flexibilidade, que possibilita modificações, no projeto e no seu respectivo planejamento. Esse tipo de *layout* é bastante empregado no sistema de produção sob encomenda. A Figura 1.15 apresenta a construção de um navio, que retrata com fidelidade uma aplicação do *layout* estacionário.



Figura 1.15 - Construção de um navio - *layout* estacionário

Fonte: Rudmer Zwerver / 123RF.

A seguir, a Tabela 1.2 apresenta um resumo dos tipos de *layout* e das especificidades de cada um deles, o de processo, o de produto e o estacionário. Veja:

<i>Layout</i> de processo	<i>Layout</i> de produto	<i>Layout</i> estacionário
• Arranjo fixo de máquinas e pessoas por especialidade.	• Arranjo fixo de máquinas e pessoas pela sequência das operações.	• Máquinas e pessoas se deslocam ao redor do produto.
• Os materiais se deslocam, ao longo das seções até o seu acabamento.	• Os materiais se movem, linearmente, ao longo das máquinas.	• Os materiais se movem, incessantemente, para as operações, ao redor do produto, que é fixo.
• Flexibilidade.	• Baixos custos de movimentação de	• Flexibilidade.

	materiais.	
• Custos elevados de movimentação de materiais.	• Elevados investimentos em equipamentos.	• Ritmo irregular e ociosidade.

Tabela 1.2 - Tipos de *layout*

Fonte: Adaptada de Chiavenato (2006).

É importante ressaltar que, nos subtópicos, foram discutidos alguns termos comuns a almoxarifados e depósitos, mas que se resumem ao tipo de *layout* utilizado e como este influencia o modo de operar do sistema produtivo.

Tipos de estocagem de materiais

Após conhecermos os tipos de *layout* que uma empresa possui, seus respectivos aspectos e os tipos de sistemas produtivos, o próximo passo é saber como os produtos são armazenados. Basicamente, o tipo de estocagem depende do sistema produtivo empregado, e existem três tipos fundamentais de estocagem, descritos a seguir.

- **Estocagem de matéria-prima:** as matérias-primas podem ser armazenadas, em um ambiente externo, entretanto, a estocagem interna (almoxarifado) é mais recorrente. A estocagem de matéria-prima é resultado da diferença entre material consumido e recebido. Logo, o nível de material estocado depende também das quantidades compradas, recebidas e do prazo do fornecedor. Em relação às matérias-primas armazenadas, em um ambiente externo, como: produtos químicos e lingotes, por exemplo, o tipo de estocagem pode ser centralizada ou descentralizada. A estocagem de matéria-prima centralizada, basicamente, se resume à armazenagem do produto primário, em um único local, facilitando, assim, o planejamento de produção e o inventário do material. A estocagem de matéria-prima descentralizada, basicamente, se resume à armazenagem junto a algum ponto ou outros diversos pontos de uso da matéria-prima. Esta modalidade de estocagem tem diversas vantagens, como: entrega mais rápida da matéria-prima ao sistema produtivo, inventário mais rápido e redução de atrasos. Conforme o estado físico (sólido, líquido ou gasoso) do produto, existe uma maneira mais

eficiente de armazená-lo. Os materiais em estado líquido devem ser armazenados em tambores, não os colocando em locais de grande altura. Os materiais sólidos podem ser armazenados de diferentes formas e em diferentes locais (prateleiras, empilhamentos e afins), praticamente, não há restrições de armazenamento para este tipo de material. Quando se trabalha com líquidos e gases perigosos que oferecem risco à saúde dos funcionários, é essencial o cuidado no manuseio, armazenamento e transporte. Estes produtos são armazenados no almoxarifado, no entanto são estocados de maneira especial, devido às características que possam causar acidentes, como: incêndios, explosões e afins. A NR 16 (BRASIL, 2015) trata das atividades e operações perigosas com inflamáveis. Um exemplo de atividades que esta norma compreende é produção, transporte, processamento e armazenamento de gás liquefeito. A Figura 1.16 apresenta um fluxograma do recebimento do produto até a estocagem no almoxarifado.

Figura 1.16 - Estocagem de matéria-prima

Fonte: Elaborada pelo autor.

- **Estocagem intermediária:** conforme Chiavenato (2006), este tópico trata dos materiais que estão em uma determinada fase do processo, aguardando a próxima etapa da cadeia produtiva a que serão submetidos. Esse tipo de armazenagem intermediária também pode ser centralizada ou descentralizada. A estocagem intermediária centralizada demanda equipamentos para movimentação de materiais e uma área única para armazenamento provisório destes materiais. A Figura 1.17 apresenta um local único de armazenamento provisório no qual somente equipamentos de movimentação de materiais têm acesso às matérias-primas ou produtos semiacabados, que serão utilizados nas máquinas do setor produtivo.

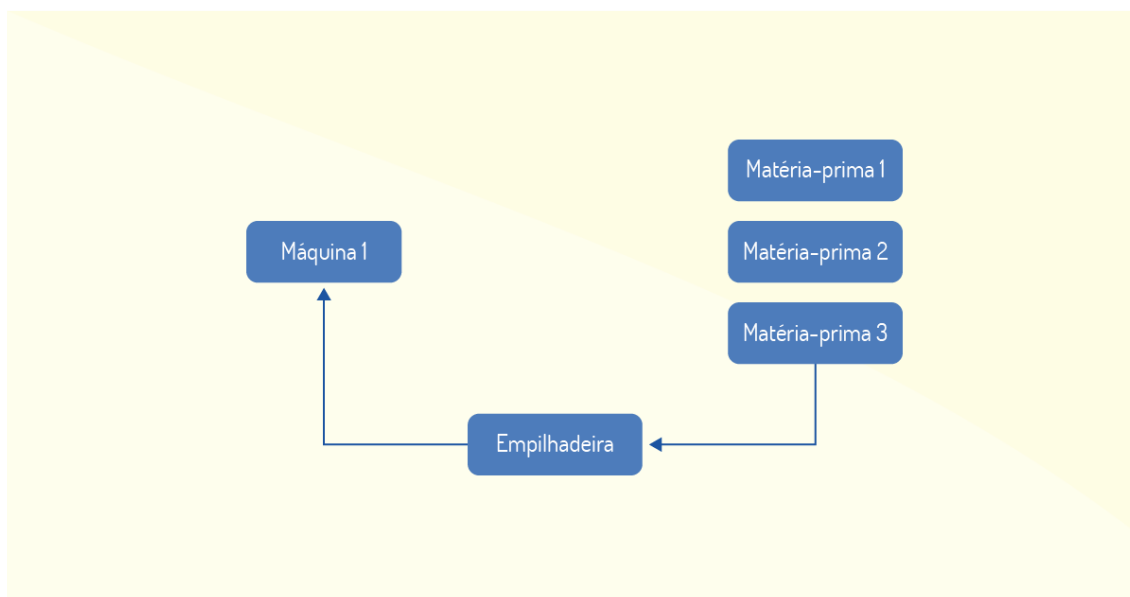


Figura 1.17 - Estocagem intermediária centralizada

Fonte: Elaborada pelo autor.

A estocagem intermediária descentralizada necessita de diversas áreas próximas às seções produtivas, utilizando pallets, caixas e afins para armazenamento do material no local. A Figura 1.18 apresenta materiais próximos às máquinas, no setor de produção, para serem processados.

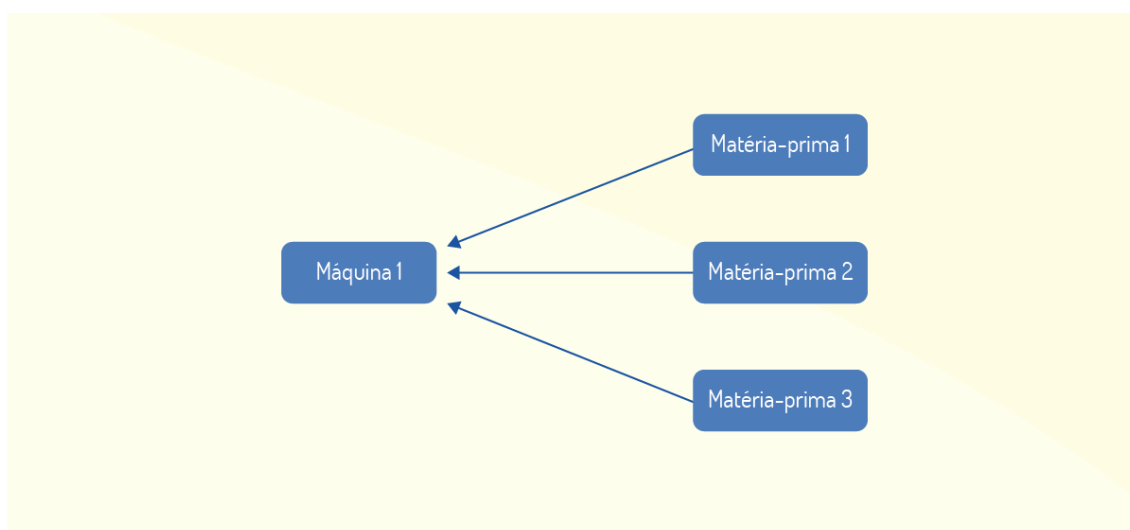


Figura 1.18 - Estocagem intermediária descentralizada

Fonte: Elaborada pelo autor.

- **Estocagem de produto acabado:** este tipo de estocagem é realizado no depósito; normalmente, é centralizado. A Figura 1.19 detalha o fluxo do produto até chegar no depósito e as etapas subsequentes.

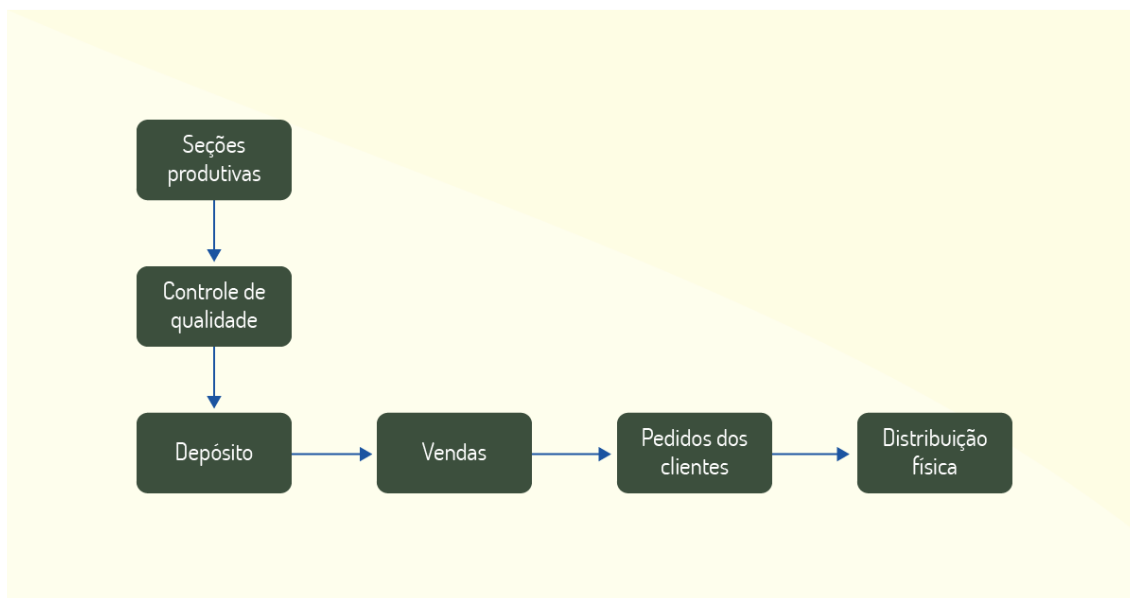


Figura 1.19 - Fluxo de produto

Fonte: Chiavenato (2006, p. 125).

A seguir, conheceremos sobre as técnicas de estocagem de material e suas especificidades. Vamos lá?

Técnicas de estocagem de materiais

Conforme Luchezzi (2015, p.73), “a escolha dos equipamentos de estocagem ou espera é feita a partir de muitos fatores, como espaço disponível, a densidade de estocagem que a empresa almeja e o custo relativo da instalação. A acessibilidade e a rotatividade fazem parte do conjunto de fatores que influenciam a escolha”.

O armazenamento de materiais depende, diretamente, das suas dimensões e atributos. Eles podem requisitar desde um simples pallet até sistemas mais complexos de armazenamento.

A escolha do sistema de estocagem de materiais depende de alguns aspectos, como:

- **espaço disponível para estocagem:** este item trata do espaço disponível, no almoxarifado ou depósito, para armazenamento de um item ou de diversos itens que serão utilizados em determinado momento.
- **tipos de materiais a serem estocados:** os materiais a serem estocados podem ser algum tipo de matéria-prima, insumos, produtos semiacabados ou produtos acabados.
- **número de itens estocados:** é a quantidade de itens (matérias-primas ou outros tipos de material) a serem armazenados, no almoxarifado ou depósito.
- **velocidade de atendimento necessária:** os produtos precisam ser armazenados de maneira adequada, visto que, quando requisitados, precisam ser disponibilizados à produção ou outro setor que faça a solicitação de maneira tempestiva, ou seja, de maneira rápida e eficiente que cumpra o prazo esperado.
- **tipo de embalagem:** as matérias-primas e/ou produtos acabados podem ser líquidas, gasosas ou sólidas, logo, necessitam de embalagens adequadas para seu armazenamento e posterior utilização. Conforme Luchezzi (2015, p. 131),

Cada tipo de embalagem é elaborada para um determinado produto, por exemplo, temos os barris que são utilizados para conservar bebidas, já os engradados servem tanto para acondicionar alimentos, quanto para transportar objetos. As caixas de papelão que servem para transportar qualquer tipo de produtos, como alimentos, produtos têxteis e automotivos, entre outros.

O sistema de estocagem escolhido segue, obrigatoriamente, algumas técnicas que serão descritas a seguir:

1. Carga unitária

Em resumo, a carga unitária é um conjunto de cargas contidas, em um recipiente, formando um todo único quanto à manipulação, armazenamento ou transporte.



Figura 1.20 - Técnica da carga unitária

Fonte: Dmitry Kutlayev / 123RF.

A constituição de carga unitária faz-se por meio de um aparato chamado pallet. A Figura 1.20 apresenta a técnica da carga unitária.

2. Caixas ou gavetas

Segundo Russo (2013, p. 136), “de todos os métodos para controlar os níveis de estoques, este é o que menos exige burocracia e pode ser considerado o mais simples”. Essa técnica é perfeita para estocagem de materiais de pequenas dimensões (parafusos, arruelas, materiais de escritório e afins).



Figura 1.21 - Técnica de caixa ou gavetas

Fonte: Warut Sintapanon / 123RF.

As caixas ou gavetas podem ser metálicas, de madeira ou de plástico, podem ser padronizadas e, geralmente, são adquiridas de um fornecedor externo. A Figura 1.21 apresenta a técnica de caixas ou gavetas.

3. Prateleiras

Essa técnica destina-se à armazenagem de materiais de vários tamanhos. Estas estruturas, geralmente, são de perfis metálicos de diversos tamanhos e dimensões. A altura destas estruturas depende do tamanho e peso dos materiais estocados, sendo que a prateleira é o meio de estocagem mais simples e econômico.

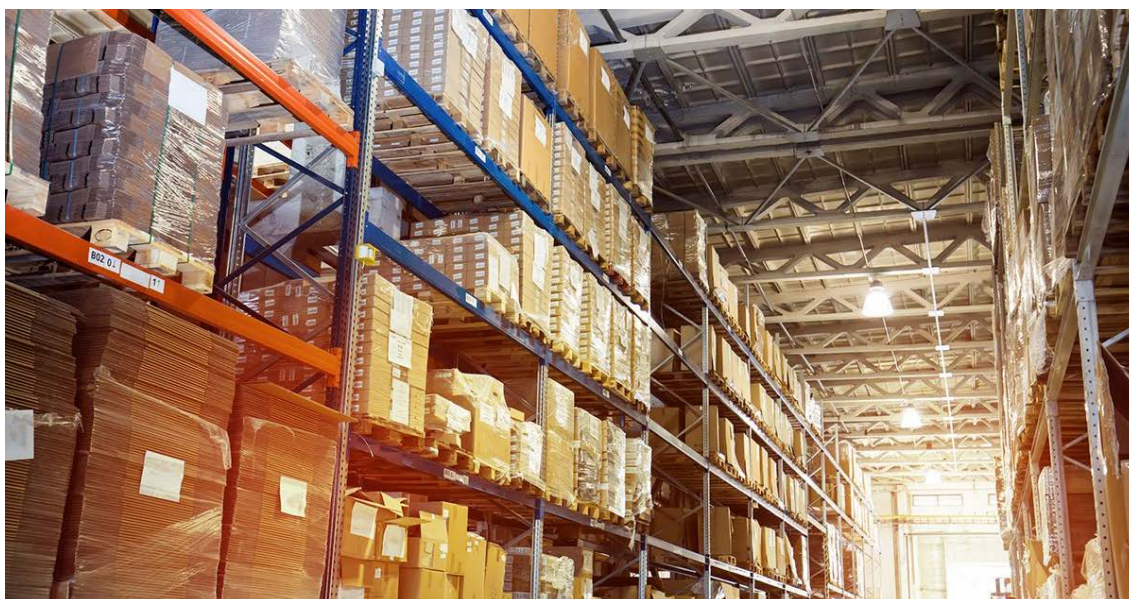


Figura 1.22 - Técnica das prateleiras

Fonte: Nd3000 / 123RF.

A Figura 1.22 apresenta a técnica das prateleiras. A seguir, veremos as raques.

4. Raques

Conforme Chiavenato (2006), esta estrutura é construída para acomodar peças longas e estreitas, como tubos, barras, tiras, vergalhões e afins.



Figura 1.23 - Técnica dos raques

Fonte: Nicolas Dorsaz / 123RF.

Pode ser montado em rodízios, para facilitar o deslocamento, sendo que sua estrutura pode ser de madeira ou aço. A Figura 1.23 apresenta a técnica dos raques.

5. Empilhamento

Esta técnica aproveita, completamente, o espaço vertical disponível, nas prateleiras, respeita a altura limite. O empilhamento possibilita a utilização de pallets e, consequentemente, as empilhadeiras que consistem, na ferramenta perfeita, para sua movimentação. A Figura 1.24 apresenta a técnica do empilhamento.

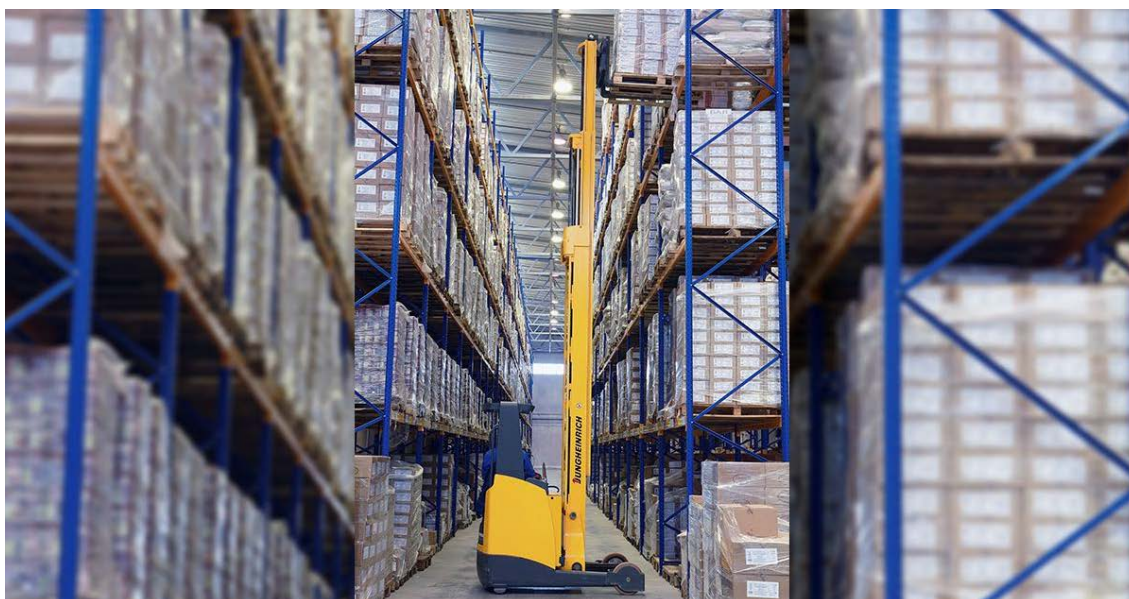


Figura 1.24 - Técnica do empilhamento

Fonte: Владимир Григорьев / 123RF.

No tópico depósito e seus subtópicos, foi discutido como se deve estocar os produtos acabados, ou seja, os produtos que estão aguardando somente o despacho para o cliente após sua venda. Além disso, foram discutidos os tipos de *layout* existentes e como cada um se encaixa nos sistemas produtivos. Por fim, tratou-se dos tipos e técnicas de estocagem de materiais.

No tópico almoxarifado e seus subtópicos, foi discutido como é realizado o controle dos materiais, neste setor, e se como deve armazenar matérias-primas e outros materiais necessários ao sistema produtivo.

ATIVIDADES (Almoxarifado)

- 1) Considerando o sistema produtivo de uma empresa que é padronizado e não sofre mudanças, tem-se o *layout* de produto. Sobre este tipo de *layout*, pode-se afirmar que:
 - a) a produção é diversificada e com ritmo muito irregular, provocando momentos de alta ociosidade.
 - b) é utilizado, quando os equipamentos e os materiais são dispostos em uma mesma seção conforme a sequência de operações.
 - c) é o *layout* utilizado, quando o produto sofre frequentes modificações e o volume de produção é, relativamente, baixo.
 - d) é também chamado de *layout* funcional e é utilizado no sistema de produção em lotes.
 - e) é o *layout* utilizado para produção de produtos, como navios, maquinários de grande porte e grandes estruturas.

Produção

O setor de produção é o coração de uma indústria, visto que todas as outras áreas trabalham em prol desta, para que sua produtividade e qualidade sejam as melhores possíveis. Neste tópico, primeiramente, será abordado alguns conceitos do PCP (Planejamento e Controle de Produção) para que fiquem mais claros alguns conceitos.

Planejamento de produção

A produção de uma empresa não ocorre de forma aleatória. O processo produtivo deve funcionar em harmonia com as demais áreas da empresa e, para isso, tudo deve ser, adequadamente, planejado. O Planejamento de Produção (PP) é uma das fases do Planejamento e Controle da Produção (PCP). Essa etapa usa as informações da estimativa de demanda definidos para médio e longo prazos, ou seja, baseia-se na previsão de vendas como suporte no que a empresa pretende colocar, no mercado e na capacidade de produzir. Assim, o Planejamento de Produção é responsável por programar as horas de trabalho das máquinas, as matérias-primas necessárias e alocar a mão-de-obra adequada, para obter desse conjunto de fatores um resultado adequado à capacidade de produção da empresa e com a respectiva previsão de vendas, desconsiderando estoques com produtos acabados que venham a estar disponíveis.

Em conclusão, pode-se dizer que o planejamento de produção é o que a empresa vai produzir, observando a quantidade máxima de produtos a serem fabricados (potencial produtivo) e as vendas que devem ser atendidas.

Portanto, a finalidade do Planejamento da Produção é obter uma produção com alta eficiência, isto é, a produção que foi planejada é entregue no tempo esperado e no custo calculado. Além disso, temos a eficácia, esta trata do alcance dos objetivos pretendidos. Assim, obtém-se, concomitantemente, uma alta eficiência e eficácia do processo como um todo. A Figura 1.25 apresenta a eficiência e a eficácia do processo produtivo.

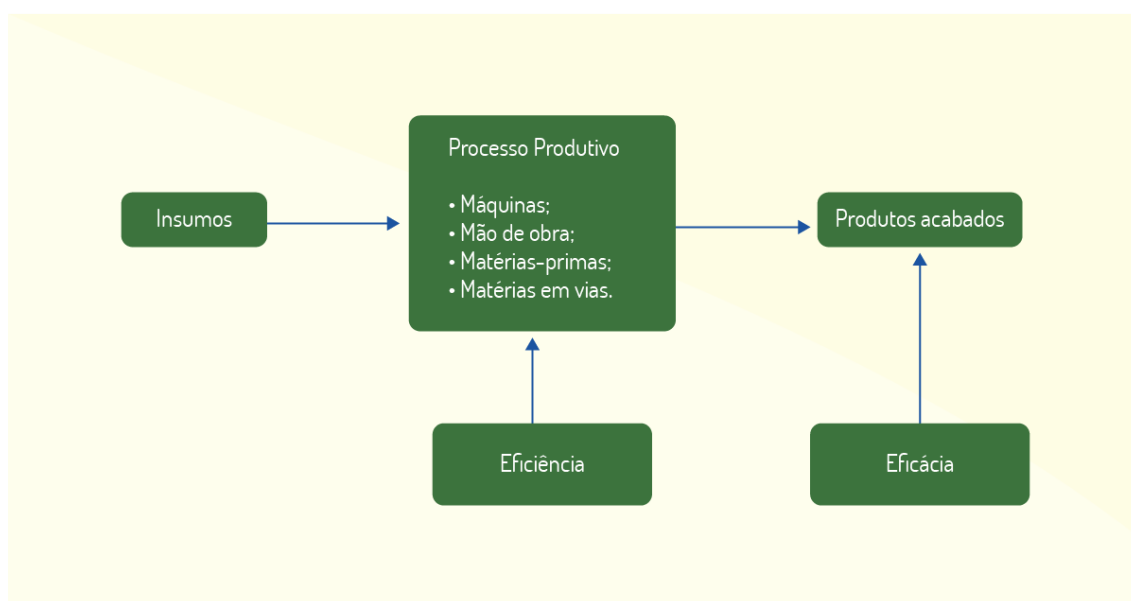


Figura 1.25 - A eficiência e a eficácia do processo produtivo

Fonte: Adaptada de Chiavenato (2006).

Como se pode observar, na Figura 1.25, eficiência está, intimamente, ligada ao processo produtivo, já a eficácia trata, especificamente, dos resultados obtidos, ou seja, do produto final que será entregue ao cliente.

Logo, o planejamento de produção busca antecipar o que se deve fazer, quanto fazer, quando fazer, quem deve fazer e como fazer. A Figura 1.26 exemplifica as definições do planejamento de produção.

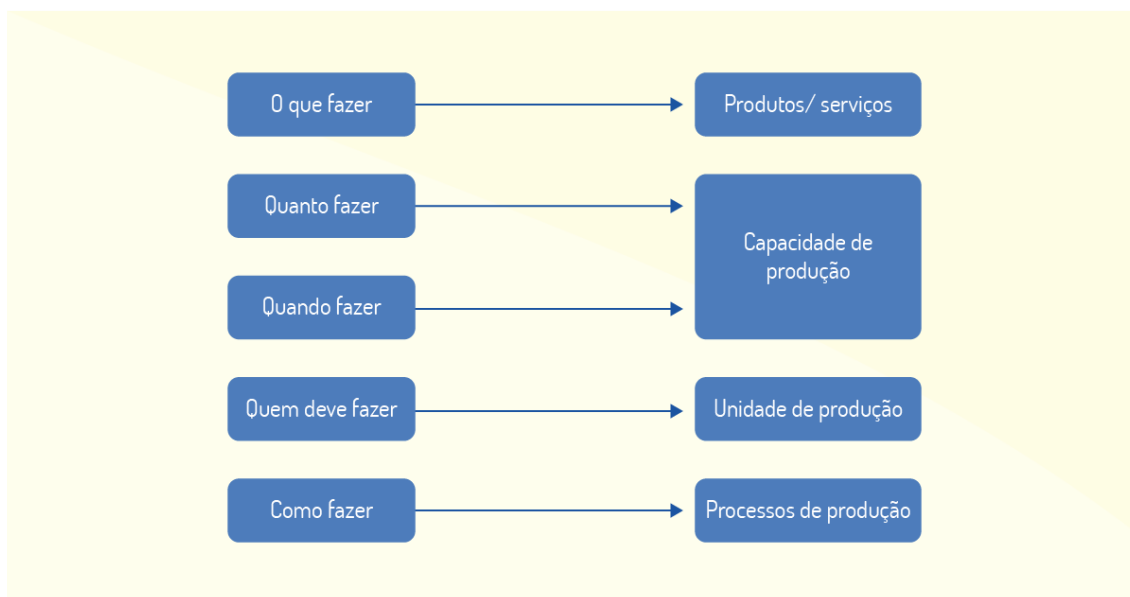


Figura 1.26 - Definições do planejamento de produção

Fonte: Adaptada de Chiavenato (2006).

A organização do planejamento da produção é definida pelo setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP). Este setor faz a gerência dos recursos operacionais da empresa e busca auxiliar gerências e diretorias de produção as quais está subordinado, sendo o Planejamento da Produção uma de suas seções.

Sistemas produtivos

Os sistemas de produção são definidos como um grupo de atividades e procedimentos que resultam na produção de bens ou serviços com atributos diferentes de volume e variedade. Um ponto importante a ser observado é que aspectos internos (setores da empresa) e externos (economia, políticas, tecnologia e afins) afetam sua performance.

Um assunto que não é abordado, diretamente, neste material, mas é de extrema importância, é o planejamento de produção, composto por quatro fases: **elaboração do plano de produção, programação da produção, emissão de ordens e liberação da produção.**

O plano de produção define o que a empresa planeja produzir, em um período estipulado de tempo, geralmente, um ano, quando não se refere ao sistema de produção sob encomenda.

Primeiramente, dar-se-á uma breve introdução sobre a elaboração do plano de produção que está, intimamente, ligado aos sistemas produtivos e, na sequência, são definidos e detalhados os tipos existentes de sistemas produtivos.

Trabalhar-se-á somente com a primeira fase do planejamento da produção que é a **elaboração do plano de produção**, este tópico consiste no que a empresa almeja produzir, em um determinado período de tempo.

A elaboração do plano de produção advém do sistema produtivo utilizado pela empresa. Portanto, pode ser: produção sob encomenda, produção em lotes e produção contínua. A Figura 1.27 apresenta a importância dos sistemas de produção na concepção do plano de produção.

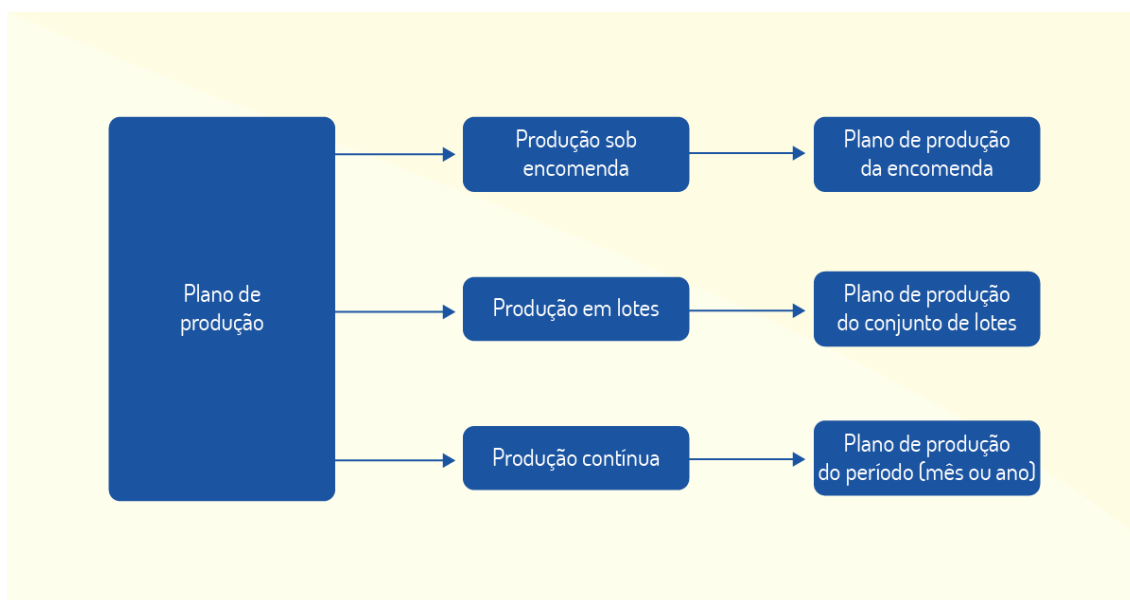


Figura 1.27 - Influência dos sistemas de produção na elaboração do plano de produção

Fonte: Adaptada de Chiavenato (2008).

Na sequência, são detalhados os tipos de sistemas produtivos mais utilizados.

- **Sistema de produção em massa:** este tipo de sistema de produção é caracterizado pelas linhas de montagem, no qual o número de produtos padronizados é, extremamente, alto. Esse sistema produtivo proporciona elevados índices de produção por funcionário e, em relação à oferta aos clientes, apresenta poucas opções, também o grau de distinção entre produtos de diferentes marcas é pequeno. Como exemplo deste tipo de sistema produtivo, têm-se as empresas automotivas e de eletrodomésticos. A Figura 1.28 apresenta o *layout* do sistema de produção em massa (indústria automotiva).

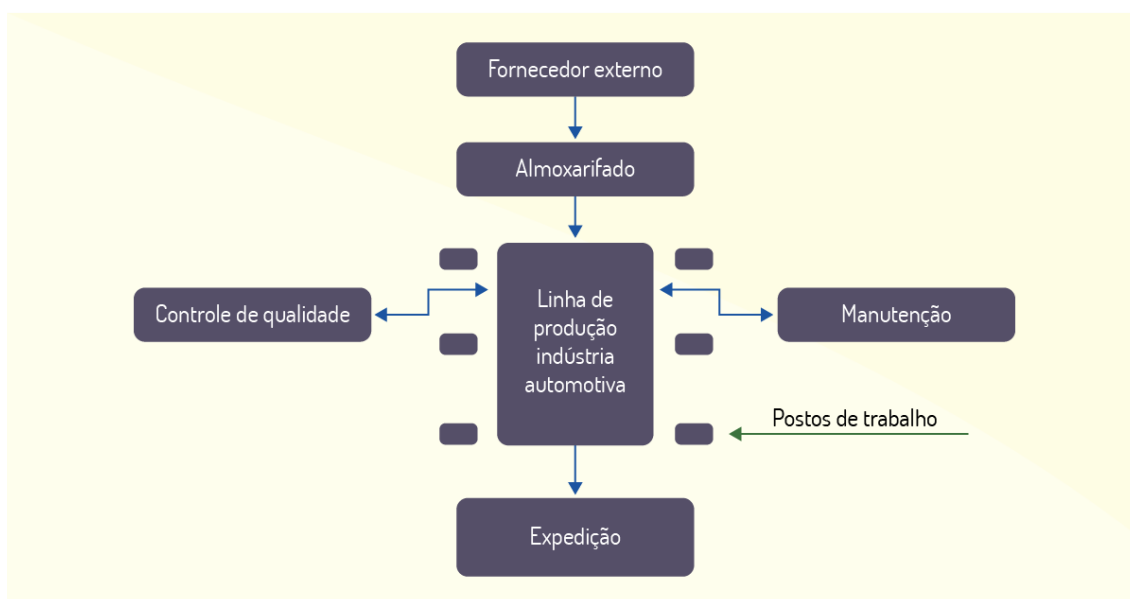


Figura 1.28 - *Layout* do sistema de produção em massa

Fonte: Elaborada pelo autor.

- Sistema de produção sob encomenda:** neste sistema, cada produto demanda um plano de produção individual, devido a sua complexidade, ou seja, cada cliente detém uma necessidade muito específica. O *layout* estacionário é utilizado para este sistema produtivo, visto que o produto é de grande porte e não se movimenta, como: navios, aviões, prédios e afins. O período de produção do projeto é longo em comparação aos outros tipos de sistema de produção. Em relação aos custos, estes são muito elevados, já o projeto realizado é, praticamente, único, ou seja, pouca repetitividade. A Figura 1.29 apresenta o sistema de produção sob encomenda. É importante salientar que este sistema de produção exige que cada produto seja específico, consequentemente, a respectiva máquina e funcionários também são exclusivos. Na figura a seguir, foram ignoradas as flechas de ligação do controle de qualidade e manutenção com as máquinas, para melhor visualização pelo leitor.

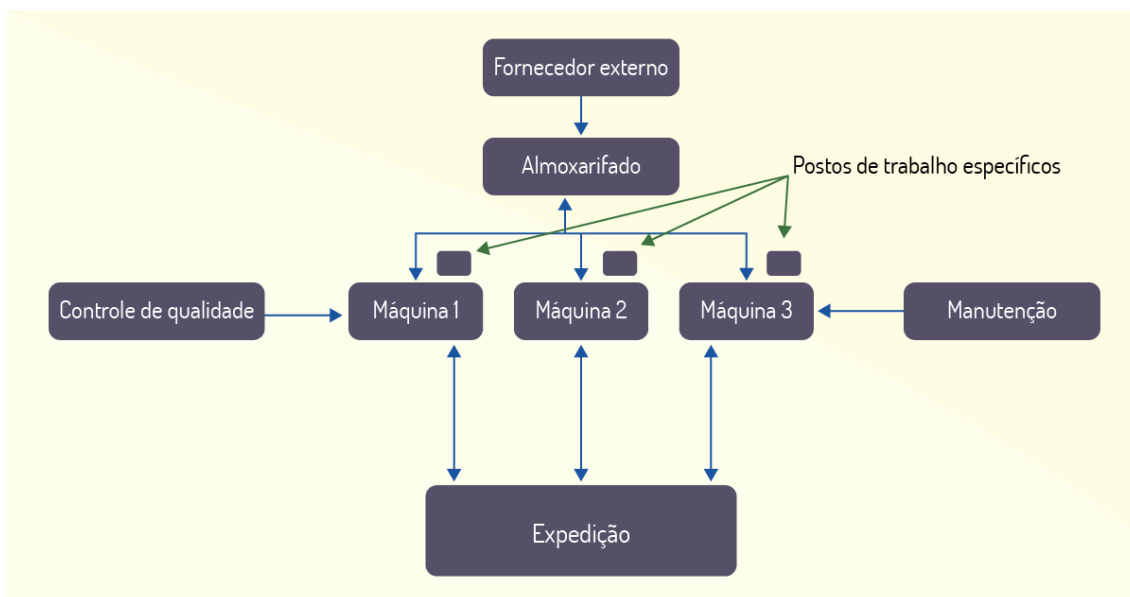


Figura 1.29 - *Layout* do sistema de produção sob encomenda

Fonte: Elaborada pelo autor.

- Sistema de produção intermitente:** neste sistema produtivo, cada produto demanda um plano de produção individual (plano de produção mais complexo), ou seja, não há somente um sequenciamento de metodologias. O arranjo físico utilizado é o *layout* de processo, também chamado de *layout* funcional, que permite grande flexibilidade, tanto a funcionários como equipamentos. As máquinas, neste *layout*, têm mudanças frequentes de trabalho, visto que a multiplicidade de produtos e tamanho de lotes é muito grande. O sistema de produção intermitente pode ser subdividido em duas categorias: *jobbing* e lotes. Nos métodos de *jobbing*, os produtos, individualmente, compartilham os meios de operação com outros produtos, sendo que possuem uma diversidade grande e baixo volume, um exemplo clássico de método *jobbing* são as indústrias gráficas. Considerando a categoria que engloba o sistema produtivo intermitente em forma de lotes, tem-se que a variedade de produtos é menor no *jobbing* e, ao terminar a produção de um determinado produto, outros tomam seu lugar, nas máquinas, um exemplo clássico desta categoria é a produção de roupas. A Figura 1.30 apresenta o *layout* do sistema de produção intermitente, referente a uma indústria gráfica.

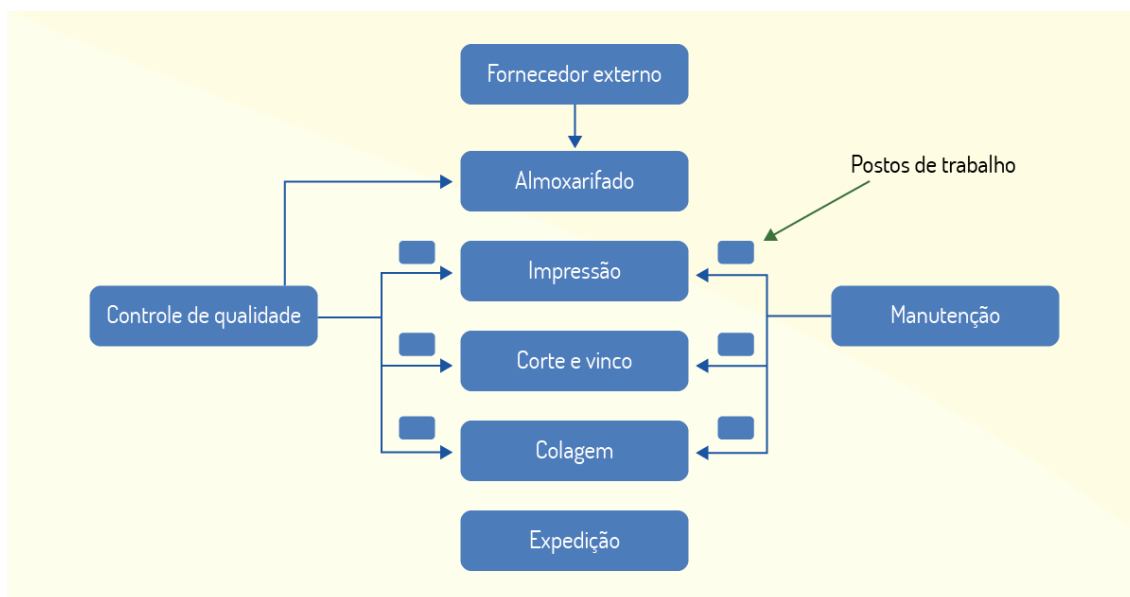


Figura 1.30 - *Layout* do sistema de produção intermitente

Fonte: Elaborada pelo autor.

- Sistema de produção contínua:** na produção contínua, o processo é direcionado para poucos ou um único produto. Assim, a capacidade de produção é traduzida em número de unidades produzidas em um período pré-determinado. Este sistema produtivo dispõe de uma alta eficiência e pouca flexibilidade. O *layout* de produto é utilizado para este tipo de sistema produtivo, visto que é empregado, quando o produto é padronizado e não sofre mudanças. O sistema produtivo contínuo opera por um longo tempo com alto volume de produção, como exemplo de indústrias que utilizam este tipo de processo, temos as refinarias petrolíferas e siderúrgicas. É interessante observar que, nos sistemas de produção em lote e produção contínua, o plano de produção é função da previsão de vendas. Um ponto importante que vale ressaltar é a existência de produtos acabados, no depósito da empresa, caso de produtos já fabricados, em um período passado e não considerados, na produção atual, ocasionando erros no planejamento da produção. A Figura 1.31 apresenta o *layout* do sistema de produção contínua que é bastante utilizado, em indústrias automotivas, visto que este sistema produtivo é voltado para um produto padronizado e que não sofre mudanças.

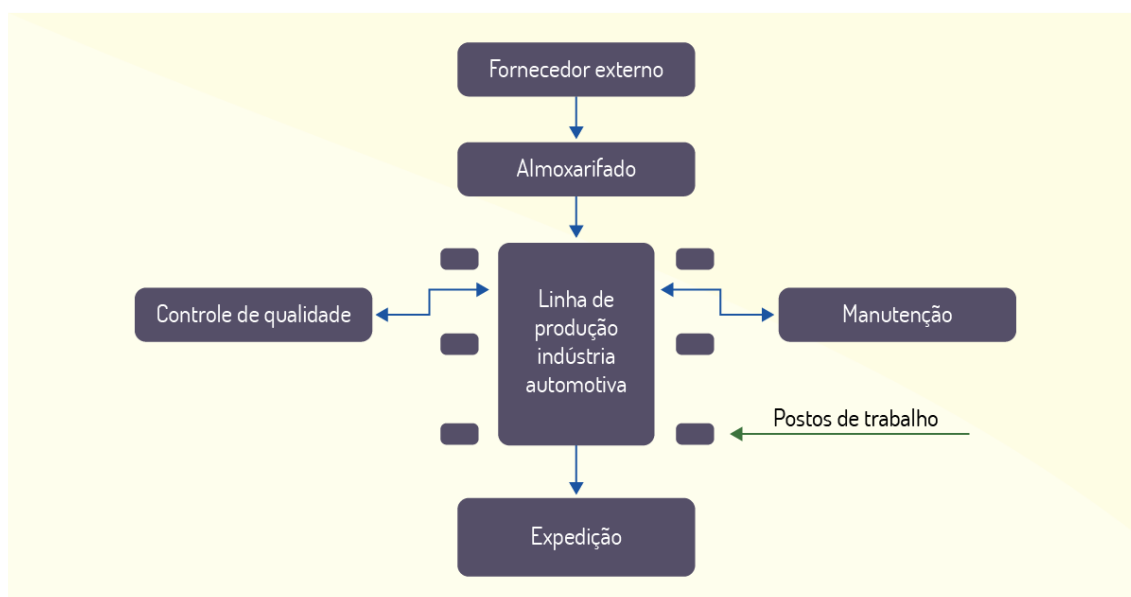


Figura 1.31 - *Layout* do sistema de produção contínuo

Fonte: Elaborada pelo autor.

- Sistema de Produção Cruzada (de Schroeder):** este tipo de sistema de produção é estabelecido por duas dimensões bem características: para estoque, em que o produto é fabricado e armazenado, no qual fica aguardando a demanda do consumidor. Este sistema permite o pronto atendimento ao cliente, porém, as opções de escolha são limitadas; a outra dimensão consiste em um sistema orientado para encomenda ou cliente, em que todas as fases (operações) ocorrem conforme a vontade do cliente.
- Sistema de Produção enxuta:** este sistema de produção é bastante conhecido e utilizado, é chamado de sistema Toyota de produção e é uma evolução do sistema de produção em massa. Tem, como principal função, diminuir ou excluir as práticas que não agregam valor ao produto. Este sistema produtivo procura eliminar estoques em excesso, materiais aguardando, no processo de produção, entre outros tipos de desperdício. Este sistema introduziu novos conceitos, como o *just in time*, 5s, Kanban, Benchmarking, TQC (Controle da Qualidade Total). Esses conceitos auxiliam na melhoria da qualidade, confiabilidade e redução de custos entre outras vantagens. A Figura 1.32 apresenta o sistema Toyota de produção.

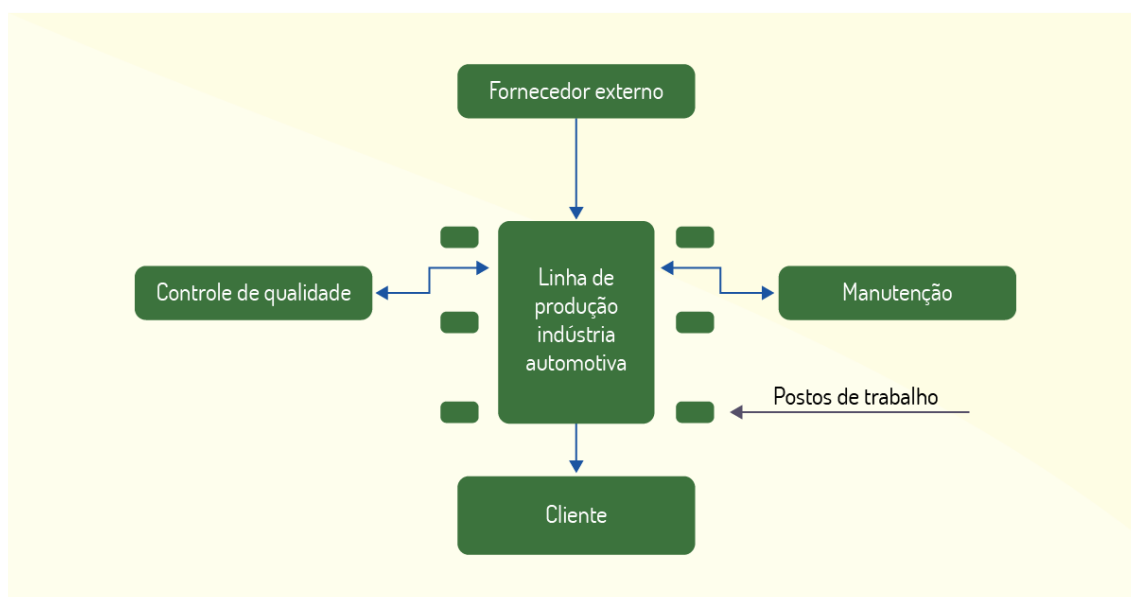


Figura 1.32 - *Layout* do sistema Toyota de produção

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste tópico, foi discutida a importância do setor de produção para qualquer empresa, visto que as demais áreas de uma empresa trabalham em conjunto para o seu sucesso. Além disso, foram apresentados os tipos de sistemas produtivos e suas aplicações em diferentes tipos de indústrias.

FIQUE POR DENTRO

O material indicado, no *link* disponibilizado, trata da filosofia *Just-In-Time* como uma ferramenta de otimização da produção. Basicamente, o artigo trata da importância do JIT para a área de produção e a disciplina, para manter a ferramenta em pleno funcionamento.

Disponível em: <<http://www.unisalesiano.edu.br/simposio2011/artAvaliacao/aval0016012.pdf>>.

Acesso em: 7 ago. 2019.

ATIVIDADES (Almoxarifado)

2) A filosofia *just in time* tem a função de organizar a cadeia produtiva de modo que se evite estoques e se reduza os desperdícios. Sobre o *just in time*, é correto afirmar que:

- a) é uma metodologia que tem propósito de acumular estoque, para não faltar matéria-prima à produção.
- b) o JIT surgiu, nos Estados Unidos, após a Primeira Guerra Mundial.
- c) a principal desvantagem do JIT é que seu uso não é adequado a produtos com demanda pouco previsível.
- d) a qualidade, nas empresas que utilizam o JIT, não é influenciada, positivamente, já que os níveis de retrabalho se mantêm altos.
- e) o JIT especifica que a identificação de defeitos é restrita aos técnicos e supervisores.

Manutenção

O termo manutenção tem diversas descrições pelos diversos autores da área, mas, basicamente, se resume ao conceito de um conjunto de atividades que buscam manter as máquinas de um setor produtivo funcionando em perfeito estado ou com o menor número de paradas possível. A NBR 5462 normatiza o termo manutenção.

Segundo a NBR 5462 (1994 apud PASQUA, 1999, p. 12), a manutenção é definida como: “a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Todas as empresas de grande ou pequeno porte que produzem bens necessitam efetuar manutenções, para assegurar sua qualidade. Estas referem-se a processos, ferramentas e equipamentos.

Conforme Seleme (2015), equipamentos bem ajustados consomem quantidades menores de recursos, apresentam menos desgaste em suas operações, rendem uma taxa de produtividade que pode ser planejada e demandam reinvestimentos menos frequentes. Os motivos citados evidenciam a importância da manutenção e justificam seu planejamento e implantação no processo produtivo.

A manutenção passou por muitas mudanças, desde sua concepção, principalmente, no século XX, devido ao advento da tecnologia, que proporcionou a possibilidade de construção de máquinas

mais complexas, as quais, por sua vez, permitiram o aumento da produção das indústrias. Assim, estas máquinas ficaram mais sujeitas às falhas e, conseqüentemente, os tempos de parada destes equipamentos aumentaram, significativamente, prejudicando a produtividade das empresas. A solução encontrada, utilizada até hoje, com algumas variações, é o conceito de manutenção preventiva, tratada em um tópico específico neste material.

Organização da manutenção

Com o passar dos anos, a área de manutenção e a forma como se organiza passou por diversas mudanças, para atender, da melhor forma possível, a organização da qual faz parte. Existem, basicamente, três tipos de organização do setor de manutenção mais utilizados, entre os diversos existentes. A Figura 1.33 apresenta os tipos de organização do setor de manutenção:

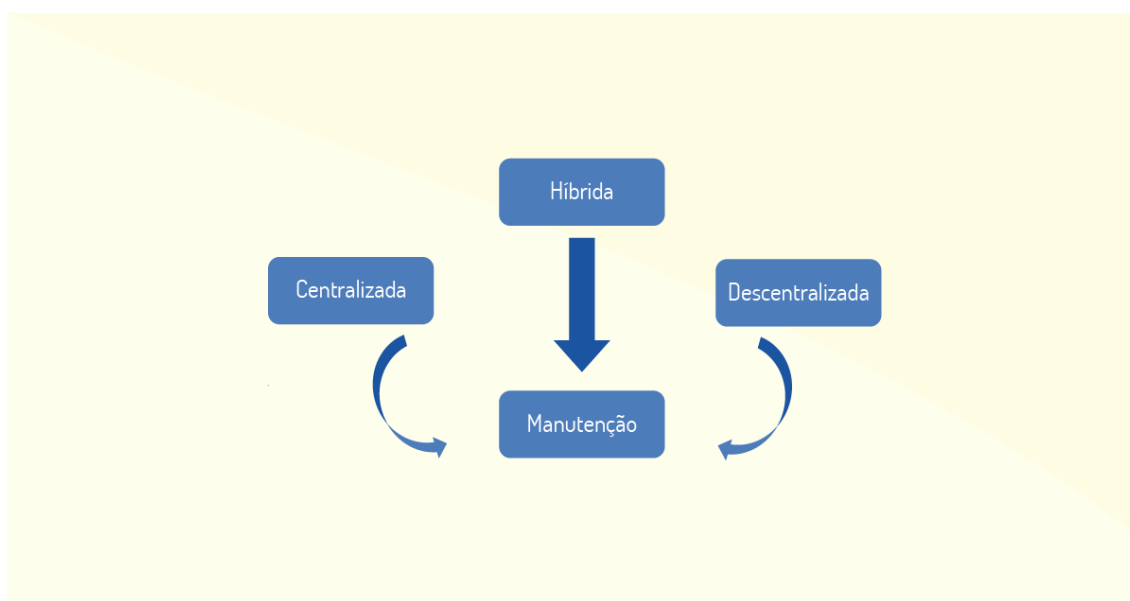


Figura 1.33 - Tipos de organização do setor de manutenção

Fonte: Adaptada de Seleme (2015).

Conforme o porte da empresa e os produtos por ela elaborados, define-se o nível de centralização ou descentralização. A centralização consiste em várias unidades produtivas e o setor de manutenção subalternos a uma administração geral. Já a descentralização consiste em que cada unidade de produção possui sua própria equipe de manutenção, ou seja, cada equipe de manutenção está subordinada a sua respectiva unidade de produção e não mais a uma

administração geral. Organizações maiores precisam de uma manutenção descentralizada, visto que possuem vários locais de trabalho. Normalmente, a centralização é mais utilizada em empresas de pequeno e médio porte, nas quais os funcionários atendem às diversas necessidades de manutenção (NEPOMUCENO, 1989, p. 28).

Algumas vantagens da **centralização**:

- fornece mais flexibilidade e melhora a utilização de recursos, tais como funcionários altamente qualificados e equipamentos especiais, portanto, resulta em mais eficiência;
- permite a supervisão da linha de produção de forma mais eficiente;
- permite a formação profissional com melhores resultados;
- permite a aquisição de equipamentos modernos.

Algumas desvantagens da **centralização**:

- tarefas que exigem habilidades especiais consomem mais tempo de deslocamento da função organização;
- supervisão de tarefas que necessitam de conhecimentos especiais se torna mais difícil e, como tal, menor é o controle da manutenção;
- menor desenvolvimento de funcionários em diferentes tecnologias;
- maiores custos de transporte em razão da distância dos locais dos trabalhos de manutenção.

Em uma empresa que adota a manutenção descentralizada, os setores são específicos e isso ocasiona uma diminuição na mobilidade do sistema de manutenção. Conforme Seleme (2015), neste caso, a quantidade de habilidades disponíveis torna-se reduzida e a utilização de recursos humanos, geralmente, é menos eficiente do que em uma manutenção centralizada, portanto, o ideal seria a manutenção híbrida.

Algumas vantagens da **descentralização**:

- atendimento tempestivo;
- a equipe de manutenção conhece os pormenores de cada equipamento, visto que atua, sempre, na mesma unidade produtiva.

Algumas desvantagens da **descentralização**:

- maior dificuldade de padronização;

- número maior de funcionários de manutenção;
- nível alto de complexidade para ministrar treinamentos.

A manutenção híbrida também é conhecida como sistema em cascata e, como o próprio nome já diz, combina as vantagens da manutenção centralizada e descentralizada.

Benefícios da manutenção

Em uma empresa, quando uma máquina da linha produção, por exemplo, apresenta um defeito que venha a prejudicar o sistema produtivo, vêm a nossa cabeça o porquê de a manutenção ser tão importante, visto que existem muitas vantagens as quais fundamentam suas realizações, sendo em instalações industriais ou equipamentos industriais. De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2002), são:

- **Melhoria da confiabilidade:** diminuição das paradas, nas atividades da produção, além da melhora dos níveis de serviço que acarreta um produto final com qualidade, pois o equipamento se mantém confiável.
- **Melhoria da segurança:** com a realização de uma manutenção adequada, a probabilidade dos equipamentos apresentarem falhas e acidentes de trabalho é pequena.
- **Aumento na qualidade:** o produto final é obtido de forma adequada, visto que os equipamentos necessários a sua produção estão bem ajustados, fato que reduz o desperdício e aumenta o ganhos da empresa.
- **Redução dos custos de operação:** os equipamentos que possuem um cronograma de manutenção regular são mais eficazes.
- **Maior tempo de vida útil:** manutenção, limpeza e lubrificação frequentes ampliam a vida útil do equipamento.
- **Valorização:** conforme Seleme (2015, p. 28), “instalações e equipamentos bem mantidos são geralmente mais fáceis de vender no mercado de segunda mão”.

REFLITA

A manutenção é algo caro para empresa, então, é válido pensar: será que vale o investimento?

Tipos de manutenção

Existem, basicamente, três tipos principais de manutenção que são praticadas, atualmente. Neste subtópico, você entenderá o porquê de, em alguns casos, um tipo de manutenção ser melhor do que outro, em relação a custo, segurança e produtividade.

Manutenção corretiva

Segundo a norma NBR 5462 (ABNT, 1994), esta forma de manutenção é realizada depois que ocorre uma quebra de um equipamento ou máquina e, tem por finalidade, consertar tal unidade operacional para que volte a executar suas funções o mais rápido possível, ou seja, ela ocorre quando um equipamento, máquina ou instalação opera até quebrar-se, após isso, realiza-se apenas a correção da falha ocorrida. Este tipo de manutenção também é conhecido por manutenção emergencial e é uma ação não programada, visto que ocorre em situações imprevisíveis. O setor de manutenção, neste caso, deve atuar de maneira rápida, seja com pessoal ou com itens de manutenção e substituição que devem estar em estoque.

A **manutenção corretiva** classifica-se em cinco categorias principais, que são:

- **falha total-reparo:** o componente que falhou (quebrou) deve ser substituído pela equipe de manutenção por um novo componente.
- **recuperação:** utiliza-se material reaproveitado de peças que não puderam ser recuperadas devido a uma falha total-reparo.
- **reconstrução:** esse item retrata a manutenção corretiva, visto que o propósito deste tipo de manutenção é verificar peças desgastadas, realizar os devidos reparos e substituições pelas originais que façam o equipamento voltar a funcionar, normalmente.
- **revisão:** trata da recuperação de determinada peça ao seu estado original, baseando-se na inspeção e reparos conforme consta nas normas do respectivo equipamento.
- **manutenção:** ocorre devido à ocorrência de um dos itens citados (Falha total-reparo, Recuperação, Reconstrução e Revisão), caracterizando a manutenção corretiva.

Kardec e Nascif (2013) apresentam uma classificação interessante para a manutenção corretiva:

- **manutenção corretiva não planejada:** evidencia-se pela correção da falha que acontece de maneira aleatória, classificada como correção emergencial.

- **manutenção corretiva planejada:** caracteriza-se pela atuação no equipamento antes da falha ocorrer, como base em um controle preditivo, ou seja, sabendo-se que a falha ocorrerá em função do monitoramento de dispositivos de controle de desempenho do sistema.

Por fim, temos que a manutenção corretiva pode ser caracterizada pela realização de cinco passos que precisam ser realizados de forma ordenada:

- identificação da falha;
- localização da falha;
- diagnóstico;
- correção;
- verificação.

Manutenção preventiva

Este tipo de manutenção visa prevenir falhas, ao adotar uma série de medidas periódicas, tais como: limpezas, lubrificações, substituição e verificação de equipamentos, peças e/ou máquinas. As principais finalidades da manutenção preventiva são: aumentar a vida produtiva dos bens de capital, reduzir a quebra dos equipamentos críticos, permitir um melhor planejamento e agendamento de trabalhos de manutenção, minimizar as perdas de produção em razão de equipamentos defeituosos e promover a saúde e segurança do pessoal de manutenção.

A manutenção preventiva apresenta algumas vantagens, como:

- **aumento da vida útil dos equipamentos:** devido à redução das quebras e o cuidado regular, o equipamento trabalha de maneira mais eficiente.
- **redução de custos:** o custo de um equipamento quebrado é muito impactante para o setor produtivo da empresa, portanto, com a utilização da manutenção periódica, os custos são reduzidos.
- **redução das interrupções no sistema produtivo:** devido à manutenção periódica, as interrupções na produção podem ocorrer, mas são esporádicas.
- **criação de uma mentalidade preventiva na organização:** a mentalidade preventiva, em uma organização, é uma mudança cultural, pois seu ganho é visto a longo prazo.
- **melhora de qualidade dos produtos, por manter as condições operacionais dos equipamentos:** com os equipamentos com menos quebras e bem ajustados, a qualidade

do produto final é mantida, fato que reduz, significativamente, as perdas e aumenta os lucros da empresa.

Existem algumas ações que são realizadas, periodicamente, na manutenção preventiva, descritas a seguir:

- inspeção;
- manutenção;
- calibração;
- testes;
- alinhamento;
- regulagem;
- instalação.

Manutenção preditiva

Considerada a mais moderna e eficiente, no ramo da manutenção industrial, tem o objetivo de realizar a manutenção, apenas, quando as instalações precisarem, efetivamente. Baseia-se em monitorar certos parâmetros de equipamentos por meio de dispositivos que permitem estabelecer o momento certo para a realização da manutenção (SLACK; CHAMBER; JOHNSTON, 2002, p. 636).

A manutenção preditiva vai muito além do que simples monitoramentos de vibrações, ou da análise de uma imagem térmica ou ensaios de viscosidade do óleo ou afins, ela permite aumentar a produtividade, a qualidade dos produtos e a eficiência, de forma geral, na planta de produção.

Conforme Seleme (2015), a manutenção preditiva, em vez de depender de estatísticas do ciclo médio de vida, isto é, do tempo médio de falha, para agendar as devidas ações de manutenção, esse tipo de manutenção usa o monitoramento da condição do equipamento por meio de sensores e equipamentos de leitura que demonstram a sua condição, da eficiência do sistema e outros indicadores, para definir o significado real do tempo, até ocorrer a falha ou a perda de eficiência do equipamento.

A implementação da manutenção preditiva em uma organização não é uma tarefa fácil, visto que não depende somente da tecnologia, mas sim de como esse programa será implementado, no ambiente de trabalho, pelos responsáveis que ocupam cargos gerenciais. Na sequência, são

apresentadas algumas medidas que devem ser implementadas, para alcançar o máximo retorno possível dessa implementação:

- mudança cultural;
- uso adequado de tecnologias preditivas;
- mais do que uma manutenção eficaz;
- adesão pelas pequenas plantas;
- custos nas grandes plantas.

E, por último, vamos descrever as etapas que a manutenção preditiva deve seguir, para ser eficaz e antecipar problemas futuros:

- dados das falhas;
- melhorias na confiabilidade do equipamento;
- promoção de melhoria do processo;
- previsão de falhas.

No tópico sobre manutenção e seus subtópicos, foi discutido o porquê da manutenção ser essencial, no sistema produtivo, como é organizada (híbrida, centralizada e descentralizada), suas características principais e os tipos de manutenção. Em relação aos tipos de manutenção, que podem ser preventiva, corretiva e preditiva, apresentou-se vantagens e desvantagens e algumas “boas práticas” para que sejam aplicadas de forma adequada no sistema produtivo.

ATIVIDADES (Manutenção)

3) Dentre os tipos de manutenção existentes, há uma, em específico, que é realizada de forma programada. Sobre os modelos de manutenção existentes, pode-se afirmar que:

- a) a manutenção preventiva tem como principal característica o monitoramento.
- b) a manutenção preventiva está relacionada com periodicidade.
- c) a manutenção preventiva é uma ação não programada.
- d) a manutenção preventiva tem como principal desvantagem o aumento dos custos, a curto e longo prazo.
- e) a manutenção preventiva é considerada a mais eficiente entre os tipos de manutenção.

Controle de qualidade

A busca pela qualidade, nas empresas, nas últimas décadas, é incessante e independe do ramo de atuação. Portanto, para entregar produtos e serviços que atendam às expectativas dos clientes, cada vez mais exigentes, todas as áreas da empresa precisam trabalhar em conjunto, isto é, fornecer produtos com qualidade não é mais uma vantagem competitiva, mas um dever da empresa.

A partir de 1950, o entendimento do termo qualidade evoluiu de algo relacionado somente à excelência técnica de um produto para a adaptação do produto ao uso. Assim, o conceito de qualidade se fragmenta em diversos atributos que vêm a confirmar a adequação ao uso do respectivo produto, estes atributos são: facilidade de uso, instalação, assistência pós-venda, estética, imagem da marca, impacto ambiental e outros pontos relacionados. Dependendo do produto, do mercado de atuação e afins, algumas das características citadas podem ser mais relevantes que outras.

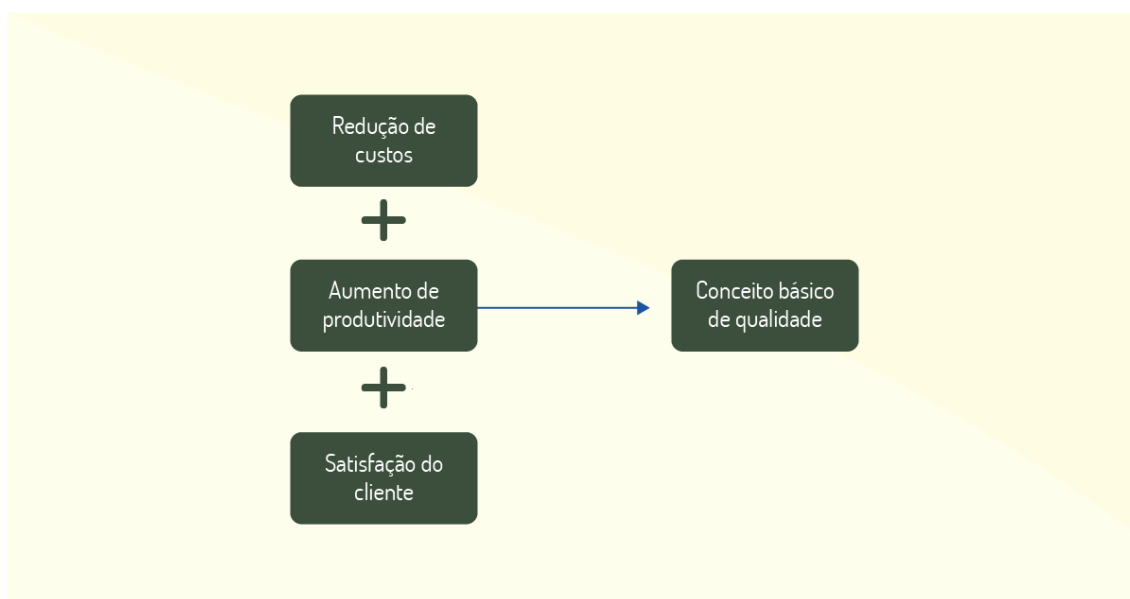


Figura 1.34 - Conceito básico de qualidade

Fonte: Adaptada de Lélis (2012).

Em relação às indústrias, falando, especificamente, do setor produtivo, a gestão da qualidade tem por função diminuir os desperdícios e os custos, nas operações de produção, por exemplo, ou seja, isto acarreta melhora na eficiência da empresa, possibilitando preços mais atraentes que geram satisfação do cliente. A Figura 1.34 apresenta os conceitos básicos de qualidade.

Qualidade por setores

Agora, é o momento de entender como a qualidade se encaixa, na prática, nos diversos setores econômicos, como: agricultura, indústria, construção civil e prestação de serviços. Vamos discutir, no entanto, a gestão de qualidade, na área industrial, já que o enfoque deste material é, justamente, nesta área. As outras áreas citadas são bastante interessantes e ficam como leitura complementar.

Qualidade na indústria

A qualidade é um tema que gera preocupação desde que a produção era artesanal. Porém, com o advento da tecnologia, muitas máquinas foram inventadas com a intenção de aumentar a produtividade, mas com precisão (qualidade). Todavia, das diversas mudanças ocorridas, neste período, duas merecem atenção especial, visto que inovaram, completamente, a maneira de produzir:

- criação das máquinas movidas à energia elétrica;
- desenvolvimento da informática e da automação.

Essas inovações acarretaram mudanças significativas, no sistema produtivo das indústrias. O primeiro ponto a ser observado é que as empresas passaram a produzir volumes muito maiores de produtos, e isto ocasionou o aumento do consumo. Mas, onde entra a qualidade nessa história? Como a produção estimula o consumo, as pessoas passaram a comprar sem realmente ter a necessidade de possuir determinado produto e, caso eles possuam valores muito altos, geralmente, com uma qualidade maior, as pessoas optam por produtos mais baratos e de menor qualidade. No entanto, para analisar a qualidade, de maneira abrangente, temos que considerar todo o ciclo de produção, da extração da matéria-prima até o pós-venda. Analisando o cenário como um todo, algumas perguntas ficam no ar, como: o meio ambiente é afetado? Os funcionários de determinadas empresas estão sendo explorados? A redução de custos ocorre de fato? E a satisfação do cliente? São perguntas difíceis de serem respondidas, quando se faz uma análise profunda do tema.

Qualidade na indústria química e petroquímica

O Brasil tem um exemplo claro de qualidade neste ramo industrial. Nas décadas de 1970 e 1980, a cidade de Cubatão (São Paulo) era considerada a cidade mais poluída do mundo, já que as indústrias despejavam seus rejeitos, no meio ambiente, sem nenhum tratamento prévio. No entanto essa situação mudou e, em 1992, esta cidade recebeu o Selo Verde da ONU (Organização das Nações Unidas), devido a sua recuperação ambiental. Mas o que ocasionou esta mudança das empresas? Devido à abertura comercial, da década de 1990, a concorrência de produtos nacionais com produtos estrangeiros aumentou, em todos os setores, e a única saída das empresas nacionais era incrementar a produtividade e a qualidade das fábricas. Portanto, fica fácil perceber que, para isso ocorrer, as indústrias nacionais tiveram que investir em tecnologia. Além disso, padrões de qualidade (ISO 9000 e ISO 14000) tiveram que ser adotados, mudando, significativamente, o jeito que essas empresas trabalhavam.

Qualidade na indústria automobilística

Como já se sabe, a qualidade deve incorporar toda a cadeia de produção. Considerando a montagem de um automóvel, visto que é composto de diversos tipos de materiais e peças, o modelo mais simples a ser montado exige uma série de fornecedores, como: de bancos, tapetes, carpetes, vidros, peças do motor, pneus e afins.

Pensando no tapete do carro, temos a seguinte representação simplificada:

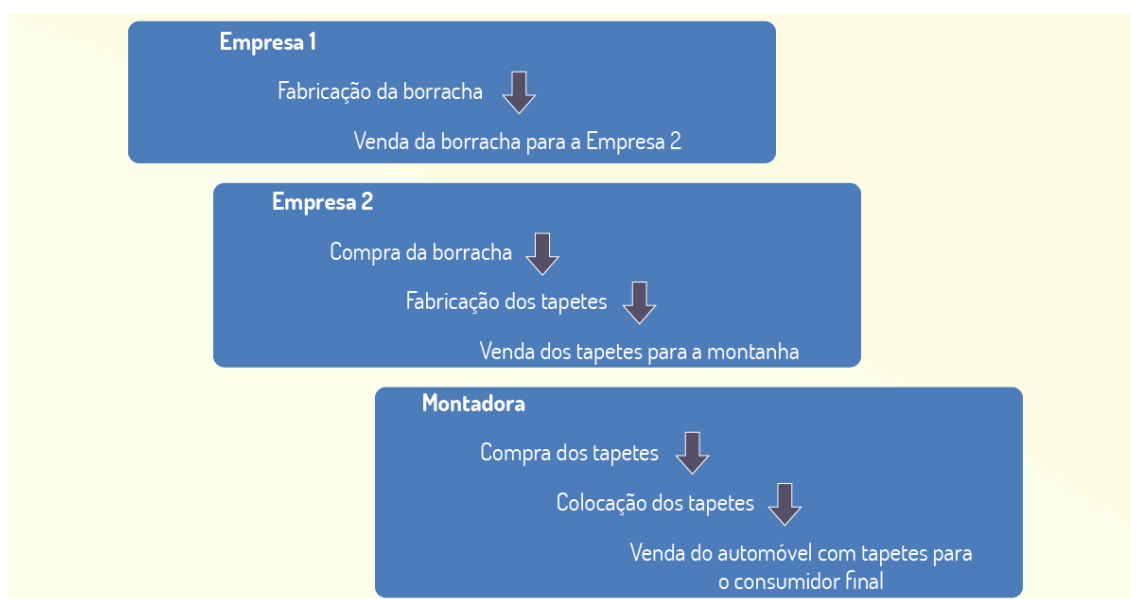


Figura 1.35 - Representação simplificada de uma parte da cadeia produtiva do automóvel

Fonte: Adaptado de Lélis (2012).

A montadora precisava assegurar que as peças recebidas dos seus diversos fornecedores possuíam qualidade. No entanto, em um passado não muito distante, cada montadora tinha seu próprio padrão de qualidade para seus carros e os fornecedores precisavam obedecer a uma série de normas diferentes, para atender seu respectivo cliente, isso ocasionava o aumento do preço das peças e, consequentemente, do carro ao consumidor final. Para solucionar esse problema, na década de 1980, foram criadas as normas de qualidade ISO 9000 (solução parcial) e, finalmente, após as montadoras e a ISO se reunirem, foi criada a especificação técnica de qualidade padrão 16949 para o setor automotivo, de forma geral.

Conforme Lélis (2012), a implantação de um programa de qualidade, em uma empresa, visa alcançar uma produtividade maior ou outras vantagens. No entanto, se esse programa for mal planejado, os ganhos serão bem inferiores aos esperados, inicialmente, como exemplo, uma determinada empresa pode somente conseguir uma leve redução de desperdício, que é um ganho, mas inferior aos objetivos iniciais. Isso não significa, contudo, obrigatoriamente, crescimento nos lucros. Para avaliar os resultados da implantação de um programa de qualidade, em uma empresa, há dois métodos: custos da qualidade e retorno da qualidade.

- CUSTOS DA QUALIDADE

Este método, como o próprio nome já diz, verifica os custos do programa de qualidade implantado na empresa. Resumidamente, pode-se dizer que se faz uma comparação entre os gastos da empresa com a implantação do programa e sem a implantação do programa.

- RETORNO DA QUALIDADE

Com a implantação desse método, a empresa avalia a qualidade obtida nos seus processo, fundamentando-se em dois resultados – redução de custos e retenção de clientes. Segundo (ALENCAR; GUERREIRO, 2004), o passo a passo desse modelo é:

- “O primeiro passo é avaliar o impacto da retenção dos clientes nas receitas futuras da empresa” (ALENCAR; GUERREIRO, 2004, p. 12);
- “A esse montante, somam-se as economias de custos propiciados pelo programa de qualidade e deduzem-se os custos gerados por ele” (ALENCAR; GUERREIRO, 2004, p. 12);
- “O valor resultante desse cálculo é o retorno de qualidade” (ALENCAR; GUERREIRO, 2004, p. 12).

Ferramentas de qualidade

A qualidade é um tema de vital importância, em toda indústria, independente do segmento. Para buscar-se a causa-raiz dos problemas que a qualidade enfrenta, há as ferramentas básicas da qualidade: Fluxograma, *Brainstorming*, Diagrama de causa e efeito ou Diagrama de Ishikawa, Cinco porquês, Folha de verificação, Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de dispersão e Cartas de controle, além da matriz GUT, 5W2H e o ciclo PDCA. No entanto são descritas, brevemente, as sete ferramentas da qualidade mais utilizadas.

- **Fluxograma:** é uma ferramenta que expressa o processo de forma gráfica e sequencial, as etapas do processo, usando alguns símbolos inerentes à ferramenta, que descrevem suas ações. A Figura 1.36 apresenta um fluxograma.

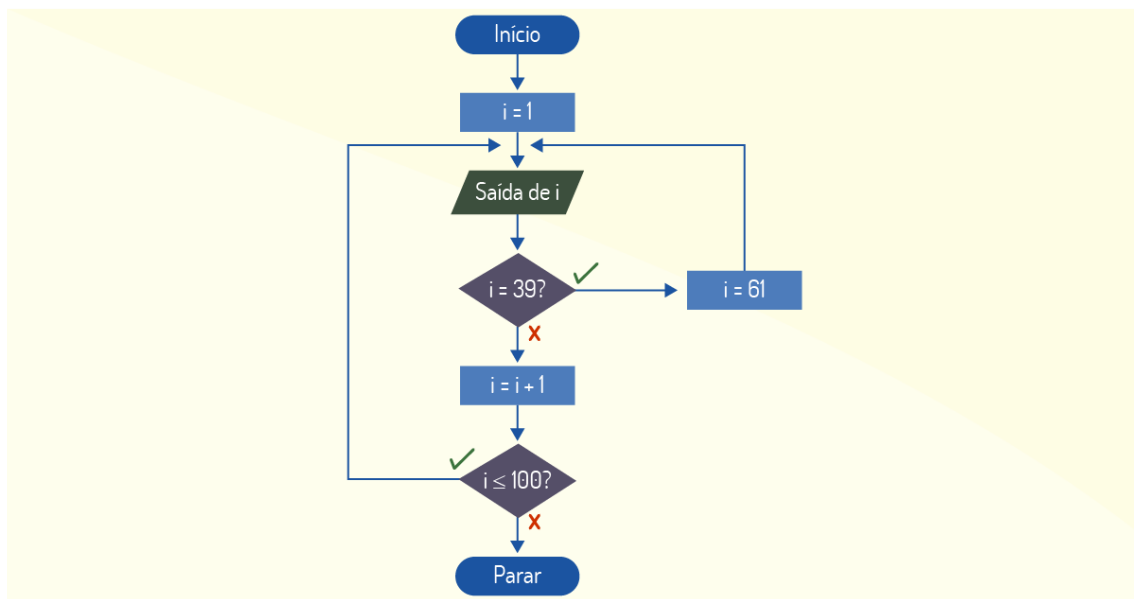


Figura 1.36 - Fluxograma

Fonte: Erik Streb / Wikimedia Commons.

- **Diagrama de Ishikawa:** essa metodologia foi desenvolvida por Kaoru Ishikawa e também é chamado de gráfico espinha de peixe. É uma ferramenta muito eficiente no reconhecimento das causas (o motivo pelo qual ocorrem) e dos efeitos (problemas) das dificuldades organizacionais. A Figura 1.37 apresenta o diagrama de Ishikawa.

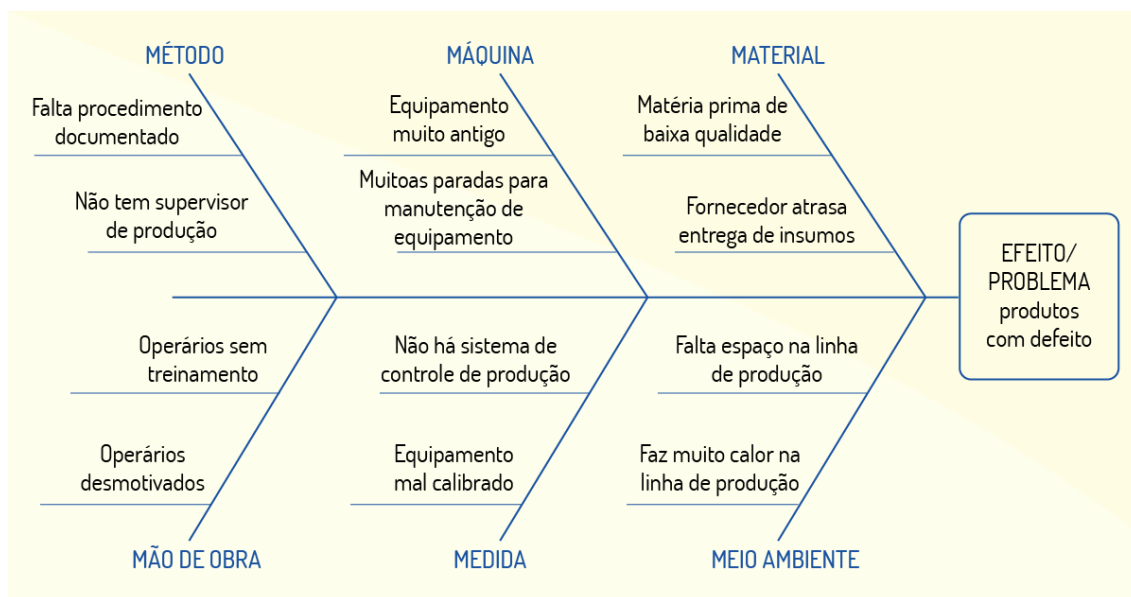


Figura 1.37 - Diagrama de Ishikawa

Fonte: FabianoSS / Wikimedia Commons.

- **Folha de verificação:** esta é considerada a ferramenta da qualidade mais simples. É muito usada, no início dos processos, com a finalidade de obter o máximo de informações e dados possíveis e reconhecer problemas que possam ocorrer. A Figura 1.38 apresenta a folha de verificação.

Lista de Verificação		
Problema:		
Estágio de Verificação:		Data:
Produto:		Seção:
Total Inspeccionado:		Inspetor:
Lote:		Turno:
Tipo de Defeito	Contagem	Subtotal
Arranhão	☐ ☐ ☐	
Trinca	☐ ☐	
Revestimento Inadequado	☐ ☐ ☐ ☐	
Mancha	☐	
Acabamento inadequado	☐	
Outros	☐	
TOTAL		
Total Rejeitado		

Figura 1.38 - Folha de verificação

Fonte: O que... (2018, *on-line*).

- **Diagrama de Pareto:** essa metodologia é conhecida também como 80/20 (princípio de Pareto). Essa ferramenta ajuda na visualização mais eficiente do problema, podendo classificá-lo, colocando os problemas existentes em ordem de importância.

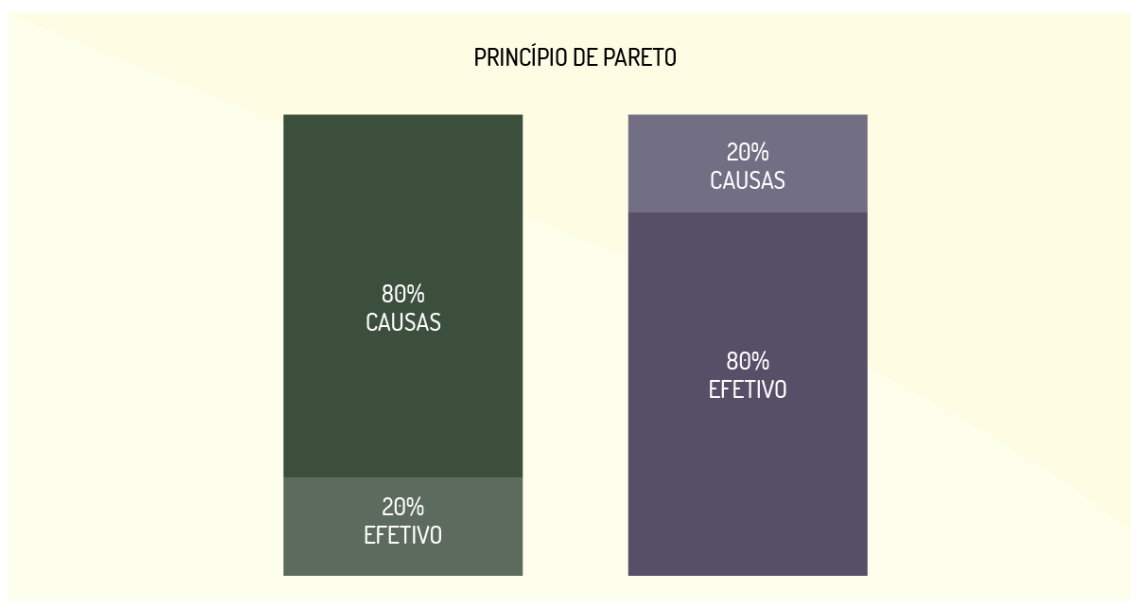


Figura 1.39 - Diagrama de Pareto

Fonte: Araya Pacharabandit / 123RF.

- **Histograma:** é um gráfico de barras, sendo o eixo horizontal subdividido em diversos intervalos que apresentam valores de uma variável de interesse. A Figura 1.40 apresenta um histograma.

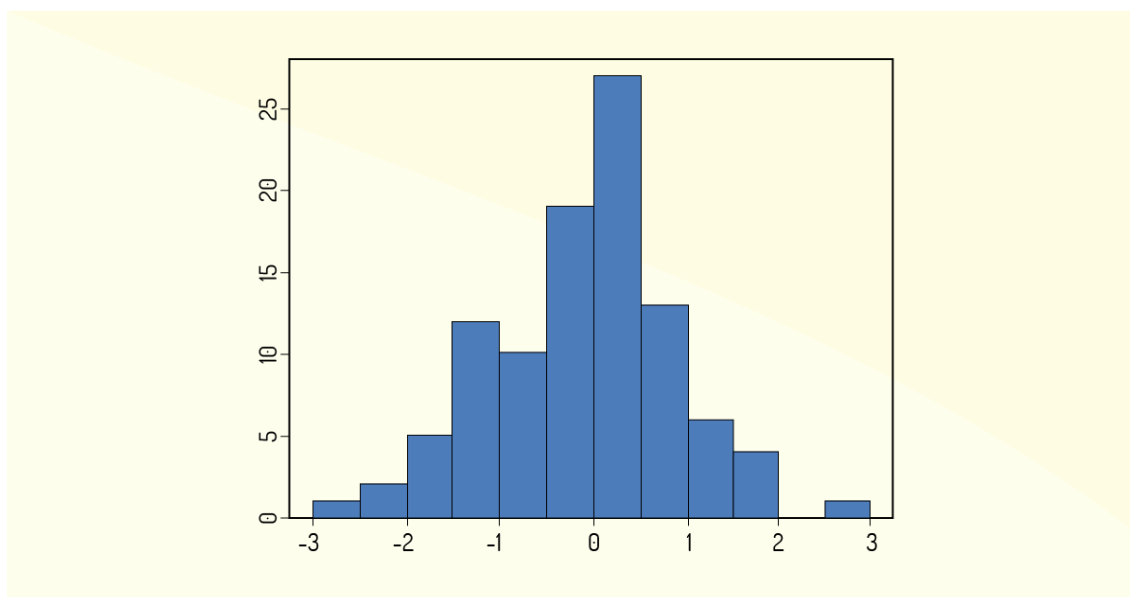


Figura 1.40 - Histograma

Fonte: Jkv / Wikimedia Commons.

- **Diagrama de dispersão:** essa ferramenta permite identificar relações entre causas e efeitos pela análise gráfica das variáveis de natureza quantitativa. É considerada uma das mais difíceis ferramentas da qualidade. A Figura 1.41 apresenta o diagrama de dispersão.

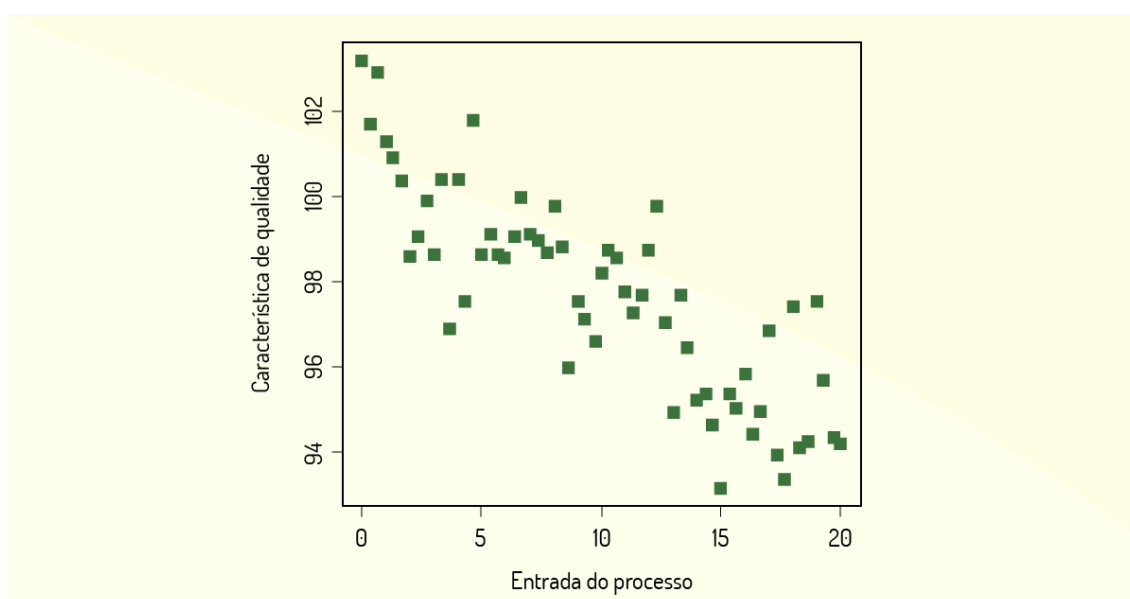


Figura 1.41 - Diagrama de dispersão

Fonte: Daniel Penfield / 123RF.

- **Carta de controle:** com essa ferramenta, é possível acompanhar o quão estável é um processo. Essa carta é, largamente, utilizada nas empresas, visto que é a ferramenta que mais bem entende o processo e pode auxiliar na sua melhoria. A Figura 1.42 apresenta a carta de controle.

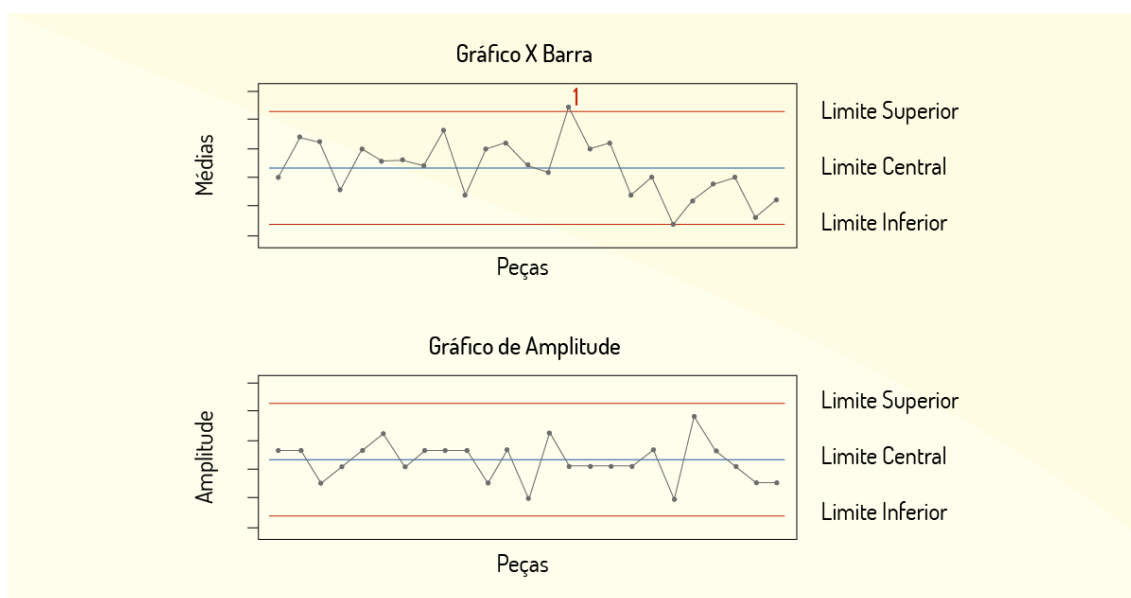


Figura 1.42 - Carta de controle

Fonte: Gráficos... (*on-line*).

No tópico Controle de qualidade e em seus subtópicos, foi discutido o porquê da qualidade ser um tema de vital importância e como isso mudou o modo de se trabalhar, nas empresas, visto que exigiu das indústrias padronização dos processos e busca pela excelência de seus produtos. Outro ponto a ser destacado é o subtópico ferramentas da qualidade que possuem uma finalidade preventiva, para ajudar as organizações a se anteciparem de problemas futuros.

ATIVIDADES (Controle de qualidade)

4) Considere as sete ferramentas básicas da qualidade que as empresas utilizam em seus processos. Qual delas é utilizada, para determinar onde seus principais esforços serão colocados?

- a) Diagrama de dispersão.
- b) Diagrama de Pareto.
- c) Diagrama de Ishikawa.
- d) Histograma.
- e) Fluxograma.

Expedição

A armazenagem consiste, basicamente, no armazenamento de produtos acabados, sendo primordial para qualquer empresa, ou seja, foi concebida para aperfeiçoar o gerenciamento e movimentação dos materiais, buscando a diminuição dos custos de produção e transportes. A expedição é uma ação dentro deste conceito maior (armazenagem) e acontece após o produto final estar vendido e adequadamente embalado, somente à espera do seu envio ao respectivo cliente.

Conforme Tompkins (1996, p. 393), “a expedição é uma atividade do armazém que se realiza depois de a mercadoria ser devidamente separada e inclui as seguintes tarefas”:

- conferir se o pedido do cliente foi, totalmente, acompanhado e solucionado;
- embalar o produto acabado, convenientemente, para sua expedição;
- organizar os documentos referentes ao despacho;
- calcular os custos de transporte;
- definir transportadoras;
- carregamento dos caminhões (nem sempre é necessário).

A expedição é a última fase da armazenagem, este setor tem a função de fazer a verificação de conformidade e posterior despacho do produto final para a transportadora. Caso a empresa responsável pela armazenagem da mercadoria não efetue o transporte, o seu dever termina no instante que o produto final e embalado é entregue à transportadora. No entanto, se não existe uma transportadora que leve esse produto até o cliente final, a empresa que realiza a armazenagem é responsável por levá-lo até o cliente.

Um fato importante a ser destacado, em um ambiente como a expedição, é o fato da conferência de produtos. Este processo pode ser realizado, manualmente, ou com ajuda de algum software. A conferência manual é muito lenta e suscetível a erros, logo, o uso de um processo automatizado facilita o controle de materiais. Na sequência, é apresentado o WMS.

WMS

O WMS (*Warehouse Management System*) é um sistema de gerenciamento que trabalha com rotinas de armazenagem de materiais, ou seja, visa monitorar materiais desde o seu recebimento até a expedição, gerenciando todas as movimentações dos materiais, permitindo um controle adequado e exato. O WMS pode utilizar-se de tecnologias recentes para controle, como: código de barras e RFID, que é uma alternativa interessante ao primeiro. A Figura 1.43 apresenta um leitor de código de barras sem fio, sendo utilizado em produtos armazenados na expedição.



Figura 1.43 - Leitura de código de barras em produtos armazenados na expedição

Fonte: Dmitry Kalinovsky / 123RF.

Na sequência, são descritas as principais funcionalidades de um sistema WMS:

- agendamento de recebimento;
- recebimento;
- endereçamento;
- separação;
- expedição;
- abastecimento de linhas de produção;
- inventário;
- transferências;
- movimentação de materiais;
- controle dos veículos de entrega e coleta;
- relatórios gerenciais;
- armazenamento.

O uso do software WMS proporciona um controle mais eficaz do estoque, que permite trabalhar com um estoque mínimo e com planejamento adequado para que não falte matérias-primas e afins. Além disso, obtém-se a otimização do espaço físico e agilidade, nas operações, visto que encontrar e despachar produtos fica mais rápido.

Neste tópico, foi apresentado e discutido o tema expedição, sua importância e como se organiza, para disponibilizar os produtos finais aos clientes com rapidez e agilidade.

REFLITA

É importante pensar na produção: o sistema produtivo atual possui qualidade? O meio ambiente é preservado? Qual é o preço dessa qualidade de que tanto se fala?

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Sistema Toyota de produção - Uma abordagem integrada ao just-in-time

Editora: Bookman

Autor: Yasuhiro Monden

ISBN: 978.85.826.0215-7

Comentário: O livro indicado é bastante interessante, visto que trata do sistema Toyota de produção, que é, largamente, utilizado em diversas empresas, em todo o mundo. No material escrito, nesta unidade, foi dada somente uma breve descrição do *just in time* e algumas de suas características, todavia, esse assunto é extenso e tem uma riqueza de detalhes enorme.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462** – Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ALENCAR, R.; GUERREIRO, R. (2004). A mensuração do resultado da qualidade em empresas brasileiras. **Revista Contabilidade & Finanças**, São Paulo, v. 15, jun. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1519-70772004000400001>>. Acesso em: 01 out. 2019.

ARALDI, A. A. R. Sistemas de produção. **Revista Ensino & Informação**. Disponível em: <<https://www.ensinoeinformacao.com/sistemas-de-producao>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

BENETTI, A. Processo de armazenagem logística em 4 etapas: do recebimento do produto à expedição. **Senior Blog**, 3 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.senior.com.br/blog/processo-de-armazenagem-logistica-em-4-etapas-do-recebimento-a-expedicao/>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

BERTAGLIA, P. R. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2006.

BRASIL. Portaria MTE n.º 05, de 07 de janeiro de 2015. NR 16 – Atividades e operações perigosas. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR16.pdf>> Acesso em: 01 out. 2019.

CARVALHO, J. M. C. de. **Logística**. 3. ed. Lisboa: Edições Silabo, 2002.

CHIAVENATO, I. **Administração de materiais: uma abordagem introdutória**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

CHIAVENATO, I. **Planejamento e controle da produção**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Manole, 2008.

CUSTÓDIO, M. F. **Gestão da qualidade e produtividade**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2015.

FRANÇA, D. B. R.; ALVES, J. L. S. **As relações da engenharia de produção com a gestão da manutenção moderna**. Disponível em:

<<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/DIEGO%20BRUNO%20-%20AS%20RELACOES%20DA%20ENGENHARIA%20DE%20PRODUCAO%20COM%20A%20GESTAO%20DA%20MANUTENCAO%20MODERNA.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2019.

GRÁFICOS ou cartas de controle. **Portal Action**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/controle-estatistico-do-processo/graficos-ou-cartas-de-controle>>. Acesso em: 25 set. 2019.

HIVECLOUD. O que é WMS (Warehouse Management System) e como ele pode ajudar sua empresa. **Hivecloud**, 18 jun. 2019. Disponível em: <<https://www.hivecloud.com.br/post/o-que-e-um-wms-warehouse-management/>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção – Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013.

LÉLIS, E. C. **Administração de materiais**. São Paulo: Pearson, 2016.

LÉLIS, E. C. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Pearson, 2012.

LUCHEZZI, C. **Gestão de armazenamento, estoque e distribuição**. São Paulo: Pearson, 2015.

MARTINS, P. G.; ALT, P. R. C. **Administração de materiais e Recursos Patrimoniais**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. Volume 1. São Paulo: Blucher, 1989.

O QUE é folha de verificação e como utilizá-la para melhorar processos. **Siteware**, 3 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.siteware.com.br/qualidade/o-que-e-folha-de-verificacao/>>. Acesso em: 25 set. 2019.

PASQUA, M. C. **Desenvolvimento de uma sistemática para padronização e gerenciamento da programação da manutenção de equipamentos e instalações a partir dos conceitos da qualidade**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

- RUSSO, C. P. **Armazenagem, controle e distribuição**. São Paulo: Intersaberes, 2013.
- SELEME, R. **Manutenção industrial**: mantendo a fábrica em funcionamento. São Paulo: Intersaberes, 2015.
- SILVEIRA, C. B. Just in time: conceito, definição e objetivos. **Citisystems**. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/just-in-time-conceito-significado/>>. Acesso em: 31 jul. 2019.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- STONNER. Manutenção centralizada ou descentralizada? **Blog Tek**, 21 abr. 2015. Disponível em: <<https://blogtek.com.br/manutencao-centralizada-descentralizada/>>. Acesso em: 22 ago. 2019.
- SZABO, V. **Gestão de estoques**. São Paulo: Pearson, 2015.
- TOMPKINS, J. A. et al. **Facilities planning**. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1996.
- TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A. **Facilities planning**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1984.
- TURCI, D. Como utilizar a curva ABC para gestão de estoque. **Endeavor**, 5 maio 2016. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/estrategia-e-gestao/curva-abc-gestao-estoque/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

UNIDADE II

Bombas e Compressores

Fábio Inocêncio Kravetz

Introdução

O conceito de bomba, no sentido de movimentar um líquido (bomba hidráulica), foi utilizado, pela primeira vez, no antigo Egito, uma bomba tinha a função de elevar água para irrigação. A primeira bomba inventada foi a “shadoof”, também chamada de cegonha, e permitia a irrigação, nas margens do Rio Nilo. A partir deste momento e com o avanço da tecnologia, este equipamento sofreu diversos aperfeiçoamentos, algumas invenções são usadas, até os dias atuais, como o parafuso de Arquimedes, criado em meados de 200 a.C.

A bomba hidráulica é de fundamental importância para a agricultura, robótica, mineração e indústrias de diversos segmentos. Estes equipamentos, basicamente, convertem energia mecânica em energia de fluido.

Em um segundo momento deste material, será tratado o tema compressores. Este equipamento surgiu, em sua forma mais rudimentar, fole acionado com os pés, por volta de 1500 a.C. No entanto, o primeiro protótipo de um compressor mecânico foi construído por John Wilkinson, em 1776, sendo que esses equipamentos eram utilizados no fornecimento de ar para combustão das fornalhas de metalurgia e ventilação de minas subterrâneas. Atualmente, esses equipamentos são bastante utilizados em aplicações industriais, em diversos setores, desde a indústria alimentícia, até o uso em plataformas de petróleo ou sondas de navio.

Logo, os compressores têm importância fundamental para a indústria, já que auxiliam na redução de despesas com energia e diminuem a probabilidade de acidentes com energia, por exemplo. Segundo alguns especialistas, cerca de 90% das atividades industriais compreendem o uso de compressores.



Fonte: Hilda Weges / 123RF.

Classificação das bombas hidráulicas

Antes de iniciarmos a classificação e tipos de bombas existentes, são apresentadas algumas considerações iniciais sobre o projeto de instalações hidráulicas.

Comumente, quando é feito um pedido de um projeto para instalações hidráulicas industriais, os parâmetros a serem fornecidos, inicialmente, são: local de onde o fluido deve ser retirado, local onde o fluido deve chegar e consumo de fluido. A Figura 2.1 apresenta um esquema básico de onde o fluido está e para onde ele vai.

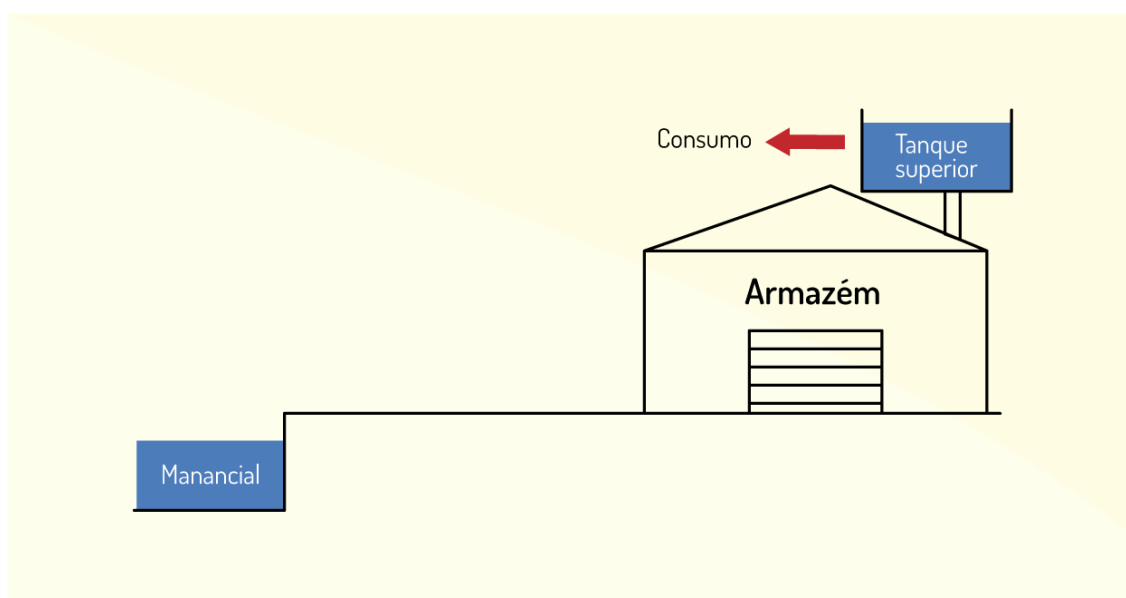


Figura 2.1 - Esquema básico de um sistema que necessita de uma bomba hidráulica

Fonte: Adaptada de Santos (2007, p. 13).

Com o conhecimento da planta que necessita da bomba hidráulica, traça-se a instalação, ou seja, os tubos necessários e o conjunto motobomba devem ser posicionados. A Figura 2.2 apresenta o modelo da planta com a instalação completa.

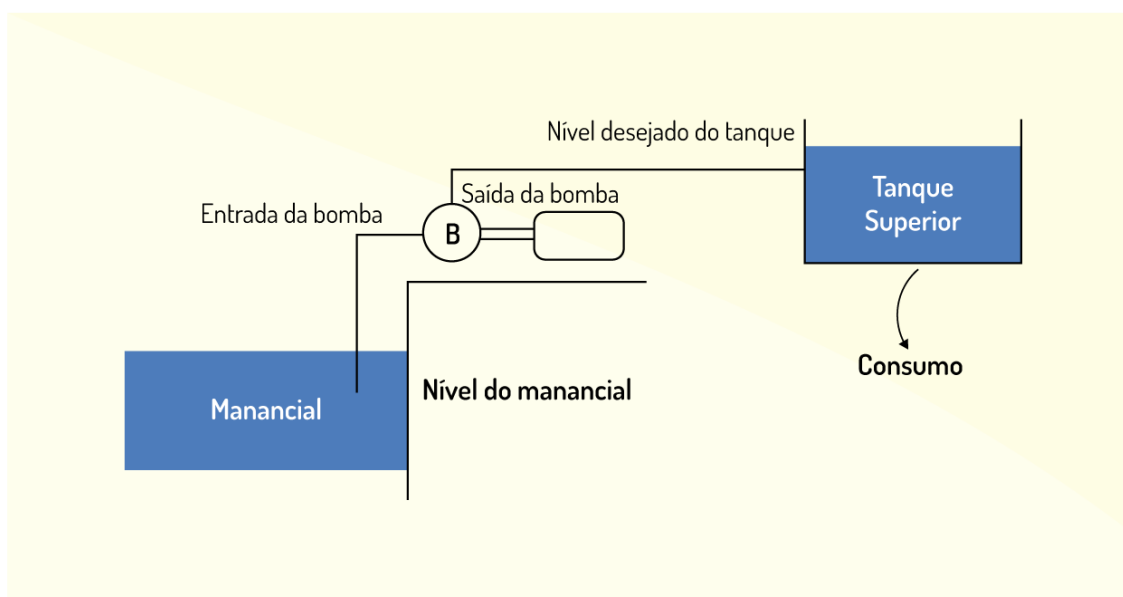


Figura 2.2 - Instalação completa

Fonte: Adaptada de Santos (2007, p. 13).

Basicamente, esta instalação pode ser dividida em duas partes: sucção e recalque. Conforme Santos (2007, p. 13), do nível do manancial até a entrada da bomba, tem-se a tubulação de sucção. Neste caso, a bomba está acima do nível do manancial, a uma altura considerada grande, ou seja, quanto maior o espaço (distância) entre bomba e manancial, menor será a pressão de entrada da bomba. Assim, o fluido é puxado pela queda de pressão (sucção) até a entrada da bomba. Na sequência, é realizado o recalque, que consiste em levar o fluido o qual se encontra, na bomba, até um ponto superior (tanque superior) ou a uma pressão desejada. Da saída da bomba até o nível desejado do tanque, tem-se a tubulação de recalque, visto que o fluido só pode ser empurrado (recalcado).

Com base na planta projetada, parte-se a seleção de componentes para a montagem da instalação (curvas, tês, válvulas e instrumentos) e, por fim, os cálculos da instalação. Como o assunto sobre bombas hidráulicas é extenso e este material é sucinto, fica para o leitor o estudo sobre tubos, meios de ligação dos tubos, válvulas, conexões e afins.

Primeiramente, dar-se-á uma descrição sobre as máquinas hidráulicas, para se ter uma noção do conjunto dessas máquinas, visto que a bomba hidráulica é uma máquina hidráulica do tipo geratriz.

Esses tipos de máquinas atuam, transformando a energia do líquido em questão, e são subdivididas em:

- máquinas motrizes;
- máquinas mistas;
- máquinas geratrizes.

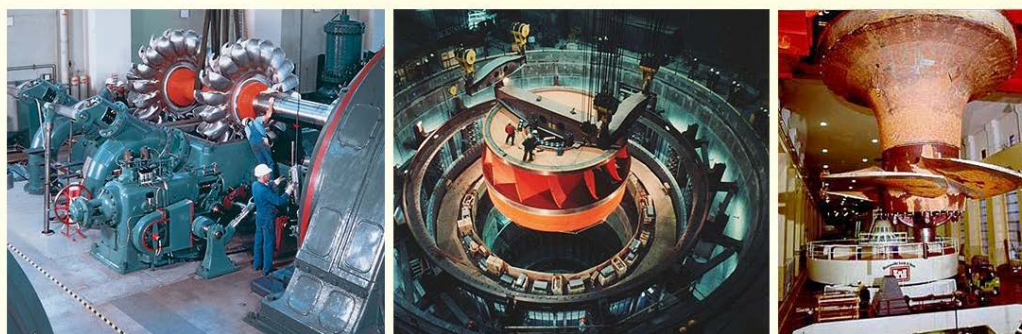
Máquinas motrizes

Este tipo de máquina transforma energia hidráulica em energia mecânica, caso esta máquina esteja conectada a um gerador, é possível gerar energia elétrica. Esta categoria de máquina hidráulica incorpora as rodas d'água e turbinas.

As rodas d'água são máquinas muito antigas, utilizadas a partir de 100 a.C. e, hoje, estão em desuso. Já as turbinas são usadas, desde 1827, quando o engenheiro francês Benoit Fourneyron projetou, construiu e instalou a primeira turbina industrial do mundo, sendo sua potência de 6 CV e rendimento de 80%. Este tipo de máquina hidráulica aproveita o desnível entre dois níveis de água. As turbinas convertem a energia hidráulica em energia mecânica que, pelo eixo do rotor da turbina, aciona o rotor do gerador, produzindo energia elétrica.

Os principais tipos de turbinas são:

- Pelton: este tipo de turbina é muito utilizado em grandes quedas (350 metros até 1.100 metros), este modelo de turbina tem algumas peculiaridades, se comparada aos outros modelos, visto que recebe um fluxo de água menor, mas com mais pressão, o que proporciona maior velocidade.
- Francis: este tipo de turbina é utilizado em quedas médias, que variam de até trezentos metros e possui vazão elevada. Esta turbina é de reação, ou seja, o escoamento do fluido por meio do rotor ocorre com variação de pressão e é utilizada na maioria das usinas hidrelétricas brasileiras, como: Tucuruí, Ilha Solteira, Itaipu etc.
- Kaplan: este tipo de turbina é utilizado em aplicações de baixa pressão, ou seja, em baixas quedas de água, geralmente, são utilizados para aproveitarem a energia proveniente das correntezas dos rios. Esta turbina também é conhecida como turbina de hélice. É do tipo axial de reação e é utilizada nas usinas de Jupia, Nova Avanhandava, Porto Colômbia etc. O modo de produção de hidroeletricidade desta turbina é igual ao da turbina Francis. A Figura 2.3 apresenta as turbinas Pelton (a), Francis (b) e Kaplan (c), respectivamente.



(a)

(b)

(c)

Figura 2.3 - Turbinas Pelton (a), Francis (b) e Kaplan (c), respectivamente

Fonte: Voith Siemens Hydro Power / Wikimedia Commons; U.S. Bureau of Reclamation / Wikimedia Commons; Duk / Wikimedia Commons.

As máquinas motrizes têm uma grande relevância, em diversos países, que possuem possibilidade de aproveitamento de sua energia hidráulica, visto que, nesta categoria de máquinas hidráulicas, estão as turbinas hidráulicas as quais são utilizadas em usinas hidrelétricas, como a de Itaipu, por exemplo. Já as rodas d'água, que também fazem parte desta categoria, estão em desuso.

Máquinas geratrizes

Este tipo de máquina hidráulica tem a finalidade de realizar o deslocamento de um líquido por escoamento e, conseqüentemente, transforma energia mecânica em energia hidráulica, ou seja, as bombas hidráulicas encaixam-se nesta categoria.

A classificação das bombas hidráulicas, geralmente, se dá pelas suas capacidades de pressão máxima e deslocamento de fluido por unidade de tempo. Basicamente, dividem-se em duas categorias, descritas a seguir.

- **Bombas hidrodinâmicas ou turbobombas:** este tipo de bomba não fornece boa vedação entre suas câmaras de entrada e de saída (deslocamento não positivo). Seu regime de trabalho é tido como de baixa pressão em comparação com as bombas de deslocamento positivo. Um exemplo clássico de aplicação são as bombas centrífugas instaladas em reservatórios para a alimentação de caixas de água. O princípio de funcionamento desta bomba é dividido em duas partes, primeiro, adiciona-se energia cinética à massa de fluido para depois transformar esta energia cinética em energia de pressão.

O líquido que está entre as pás do rotor recebe o movimento destas e é jogado para a periferia. Com isto, cria-se um vazio (região de baixa pressão) na entrada do rotor. Este vazio será preenchido por igual quantidade de líquido, estabelecendo-se um fluxo contínuo. A região de alta pressão é criada na periferia do rotor uma vez que o fluido que se desloca pelo canal formado por duas pás adjacentes encontra um aumento progressivo de área o que gera uma queda na velocidade (energia cinética) e um consequente aumento na pressão. Esta alta pressão gerada é responsável pelo transporte do fluido e atendimento das condições desejadas de processo (EQUIPAMENTOS..., *on-line*).

A Figura 2.4 apresenta uma turbobomba em corte para melhor visualização.

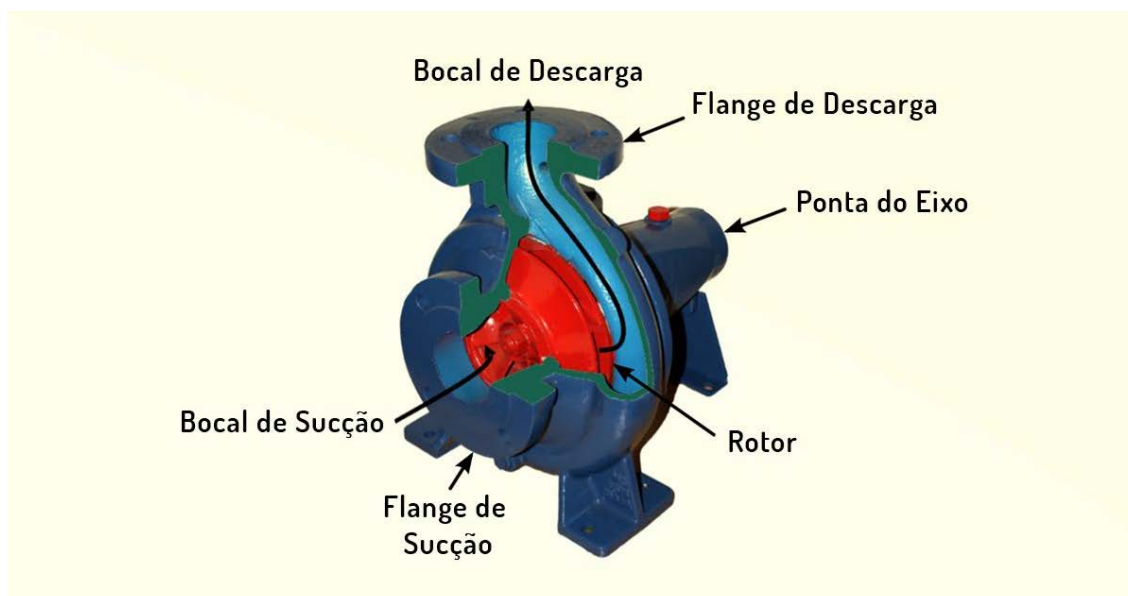


Figura 2.4 - Turbobomba em corte

Fonte: Fantagu / Wikimedia Commons.

- **Bombas hidroestáticas ou de deslocamento positivo:** este tipo de bomba fornece boa vedação entre suas câmaras de entrada e as de saída, permitindo, assim, que o fluido mova-se de uma câmara para outra da máquina (deslocamento positivo). Seu regime de trabalho é tido como de alta pressão em comparação com as bombas hidrodinâmicas (turbobombas). Tem seu uso mais adequado em sistemas óleo-hidráulicos. O princípio de funcionamento desta classe de bomba resume-se em a bomba fornecer energia ao fluido sob forma de pressão, para tal efeito, a câmara de compressão, ao longo deste tipo de bomba, tem o seu volume reduzido conforme a bomba desempenha seu papel, causando o aumento na pressão do fluido. Assim, “uma vez que seu órgão impulsor (pistão, êmbolo, diafragma, palheta, engrenagem etc.) apenas ‘empurra’ o fluido para a descarga, a pressão de descarga é definida pela necessidade do sistema e a vazão é praticamente independente do deste” (EQUIPAMENTOS..., *on-line*). A Figura 2.5 apresenta uma bomba de deslocamento positivo (bomba de palhetas) em corte para melhor visualização.

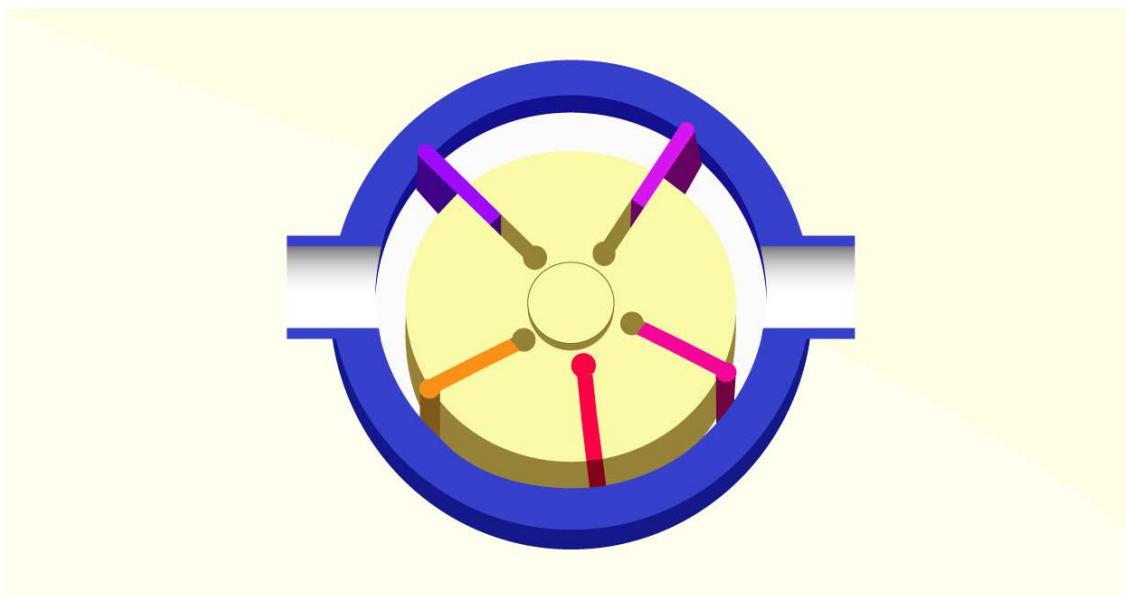


Figura 2.5 - Bomba rotativa de palhetas

Fonte: Xlory / Wikimedia Commons.

As bombas de deslocamento positivo podem ser subdivididas em alternativas e rotativas.

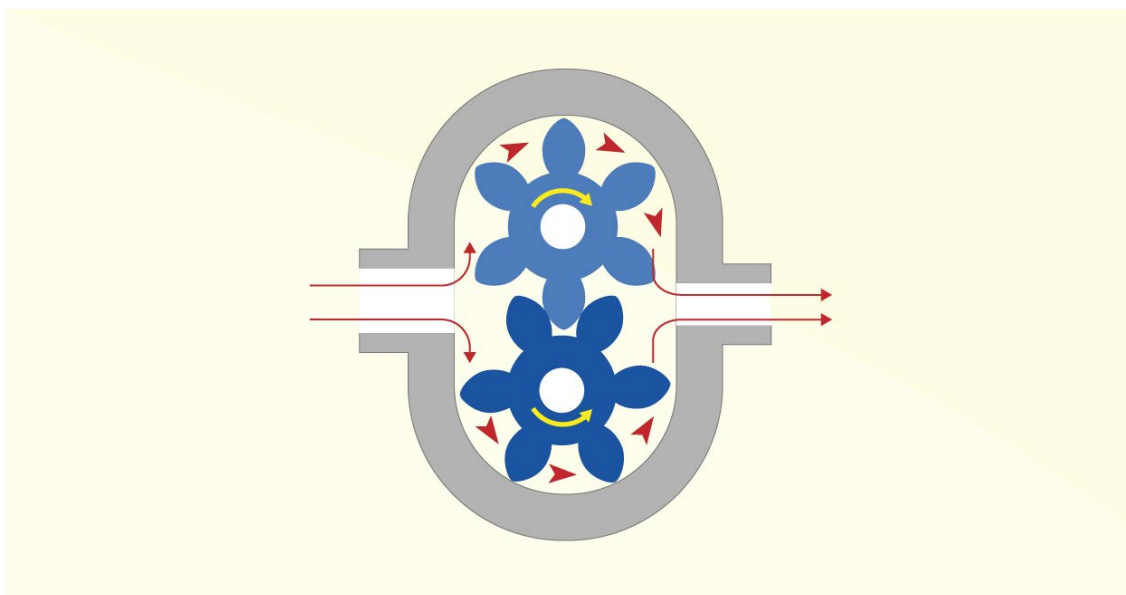


Figura 2.6 - Bomba hidráulica de lóbulos vista em corte

Fonte: Duk / Wikimedia Commons.

As Figuras 2.5 e 2.6 pertencem à categoria rotativa e serão detalhadas em capítulo posterior.

Máquinas mistas

Este tipo de máquina hidráulica transforma a energia hidráulica sob uma forma na outra, ou seja, este equipamento usa a energia cinética fornecida pelo desnível de água que chega ao equipamento, esta energia possibilita bombear a água a uma altura superior a da queda de água, ou seja, máquinas mistas são uma mistura de máquinas motrizes e geratrizes. Um exemplo de máquina mista é o carneiro hidráulico, que usa diferenças de pressão, para bombear o fluido (desnível de água). Segundo Horne e Newman (2005, p. 30), o carneiro hidráulico não exige fontes externas de energia para seu funcionamento, energia elétrica, por exemplo. Este tipo de máquina hidráulica apresenta custo reduzido de instalação, no entanto, o custo de fabricação de um carneiro é mais elevado do que o de uma bomba comum de mesma capacidade. Algumas das vantagens deste equipamento é sua robustez e o custo de manutenção que é, praticamente, inexistente. Contudo, necessita de um desnível de água para sua utilização. Uma desvantagem do carneiro hidráulico é que leva (recalca) a um ponto superior uma pequena parcela do fluido em comparação ao fluido disponível na entrada. A Figura 2.7 apresenta o carneiro hidráulico e suas respectivas válvulas.

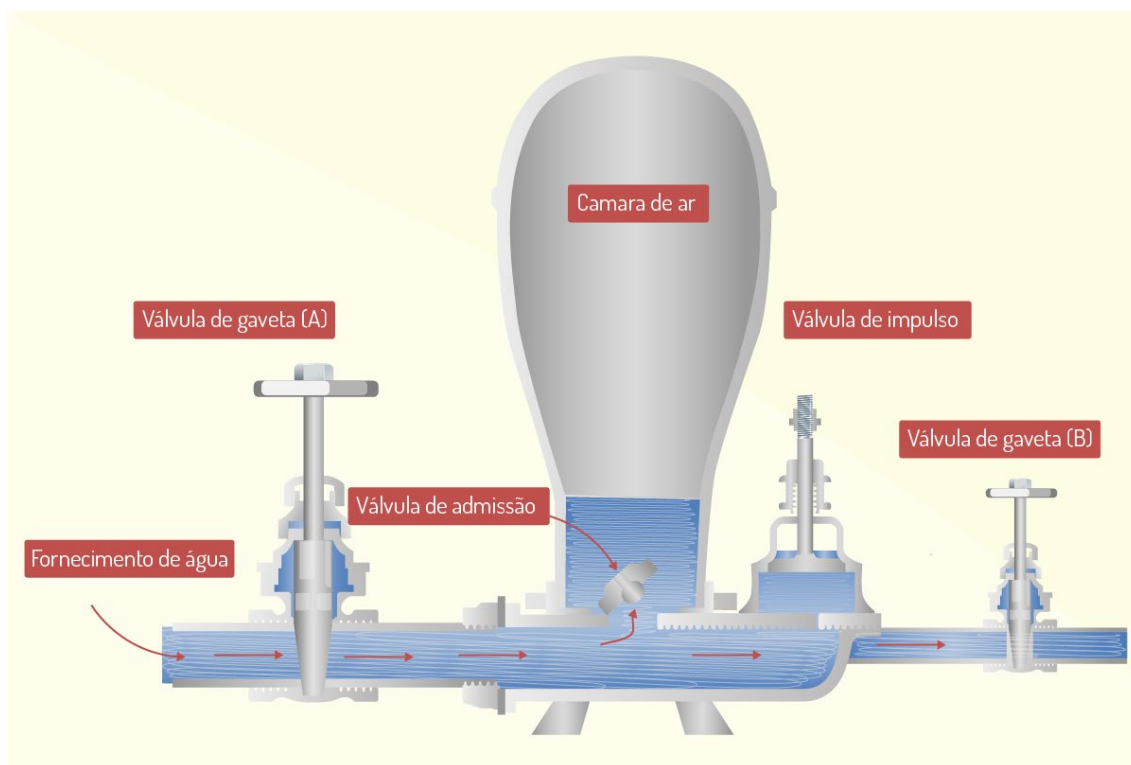


Figura 2.7 - Carneiro hidráulico e suas respectivas válvulas

Fonte: Gvsqz / Wikimedia Commons.

Nesta categoria de máquinas hidráulicas, temos os ejetores, edutores e os carneiros hidráulicos. Diversos autores incluem, nesta categoria, as transmissões hidrostáticas e as transmissões hidrodinâmicas. As Figuras 2.8 e 2.9 apresentam um ejetor e um edutor, respectivamente.

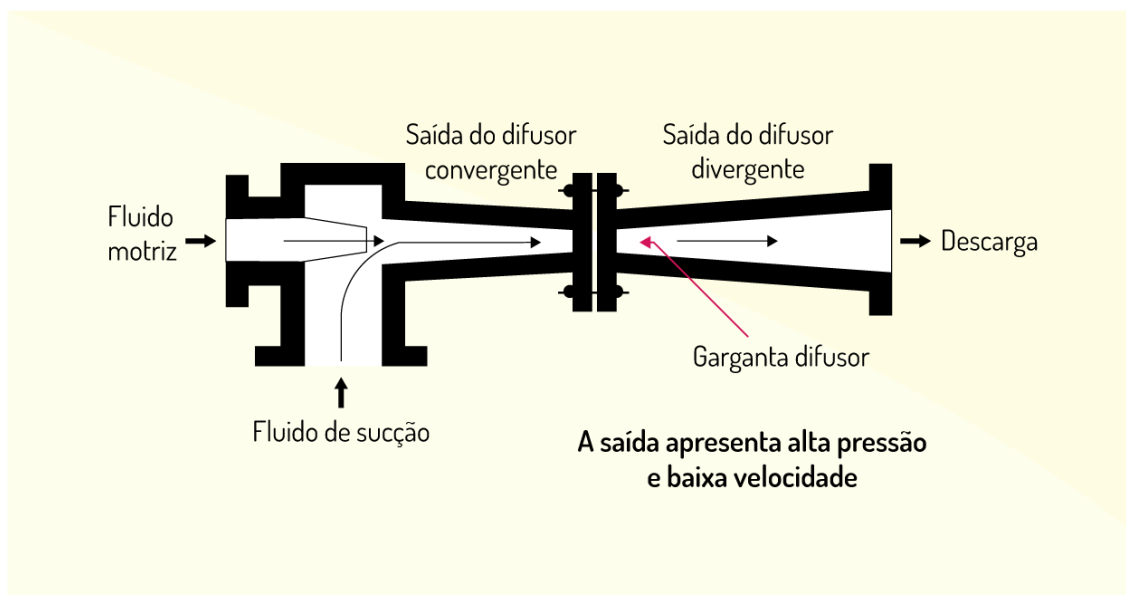


Figura 2.8 - Ejetor

Fonte: Mbeychok / Wikimedia Commons.

Os edutores e ejtores são bombas a jato que são ligadas pelo fluido, originário de uma determinada bomba.

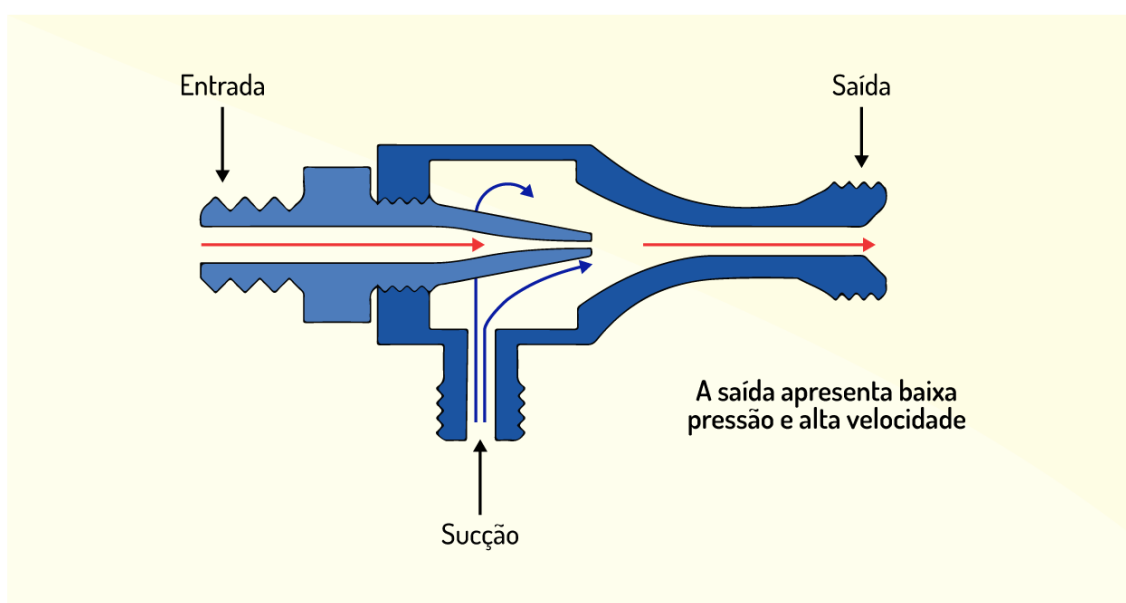


Figura 2.9 - Edutor

Fonte: Egmason / Wikimedia Commons.

Neste subtópico, foram tratadas as máquinas mistas, mais especificamente, o carneiro hidráulico, que é bastante utilizado em propriedades rurais, e os ejetores e edutores, que trabalham em conjunto com a bomba, sendo que o ejetor é um equipamento que usa um fluido em alta pressão e baixa velocidade, para mover outro fluido. Conforme o *site* VMF (EJETORES, *on-line*),

Ejetores são bombas de vácuo que convertem a energia de pressão de um fluido denominado de motriz em energia ou velocidade cinética. Este fenômeno ocorre devido ao efeito venturi, causado pelo bico motriz. Com velocidade supersônica, dentro da câmara de sucção ocorre um efeito de arrasto que permite a sucção de fluidos através do bico de sucção. A mistura de fluido motriz e fluido de sucção é liberada sobre o difusor, que converte a velocidade em energia de pressão, liberando a mistura com a pressão exigida através do bico de descarga.

Já para o edutor, a saída estará à baixa pressão e alta velocidade, este é um equipamento que mistura dois fluidos. Conforme o *site* VMF (EDUTORES, *on-line*), “os edutores a jato de água, por exemplo, utilizam a energia cinética de um líquido (motriz) para causar o fluxo de outro (sucção). Estes edutores consistem em um bico convergente, um corpo e um difusor”.

No tópico classificação das bombas hidráulicas e seus subtópicos, foi feito, primeiramente, um breve histórico do surgimento desta tecnologia e, após, uma breve discussão de como é realizada a instalação de uma bomba hidráulica em uma planta. Por fim, foi tratado o tema máquinas hidráulicas, para melhor compreensão do conteúdo, visto que as bombas hidráulicas estão inseridas neste tema.

ATIVIDADES (Classificação das bombas hidráulicas)

- 1) Dentre as inúmeras áreas da física, tem-se uma ciência (uma das mais antigas, por sinal) que estuda o comportamento, ou, melhor dizendo, os atributos físicos dos líquidos em repouso e movimento. Sobre esta determinada ciência, pode-se afirmar que é a:
 - a) Pneumática.
 - b) Hidráulica.
 - c) Tribologia.
 - d) Termometria.
 - e) Termologia.

Tipos das bombas hidráulicas

Como citado anteriormente, as bombas hidráulicas podem ser classificadas como deslocamento positivo (volumétricas) ou deslocamento não-positivo (centrífugas/dinâmicas). Neste tópico, são descritos em detalhe os diversos tipos de bombas hidráulicas.

Bombas de deslocamento positivo

Esta categoria de bomba hidráulica tem a característica de proporcionar energia, continuamente, transportando determinadas quantidades de fluido da sucção até a descarga, são, comumente, utilizadas em sistemas hidráulicos que acionam atuadores lineares ou rotativos para o deslocamento de uma carga. A bomba de êmbolo alternativa, apesar da simplicidade, descreve bem o funcionamento dessa categoria de bombas. Resumidamente, o objetivo dessas bombas é causar pressões elevadas, diante de vazões um tanto baixas. Conforme Santos (2007, p. 28), a pressão fornecida por bombas deste tipo varia de 6 kgf/cm² até 700 kgf/cm², uma pressão muito alta, alcançada apenas em casos extremos. A Figura 2.10 apresenta alguns tipos de bombas de êmbolo.

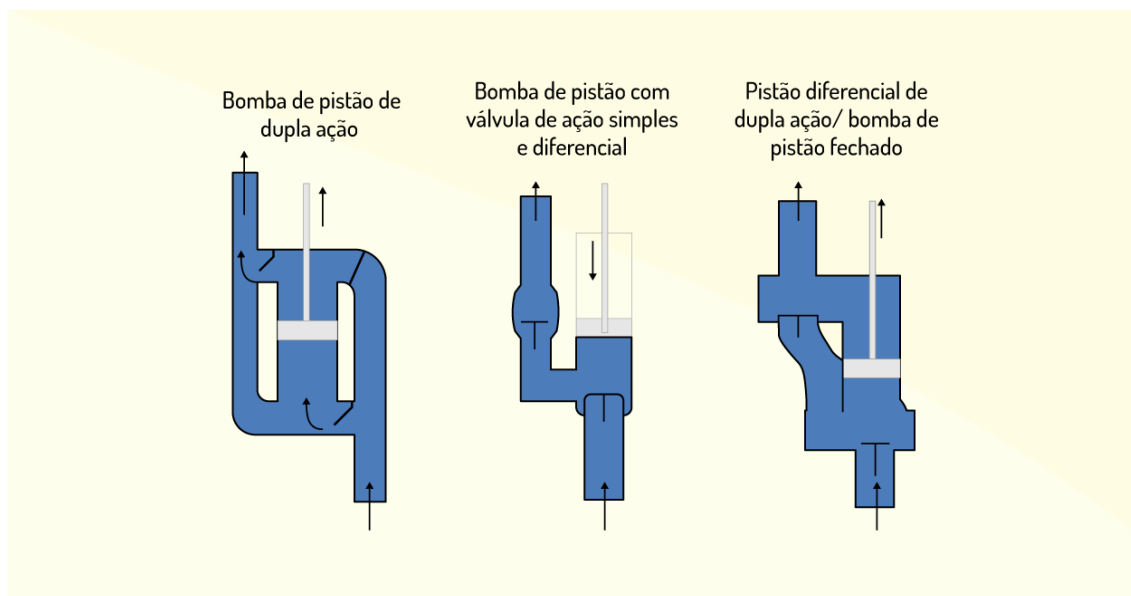


Figura 2.10 - Tipos de bombas de êmbolo

Fonte: KVDP / Wikimedia Commons.

As bombas de deslocamento positivo podem ser subdivididas em duas categorias: alternativas e rotativas. As bombas volumétricas alternativas são máquinas que, a cada ciclo, transferem um volume fixo de fluido, não permitindo seu retorno. Já as bombas volumétricas rotativas deslocam o fluido baseadas no princípio da rotação. A Figura 2.11 apresenta uma classificação das bombas de deslocamento positivo.

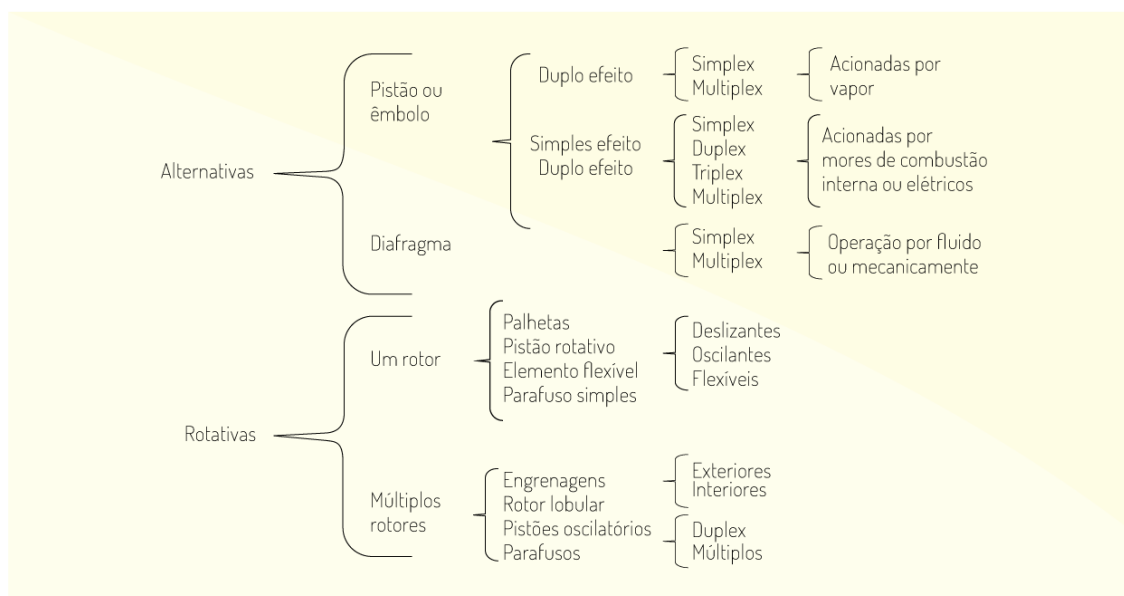


Figura 2.11 - Classificação das bombas de deslocamento positivo

Fonte: Adaptada de Santos (2007, p. 29).

A Figura 2.12 apresenta uma bomba alternativa de diafragma, para melhor exemplificação do texto escrito, posteriormente.

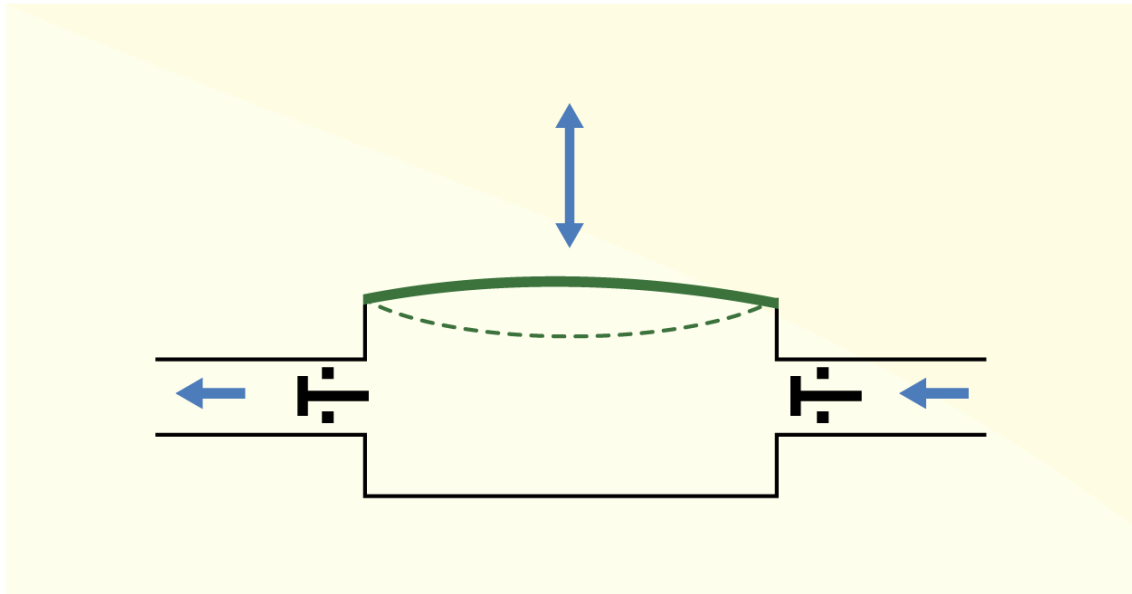


Figura 2.12 - Bomba alternativa de diafragma

Fonte: Aflafla1 / Wikimedia Commons.

As bombas volumétricas alternativas são divididas em categorias da seguinte forma:

1. Tipo do acionador:
 - **bombas de ação direta:** é ligada por meio de uma máquina a vapor que move de forma direta o elemento propulsor do líquido da bomba;
 - **bombas de potência:** é acionada por um motor elétrico ou de combustão interna.
2. Número de cilindros:
 - **dimplex:** apenas um cilindro;
 - **duplex:** existem dois cilindros;
 - **triplex:** existem três cilindros;
 - **multiplex:** existem mais de três cilindros.
3. Posição dos cilindros:
 - vertical ou horizontal.
4. Ação de bombeamento:
 - **simplex efeito:** somente um lado do elemento movimentador atua sobre o líquido;

- **duplo efeito:** os dois lados do elemento movimentador atuam sobre o líquido.

5. Elemento movimentador:

- **curso constante:** construção usual, são as bombas do tipo pistão ou êmbolo;
- **curso variável:** possibilita variar a vazão, por esta característica, são qualificadas como dosadoras, ou seja, uma bomba alternativa de diafragma, visto que o movimento alternado do diafragma confere a possibilidade de variar a vazão do fluido.

6. Peça propulsora do líquido:

- **bomba alternativa de pistão:** este tipo de bomba hidráulica é capaz de converter força mecânica em pressão e vazão. O seu funcionamento, como o próprio nome já diz, envolve o movimento de pistões e o deslocamento do fluido. Movimentando-se para cima, uma das válvulas é aberta e permite a entrada de fluido, quando se movimenta para baixo, a válvula de saída deixa o líquido sair, no entanto, sai com alta pressão. A operação de uma bomba alternativa de pistão processa-se em duas fases: aspiração e descarga. A Figura 2.13 apresenta uma bomba alternativa de pistão em corte.

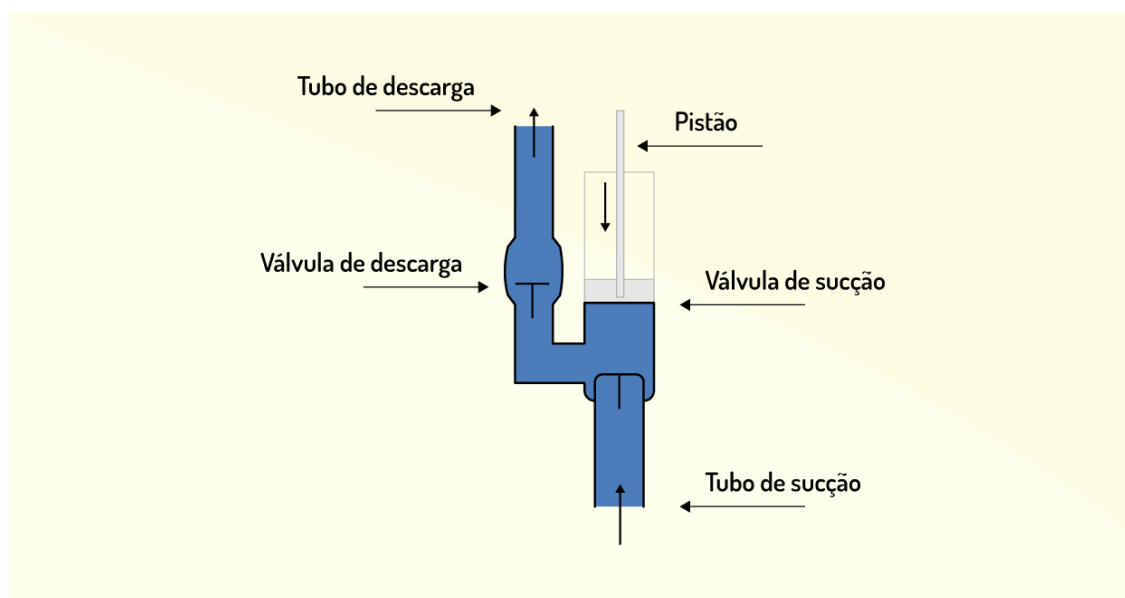


Figura 2.13 - Bomba alternativa de pistão em corte

Fonte: KVDP / Wikimedia Commons.

Aplicando-se uma força externa ao pistão, este penetra no cilindro e obriga o fluido a se movimentar. Tendo que o cilindro é cerrado (vedado), ocorre um aumento de pressão internamente ao cilindro, a válvula de sucção permanece fechada e a válvula de descarga abre e libera o fluido. Ao recolher-se o pistão, uma área de vácuo forma-se, internamente, ao cilindro, esta área de vácuo é preenchida pela entrada de fluido que se encontra, no tubo de sucção, após a abertura da válvula de sucção. Depois destas duas etapas de entrada e saída do pistão, o ciclo se repete.

A Figura 2.14 apresenta a bomba alternativa de pistão em corte, sendo disponível em uma bancada de uma indústria.



Figura 2.14 - Corte transversal em uma bomba hidráulica alternativa de pistão

Fonte: Warut Sintapanon / 123RF.

- **bomba alternativa de êmbolo:** em relação à bomba alternativa de pistão, a única mudança é o formato do elemento propulsor, visto que o êmbolo é um pistão alongado. No entanto este tipo de bomba hidráulica suporta pressões mais elevadas. A Figura 2.15 apresenta uma comparação entre os elementos propulsores das bombas alternativas de êmbolo e de pistão.

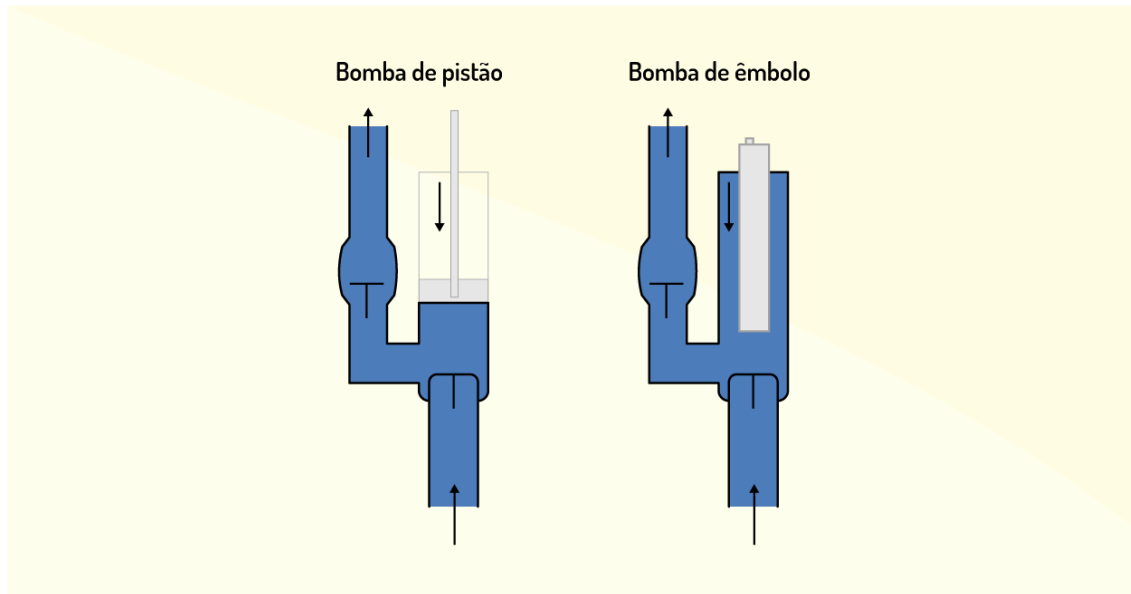


Figura 2.15 - Elementos propulsores (pistão e êmbolo)

Fonte: KVDP / Wikimedia Commons.

- bomba alternativa de diafragma:** este tipo de bomba possui um elemento que fornece energia ao fluido, este elemento é uma membrana acionada por uma haste de movimento alternativo, ou seja, o diafragma é alternado pela ação do fluido hidráulico e o fluido bombeado pelo pistão alternativo, basicamente, uma bomba de pistão faz funcionar uma bomba de diafragma. Este sistema não permite o contato entre o elemento de bombeamento e o líquido bombeado, fato que torna esta bomba adequada, para trabalhar com líquidos caros, explosivos e afins. Este tipo de bomba pode ser acionado de forma mecânica, hidráulica ou pneumáticamente. A Figura 2.16 apresenta a bomba alternativa de diafragma.

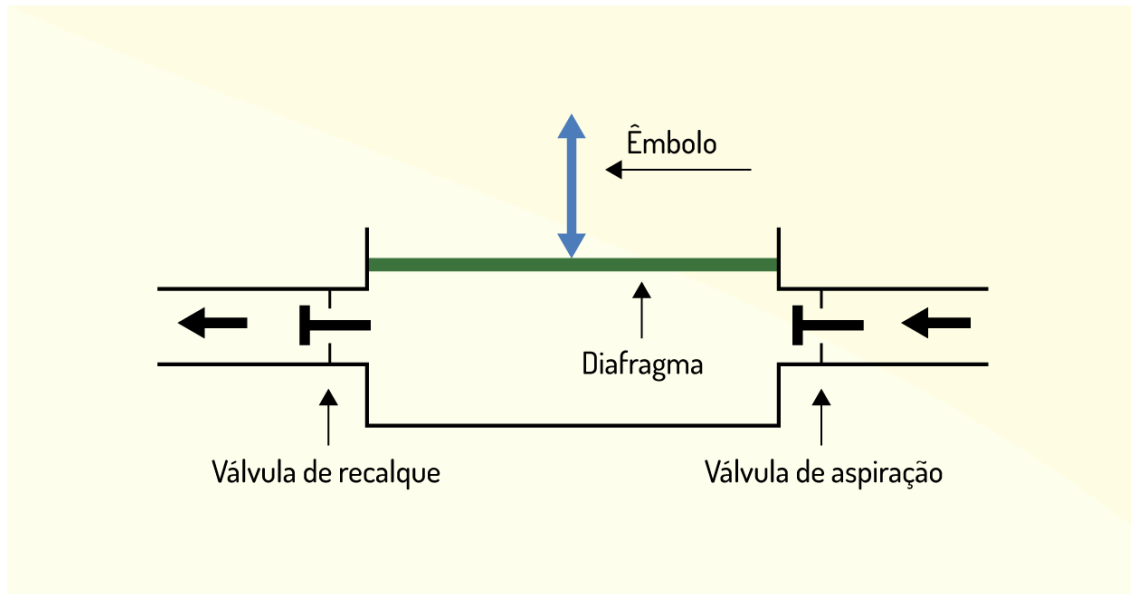


Figura 2.16 - Esquema de uma bomba hidráulica alternativa de diafragma

Fonte: HUB / Wikimedia Commons.

A bomba alternativa de diafragma pode ser utilizada em indústrias alimentícias e farmacêuticas (bombas sanitárias), por exemplo, visto que não possui contato do fluido com lubrificantes da bomba.

A bomba alternativa de êmbolo é bastante utilizada, no bombeamento de produtos viscosos, e processos que requerem uma alta pressão também se utilizam deste tipo de tecnologia. Já a bomba alternativa de pistão é utilizada para pressões menores. Estes dois tipos de bombas podem ser utilizados em diversas aplicações, como:

- máquinas industriais;
- mineração;
- guindastes;
- campos petrolíferos;
- siderurgia.

Entre as bombas de deslocamento positivo (volumétricas), as bombas rotativas são as mais utilizadas e, na sequência, descrever-se-á as mais utilizadas.

- **bombas rotativas de engrenagens:** esta bomba é do tipo volumétrica e é muito compacta. A sua construção se dá por meio de uma estrutura com canais de entrada e

saída e duas engrenagens, sendo uma destas que move a outra. Como o espaço entre engrenagens e a caixa na qual esta se encontra inserida é muito pequeno, quando as engrenagens se movem, o líquido que fica nos vãos das engrenagens é forçado a sair pela descarga e, assim, o ciclo vai se repetindo. Este tipo de bomba é muito utilizado em instalações químicas, para bombear líquidos de alta viscosidade. A Figura 2.17 apresenta a bomba rotativa de engrenagens.

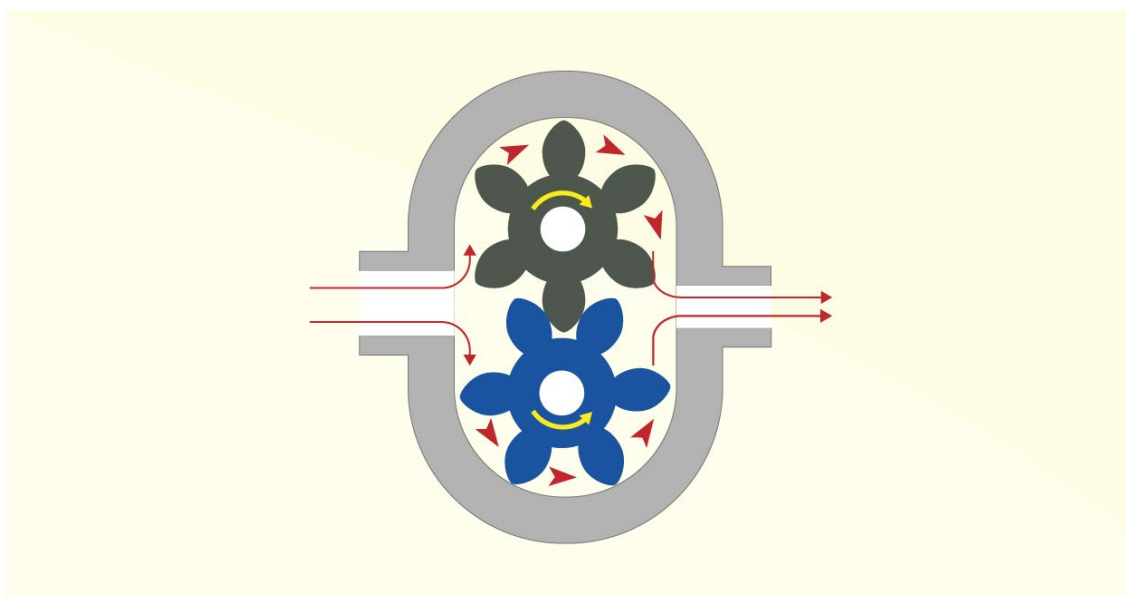


Figura 2.17 - Bomba hidráulica rotativa de engrenagens

Fonte: Duk / Wikimedia Commons.

Neste tipo de bomba, o fluido disponível em um reservatório, por exemplo, é conduzido da entrada (câmara de baixa pressão) para a saída (linha de pressão), por meio dos espaços entre as engrenagens e a carcaça. Quando as engrenagens se casam, ocorre uma diminuição do espaço onde o fluido fica acomodado, isto é, o fluido é comprimido (pressurizado), sendo que este precisa tomar um caminho de saída da bomba, ou seja, para o sistema. Segundo Linsingen (2008, p. 145), “devido ao princípio construtivo, não há possibilidade de promover a variação reversível do volume das células de transporte, e consequentemente do deslocamento volumétrico, de modo que são tipicamente máquinas de deslocamento fixo”.

- **bombas rotativas de palhetas:** este tipo de bomba tem seu princípio construtivo baseado em um estator e um rotor, sendo que a parte móvel não tem o mesmo centro da carcaça. No rotor há rasgos, nos quais ficam as palhetas. Conforme Santos (2007, p. 32),

Quando a bomba é ligada as palhetas são lançadas ao encontro do estator por ação de pressão do fluido e por forças centrífugas formando câmaras crescentes na sucção e decrescentes no recalque. Este tipo de bomba tem diversas aplicações, como: equipamento automotivos, como de compressão e câmbio automático, bombas de vácuo, usadas em caminhões e aviões, ar condicionado e equipamentos de laboratório.

A Figura 2.18 apresenta a bomba rotativa de palhetas.

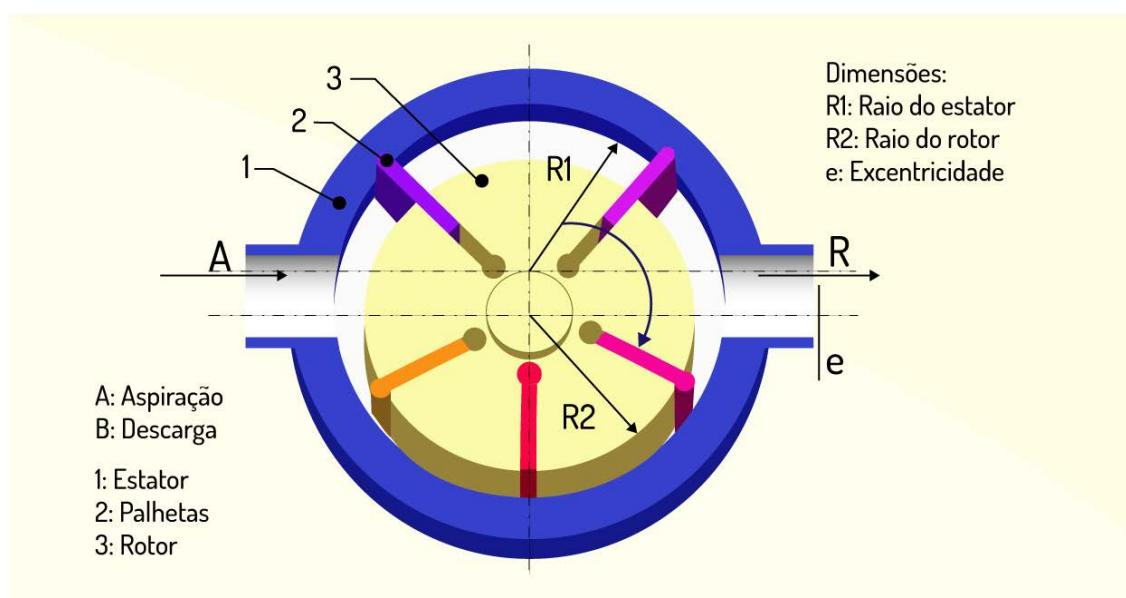


Figura 2.18 - Bomba hidráulica rotativa de palhetas

Fonte: Xlory / Wikimedia Commons.

- **bombas rotativas de pistões radiais:** neste tipo de bomba, os pistões são perpendiculares ao eixo de acionamento, sendo que esta bomba trabalha com o princípio da força centrífuga e seu funcionamento é mais simples do que a bomba rotativa de pistão axial. O termo IDC (*Inner Dead Center*), ou ponto morto interno, retrata o momento em que o pistão está mais internamente possível dentro do cilindro. Já o termo ODC (*Outer Dead Center*) ou ponto morto externo retrata o momento que o pistão está mais fora do cilindro. A Figura 2.19 apresenta a bomba de pistão radial.

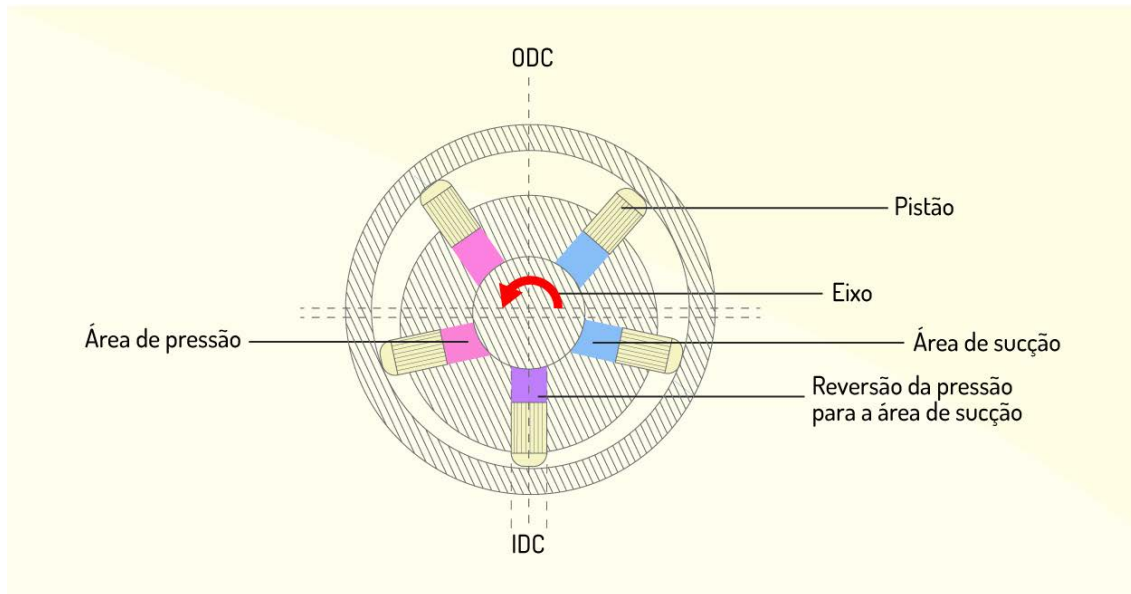


Figura 2.19 - Bomba hidráulica rotativa de pistões radiais

Fonte: GeVFR / Wikimedia Commons.

- **bombas rotativas de pistões axiais:** segundo Fialho (2003, p. 65), “as bombas de pistões funcionam com base no princípio de movimento alternativo executado pelos pistões, ou seja, sucção do fluido num sentido e expulsão no sentido contrário”. Este tipo de bomba gera uma ação de bombeamento, onde os pistões se alternam dentro de um tambor cilíndrico. O movimento rotativo de um plano inclinado desloca o fluido e, conseqüentemente, gera o movimento dos pistões, que podem ser fixos ou variáveis. As bombas de pistões axiais têm duas formas construtivas: eixo inclinado ou prato inclinado. A escolha de uma ou de outra depende da aplicação e exigências a que a bomba vai ser submetida. O princípio de funcionamento deste tipo de bomba, conforme Tomazzoni (2014, p. 15),

[...] consiste no giro do tambor de pistões e o deslizamento dos pistões sobre uma placa fixa, que está em ângulo com o sentido de giro dos pistões. Em uma das metades do ciclo de rotação, o pistão sai do bloco do cilindro e gera um volume crescente, admitindo entrada de fluido em seu interior. Na outra metade do ciclo de rotação, este pistão entra no bloco e gera um volume decrescente que expurga o óleo com pressão para o sistema.

A Figura 2.20 apresenta a bomba de pistão axial em detalhe.

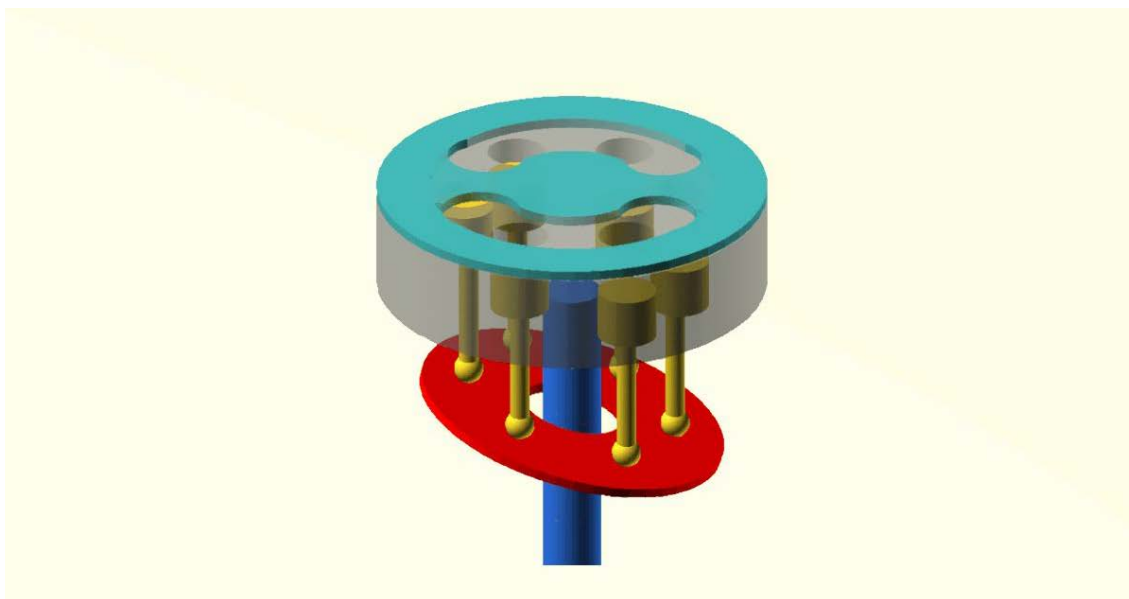


Figura 2.20 - Bomba hidráulica rotativa de pistões axiais

Fonte: Michael Frey / Wikimedia Commons.

- **bombas rotativas de rotores lobulares:** este tipo de bomba usa um princípio de funcionamento semelhante ao da bomba de engrenagens, já que o fluido é conduzido pelo espaço entre os lóbulos, esta bomba possui dois rotores. O fluido é descarregado em maiores quantidades, no entanto, menos vezes por ciclo, isso acarreta um escoamento que não é constante. Este tipo de bomba é ideal para fluidos viscosos e é, amplamente, utilizada na indústria alimentícia. A Figura 2.21 apresenta tal bomba.



Figura 2.21 - Bomba hidráulica rotativa de rotores lobulares

Fonte: Sorapol Ujjin / 123RF.

Neste tópico e em seus subtópicos, tratou-se das bombas do tipo deslocamento positivo. Foram detalhados os funcionamentos dos diversos modelos existentes que se encaixam, nesta categoria, e suas respectivas aplicações na indústria.

Turbobombas

O princípio de funcionamento deste tipo de bomba consiste, basicamente, na cessão (transmissão) de energia mecânica para o fluido por meio do rotor, sendo montado sobre o eixo que fica no interior da carcaça da bomba, conforme a Figura 2.22. O fluido alcança o rotor por meio de um bocal de sucção (alimentação) e é obrigado pelas pás do rotor a ir até a sua periferia, chegando à periferia com velocidade elevada. Portanto, ao sair da periferia do rotor, o fluido sai das lâminas do rotor e chega ao bocal de recalque (descarga), a energia mecânica produzida pelo rotor e transmitida ao fluido é transformada em energia cinética. A energia cinética, então no bocal de recalque, é transformada em energia de pressão pelo aumento da seção de recalque.

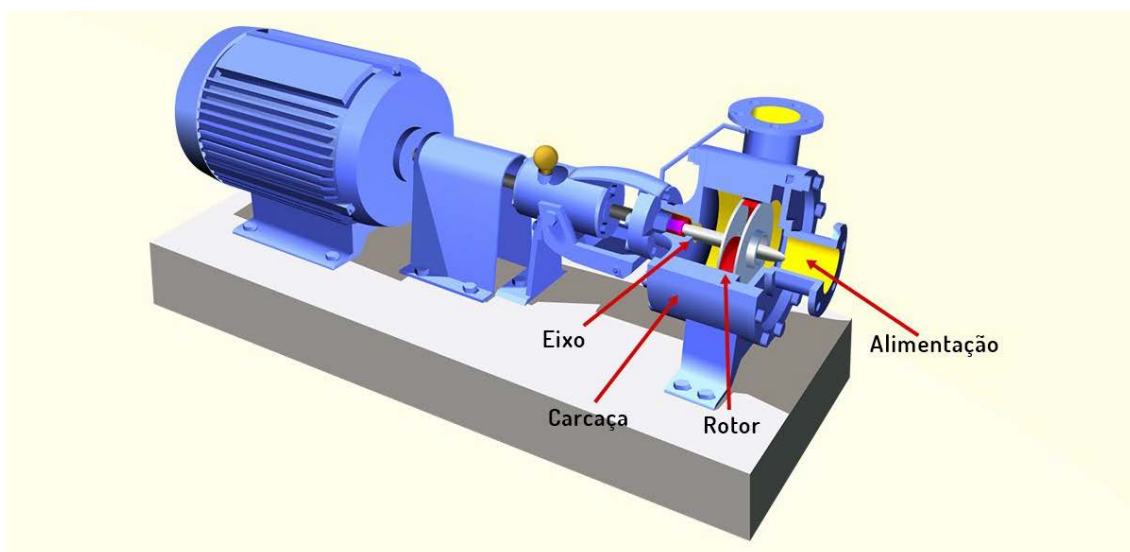


Figura 2.22 - Esquemático turbobomba

Fonte: Adaptada de Mokery J. / Wikimedia Commons.

Além disso, não há vedação mecânica entre entrada e saída, logo, ocorre vazamento interno, fato este que não acontece com as bombas de deslocamento positivo. Este tipo de bomba tem uma grande flexibilidade operacional e baixo custo de manutenção, portanto, a indústria vem aumentando seu uso em suas instalações. Estas bombas apresentam diversas vantagens e algumas desvantagens.

Vantagens:

- vazão uniforme: este termo trata do volume por unidade de tempo que vaza (escoa) de forma constante, por uma seção transversal da turbobomba;
- ausência de tempo morto;
- ocupação de espaço reduzido: são mais compactas que as bombas de deslocamento positivo;
- baixo custo de manutenção;
- ausência de válvulas;
- menores vibrações: opera em frequências bem acima da frequência natural de vibração da bomba;
- fundações mais simples: devido às menores vibrações a que a turbobomba é submetida, em comparação com as bombas volumétricas.

Desvantagens:

- menor rendimento;
- são impróprias para pequenas vazões e altas pressões: considerando a eficiência mecânica das turbobombas e das bombas volumétricas. Em pressões mais elevadas, a eficiência das bombas volumétricas, praticamente, não se modifica, já a eficiência das turbobombas diminui;
- difícil aspiração;
- são impróprias para fluidos muito viscosos: uma turbobomba diminui a vazão conforme a viscosidade do fluido aumenta, já uma bomba de deslocamento positivo aumenta seu fluxo. Os fluidos que possuem uma alta viscosidade ocupam os espaços internos (folgas) da bomba, ocasionando um rendimento volumétrico maior.

A área de atuação deste tipo de bomba é muito grande, como:

- estações de tratamento;
- serviços de irrigação e drenagem;
- indústrias têxtil, petrolífera e química;
- mineração.

Na sequência, são apresentados e detalhados alguns tipos de bombas dinâmicas.

- **Bomba centrífuga radial:** estas bombas são as mais simples e mais utilizadas entre as bombas dinâmicas. A energia provida por essas bombas ao líquido é do tipo cinética e não mais mecânica, como nas bombas volumétricas. O sentido de saída do fluido é radial ao eixo do rotor, por esse motivo essas bombas são conhecidas como centrífugas puras. Essas bombas são usadas, quando se necessita de cargas manométricas mais expressivas que as vazões. A Figura 2.23 apresenta o corte transversal de bomba centrífuga radial ligada a um motor elétrico que movimenta seu rotor.

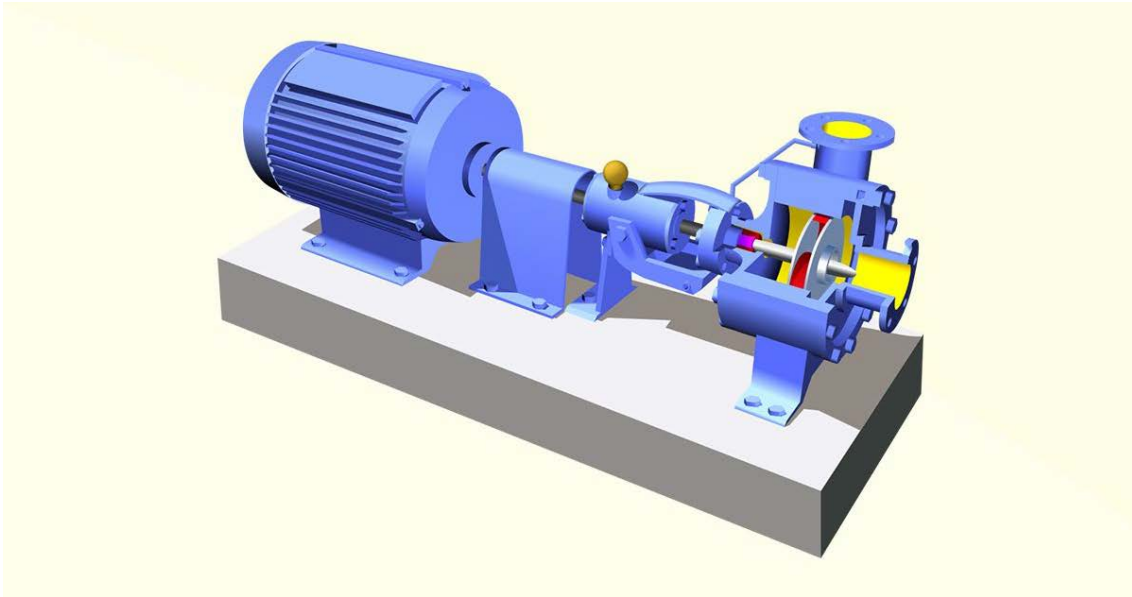


Figura 2.23 - Bomba centrífuga radial

Fonte: Magasjukur2 / Wikimedia Commons.

- **Bomba centrífuga helicoidal:** este tipo de bomba também é conhecida como bomba de cavidades progressivas. Segundo Santos (2007, p. 38), “nessa bomba, parte da energia fornecida ao fluido é devida à força centrífuga e parte devida à força de arrasto”. Este tipo de bomba é bastante utilizado em estações de tratamento de esgoto. Conforme Weatherford (2008, p. 3),

O elemento básico da bomba é um rotor de aço, na forma helicoidal comum e de seção circular, que gira dentro de um estator geralmente fabricado em elastômero vulcanizado numa carcaça externa metálica e na forma de uma cavidade helicoidal dupla e com o dobro do passo do rotor. Em razão da geometria do rotor e do estator, são formadas cavidades vedadas entre o bocal de sucção e o de pressão. A rotação do rotor causa abertura e fechamento destas cavidades alternadamente numa progressão ininterrupta ao longo do estator, fazendo com que o líquido seja deslocado continuamente da sucção para a descarga da bomba. O resultado é o ajuste perfeito entre o rotor e estator o que torna a bomba altamente eficiente em termos de sucção independentemente da rotação.

A Figura 2.24 apresenta uma bomba centrífuga helicoidal.

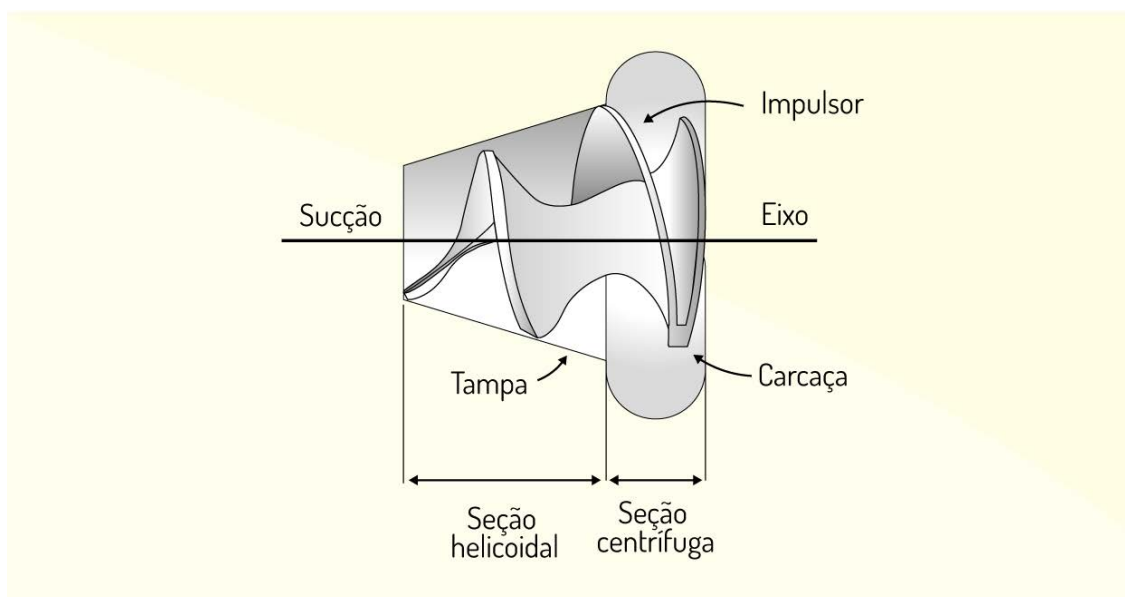


Figura 2.24 - Bomba centrífuga helicoidal

Fonte: Flow Expert (2017, *on-line*).

- Bomba centrífuga diagonal:** este tipo de bomba também é conhecido como bomba centrífuga semiaxial, já que o fluido entra axialmente ao rotor. Nessa bomba, uma parcela da energia entregue ao fluido é devido à força centrífuga, e a parcela restante pela força de arrasto. A bomba centrífuga diagonal é usada para vazões mais significativas em relação às cargas atendidas. A Figura 2.25 apresenta uma bomba centrífuga diagonal.

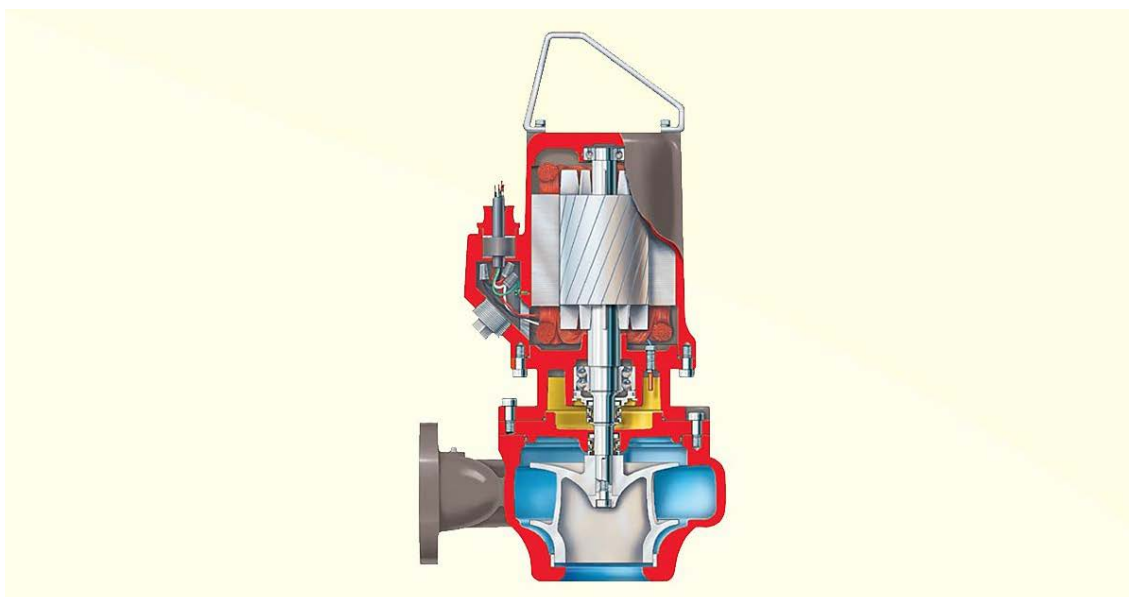


Figura 2.25 - Bomba centrífuga diagonal

Fonte: Adaptado de Brasil (2010, *on-line*).

- **Bomba centrífuga axial:** nesta máquina, o fluido entra paralelo ao eixo do rotor e sai, paralelamente, a ele. Nessa bomba, a energia fornecida ao fluido se deve somente à força de arrasto. A bomba centrífuga axial é usada, quando a motivação pela vazão é maior com referência às cargas atendidas. A Figura 2.26 apresenta a bomba centrífuga axial.

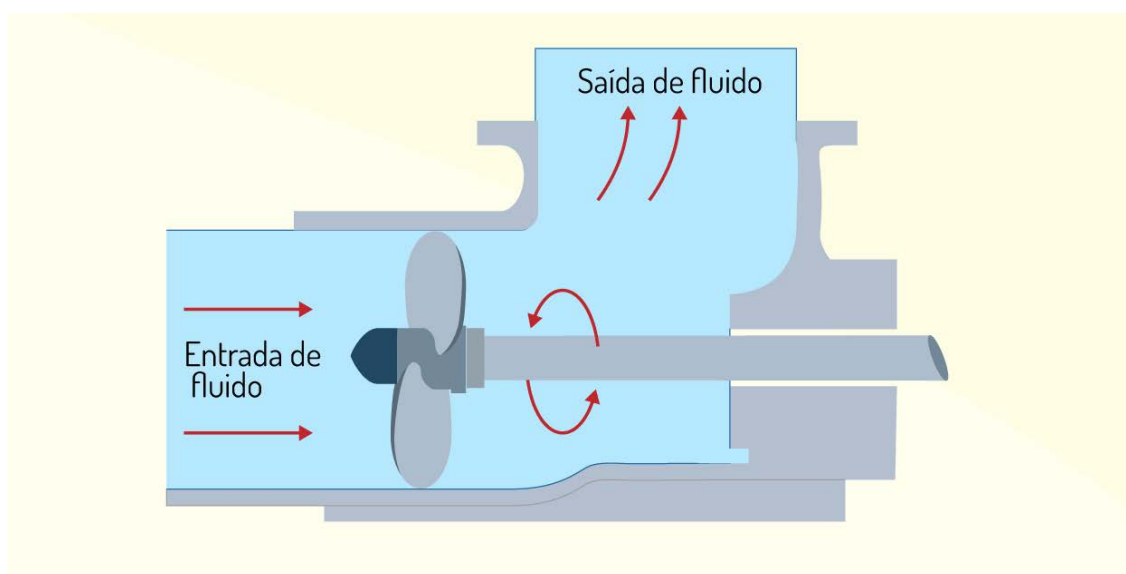


Figura 2.26 - Bomba centrífuga axial

Fonte: Adaptada de Andrade e Asuaje (2010, p. 2).

Parâmetros e softwares para dimensionamento de bombas hidrodinâmicas (turbobombas)

Para realizar-se o dimensionamento de uma turbobomba, são necessários alguns parâmetros, sendo os dois mais importantes a altura manométrica total (H) e a vazão ($Q = V/t$). Por meio destes parâmetros e pela Figura 2.27, é possível visualizar a altura manométrica total correspondente a cada vazão.

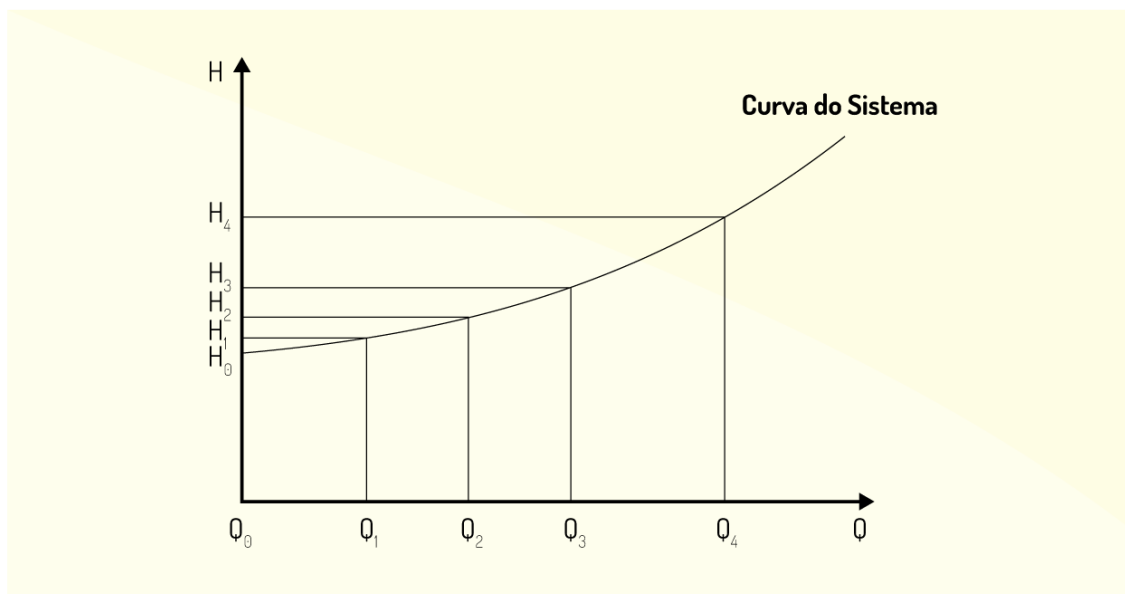


Figura 2.27 - Curva característica sistema

Fonte: Adaptada de Souza (2014, p. 27).

Em relação aos softwares para dimensionamento de uma turbobomba, tem-se o software da Schneider S/A, no qual o usuário entra com os dados de vazão, altura e potência e o software fornece alguns novos parâmetros e corrige outros com altura e potência, se necessário. Um termo importante e que deve ser de conhecimento do leitor é o NPSH (*Net Positive Suction Head*), ele é definido como um critério que tem por função realizar a medição da pressão atmosférica e a pressão da coluna de fluido, isto é, verifica a formação de bolhas de vapor ou de gás no fluido que está sob análise. Conforme Tetralon (2018, p. 1), “a função do NPSH é mostrar o quanto o líquido deve ser empurrado antes que comece a formar bolhas. Quando vamos bombeá-lo, o correto é que ele chegue até a linha central do ponto de sucção da bomba e não ocorra a evaporação do fluido”. A formação de “bolhas” ou evaporação do fluido é denominada de cavitação e ocorre, quando a pressão na sucção decresce a ponto de a água evaporar a temperatura ambiente. A Figura 2.28 apresenta o software para dimensionamento de uma turbobomba.

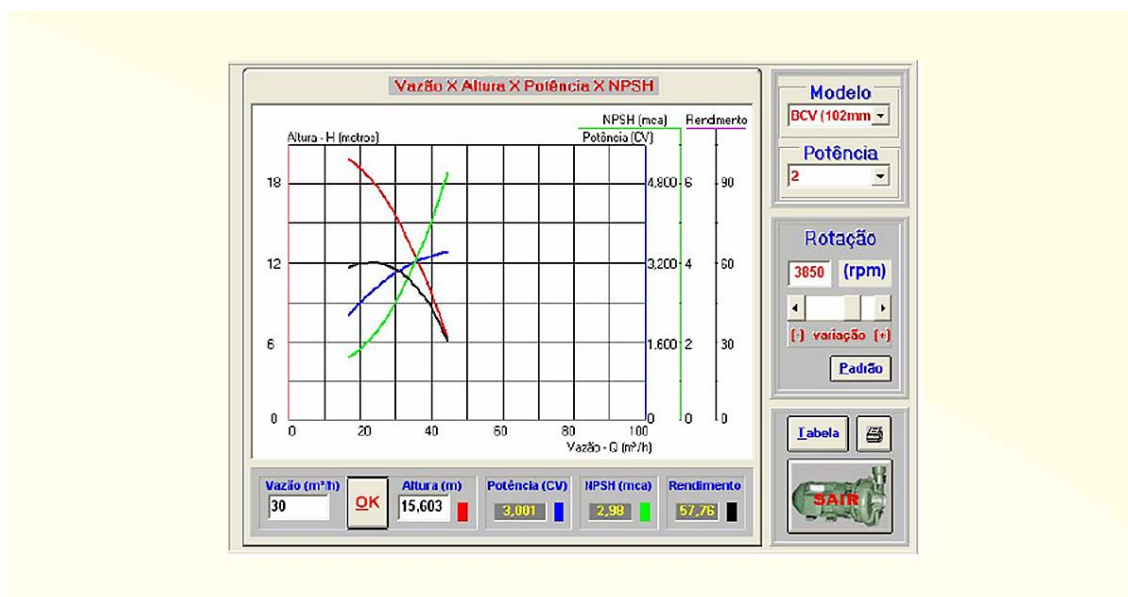


Figura 2.28 - Software para dimensionamento

Fonte: Adaptada de Pelegrini (2008, p. 8).

Este subtópico tratou do tema parâmetros e softwares para dimensionamento de turbobombas. É importante salientar que este assunto é de extrema importância, visto que uma turbobomba com dimensionamento adequado trará maior retorno à empresa, tanto em termos de recuperação do capital investido, no equipamento, quanto na produção da empresa.

Instalação de bombas hidráulicas

A instalação de bombas hidráulicas deve seguir uma série de requisitos para que elas possam trabalhar da melhor maneira possível. **Primeiramente**, é feita a inspeção do equipamento comprado, ou seja, realiza-se a aferição se há componentes danificados ou faltantes. Em um **segundo momento**, ocorre o transporte do equipamento, que deve ser efetuado com muito cuidado. Caso o transporte seja feito, diretamente, para a área de instalação, a escolha do local onde o equipamento será instalado deve ser acessível para o setor de manutenção, na sequência, deve-se realizar uma fundação adequada para que suporte a bomba e reduzam as vibrações. Por fim, realiza-se a montagem e o alinhamento da bomba. A Figura 2.29 apresenta um desenho de uma bomba instalada junto com a tubulação de recalque e de sucção.

Conforme Tropicalrio (*on-line*), “se a bomba foi armazenada por longo tempo ou se esta apresentar vestígios de oxidação excessiva, deve ser lavada com querosene. O óleo dos mancais

deve ser substituído por óleo novo e as superfícies internas devem ser lavadas com água, para eliminar os vestígios do protetor usado no armazenamento”.

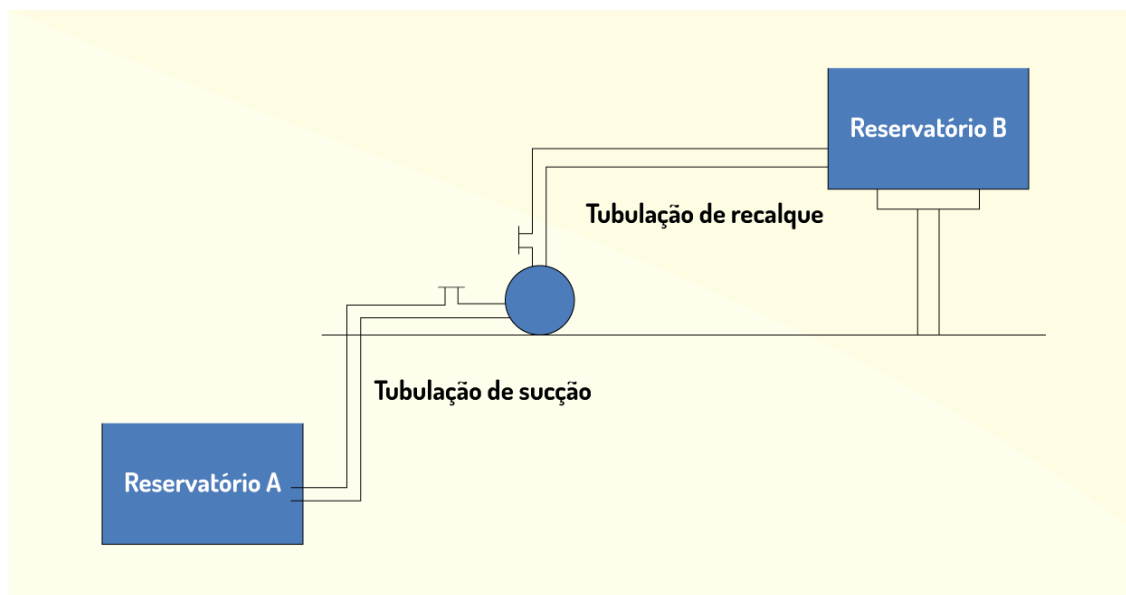


Figura 2.29 - Bomba instalada com suas tubulações

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na sequência, são apresentados alguns termos relacionados às bombas hidráulicas.

Válvula de gaveta: este componente nada mais é do que uma válvula manual de bloqueio, sendo que são de operação suave e lenta, logo, são utilizadas em sistemas onde o abrir e fechar a válvula não seja constante.

Gaxetas: este componente se trata de um anel, geralmente, feito de borracha, no entanto, pode haver variações, mas sua finalidade é a vedação entre duas peças conectadas.

Neste subtópico, foi realizada uma breve discussão da importância dos procedimentos a serem seguidos, quando se deseja instalar uma bomba hidráulica, visto que este equipamento é de grande importância e, em alguns casos, de alto custo para as indústrias que venham a adquiri-lo.

Cuidados na operação e manutenção de bombas hidráulicas

As bombas hidráulicas têm importância fundamental, em diversos processos, logo, é necessário que estes equipamentos sejam instalados, operados e tenham a devida manutenção por pessoas que possuem conhecimento da máquina. Em relação à **operação** de uma bomba, é necessário

tomar algumas medidas de verificação. Segundo Tropicalrio (*on-line*), temos os seguintes cuidados a tomar com a bomba, antes de iniciar sua operação:

- verificar se o equipamento está devidamente fixado;
- verificar se as tubulações estão alinhadas e bem fixadas;
- verificar as ligações elétricas e os respectivos sistemas de proteção do equipamento;
- verificar se o conjunto como um todo está bem alinhado;
- verificar se os mancais da bomba estão, devidamente, lubrificados;
- verificar o sentido de rotação do rotor para bombas centrífugas;
- verificar se a bomba está **escorvada** (este termo trata, basicamente, do enchimento da bomba com fluido antes de a bomba entrar em operação de fato).

Essas são algumas das verificações necessárias para que a bomba possa entrar em operação de modo adequado e seguro, tanto para o equipamento quanto para o usuário ou operador.

Conforme Tropicalrio (*on-line*), em relação ao **acionamento** da bomba, tem-se que

A instalação elétrica do motor de acionamento deve estar de acordo com os dados da placa do motor. Para motores maiores que 7,5 cv, a partida não deve ser direta, ou seja, deve utilizar tipos de chaves que reduzam a corrente elétrica inicial, evitando sobrecargas na rede elétrica. Dispositivos de proteção adequado também devem ser previstos para assegurar o motor contra imprevistos no fornecimento de energia elétrica.

Outro ponto a ser verificado é a **partida da bomba**, que pode mudar de acordo com o tipo de instalação realizada. Alguns pontos devem ser verificados, no equipamento, para que se comporte, adequadamente:

- a válvula de sucção deve estar aberta na sua totalidade;
- realizar a partida do motor;
- observar se a bomba está realizando o recalque;
- verificar a temperatura dos mancais, após certo tempo de operação (aproximadamente, duas horas);
- verificar se o equipamento opera sem ruídos e/ou vibrações.

Por fim, temos a parada da bomba, na qual deve-se tomar algumas providências, conforme Viana (2003, p. 26), como:

- se o recalque não tem válvula de retenção, feche o registro de gaveta. A não observância deste procedimento pode causar sérios danos à bomba, principalmente, no caso de instalações de grande porte;
- desligamento do motor;
- fechar as tubulações e/ ou conexões auxiliares, desde que o manual do equipamento não diga o contrário;
- fechar válvula de sucção, caso exista.

Em relação à **manutenção** das bombas hidráulicas, deve ser realizada, preferencialmente, de maneira preditiva ou preventiva, para evitar falhas durante o processo no qual esta esteja operando.

A **manutenção preditiva** é realizada por meio da medida de vibrações de determinadas partes da bomba, com equipamentos adequados. Conforme Viana (2003, p. 28),

A vibração é caracterizada pelos seus parâmetros, quais sejam, aceleração, amplitude e velocidade e sendo os dois últimos de maior significado para análises mais profundas. Os valores de medição são comparados com os valores de normas, sendo as mais aplicadas: VDI 2056, Hidraulic Institute, API 610, ISO 2372 e ISO 5174.

Na sequência, são apresentados alguns defeitos que podem produzir vibrações:

- desbalanceamento do rotor;
- acoplamento e/ou mancal desalinhados;
- rolamentos avariados;
- peças soltas (frouxas);
- atrito entre partes móveis e fixas;
- ressonância.

A **manutenção preventiva** concentra esforços, para impedir que as máquinas de uma indústria parem de forma inesperada, visto que isto causa impedimentos à produção. Na sequência, são apresentados aspectos que podem impactar no programa de manutenção preventivo:

- verificar a relevância da bomba na produção da empresa;
- disponibilizar peças de reserva, conforme recomendações do fabricante;
- disponibilizar pessoal treinado, para realizar a manutenção;
- promover e implantar um controle do programa de manutenção.

A **manutenção corretiva** tem por função corrigir falhas que já ocorreram e pararam a produção da indústria, geralmente, este tipo de manutenção é emergencial.

Por fim, pode-se dizer que a necessidade de manutenção corretiva sempre é realizada, quando há ruídos demasiados, temperaturas elevadas nos mancais, corrente elétrica elevada no motor e baixo rendimento na bomba hidráulica.

No tópico tipos das bombas hidráulicas e seus subtópicos, foi realizada uma discussão, mostrando sua importância para a indústria. Apresentou-se vários tipos de bombas, tanto volumétricas quanto dinâmicas. Além disso, foram discutidas as formas construtivas, vantagens, desvantagens e áreas de aplicação, na indústria, para diversas bombas. Além disso, foram tratados temas relacionados à operação e manutenção dessas máquinas e apresentada uma breve discussão sobre dimensionamento de turbobombas.

ATIVIDADES (Tipos das bombas hidráulicas)

- 2) As bombas hidráulicas são classificadas em dois tipos, volumétricas e dinâmicas. Em relação aos diferentes tipos de bombas existentes dentro dessas classificações, assinale aquela que possui maior eficiência mecânica.
 - a) Bomba centrífuga radial.
 - b) Bomba rotativa de engrenagens.
 - c) Bomba centrífuga helicoidal.
 - d) Bomba centrífuga diagonal.
 - e) Bomba centrífuga axial.

Classificação dos compressores

O compressor é um equipamento criado para aumentar a pressão de um fluido em estado gasoso e acumulá-la em um reservatório para uso posterior. É interessante observar que o princípio de funcionamento entre bombas e compressores é o mesmo, o que difere são as propriedades dos fluidos com que trabalham, ou seja, líquidos (incompressíveis, mais densos) e dos gases (compressíveis, menos densos).

Classificação dos compressores - aplicação

Conforme Pacheco (2011, p. 2),

os compressores operam de modo a transformar o trabalho mecânico em energia em forma de pressão que é passada para o gás. O gás, então pressurizado, pode ser armazenado como fonte energética, percorrer vastas distâncias no interior de tubos e realizar trabalho mecânico ao atuar em série com outras máquinas.

Os atributos físicos de um compressor podem mudar de acordo com sua atividade. Na sequência, os compressores são classificados conforme sua aplicação, de acordo com Rodrigues (1991, p. 51-52):

- **compressores de ar para serviços ordinários:** são utilizados, comumente, em serviços de jateamento, limpeza, pintura e acionamento de pequenas máquinas automáticas entre outras aplicações.
- **compressores de ar para serviços industriais:** esses compressores localizam-se em centrais que têm a função de dar suprimento de ar para unidades industriais das quais façam parte. Geralmente, são compressores de grande porte e custo elevado, no entanto, existem modelos mais básicos que atendem às expectativas dos clientes, já que essa categoria de compressor muda pouco de um sistema para outro.
- **compressores de gás ou de processo:** essa categoria de compressores inclui sistemas de compressão de ar pouco comuns, para instalações de indústrias químicas, petroquímicas e petrolíferas. Como exemplo, pode-se citar um compressor de parafuso que tenha como fluido ar, gases neutros, gases de processo ou gases agressivos, sendo a compressão do tipo isento de óleo. É uma máquina de grande vazão e potência, porém, utiliza uma concepção similar a de um compressor de gás.

- **compressores de refrigeração:** esses compressores trabalham com fluidos bastante particulares e em condições de sucção e descarga pouco variáveis, isso permite sua produção em série.
- **compressores para serviço de vácuo:** essa categoria de compressores é capaz tanto de diminuir a pressão, permitindo a obtenção do vácuo, ou regular a pressão para um determinado processo que uma empresa precisa.

Classificação dos compressores - princípio construtivo

Os compressores industriais podem ser de dois tipos em relação ao seu aspecto construtivo: volumétrico e dinâmico.

Nos compressores volumétricos (deslocamento positivo), para se ter uma elevação de pressão, é necessário reduzir o volume ocupado pelo gás. Na operação dos compressores volumétricos, geralmente, identifica-se várias fases, que formam um ciclo de funcionamento: a princípio, uma parcela de gás é admitida, no interior de uma câmara de compressão, esta é fechada e, conseqüentemente, reduz-se o volume, quando a câmara é aberta, o gás é liberado para consumo. Quando se diz que a compressão é realizada em sistema fechado, quer dizer que não há contato com a sucção e a descarga. A Figura 2.30 apresenta o compressor rotativo de parafusos.

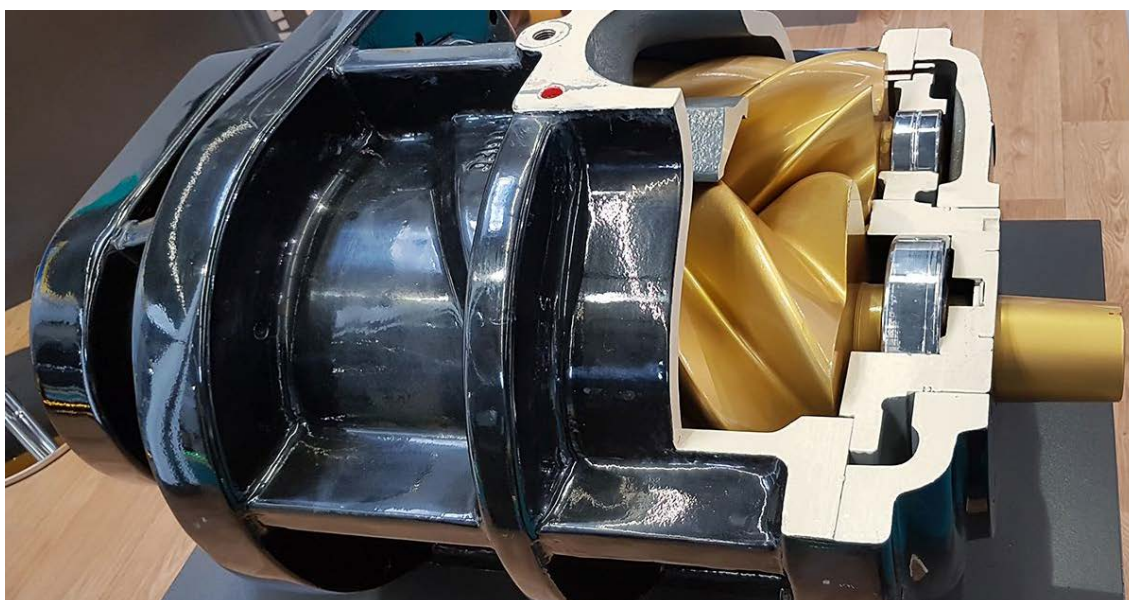


Figura 2.30 - Compressor rotativo de parafusos

Fonte: Asumipal / Wikimedia Commons.

Os compressores dinâmicos dispõem de dois elementos importantes: impelidor e difusor. O primeiro é rotativo e dotado de pás que entregam ao gás a energia recebida de um acionador. Essa transferência de energia se dá em uma parcela de energia cinética e o restante na forma de entalpia. Por fim, o escoamento estabelecido no impelidor é recebido no difusor, que tem a função de converter energia cinética em entalpia e, posteriormente, em ganho de pressão. Esse tipo de compressor realiza a compressão, continuamente.



Figura 2.31 - Compressor centrífugo

Fonte: Sergey Ryzhov / 123RF.

Na sequência, é apresentada a Figura 2.32, que resume os compressores mais utilizados, na indústria, consoante com seu princípio de funcionamento.

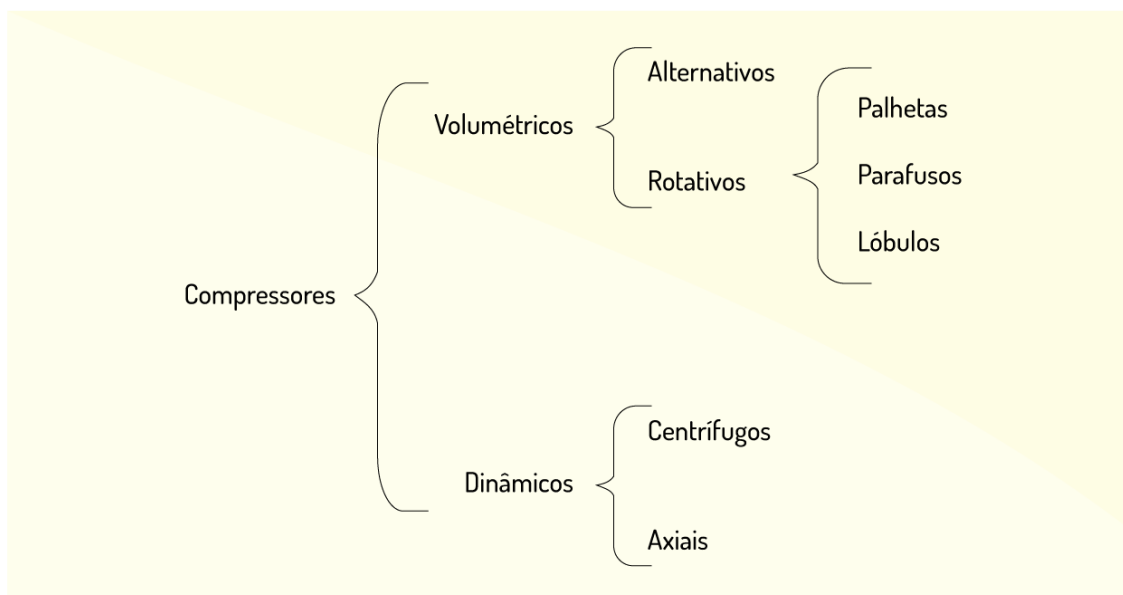


Figura 2.32 - Classificações de compressores

Fonte: Adaptada de Rodrigues (1991, p. 53).

Neste tópico e respectivos subtópicos, foi dada uma breve descrição de como os compressores trabalham e como são classificados, considerando o tipo de trabalho realizado e, em segundo momento, como são classificados, segundo seu aspecto construtivo.

ATIVIDADES (Classificação dos compressores)

- 3) Os compressores industriais podem ser classificados com base em sua pressão, ou tipo de deslocamento. Sobre os compressores, é correto afirmar que:
 - a) podem ser de deslocamento positivo ou deslocamento não-positivo.
 - b) podem ser centrífugos e axiais.
 - c) podem ser alternativos ou rotativos.
 - d) podem ser de palhetas e lóbulos.
 - e) podem ser centrífugos e de parafusos.

Tipos de compressores

Primeiramente, são apresentados os compressores volumétricos, em que o gás é comprimido por redução de volume, eles podem ser alternativos ou rotativos.

Compressores volumétricos

Conforme Rollins (2004, p. 70), “um compressor de deslocamento positivo é uma máquina na qual certa quantidade de ar ou gás ocupa determinado espaço, reduzido mecanicamente, resultando num correspondente aumento de pressão”.

Os compressores alternativos foram os precursores, nessa categoria de máquinas, a serem fabricadas, no século XIX, e mantiveram-se quase absolutos, até metade do século XX, apesar da sua baixa vazão. No entanto, com o surgimento de enormes plantas industriais, estes conversores começaram a sofrer uma queda no seu uso, devido aos demais tipos de compressores existentes, em diversas faixas de aplicação. Na sequência, são detalhados os principais tipos de compressores alternativos.

- **Compressores alternativos (pistão ou êmbolo):** fazem uso de um sistema biela-manivela, transformando o movimento rotativo de um eixo em movimento de translação de um pistão ou êmbolo. A incumbência deste tipo de compressor é comprimir o gás, no cilindro, e, após isso, enviar o fluido para um reservatório ou linha. Esses compressores funcionam alimentados por motores ou energia elétrica. A Figura 2.33 apresenta o conversor de pistão em corte. Este compressor alcança pressões mais elevadas, contudo, necessita de um sistema de refrigeração, para reduzir o aquecimento gerado.

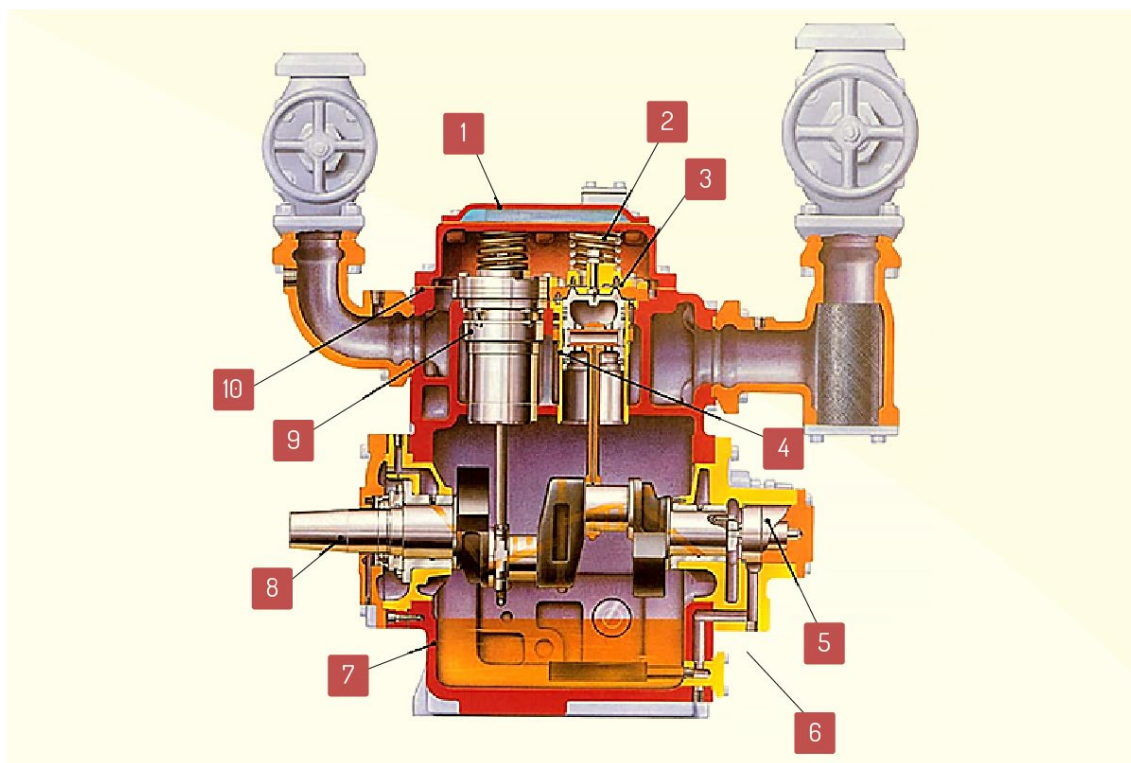


Figura 2.33 - Compressor alternativo de pistão em corte

Fonte: Adaptada de Máquinas... (on-line).

- 1 - Resfriamento do Cabeçote, por água ou líquidos refrigerantes.
- 2 - Molas de Segurança, para prevenir danos na câmara de descarga.
- 3 - Mecanismo da Placa de Válvulas: com tampa ranhurada, e tensão controlada da mola de levantamento e amortecimento.
- 4 - Pistões e Camisas de Cilindros, removíveis. Os anéis de compressão e óleo asseguram o selo entre o pistão e a parede do cilindro, permitindo lubrificação.
- 5 - Filtro de Óleo.
- 6 - Resfriamento de Óleo por água ou refrigerante (líquido expandido).
- 7 - Carter.
- 8 - Virabrequim.
- 9 - Mecanismos de Controle de Capacidade: controlado, hidraulicamente, por intermédio de válvula manual ou, automaticamente, por válvula solenoide.

10 - Gaxetas.

- **Compressor alternativo de diafragma:** este compressor usa um pistão, no entanto, não é utilizado para compressão do gás, mas para movimentar o fluido que aciona um diafragma, que realiza a compressão do gás. Este tipo de compressor é bastante eficaz, quando se trabalha com gases corrosivos ou que gerem algum perigo, devido a sua característica de estanqueidade, isto é, o gás que se encontra comprimido permanece isolado e não ocorre misturas com os lubrificantes da máquina. A Figura 2.34 apresenta o compressor alternativo de diafragma em corte.

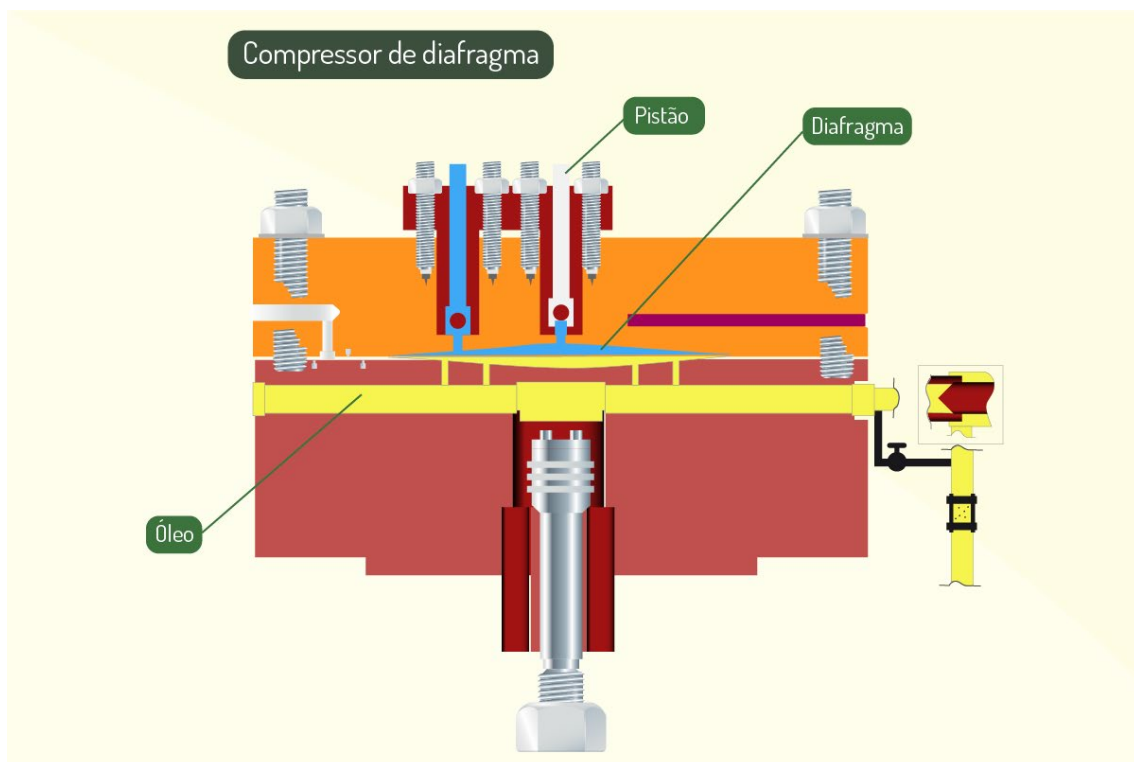


Figura 2.34 - Compressor de diafragma em corte

Fonte: Adaptada de Máquinas... (on-line).

Os compressores alternativos são capazes de alcançar pressões de descarga elevadas, em comparação com os demais tipos de compressores, além disso, apresentam algumas características interessantes, como: vazão pulsante e único tipo de compressor que apresenta válvulas.

Na sequência, será tratado o tema compressores rotativos. Nestes equipamentos, o gás é comprimido por elementos rotatórios. Alguns atributos importantes desta categoria de compressores são: menores perdas mecânicas por atrito, visto que não necessitam de uma grande quantidade de peças móveis, reduzida contaminação de gás com óleo lubrificante e a inexistência de válvulas de admissão e de descarga que reduz as perdas e melhora o rendimento volumétrico, dimensão compacta, baixo nível de ruído. Os compressores rotativos, em relação aos compressores alternativos, demonstram uma diminuição do consumo de energia elétrica de, aproximadamente, 40%.

- **Compressor rotativo de palhetas:** este tipo de compressor é o de construção mais simples, considerando a categoria rotativa. Este compressor tem um rotor com palhetas radiais, no formato de lâminas, sendo estas móveis. É construído, excentricamente, em relação ao estator (carcaça). Quando o rotor gira, as palhetas movem-se, radialmente, sob a ação de uma força centrífuga contra as paredes da carcaça. O gás entra pela abertura de sucção e ocupa os espaços entre as palhetas. Conforme Rodrigues (1991, p. 56), “devido à excentricidade do rotor e às posições das aberturas de sucção e descarga, os espaços constituídos entre as palhetas vão aumentando na região de sucção e se reduzindo na região de descarga, provocando a compressão progressiva do gás”. Compressores de palhetas rotativas possuem baixa vibração, durante seu funcionamento, assim, são muito utilizados em circunstâncias onde o baixo nível de ruído é importante. Além disso, possuem atributos interessantes, como: confiabilidade, versatilidade e potência. Além de tudo, este equipamento tem aplicações em diversas áreas, como: impressão, odontologia e robótica. Uma aplicação bem usual deste compressor é em geladeiras domésticas, freezers e condicionadores de ar. A Figura 2.35 apresenta o conversor rotativo de palhetas.

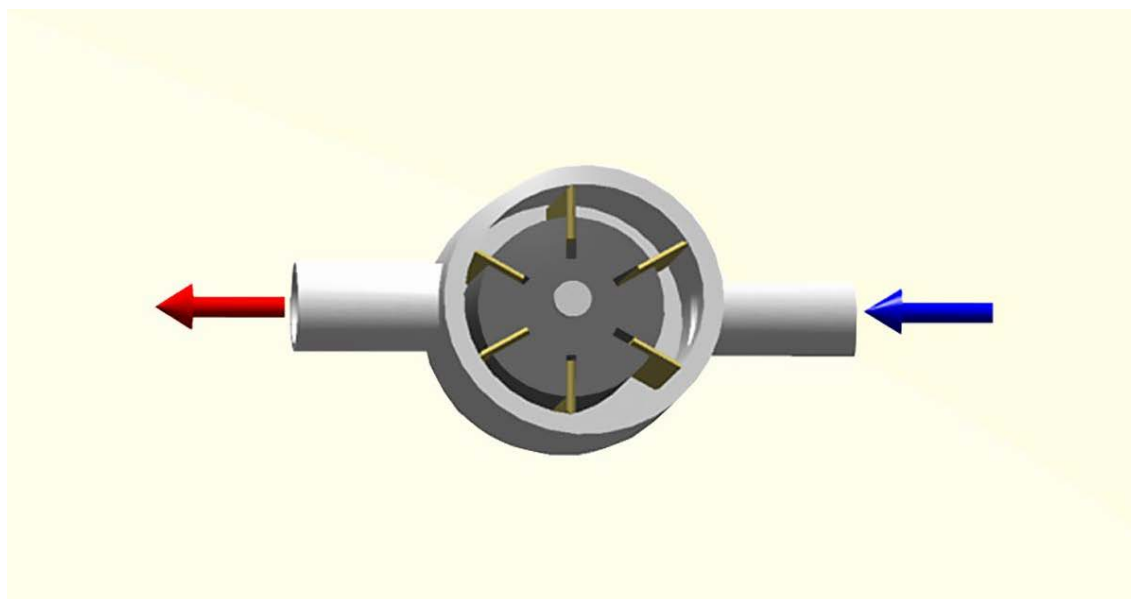


Figura 2.35 - Compressor rotativo de palhetas

Fonte: Ub / Wikimedia Commons.

- **Compressor rotativo de parafusos:** este tipo de compressor usa dois parafusos helicoidais como rotores, eles apresentam uma condição de engrenamento entre si. O contato deste equipamento com o sistema se dá pelas aberturas de sucção e descarga. O gás entra pela abertura de sucção e toma os espaços entre os rotores, quando ocorre o engrenamento, o gás compreendido em determinado espaço entre rotor e estator fica encerrado. O movimento do rotor provoca o deslocamento desse ponto de engrenamento para frente, provocando a redução do espaço disponível para o gás e, consequentemente, ocasionando sua compressão. Quando é alcançada a abertura de descarga, o gás é liberado. Este tipo de compressor é muito aplicado, em indústrias, como: alimentícias, militar, aeroespacial, automotiva, petroquímica, farmacêutica e diversas outras. Também é utilizado como compressor de ar em motores à combustão. A Figura 2.36 apresenta o compressor rotativo de parafuso.

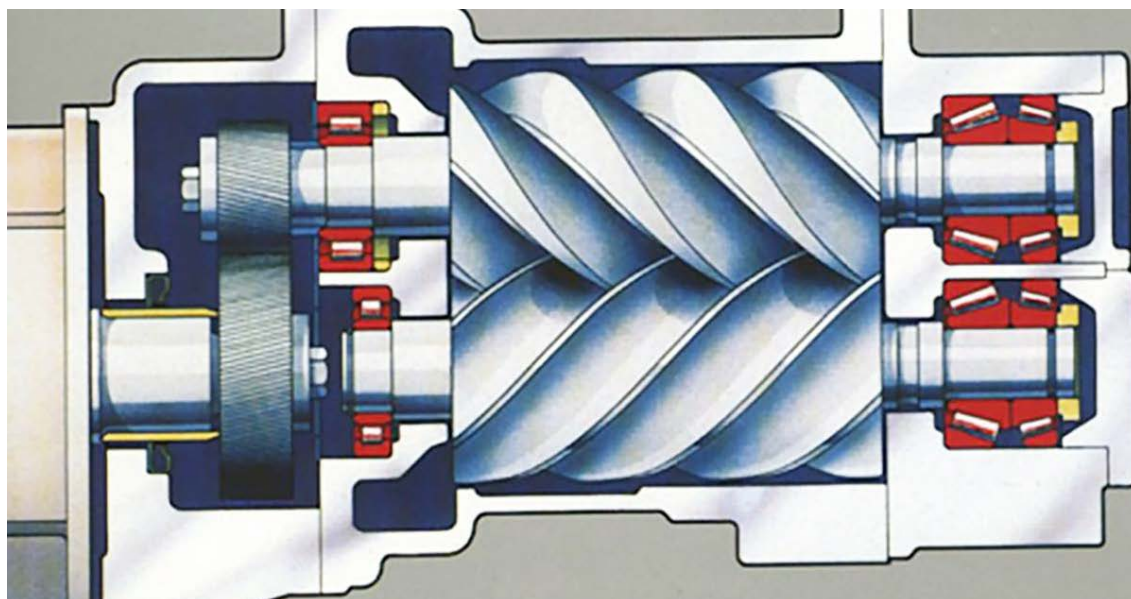


Figura 2.36 - Compressor rotativo de parafuso

Fonte: Tessaro e Michels (2014, p. 13).

Os compressores rotativos de parafuso podem ser divididos em dois tipos, compressores de parafuso simples e duplo. Além disso, este tipo de compressor pode ser classificado de acordo com o número de estágios de compressão (sistemas compound).

- **Compressores herméticos, semi-herméticos e abertos:** nos compressores herméticos, tem-se compressor e motor na mesma caixa. Este tipo de compressor é utilizado somente para potências baixas. Já os compressores semi-herméticos são mais modernos que os herméticos, no entanto, motor e compressor ainda estão unidos em uma mesma carcaça, mas com pistões em outro invólucro. A ligação entre eles é feita pelo virabrequim. Por fim, tem-se o compressor aberto, no qual o motor é separado do compressor. A Figura 2.37 apresenta um compressor semi-hermético.

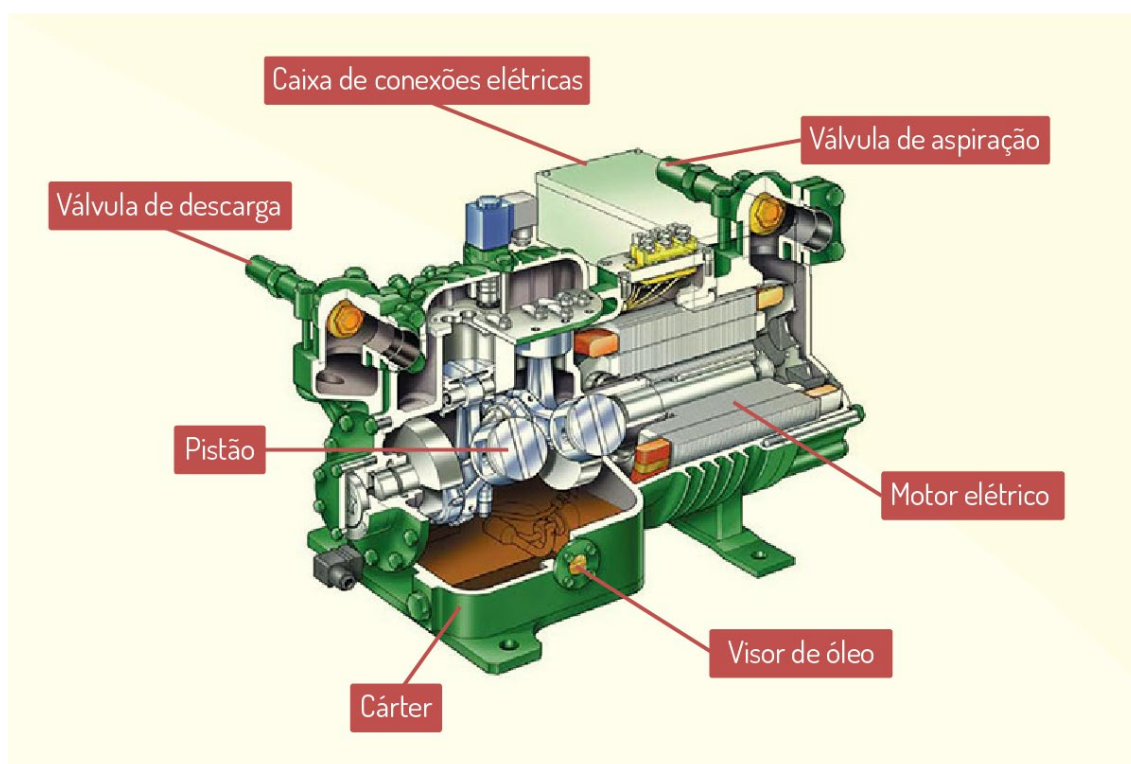


Figura 2.37 - Compressor semi-hermético

Fonte: Adaptada de Capítulo... (on-line).

- Compressor rotativo de lóbulos:** este tipo de compressor dispõe de dois rotores que giram em sentidos opostos. O gás entra pela abertura de sucção e ocupa o espaço da câmara de compressão, com o movimento dos rotores, o gás é levado até a abertura de descarga. Estes compressores não possuem compressão interna, visto que os rotores somente deslocam o fluido de uma área de baixa pressão para uma de alta pressão. Os compressores de lóbulos são bastante utilizados em transportes pneumáticos e sobrealimentação dos motores diesel. Este compressor tem diversas vantagens, como: robustez, funcionamento silencioso, ausência de válvulas entre outras. A Figura 2.38 apresenta o compressor rotativo de lóbulos.



Figura 2.38 - Compressor rotativo de lóbulos

Fonte: Ub / Wikimedia Commons.

Neste tópico, foi trabalhado o tema compressores volumétricos, também conhecidos como compressores de deslocamento positivo. Foi detalhado o funcionamento e aplicações de diversos compressores existentes e pertencentes a esta categoria. No próximo tópico, será abordado o tema compressores dinâmicos.

Compressores dinâmicos

Esta categoria de compressores também é chamada de turbo compressores. Segundo Pacheco (2011, p. 12), “esta classificação engloba todos os tipos de compressores rotativos que não utilizam a redução de volume como forma de aumentar a pressão, como é o caso dos compressores volumétricos estudados anteriormente”. Estes compressores possuem uma vazão contínua de fluido, além de dispor de dois elementos principais: impelidor e difusor. O primeiro é um elemento rotativo que possui pás, estas transferem ao gás a energia recebida de um acionador. Essa transmissão de energia tem uma parcela na forma cinética e outra na forma de pressão. Com o escoamento estabelecido no impelidor, este é recebido pela seção do estator, isto é, o difusor, que tem a atribuição de transformar a energia cinética do gás em pressão. O processo de compressão nestes equipamentos é realizado continuamente.

- **Compressores centrífugos:** estes compressores também são conhecidos como radiais. Conforme Rodrigues (1991, p. 60-62),

[...] o gás é aspirado continuamente pela abertura central do impelidor e descarregado pela periferia do mesmo, num movimento provocado pela força centrífuga que surge devido à rotação. O fluido descarregado passa então a descrever uma trajetória em forma espiral através do espaço anular que envolve o impelidor e que recebe o nome de difusor radial.

Deste modo, o gás segue seu deslocamento e é recolhido pela carcaça (voluta) e conduzido à descarga do compressor. Este tipo de compressor não é capaz de propiciar elevações de pressão significativas, essa característica faz que os compressores utilizados em processos industriais tenham diversos estágios, para aumentar a pressão. A Figura 2.39 apresenta o esquema de um compressor centrífugo.

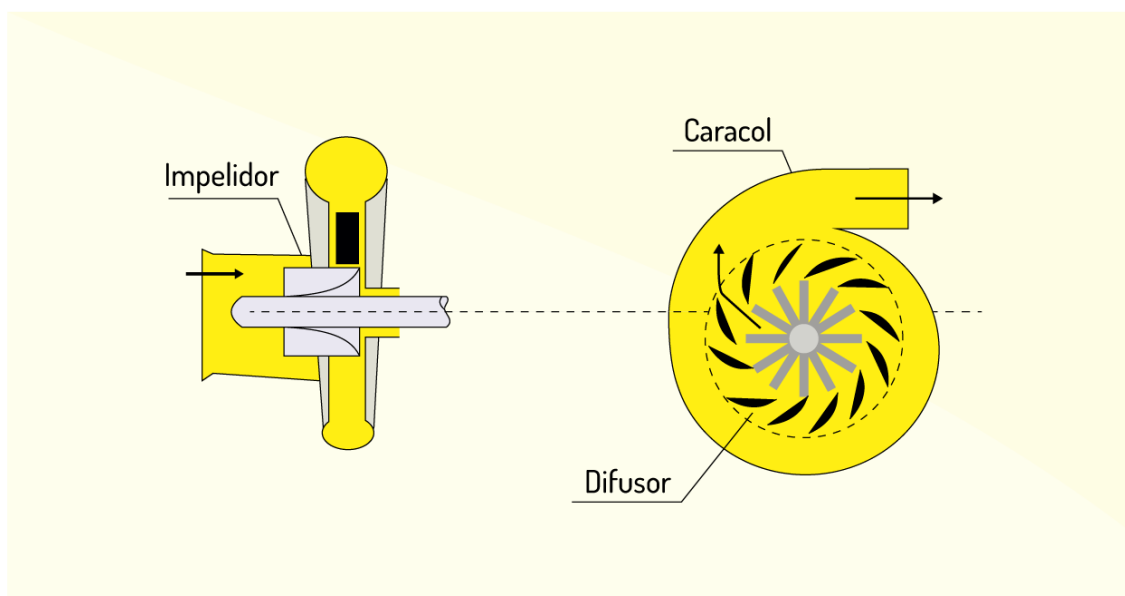


Figura 2.39 - Compressor centrífugo

Fonte: Adaptada de Sommacal Alfonso / Wikimedia Commons.

Dois termos importantes a serem destacados são os componentes: impelidor e difusor, que já foram mencionados diversas vezes no texto. No impelidor, o gás recebe, a princípio, um trabalho mecânico e adquire energia cinética por meio da passagem de pás, em canais onde a área

transversal aumenta, progressivamente, no sentido do fluxo, assim, é transformada em energia cinética. Já o difusor é um tipo de duto que provoca a diminuição na velocidade do escoamento do ar, este fato gera maior pressão.

- **Compressores axiais:** este tipo de compressor possui uma alta eficiência e menores volumes em comparação com os compressores radiais, considerando uma mesma capacidade. A compressão nessas máquinas é alcançada por aceleração axial, ou seja, o fluxo do fluido é paralelo a seu eixo.

A Figura 2.40 apresenta o compressor axial. A flecha em vermelho, na Figura 2.40, indica o sentido do fluxo de ar.



Figura 2.40 - Compressor centrífugo axial

Fonte: Duch / Wikimedia Commons.

Observe que, conforme comenta Pacheco (2011, p. 15): “estes compressores são providos de um tambor rotativo em cuja periferia são dispostas séries de palhetas em arranjos circulares igualmente espaçados. Quando o rotor é posicionado na máquina, essas rodas de palhetas ficam intercaladas por arranjos semelhantes fixados circunferencialmente ao longo da carcaça”.

Aplicação, operação e manutenção de compressores

Os compressores de ar são utilizados em diversos tipos de indústrias e serviços em geral. No subtópico 3.1, os compressores foram classificados quanto a sua aplicação. Dentre as diversas áreas nas quais são utilizados, duas merecem um destaque especial:

- **indústria alimentícia:** é possível realizar com o auxílio dos compressores a manipulação e fabricação de alimentos sem a probabilidade ou risco de contaminação.
- **indústria farmacêutica:** no mesmo cenário da indústria alimentícia, é evitado a contaminação na fabricação de medicamentos e nos demais processos de alto risco desta indústria. É importante salientar que a qualidade do ar comprimido (subtópico 4.3) é essencial para que não ocorra contaminações nos produtos das empresas citadas. A Figura 2.41 apresenta o compressor de diafragma, pois este é muito utilizado nas indústrias alimentícia e farmacêutica, visto que, neste compressor, o ar não tem contato com as partes deslizantes do equipamento, logo, o ar comprimido sempre estará livre de impurezas relativas ao óleo ou resíduos de desgaste das peças do compressor.



Figura 2.41 - Compressor de diafragma

Fonte: Aleksandr Matveev / 123RF.

Além destas aplicações, estes equipamentos também são utilizados em máquinas de limpeza, pinturas em geral, pulverização na agricultura. Temos também os compressores utilizados, na área da climatização (ar condicionado), sendo citados a seguir:

- compressor rotativo;
- compressor alternativo;
- compressor parafuso;
- compressor centrífugo.

Em relação à operação do compressor, essa questão compreende, primeiramente, a leitura do manual pelo usuário, na sequência, a verificação do equipamento, ao realizar o procedimento de partida e, em um segundo momento, verificar se a saída de ar comprimido está adequada ou é necessário realizar algum ajuste. Na sequência, é apresentado um esquema de verificação, para realizar a partida do compressor, segundo o manual da Vonder (*on-line*):

- Verifique o nível de óleo, que deverá estar no centro do visor de nível;
- Abra totalmente o registro;
- Acione a chave de partida e verifique se o sentido de rotação está no sentido anti-horário (olhando de frente para o volante do compressor). Caso o sentido não esteja correto, desconecte o equipamento da rede elétrica e inverta os fios;
- Deixe o compressor trabalhando por cerca de 10 minutos para que haja a lubrificação de todas as suas peças;
- Feche totalmente o registro para que o compressor encha totalmente o reservatório. Os compressores de baixa e alta pressão desligarão, através do pressostato, quando o manômetro indicar a pressão máxima permitida;
- Verifique o funcionamento da válvula de segurança;
- Abra o registro para o esvaziamento total do reservatório e feche-o em seguida;
- Conecte-o à rede de distribuição de ar e acione o motor elétrico. Quando o compressor atingir a pressão máxima, abra o registro deixando que o ar comprimido flua para a rede de distribuição;
- Verifique a existência de vazamentos ao longo da tubulação utilizando uma solução de água e sabão e tome as devidas providências;

Em relação à manutenção dos compressores, pode ser preventiva (antes que algum problema ocorra com o equipamento), preditiva (elaborados planos de funcionamento para o equipamento) ou corretiva (depois que algum problema ocorreu com o equipamento). No trabalho de Kreusch (2013, p. 68), é realizada a manutenção preditiva de um compressor do tipo compressor estacionário de parafuso, devido à importância deste para a empresa. “Este tipo de manutenção é realizada através da medição de vibrações, por meio do medidor Teknikao NK300 série 513/03, sendo esta realizada em diversas partes do compressor”, como:

- medida de vibração axial;
- rolamentos do compressor;
- fixação;
- rotores.

Características gerais de linhas de ar comprimido

Conforme Rollins (2004, p. 1), “o ar comprimido fornece energia para uma imensa variedade de operações fabris”. Diversos segmentos da indústria usam o ar comprimido em suas operações, como:

- automotiva;
- aviação;
- alimentícia;
- construção civil;
- siderúrgicas;
- mineração;
- farmacêutica.

Estas são apenas algumas das indústrias que utilizam o ar comprimido em suas operações, as demais ficam a cargo de o leitor realizar um estudo, para verificar a importância deste tema.

Uma linha de ar comprimido tem por função conduzir o ar comprimido gerado pelo compressor até os equipamentos que o utilizarão. Ao realizar-se o dimensionamento de uma linha de ar comprimido, deve-se projetar um sistema que vise diminuir a perda de pressão por meio da bitola e tamanho compatível da linha. Conforme Metalplan (2017, p. 10),

[...] além da redução da pressão do ar comprimido provocada por uma rede de distribuição inadequada (diâmetro da tubulação inferior ao necessário, *layout* incorreto da tubulação, curvas e conexões em excesso, etc.), um sistema de ar comprimido também pode estar operando numa pressão muito superior à exigida pela aplicação. O cálculo correto das redes de distribuição principal e secundárias, a manutenção (substituição) periódica de elementos filtrantes saturados, a regulação precisa da pressão de cada ponto de consumo, a escolha de componentes e acessórios com menor restrição ao fluxo de ar, bem como a seleção correta do compressor em função das necessidades de pressão do sistema, poderão contribuir de forma fundamental para a redução do consumo de energia associado à perda de carga.

Outro ponto essencial a ser verificado em uma linha de ar comprimido é o vazamento de ar, que ocorre por conta de válvulas e conexões desgastadas ou com vedação deficiente. A Figura 2.42 apresenta uma linha de ar comprimido.

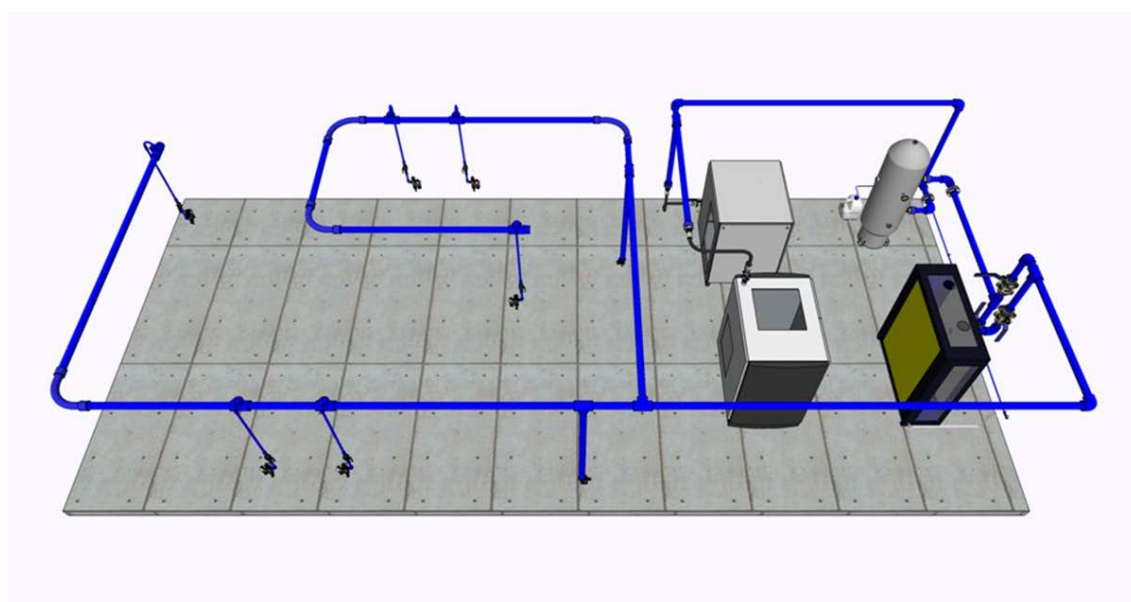


Figura 2.42 - Linha de ar comprimido

Fonte: Consuar (*on-line*).

Neste subtópico, discutiu-se a importância de uma rede de ar comprimido para os diversos tipos de indústria e o que implica o seu correto dimensionamento e manutenção (vazamento de ar e afins).

Ar comprimido - tratamento

O ar comprimido sofre um processo de descontaminação devido às impurezas presentes no ar ambiente (poeira, umidade, gases etc.) e durante o processo de compressão (óleo entre outras partículas, proveniente dos desgastes das peças, por exemplo). Para garantir a operação correta do compressor, o ar absorvido por este deve ser livre de qualquer impureza, visto que ela pode causar deterioração desmedida dos cilindros e demais peças.

A Norma ISO 8573-1 é o padrão a ser seguido, para manter a qualidade do ar comprimido, visto que esta caracteriza as classes de qualidade do ar comprimido para uso geral, no entanto, em casos específicos referentes às áreas de medicina e respiração humana, esta norma não se aplica. Na sequência, são apresentados diversos equipamentos que fazem parte de um sistema de tratamento de ar comprimido.

- Resfriador posterior;
- Filtro de ar comprimido;
- Secador de ar comprimido;
- Secador por refrigeração;
- Secador por adsorção;

No tópico tipos de compressores e seus subtópicos, foi realizada uma discussão sobre como estes são classificados (volumétricos e dinâmicos) e os respectivos tipos de compressores existentes, sendo detalhados e ilustrados, para melhor compreensão do leitor. Por fim, nos tópicos 4.3 e 4.4, foram discutidas a aplicação, a operação e a manutenção de compressores e as características fundamentais de uma rede de ar comprimido, como: aplicações na indústria, dimensionamento e qualidade do ar comprimido.

ATIVIDADES (Tipos de compressores)

- 4) Além dos tipos de compressores alternativos mais conhecidos, tem-se uma subdivisão que trata dos compressores herméticos, semi-herméticos e abertos. Com relação aos compressores

herméticos, pode-se afirmar que:

- a) os compressores herméticos são de fácil manutenção, sendo que motor e compressor estão no mesmo invólucro.
- b) os compressores herméticos têm uma baixa incidência de vazamento de fluido.
- c) os compressores herméticos têm motor e compressor juntos em uma mesma carcaça, mas com pistões em outro invólucro.
- d) os compressores herméticos utilizam a lubrificação forçada.
- e) os compressores herméticos são utilizados em supermercados e outras aplicações comerciais e industriais.

FIQUE POR DENTRO

O material complementar, disponibilizado no link abaixo, é referente a uma dissertação de mestrado que trata da eficiência energética de compressores do tipo parafuso com variação de velocidade. Este material complementa alguns pontos que não foram abordados ou abordados de forma superficial, neste material, como: ar comprimido, algumas expressões para cálculos de pressão e afins, eficiência energética e compressores com variação de velocidade.

Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10025659.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2019.

REFLITA

Você utiliza compressores na sua residência? Já pensou qual a importância destas máquinas para a indústria de forma geral?

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Bombas e instalações hidráulicas

Editora: LCTE

Autor: Sérgio Lopes dos Santos

ISBN: 978-85-982-5756-3

Comentário: O livro indicado pode ser considerado uma obra completa, visto que trata desde instalações e tubulações, classificação de bombas hidráulicas até os respectivos cálculos e curvas suas características. Vale a pena a leitura!

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Compressores industriais

Editora: EDC

Autor: Paulo Sergio B. Rodrigues

ISBN: 978-85-719-0029-9

Comentário: O livro “Compressores industriais” trata desde fundamentos da termodinâmica até os mais diversos tipos de compressores e suas particularidades. Este livro tem uma relevância muito grande, na área, visto que não há muitas publicações sobre o assunto, e os demais materiais disponibilizados tanto na internet como em apostilas têm por base o livro “Compressores industriais”.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. de; ASUAJE, M. **Introducción a las máquinas hidráulicas**. 2010. Disponível em:

<[http://gecousb.com.ve/guias/GECO/Turbom%C3%A1quinas%20Hidr%C3%A1ulicas%20\(CT-3411\)/Material%20Teorico%20\(CT-3411\)/CT-3411%20Clase%2010%20Bombas%20Axiales.pdf](http://gecousb.com.ve/guias/GECO/Turbom%C3%A1quinas%20Hidr%C3%A1ulicas%20(CT-3411)/Material%20Teorico%20(CT-3411)/CT-3411%20Clase%2010%20Bombas%20Axiales.pdf)>. Acesso em: 9 out. 2019.

BRASIL, A. N. **Bombas** - classificação e descrição. 2010. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4015/capitulo3_bombasclassificacaoedescricao.pdf>. Acesso em: 3 set. 2019.

CAPÍTULO 4 - Compressores - Parte 1. Disponível em: <http://www.professor.unisinos.br/mhmac/Refrigeracao/CAP4_REF_2015_v1.pdf>. Acesso em: 30 set. 2019.

CONSUAR. **Dimensionamento do sistema de ar comprimido**. Disponível em: <http://www.consuar.com.br/index_arquivos/adimensionamento.htm>. Acesso em: 30 set. 2019.

DARDOT, J. **Comportamento hidráulico de gotejadores pressurizados por carneiro hidráulico**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Formas Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/4484/1/TCC_Comportamento%20hidr%C3%A1ulico%20de%20gotejadores%20pressurizados%20por%20carneiro%20hidr%C3%A1ulico>. Acesso em: 4 set. 2019.

DICAS DA MEGA. **Entenda as diferenças entre compressores herméticos e semi-herméticos**. 27 jul. 2016. Disponível em: <<http://dicasdamega.blogspot.com/2016/07/entenda-as-diferencas-entre.html>>. Acesso em: 6 ago. 2019.

EDUTORES. VMF. Disponível em: <<http://www.vmf.ind.br/2017/portuguese/educ.html>>. Acesso em: 13 set. 2019.

EJETORES. VMF. Disponível em: <<http://www.vmf.ind.br/2017/portuguese/st-eject.html>>. Acesso em: 13 set. 2019.

ELETROBRÁS *et. al.* **Compressores**: guia básico. Brasília : IEL/NC, 2009. Disponível em: <<https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/Compressores.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2019.

ELIFRAN BOMBAS. **Bomba de palheta.** Disponível em:
<<http://www.elifranbombas.com.br/bomba-palheta>>. Acesso em: 4 ago. 2019.

EQUIPAMENTOS rotativos. Disponível em:
<<http://www.dequi.eel.usp.br/~tagliaferro/Bombas.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2019.

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica:** projetos, dimensionamento e análise de circuitos. 2. ed. São Paulo: Érica, 2003.

FLOW EXPERT. Bombeamento de sólidos sem obstrução. **Tetralon**, 19 out. 2017. Disponível em: <<http://www.tetralon.com.br/bombeamento-de-solidos-sem-obstrucao/>>. Acesso em: 29 set. 2019.

HORNE, B.; NEWMAN, C. **Hydraulic ram.** The centre for alternative technology. Machynlleth, Powys: CAT Publications, 22 nov. 2005.

KREUSCH, K. **A aplicação da técnica preditiva na manutenção de um compressor industrial.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013. Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7472/1/PG_DAMEC_2013_1_01.pdf>. Acesso em: 5 set. 2019.

LINSINGEN, I. V. **Fundamentos de sistemas hidráulicos.** 3. ed. Florianópolis: UFSC/FEPese, 2008.

MÁQUINAS térmicas. Aulas 15-16. **Compressores alternativos.** Disponível em:
<<http://www.fem.unicamp.br/~em672/Aulas%2015-16%20-2003%20-%20compressores%20alternativos.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2019.

MECÂNICA Industrial. **Bombas de diafragma.** Disponível em:
<<https://www.mecanicaindustrial.com.br/bomba-de-diafragma/>>. Acesso em: 4 ago. 2019.

METALPLAN. **Manual de ar comprimido.** 6. ed. 2017. Disponível em:
<<https://metalplan.com.br/wp-content/uploads/2018/04/manual-de-ar-comprimido.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2019.

PACHECO, L. de M. Tipos de compressores, princípios construtivos, funcionais e suas aplicações. **Slideshare**, 2011, Disponível em:
<<https://pt.slideshare.net/RicardoRamalho11/compressores-67420792>>. Acesso em: 4 ago. 2019.

PELEGRINI, H. de. **Dimensionamento de sistema de bombeamento e seleção de turbobomba.** 2008. Santa Catarina: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2008.

RODRIGUES, P. S. B. **Compressores industriais**. Rio de Janeiro: Editora Didática e Científica, 1991.

ROLLINS, J. P. **Manual de ar comprimido e gases / Compressed air and gas institute**. São Paulo: Pearson, 2004.

SANTOS, S. L. dos. **Bombas e instalações hidráulicas**. São Paulo: LCTE, 2007.

SOARES, D. **O carneiro hidráulico como um análogo mecânico do coração**. Disponível em: <<http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/carcor/carcor.htm>>. Acesso em: 4 set. 2019.

RZR. **Como decidir entre uma bomba centrífuga e uma bomba de deslocamento positivo**. Disponível em: <<https://www.rzrbombas.com.br/suporte/entenda-diferenca-entre-uma-bomba-centrifuga-e-uma-bomba-de-deslocamento-positivo/>>. Acesso em: 5 ago. 2019.

SOUZA, P. H. A. I. de. **Apresentação dos cálculos para seleção de bomba para sistema de reaproveitamento de água de poços artesianos**. Projeto final (Graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012492.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2019.

STEFANELLI, E. J. **Bomba alternativa de pistão**. Disponível em: <<https://www.stefanelli.eng.br/bomba-alternativa-pistao/>>. Acesso em: 4 set. 2019.

TESSARO, S. A.; ADEMAR, M. **Desempenho comparativo entre compressores rotativos de parafuso com velocidade fixa e variável**. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) - Vila Flores, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1320/Tessaro_Sidinei_Andre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 set. 2019.

TETRALON. **Entenda o que é NPSH**. 2018. Disponível em: <<http://www.tetralon.com.br/entenda-o-que-e-npsh/>>. Acesso em: 13 set. 2019.

TOMAZZONI, D. **Análise do sistema hidráulico de direção aplicado a um caminhão fora-de-estrada**. 2014. Trabalho de Estágio - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 1994. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1895/TCC%20Diego%20Tomazzoni.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 4 set. 2019.

TROPICALRIO. **Manual de instalação operação e manutenção de bombas centrífugas.** Disponível em: <<http://www.tropicalrio.com.br/catalogos/bom-manual.pdf>>. Acesso em: 6 set. 2019.

VAPORTEC. **Cuidado com o ar comprimido contaminado.** Disponível em: <<https://www.vaportec.com.br/ind/2016/08/09/cuidados-com-o-ar-comprimido-contaminado/>>. Acesso em: 4 set. 2019.

VIANA, A. N. C. **Instalação, manutenção e operação de bombas hidráulicas de fluxo.** São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.minasmotores.com.br/manuais/DICAS-APOSTILA%20INSTALACAOEMANUTENCAO.pdf>>. Acesso em: 6 set. 2019.

VONDER. **Compressor.** Disponível em: <<http://www.vonder.com.br/estatico/vonder/documentos/6829610133/Manual%20de%20Instruções.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2019.

WEATHERFORD. **Manual de instalação e manutenção - Bomba helicoidal.** 2008. Disponível em: <<https://www.helifer.com.br/images/artigos/pdf/manuais/Bombas-WHT.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2019.

UNIDADE III

Máquinas térmicas

Fábio Inocêncio Kravetz

Introdução

O consumo de energia a nível mundial é crescente, sendo que a matriz energética, na maioria dos países, não é diversificada. Conforme Santos, Cabrita e Gulyurtlu (2011, p. 72),

[...] produção de energia térmica, a nível mundial, como base em combustíveis fósseis é a principal fonte de produção de energia. Aspectos ligados ao uso de combustíveis fósseis visam à segurança no fornecimento, o limite das reservas, os custos da eletricidade e as emissões de poluentes e de gases com efeito estufa.

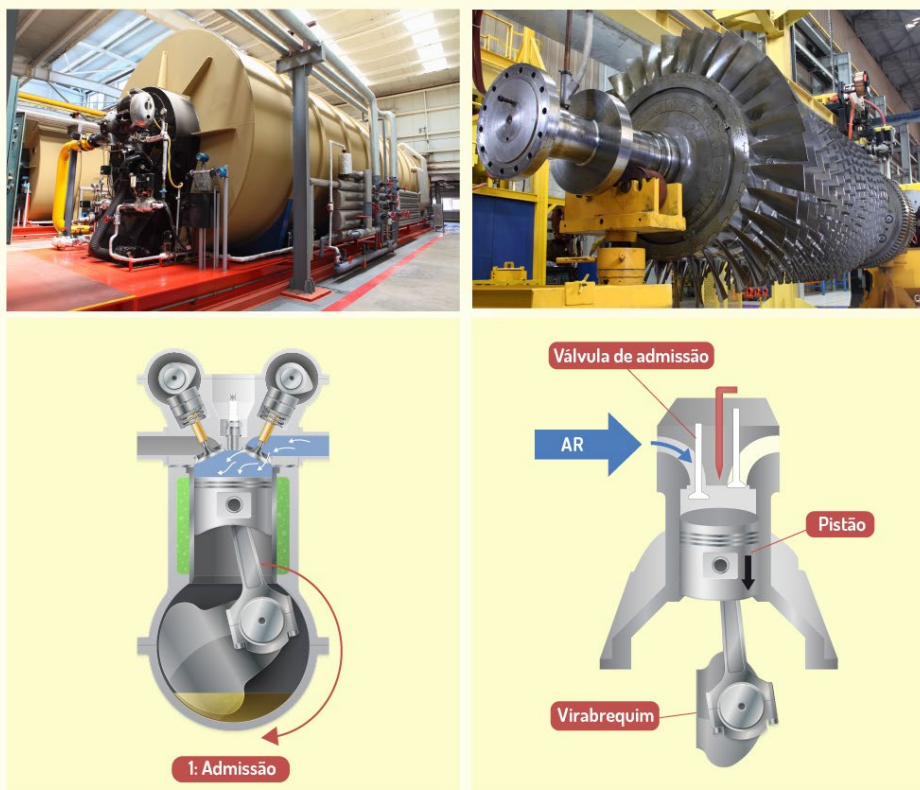
O primeiro esboço de máquina térmica (caldeiras e turbinas a vapor) foi a máquina de Heron, em 120 a.C., chamada de “aeolipile”, esta invenção era, basicamente, uma esfera de cobre e oca com água e, por fim, tinha dois canos em formato de L para a saída do vapor que era gerado ao aquecer-se o mecanismo. Este mecanismo não teve aplicação, ou seja, não realizava trabalho. A primeira máquina térmica que se tem registro foi construída, em 1690, por Denis Papin, este físico usou o vapor, para movimentar um dispositivo que possuía um êmbolo e um cilindro. Em 1698, Thomas Savery construiu a primeira máquina térmica com aplicação industrial, utilizada para retirada de água de poços de minas de carvão, todavia, esta máquina estava sujeita a um alto risco de explosão pelo fato de usar vapor em alta pressão. Em 1712, Thomas Newcomen construiu uma máquina térmica (máquina a vapor de êmbolo), baseando-se nas invenções de Papin e Savery. Esta máquina também era utilizada na retirada de água de minas, no entanto, também era capaz de içar cargas, além disso, possuía menor risco de explosão em comparação com suas precursoras.

Por fim, temos a máquina a vapor de James Watt, que é considerado o criador dessa máquina, visto que introduziu à invenção de Thomas Newcomen algumas melhorias (aumento da eficiência), as quais tornaram seu uso atraente para a indústria. Nesse âmbito, temos que as máquinas térmicas são equipamentos com a capacidade de converter energia térmica em trabalho.

Logo, é possível observar que o vapor é utilizado, na indústria, desde seus primórdios, visto que, a princípio, era utilizado em locomotivas e teve seu ápice na Revolução Industrial. Nos dias de hoje, as indústrias alimentícias, química, têxtil, farmacêutica, termelétricas e afins utilizam esta tecnologia, amplamente. O vapor é bastante utilizado devido à água ser, facilmente, obtida com custo reduzido, além de não causar impacto ao meio ambiente. As aplicações do vapor, na indústria, basicamente, são: esterilização, propulsão, aquecimento e limpeza.

Dentro do grupo de máquinas térmicas, temos subdivisões. As tratadas neste trabalho são:

- caldeiras;
- turbinas a vapor;
- funcionamento de motores de combustão interna - Ciclo Otto;
- funcionamento de motores de combustão interna - Ciclo Diesel.



Fonte: Adaptada de Wang Xiaomin / 123RF; Hywit Dimyadi / 123RF; Motor (on-line); Varela e Santos (2010, p. 12).

Caldeiras

A Norma Regulamentadora NR-13, definida e aplicada pelo Ministério do Trabalho e Emprego, estabelece a regulamentação para a área de caldeiras e vasos de pressão. Conforme esta norma (NR-13, 2014, p. 4): “caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refrutores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo”.

Tipos de Caldeiras

As caldeiras semelhantes às que conhecemos, hoje, são um avanço tecnológico das que surgiram, durante a primeira Revolução Industrial (século XVIII). Elas surgiram devido à necessidade de produzir (gerar) calor sem a dependência direta e inconveniente da queima do carvão (poluição). Em relação às caldeiras a vapor, desde sua invenção, até hoje, diversificaram-se por diversos motivos, como: eficiência, tamanho e necessidade. Os principais tipos de caldeiras são:

- caldeiras flamotubulares.
 - 1) Caldeiras verticais;
 - 2) Caldeiras horizontais;
 - A. Caldeiras multitubulares;
 - B. Caldeiras Cornovaglia;
 - C. Caldeiras Lancashire;
 - D. Caldeiras locomotivas;
 - E. Caldeiras escocesas.
- caldeiras aquatubulares.
 1. Caldeiras de tubos retos;
 2. Caldeiras de tubos curvos.

Caldeiras flamotubulares

Estas caldeiras também são chamadas de fogotubulares e pirotubulares. Conforme Lagemann (2016, p. 150),

[...] a combustão nas caldeiras flamotubulares, em inglês (*smoke tube boiler*) ocorre em um cilindro (combustor), cujo diâmetro é relativamente pequeno em relação ao seu comprimento que normalmente é 5 vezes o diâmetro. O diâmetro do bocal de ar do queimador tem dimensão comparável ao diâmetro do combustor. Logo, o ar de combustão, proveniente de um ventilador de tiragem forçada supre totalmente o queimador, o que faz com que a recirculação e a própria vazão recirculada fique muito baixa. Em decorrência desse fator, torna-se impossível queimar óleo combustível pesado, como óleos ultraviscosos, devido à elevada emissão de carbono não queimado.

A Figura 3.1 apresenta uma caldeira flamotubular e seus respectivos componentes.

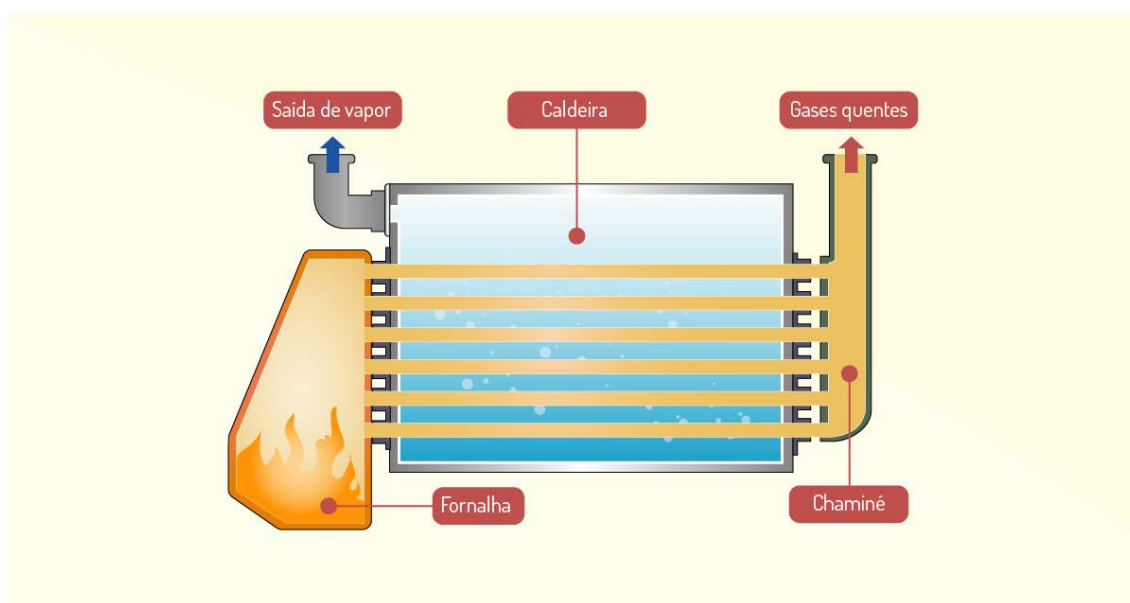


Figura 3.1 - Caldeira flamotubular

Fonte: Manual... (2010, *on-line*).

Neste tipo de caldeira, considerando as mais antigas, tem-se que a superfície interna do combustor e os respectivos tubos por onde passam os gases são superfícies lisas, isso afeta, diretamente, a transferência de calor, visto que há uma grande deposição de material (fuligem) neles. Caso esta deposição de material seja muito acentuada, é necessária a parada do equipamento para retirada da fuligem. Como solução para a redução do acúmulo de fuligem, a superfície interna do

combustor e os respectivos tubos por onde passam os gases não são mais lisos, mas corrugados (enrugados, ou seja, têm frisos). A Figura 3.2 apresenta uma superfície cilíndrica corrugada que será utilizada em um combustor de uma caldeira flamotubular.



Figura 3.2 - Superfície cilíndrica e corrugada

Fonte: Engin Korkmaz / 123RF.

Segundo Lagemann (2016, p. 152), “como o fluxo sobre uma superfície corrugada é turbulento, além de dificultar a deposição de fuligem, a eficiência da transferência de calor é mais elevada”. Conforme Altafini (2002, p. 7):

As caldeiras flamotubulares caracterizam-se pela circulação interna dos gases de combustão, ou seja, os tubos conduzem os gases por todo o interior da caldeira. São construídas para operar com pressões limitadas, pois as partes internas submetidas à pressão são relativamente grandes, inviabilizando o emprego de chapas de maiores espessuras.

As principais características das caldeiras flamotubulares são:

- baixo rendimento térmico;
- maior espaço ocupado;
- mais utilizada em instalações pequenas;
- processo construtivo simples.

Caldeiras verticais

A caldeira vertical, conforme Martinelli (2002, p. 22),

[...] é do tipo monobloco, sendo constituída por um corpo cilíndrico fechado nas extremidades por placas planas chamadas espelhos. São construídas de 2 até 30 (m²), com pressão máxima de 10 (kgf²), sendo sua capacidade específica de 15 a 16 kg de vapor por m² de superfície de aquecimento.

Tem como desvantagem a baixa capacidade e a baixa eficiência térmica, devido a este fato, são usadas com combustíveis de reduzido poder calorífico. Como principal vantagem, tem-se o fácil acesso a seu interior para limpeza, o que proporciona um rendimento considerável a esta caldeira, quando opera como fornalha interna. A Figura 3.3 apresenta uma caldeira vertical.

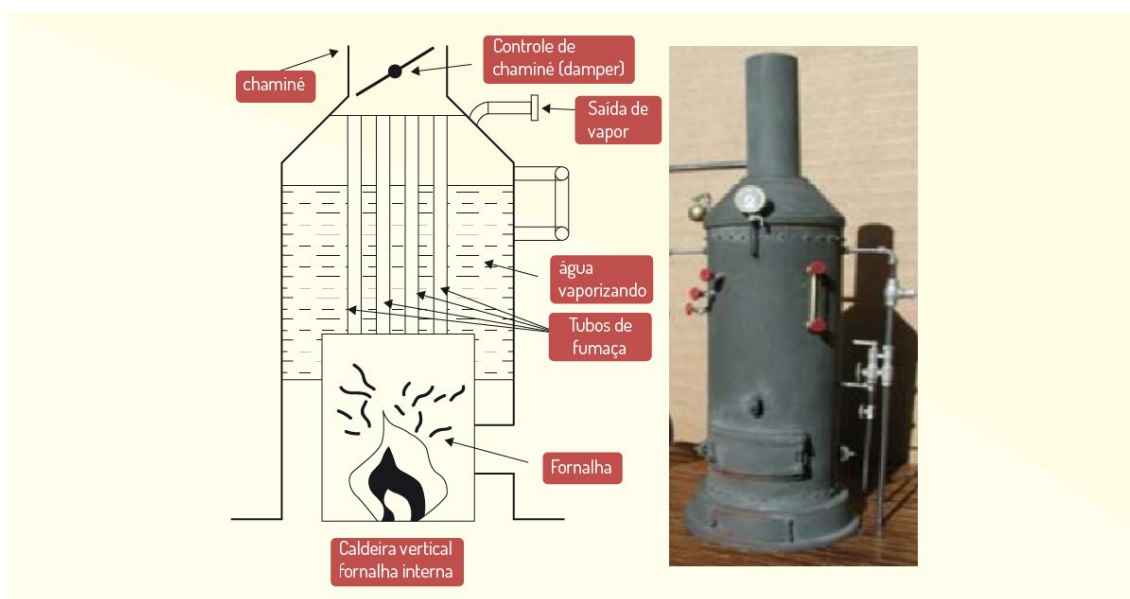


Figura 3.3 - Caldeira vertical

Fonte: Caldeiras (*on-line*).

O seu princípio de funcionamento é simples, visto que os tubos são inseridos de forma vertical, no corpo cilíndrico fechado da caldeira. A fornalha interna da caldeira fica embaixo do espelho inferior. Os gases gerados na combustão sobem por meio dos tubos, aquecendo e, conseqüentemente, vaporizando a água em torno deles.

Caldeiras horizontais

A caldeira horizontal usa mais água que as caldeiras verticais e tem algumas variações que são descritas na sequência.

- **Caldeiras multitubulares:** a troca dos tubulões da caldeira vertical, por exemplo, por tubos de diâmetro reduzido deu origem à caldeira multitubular. Conforme Fuhr (2016, p. 19), “para um maior aproveitamento de energia, e tornando a caldeira flexível no assunto combustível, foi trocado um ou dois tubulões, de maior diâmetro, por vários de diâmetro menor. Ela permite apenas fornalha externa, mas devido ao alto custo para manter, tem diminuído sua utilização.” A Figura 3.4 apresenta uma caldeira multitubular.

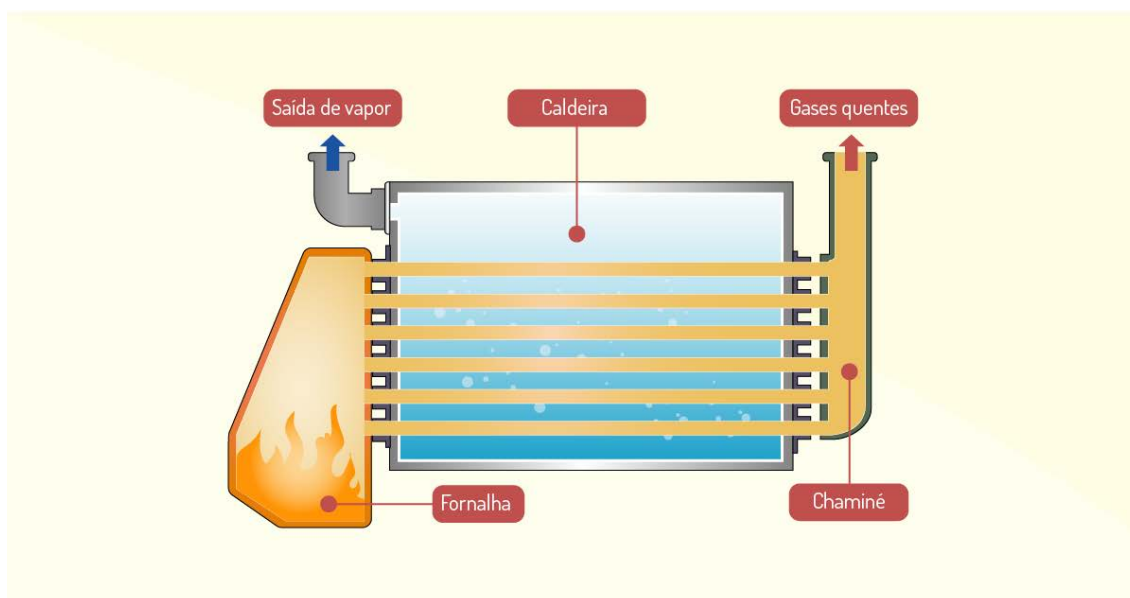


Figura 3.4 - Caldeira multitubular

Fonte: Manual... (2010, *on-line*).

Este tipo de caldeira tem duas variações:

1. **Caldeira multitubular de fornalha interna:** este tipo de caldeira tem vários tubos de fumaça e três variações:
 - tubos de fogo diretos: os gases passam pela caldeira somente uma vez;
 - tubos de fogo de retorno: os gases originários da combustão, nos tubos da fornalha, passam pelos tubos de retorno;

- tubos de fogo direto e de retorno: os gases que estão com temperatura elevada passam pelos tubos diretos e regressam pelos tubos de retorno. A Figura 3.5 apresenta uma caldeira com seus respectivos componentes, sendo que os tubos de retorno estão explicitados.

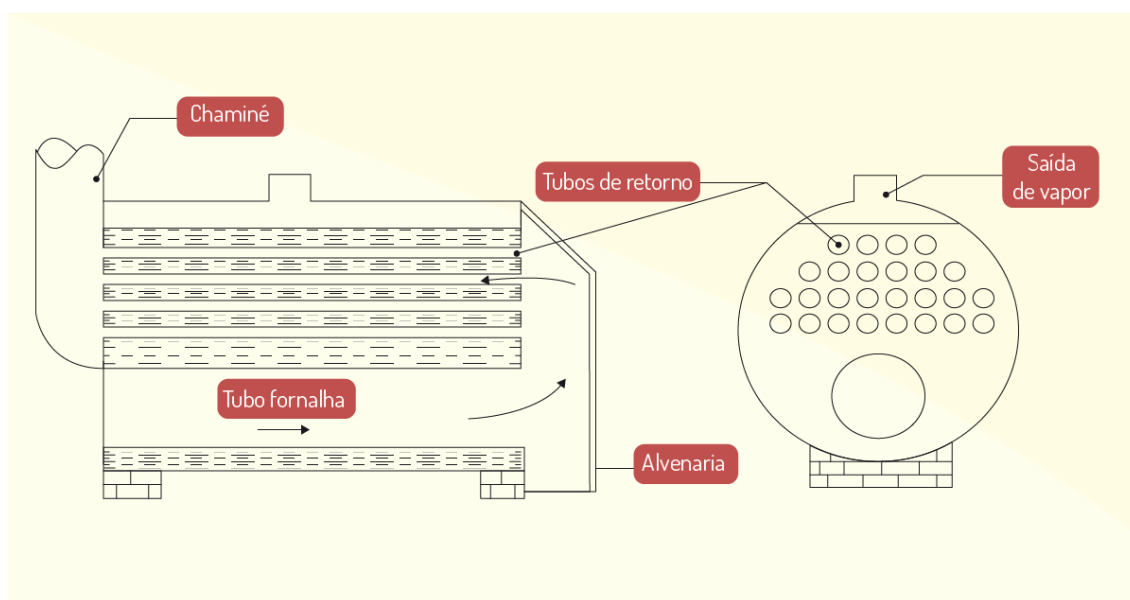


Figura 3.5 - Caldeira a vapor e seus principais componentes

Fonte: Margonar (1998, p. 14).

2. **Caldeira multitubular de fornalha externa:** conforme Alberichi (2013, p. 24), “em algumas caldeiras deste tipo a fornalha é constituída pela própria alvenaria, situada abaixo do corpo cilíndrico. Os gases quentes provindos da combustão entram inicialmente em contato com a base inferior do cilindro, retornando pelos tubos de fogo”.

O princípio de funcionamento da caldeira multitubular, considerando a de fornalha externa, consiste na combustão sendo realizada em uma fornalha externa, os gases gerados em alta temperatura fluem pelos tubos e aquecem a água que vaporiza. Neste tipo de caldeira, é realizada a queima de todo e qualquer tipo de combustível.

- **Caldeiras Cornovaglia:** este tipo de caldeira, conforme Alberichi (2013, p. 25), “consiste de dois cilindros horizontais unidos por placas planas. Seu funcionamento é bastante simples, apresentando, porém, baixo rendimento”. Possui dimensões grandes, por volta de 100 m², além disso, possui baixa eficiência térmica e pressão máxima restrita (10 kgf/cm²) devido ao seu tamanho. A Figura 3.6 apresenta a caldeira Cornovaglia.

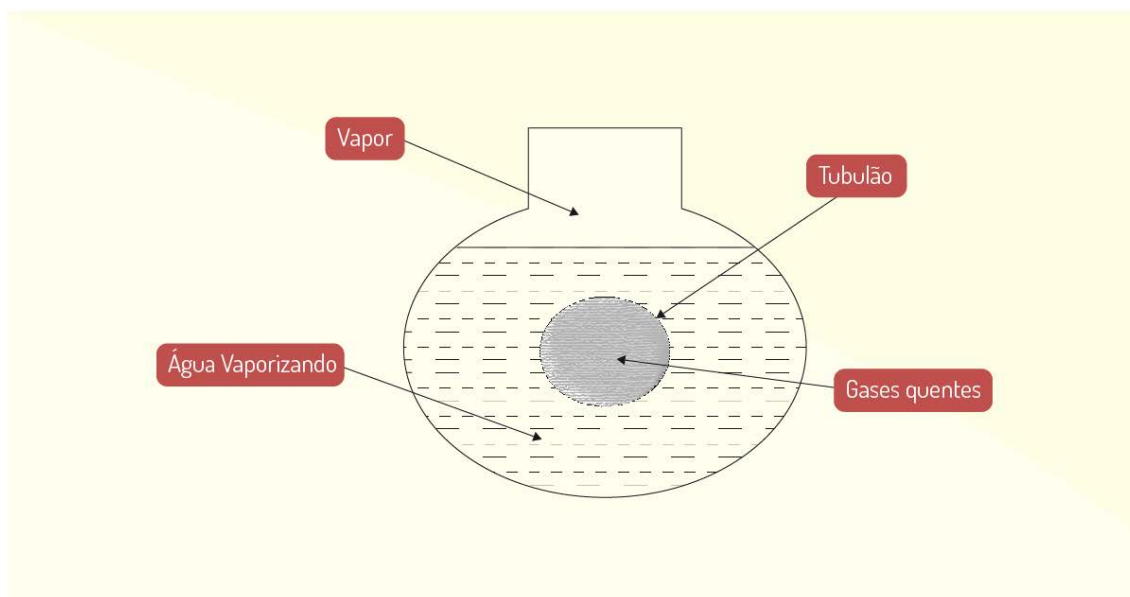


Figura 3.6 - Caldeira Cornovaglia

Fonte: Caldeiras (*on-line*).

O princípio de funcionamento deste tipo de caldeira consiste em um tubulão que interliga a fornalha à saída dos gases. Os gases da combustão que fluem pelo tubulão aquecem a água e a vaporizam, gerando trabalho.

- **Caldeiras Lancashire:** este tipo de caldeira também é chamado de caldeira de Lancaster, é um aperfeiçoamento da caldeira de Cornovaglia, visto que pode possuir até quatro tubulões internos. Conforme Martinelli (2002, p. 24), “alcança uma superfície de aquecimento de 120 a 140 m². Alguns tipos podem atingir 18 kg de vapor por m² de superfície de aquecimento”. A Figura 3.7 apresenta a caldeira Lancashire.

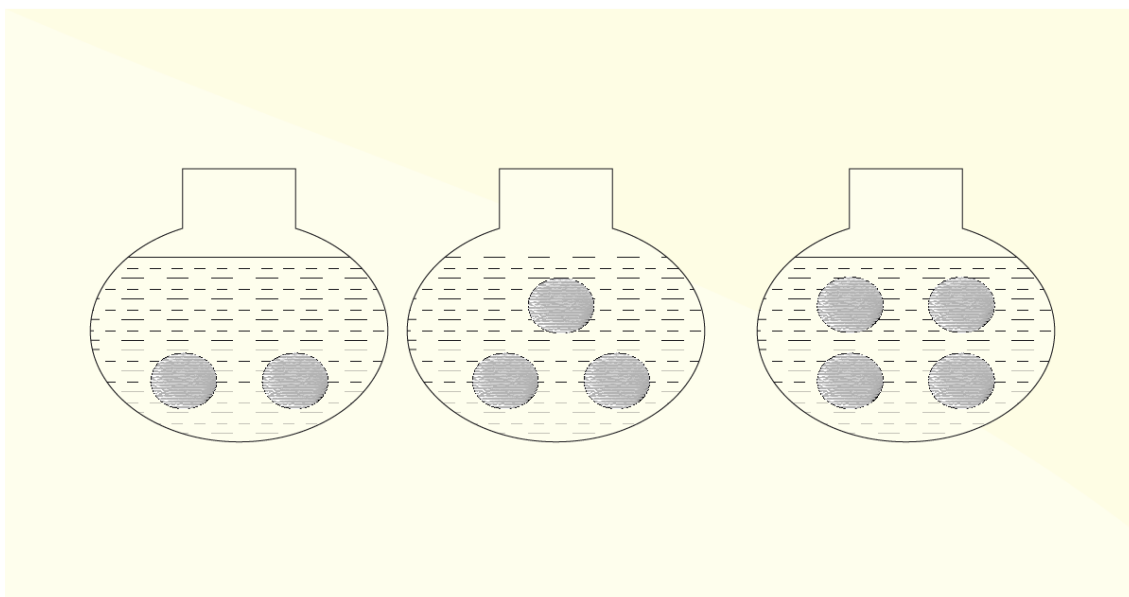


Figura 3.7 - Caldeira Lancashire

Fonte: Caldeiras (*on-line*).

- **Caldeiras locomotivas:** este tipo de caldeira é utilizado para movimentação de locomotivas e seus respectivos vagões, porém já está em extinção, visto que usa carvão como combustível. Conforme Martinelli (2002, p. 25),

São multitubulares com a fornalha revestida completamente por dupla parede metálica formando uma câmara onde circula água, tendo um razoável custo de construção. Possui vantagens de ser portátil, serviço contínuo e excelente, com custo mínimo em condições severas de trabalho, assim como uma grande capacidade de produção de vapor em comparação com seu tamanho e como desvantagens à pequena velocidade de circulação de água e grandes superfícies metálicas. Possui aplicação em campos de petróleo, associados às máquinas de vapor na geração de energia, em serrarias.

A Figura 3.8 apresenta uma caldeira locomotiva:

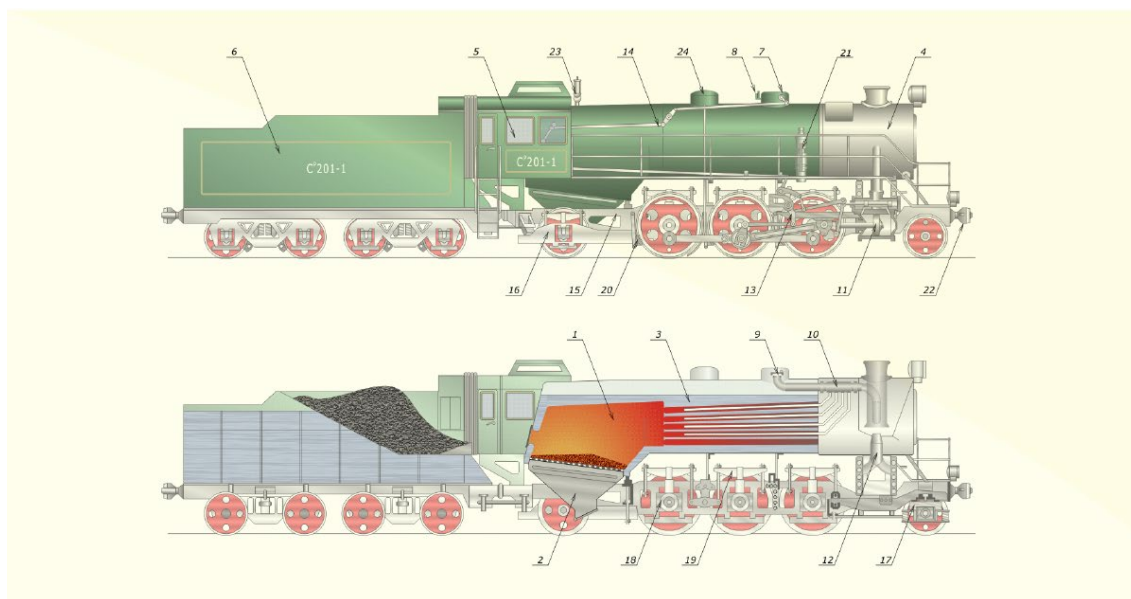


Figura 3.8 - Caldeira locomotiva

Fonte: Panther / Wikimedia Commons.

Os números indicados na Figura 3.8 são referentes às seguintes partes:

1. Caixa de fogo.
2. Cinzeiro.
3. Água (no interior da caldeira).
4. Caixa de fumaça.
5. Cab.
6. Tender.
7. Cúpula de vapor.
8. Válvula de segurança.
9. Válvula reguladora.
10. Superaquecedor (na caixa de fumaça).
11. Pistão.
12. Tubo de explosão.

13. Engrenagem válvula.
14. Regulador haste.
15. Armação de condução.
16. Caminhão Pony Rear.
17. Caminhão Pony Frente.
18. Rolamento e caixa de eixo.
19. Primavera folha.
20. Sapato Brake.
21. Bomba de freio Air.
22. Acoplador (Frente) Centro.
23. Assobio.
24. Caixa de areia.

- **Caldeiras escocesas:** este tipo de caldeira foi criado para a utilização marítima, visto que é extremamente compacto. Portanto, elas utilizam tubos com diâmetro reduzido e, assim, os componentes imprescindíveis ao seu funcionamento são integrados a uma peça singular que pode operar a qualquer momento. É importante salientar que este tipo de caldeira opera somente com óleo e gás.

Esta é a caldeira flamotubular mais disseminada, em todo o mundo, a nível industrial, já que suas instalações são simples e baratas. Conforme Fuhr (2016, p. 20), “estas operam com óleo e gás, sendo sua circulação garantida por ventiladores, unidades compactas alcançam elevado rendimento, e sua vaporização pode atingir 83%. Além disso, esta caldeira é dotada de tecnologias que auxiliam na utilização de sensores e interruptores”.

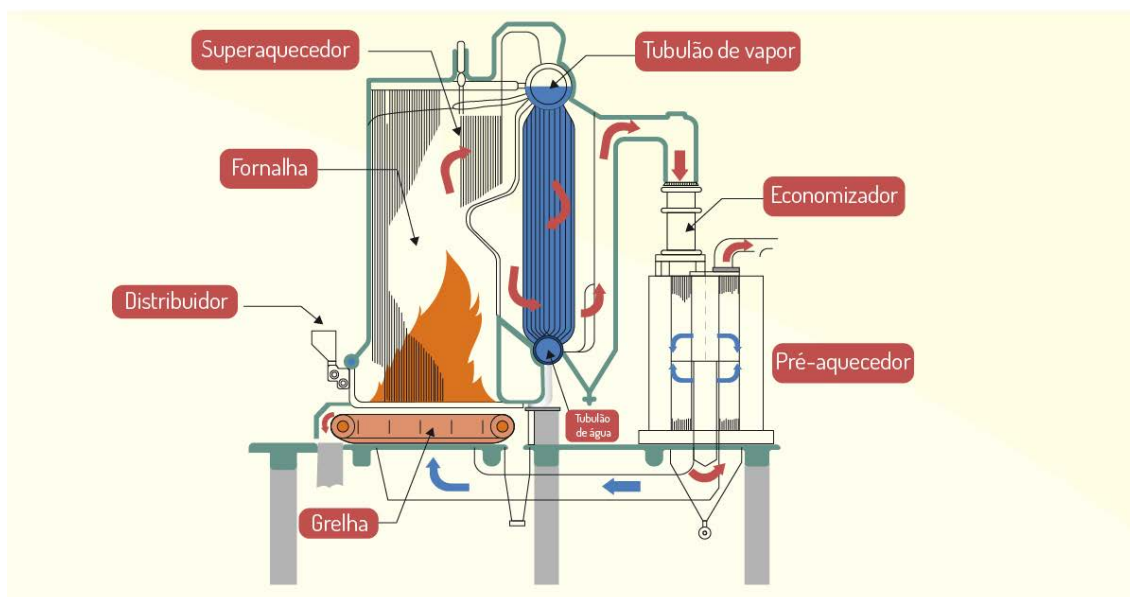


Figura 3.9 - Caldeira escocesa

Fonte: Adaptada de Martinelli (2002).

A caldeira consta de um corpo cilíndrico que contém um tubulão sobre o qual existe um conjunto de tubos de pequeno diâmetro e, geralmente, possui uma câmara de combustão de tijolos refratários, na parte posterior, a que recebe os gases produtos da combustão, e os conduz para o espelho traseiro.” A Figura 3.9 apresenta uma caldeira escocesa.

Caldeiras aquatubulares

São as mais frequentemente utilizadas em plantas termelétricas ou geração de energia elétrica, considerando unidades de grande porte. Esta caldeira também é chamada de caldeira de tubos de águas. As caldeiras aquatubulares, em inglês (*aquatubular boiler*) são, completamente, distintas em relação às flamotubulares, visto que, nas primeiras, a água flui no interior dos tubos, já os gases produzidos pela fornoalha são externos a estes tubos. Conforme Altafini (2002, p. 8),

As caldeiras aquatubulares caracterizam-se pela circulação externa dos gases de combustão e os tubos conduzem massa de água e vapor. Neste tipo de caldeira a produção de vapor é maior que a das flamotubulares. As caldeiras aquatubulares são de utilização mais ampla, pois possuem vasos pressurizados internamente e de menores dimensões relativas. Isso viabiliza econômica e tecnicamente o emprego de maiores

espessuras e, portanto, a operação em pressões mais elevadas. Outra característica importante desse tipo de caldeira é possibilidade de adaptação de acessórios, como o superaquecedor, que permite o fornecimento de vapor superaquecido, necessário ao funcionamento das turbinas.

A Figura 3.10 apresenta uma caldeira aquatubular:

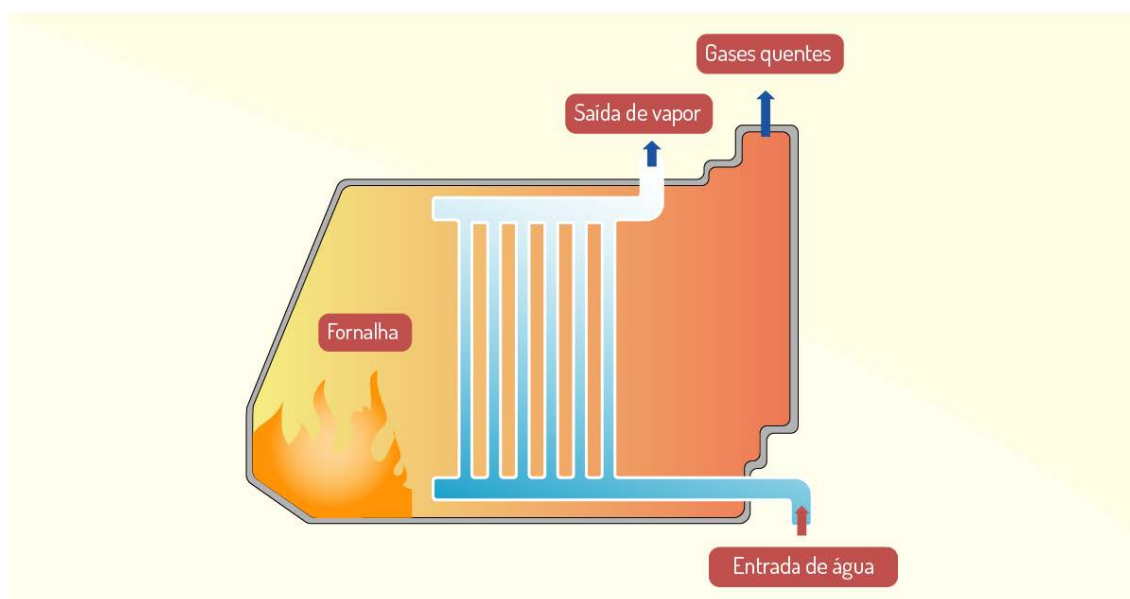


Figura 3.10 - Caldeira aquatubular

Fonte: Adaptada de Sergio Lopes / Wikimedia Commons.

As principais características das caldeiras flamotubulares, são:

- rendimento superior em relação às caldeiras flamotubulares;
- elevada produção de vapor em relação às caldeiras flamotubulares;
- maior área de aquecimento em relação às caldeiras flamotubulares.
- **Caldeiras de tubos retos:** conforme Martinelli (2002, p. 28),

[...] as caldeiras de tubos retos podem possuir tambor transversal ou longitudinal e estas caldeiras são ainda bastante utilizadas devido a possuírem fácil acesso aos tubos para fins de limpeza ou troca, causarem pequena perda de carga, exigirem chaminés pequenas, e porque também todos os tubos principais são iguais necessitando de poucas formas especiais. Os tubos de água são inclinados de aproximadamente 22° , sendo ligados nas extremidades aos coletores, também chamadas câmaras onduladas, formando com o tubulão, um circuito fechado por onde circula a água que entra pela parte inferior do tambor, desce pelo interior do coletor posterior e sobe pelos tubos inclinados onde se forma o vapor. A mistura de vapor e água ascende rapidamente pelo coletor frontal retornando ao tambor onde tem lugar a separação entre o vapor e a água.

A Figura 3.11 apresenta a caldeira de tubos retos.

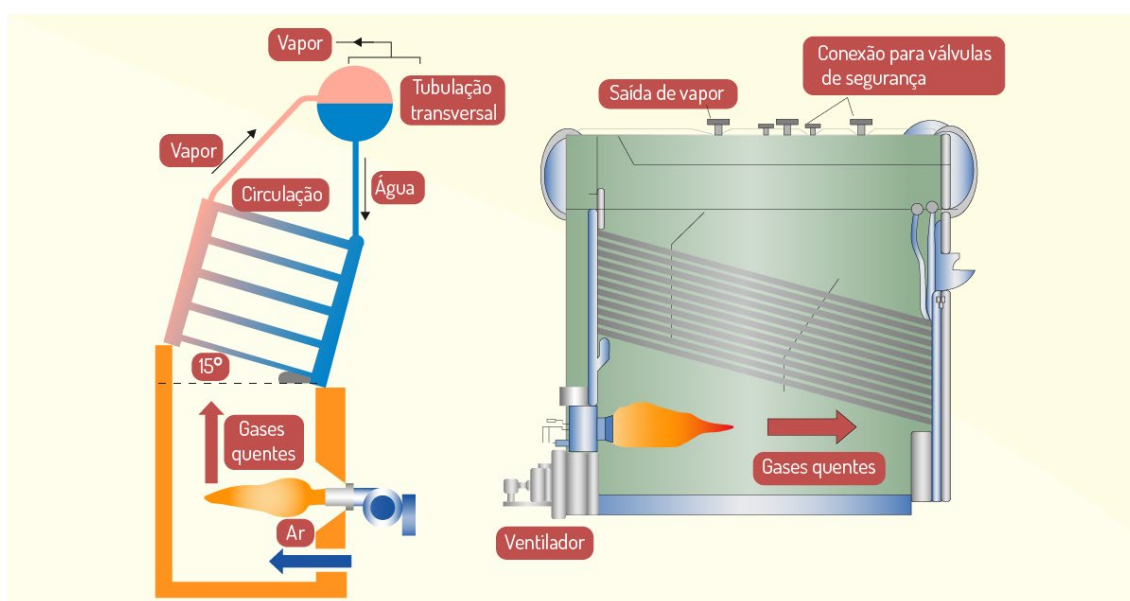


Figura 3.11 - Caldeira de tubos retos

Fonte: Adaptada de Pinto (2016, *on-line*).

- **Caldeiras de tubos curvos:** este tipo de caldeira foi desenvolvido, em 1880, por Alan Stirling. Interliga os tubos curvos aos tubulões por meio da soldagem. Hoje, este tipo de

caldeira teve o número de tambores reduzidos, visando à segurança, economia, e a não utilização de componentes de grande diâmetro. Conforme Martinelli (2002, p. 30),

As paredes de refratário representam um custo elevado das instalações por isto foram desenvolvidos estudos quanto a um melhor aproveitamento do calor irradiado, e a aplicação de paredes de água, por exemplo, veio eliminar o uso destes custosos refratários. Com o maior proveito do calor gerado, além de reduzir o tamanho da caldeira, promove-se uma vaporização mais rápida e aumenta-se a vida do revestimento das câmaras de combustão.

Este tipo de caldeira apresenta diversas vantagens, como: caldeira compacta, facilidade em realizar manutenção e limpeza e rápida vaporização.

A Figura 3.12 apresenta a caldeira de tubos curvos:

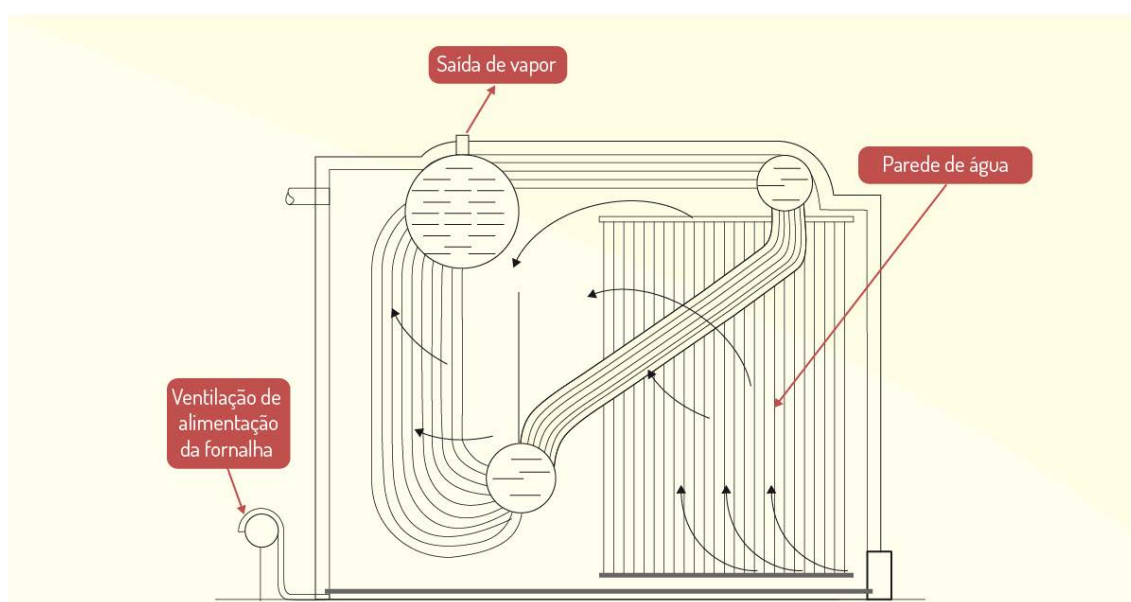


Figura 3.12 - Caldeira de tubos curvos

Fonte: Pinto (2016, *on-line*).

Neste capítulo, foi discutido o tópico caldeiras a vapor, sendo detalhados os tipos mais utilizados, na indústria, e o respectivo princípio de funcionamento de cada uma. Além disso, foi apresentado o tipo construtivo de diversos tipos de caldeiras e, por fim, a norma NR 13 que regulamenta a operação destes equipamentos.

FIQUE POR DENTRO

O material complementar disponibilizado no link a seguir é referente a uma dissertação de mestrado que trata da aplicação das caldeiras a vapor, em uma indústria química, e o impacto delas tanto em nível de periculosidade, quanto financeiro, caso não estejam em conformidade com a NR-13, pois esta trata das caldeiras, vasos de pressão e tubulações.

Consulte em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3818/1/CT_CEEST_XXVI_2014_24.pdf>

. Acesso em: 15 set. 2019.

REFLITA

Qual a importância do vapor gerado pelas caldeiras na indústria? Quais indústrias se beneficiam?

ATIVIDADES (Caldeiras)

- 1) A importância das caldeiras aquatubulares e flamotubulares para indústria é inquestionável. Quais as diferenças fundamentais entre essas tecnologias?
 - a) As caldeiras flamotubulares suportam altas pressões e, consequentemente, produzem grande quantidade de vapor.
 - b) As caldeiras aquatubulares têm como princípio intrínseco que a combustão dos gases gerados pela fornalha ocorre em torno dos tubos, enquanto a água que, posteriormente, é convertida em vapor passa no interior das tubulações.
 - c) A principal vantagem e diferença das caldeiras flamotubulares em relação às aquatubulares é o fato das flamotubulares apresentarem maior rendimento.
 - d) As caldeiras aquatubulares caracterizam-se pela passagem dos gases gerados pela combustão na fornalha pelo interior dos tubos.
 - e) As caldeiras aquatubulares operam com pressões limitadas devido aos fatores construtivos.

Turbinas a vapor

As primeiras turbinas a vapor foram inventadas por Carl Gustav de Laval, turbinas do tipo ação (impulso), e Charles Parsons, turbinas do tipo reação. A turbina a vapor é uma máquina de combustão externa (máquinas nas quais a combustão, ou processo de aquecimento do fluido de trabalho ocorre em um equipamento externo ao equipamento estudado) que converte energia térmica em energia mecânica. Caso este tipo de máquina seja interligado a um gerador, ocorre a transformação de energia mecânica em elétrica. Um fato importante a ser destacado é que “o fluido de trabalho que escoar no interior da máquina e realiza a conversão da energia do combustível em potência de eixo não entra em contato com os gases resultantes da queima do combustível” (OLIVEIRA, 2017, p. 12). As turbinas a vapor são bastante utilizadas em termelétricas para geração de eletricidade. As turbinas a vapor são constituídas por seis componentes principais, descritos a seguir.

- **Estatfor:** é um componente imóvel na turbina, sendo que este circunda o rotor, o qual transforma a energia do vapor recebida de uma caldeira em energia cinética por meio dos distribuidores.
- **Rotor:** é a parte móvel da turbina, sua função básica é converter a energia cinética do vapor em trabalho mecânico por meio dos receptores fixos. As pás deste componente obtêm energia cinética dos bocais de vapor, sendo assim, o vapor é alterado em direção e velocidade.
- **Expansor:** neste componente, a energia do vapor é convertida em energia cinética. É formado por bocais de vapor, com a função de conseguir uma distribuição apropriada de vapor.
- **Palhetas:** componentes divididos em palhetas móveis, fixadas no rotor, e palhetas fixas, fixadas no estator. A sua obrigação é direcionar o vapor para coroa de palhetas móveis seguinte. Conforme Leandro, Farias e Ribeiro (2015, p. 24), as “palhetas móveis têm a finalidade de receber o impacto do vapor proveniente dos expansores (palhetas fixas) para a movimentação do rotor.”
- **Carcaça:** é a base das partes imóveis da estrutura, como: diafragma e palhetas fixas.
- **Mancais:** componente responsável pela disposição axial do grupamento rotativo em comparação com as partes fixas da turbina a vapor, além da manutenção das folgas axiais.
- **Labirintos:** estes componentes consistem em anéis, geralmente, bipartidos e construídos no estator. Internamente, possuem diversas aletas circulares e têm uma folga mínima

entre o eixo e a borda das aletas. São responsáveis por reduzir o escape de vapor da turbina.

A Figura 3.13 apresenta uma turbina a vapor e seus principais dispositivos:

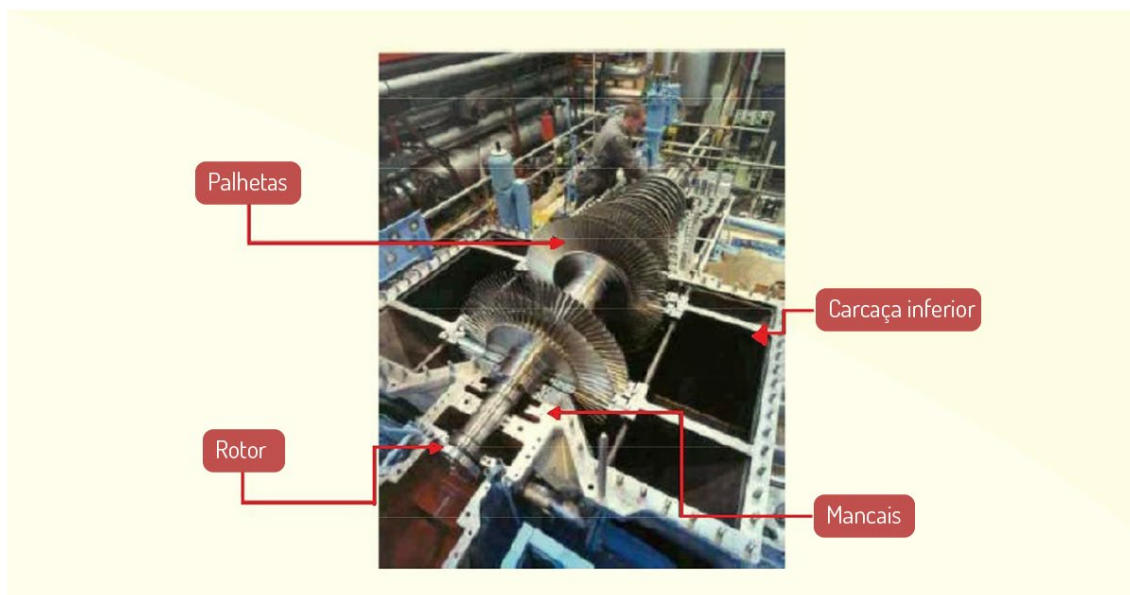


Figura 3.13 - Principais dispositivos de turbina a vapor

Fonte: Adaptada de Pires (2013, p. 38).

A Figura 3.14 apresenta o estator e o expansor que são partes fundamentais para o funcionamento de qualquer turbina a vapor.

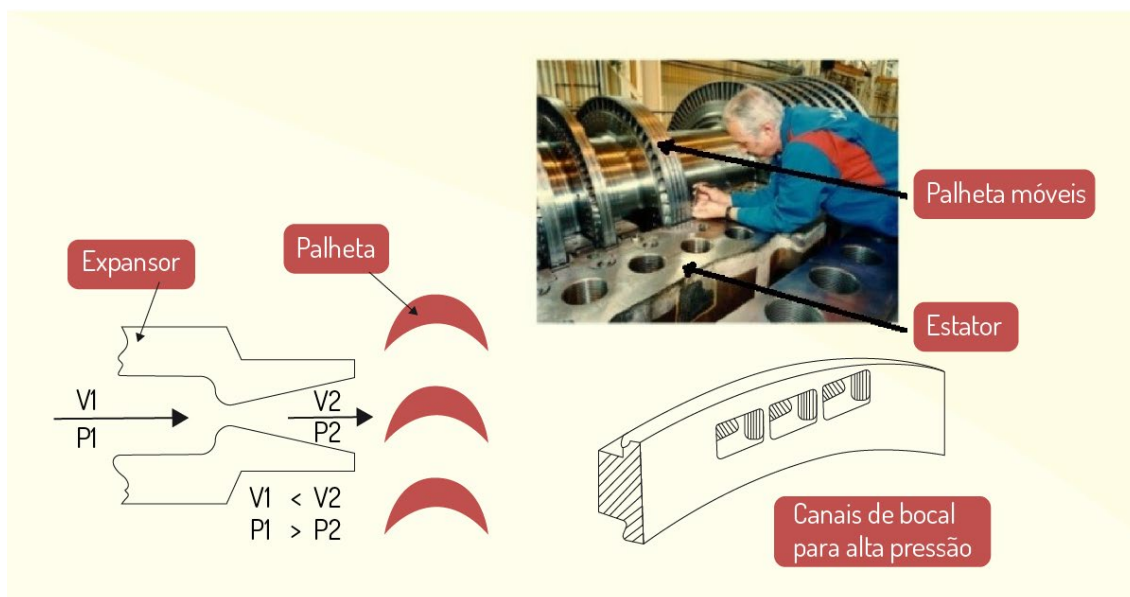


Figura 3.14 - Estator e expansor

Fonte: Ventura (2016, p. 8).

As Figuras 3.13 e 3.14 introduzem ao leitor as partes principais de uma turbina a vapor, tendo essas partes sido descritas, anteriormente, para uma melhor compreensão do conteúdo apresentado nos subcapítulos posteriores.

Tipos de turbinas a vapor

As turbinas a vapor são classificadas conforme o modo de atuação do vapor, assim, podem ser de **ação** (impulsão) ou de **reação**. Conforme Dutra (2017, p. 9) e considerando as turbinas de ação, “quando o vapor se expande somente nos órgãos fixos (pás diretrizes e bocais) e não nos órgãos móveis (pás o rotor). Portanto, a pressão é a mesma sobre os dois lados do rotor”. Já nas turbinas a vapor do tipo reação, o vapor também se expande no rotor, isto é, o vapor, na entrada do rotor, é superior à saída deste componente. A Figura 3.15 apresenta um esquema de funcionamento das turbinas de ação e reação.

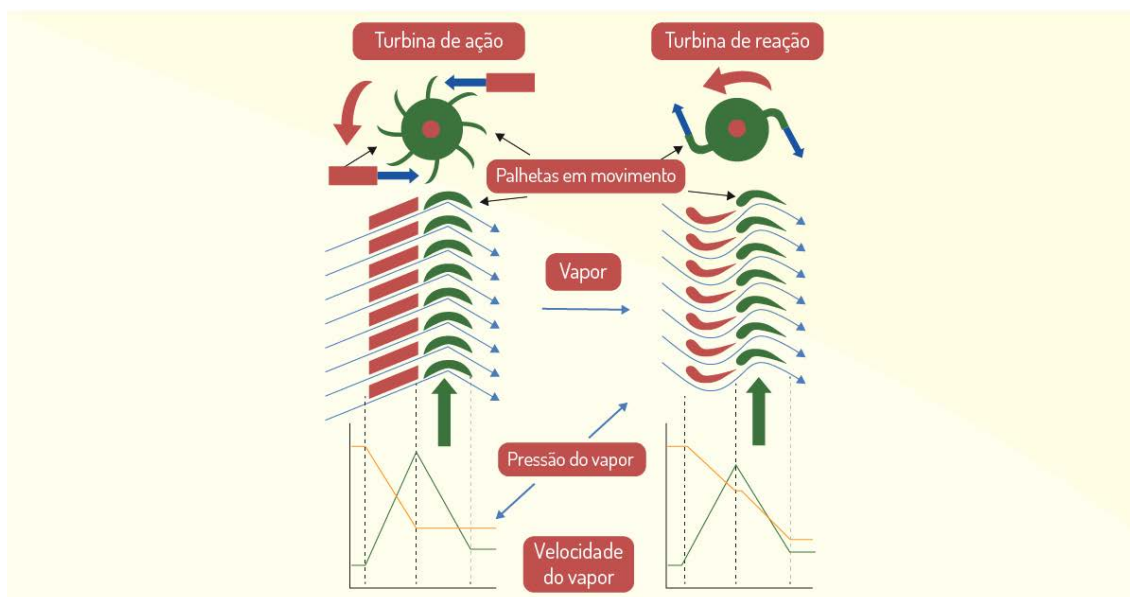


Figura 3.15 - Esquema de funcionamento das turbinas de ação e reação

Fonte: Adaptada de Dutra (2017, p. 9).

- Turbina de Laval:** este tipo de turbina a vapor é uma turbina de ação e possui um único estágio de pressão e velocidade. Conforme Dutra (2013, p. 10), “todo o ‘salto térmico’ ocorre neste estágio, sendo a transformação de entalpia em energia cinética feita nos bocais e a transformação de energia cinética em trabalho mecânico é realizado nas palhetas”. A Figura 3.16 apresenta a turbina a vapor de Laval.

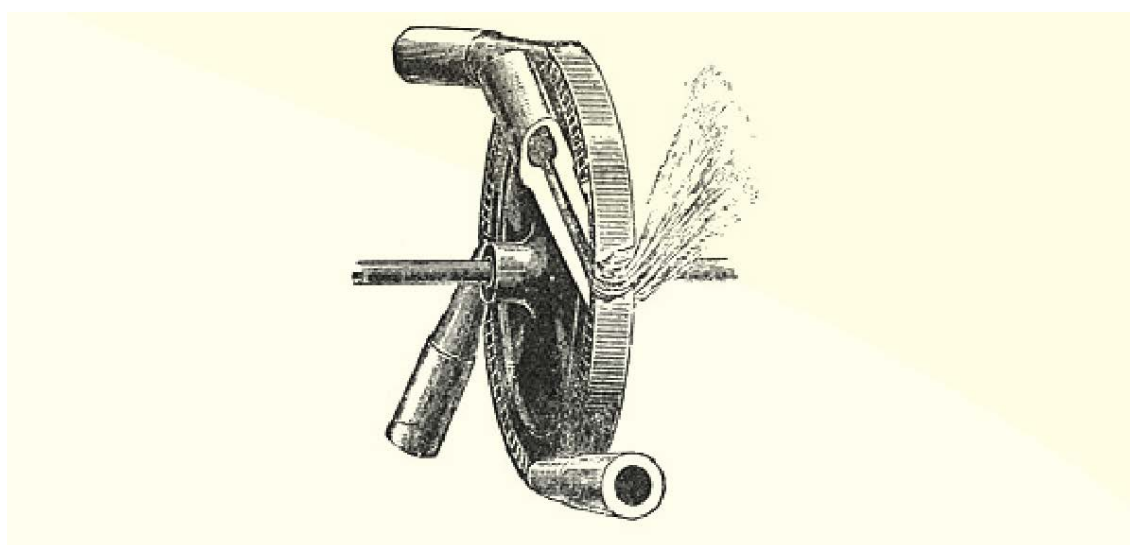


Figura 3.16 - Turbina de Laval

Fonte: Andy Dingley / Wikimedia Commons.

- **Turbina de Curtis:** este tipo de turbina a vapor é uma turbina de ação e, diferentemente da turbina de Laval, tem somente estágio único de pressão e diversos estágios de velocidade. Conforme Figura 3.15, em turbinas do tipo ação, ocorre a queda de pressão juntamente com o aumento da velocidade, ou seja, o vapor vai de encontro às pás do rotor, ocasionando o aumento da velocidade. O vapor recebido da caldeira se expande no bocal de entrada da turbina, convertendo energia térmica (entalpia) em energia cinética. A conversão da energia cinética em trabalho mecânico acontece nos diversos estágios de velocidade, sendo separados por palhetas fixas que têm por função mudar a orientação do escoamento do vapor, no entanto, pressão e velocidade permanecem constantes. Conforme Dutra (2017, p. 12),

Como, por todos os estágios, deve passar a mesma quantidade de vapor e a velocidade vai diminuindo, é necessário que, nas seções por onde passa, o diâmetro dos rotores sucessivos aumente. O principal inconveniente dos estágios de velocidade é que, devido às altas velocidades do vapor, aumentam consideravelmente as perdas por atrito, sobretudo se existirem muitos estágios. Esta é uma causa para que na prática, se adote um pequeno número de estágios.

Portanto, pode-se dizer que os estágios de velocidade são relevantes para turbinas a vapor que não sejam de alta potência. A Figura 3.17 apresenta a turbina de Curtis:

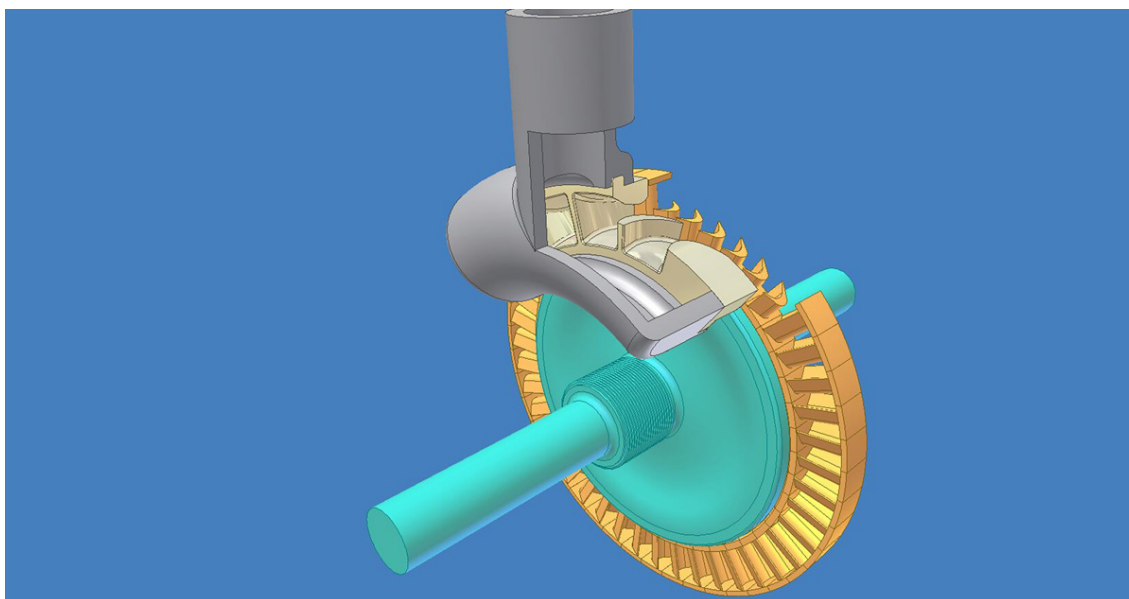


Figura 3.17 - Turbina de Curtis

Fonte: Kaboldy Péter / Wikimedia Commons.

- **Turbina de Rateau:** este tipo de turbina a vapor é uma turbina de reação com somente um estágio de velocidade e diversos de pressão. Esta turbina possui uma queda de pressão parcial, ou seja, tem-se várias turbinas montadas, no mesmo eixo, em sequência. Assim, são alternadas, continuamente, fileiras de pás com bocais e estas expandem o vapor, além de desviarem para a aplicação na fileira de pás subsequente. Conforme Roque (2019, p. 41),

A queda total de pressão entre a entrada e saída é subdividida em um certo número de quedas parciais, uma para cada estágio. Como o volume específico do vapor aumenta de um estágio para outro, as seções por onde o vapor passa devem ir aumentando sucessivamente. Como as diferenças de pressão utilizadas nos diferentes estágios são reduzidas, as velocidades adquiridas pelo vapor também são pequenas, de forma que as perdas por atrito serão pequenas, permitindo assim um maior número de estágios.

A Figura 3.18 apresenta a turbina de Rateau:

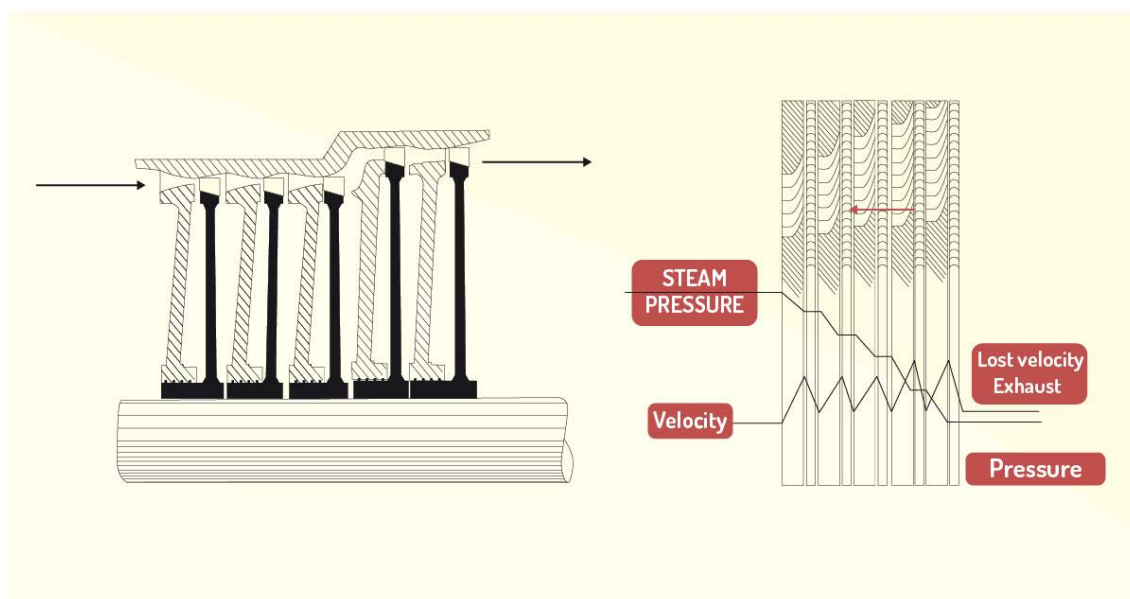


Figura 3.18 - Turbina de Rateau

Fonte: Andy Dingley / Wikimedia Commons.

- **Turbina de Curtis-Rateau:** este tipo de turbina a vapor tem como princípio de funcionamento conseguir velocidades de palhetas adequadas para obtenção de maiores

eficiências. Isso é conseguido por meio de uma combinação dos estágios Curtis (queda de velocidade) e estágio Rateau (queda de pressão). Conforme Dutra (2017, p. 17), “a pressão não cai nos estágios fixos ou nos móveis, e sim nos expansores (escalonadores de pressão) e a velocidade cai conforme uma turbina Curtis entre os expansores”. A Figura 3.19 apresenta a turbina de Curtis-Rateau.

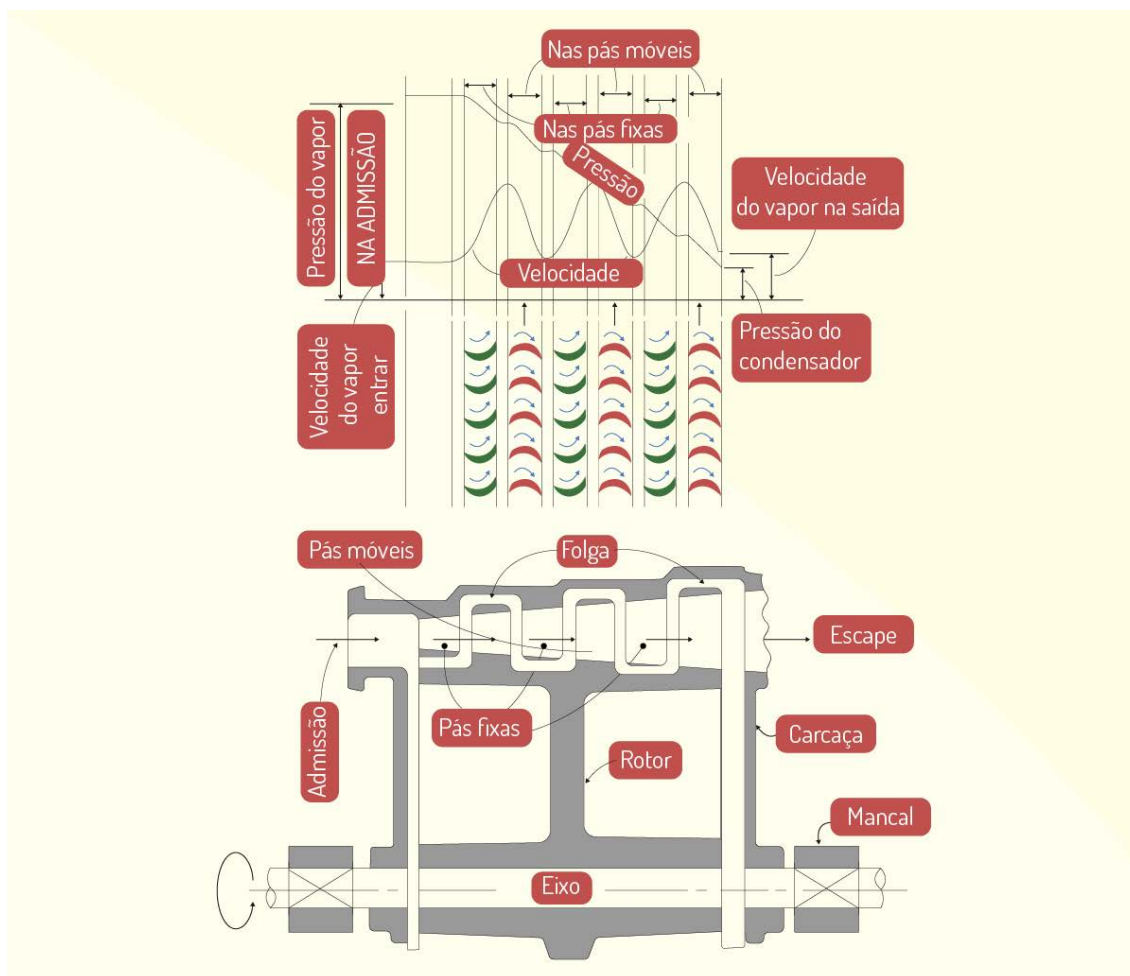


Figura 3.19 - Turbina de Curtis-Rateau

Fonte: Enunciados... (2010, *on-line*).

- **Turbina Parsons:** este tipo de turbina a vapor é formado por diversos estágios de reação, isso ocasiona um escalonamento de pressão por meio das fileiras de palhetas fixas e móveis consecutivas. É importante salientar que a diminuição de pressão a cada fila de palhetas é reduzida, acarretando baixas velocidades do vapor em cada estágio. Segundo Roque (2019, p. 42),

Conforme o vapor sofre expansão, seu volume específico cresce, motivo pelo qual as fileiras sucessivas das palhetas possuem dimensões amplificadas gradativamente. No entanto, pelo fato de o volume específico do vapor nos estágios de alta pressão ser pequeno, as palhetas necessitam ser menores, provocando uma queda considerável no rendimento total da turbina. Assim sendo, não se utiliza turbinas de reação como turbinas de alta pressão.

A Figura 3.20 apresenta uma turbina a vapor Parsons:

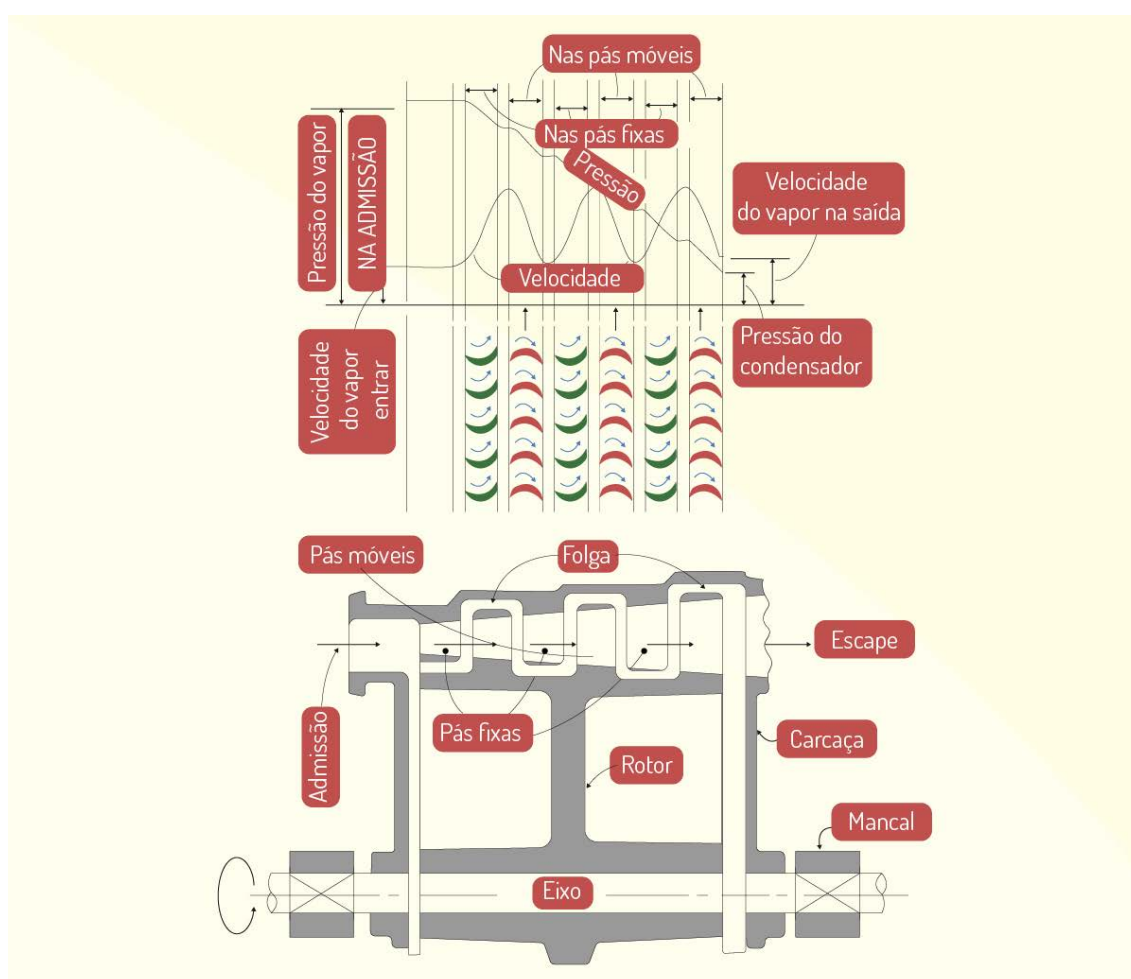


Figura 3.20 - Turbina Parsons

Fonte: Dutra (2017, p. 14).

Neste subcapítulo, foram apresentados os principais tipos de turbinas a vapor e o princípio de funcionamento de cada uma delas, sendo consideradas as turbinas de ação e reação.

Turbinas de contrapressão e de condensação

As turbinas a vapor são classificadas como de ação e reação, podem ser chamadas de tipo 1, e as de contrapressão (não-condensação) e condensação podem ser chamadas de tipo 2. Logo, uma turbina de contrapressão pode ser de ação e uma de condensação pode ser de reação, por exemplo. As turbinas do tipo 2 são classificadas quanto à pressão do vapor na exaustão.

Conforme Moraes (2015, p. 20), “as turbinas de contrapressão liberam além da energia mecânica, vapor para o processo a ser utilizado na indústria. As de condensação possuem em sua base um condensador que transforma o vapor de saída em água condensada. Esta água é devolvida à caldeira para ser reutilizada no processo”. A Figura 3.21 apresenta uma turbina de contrapressão de múltiplos estágios.

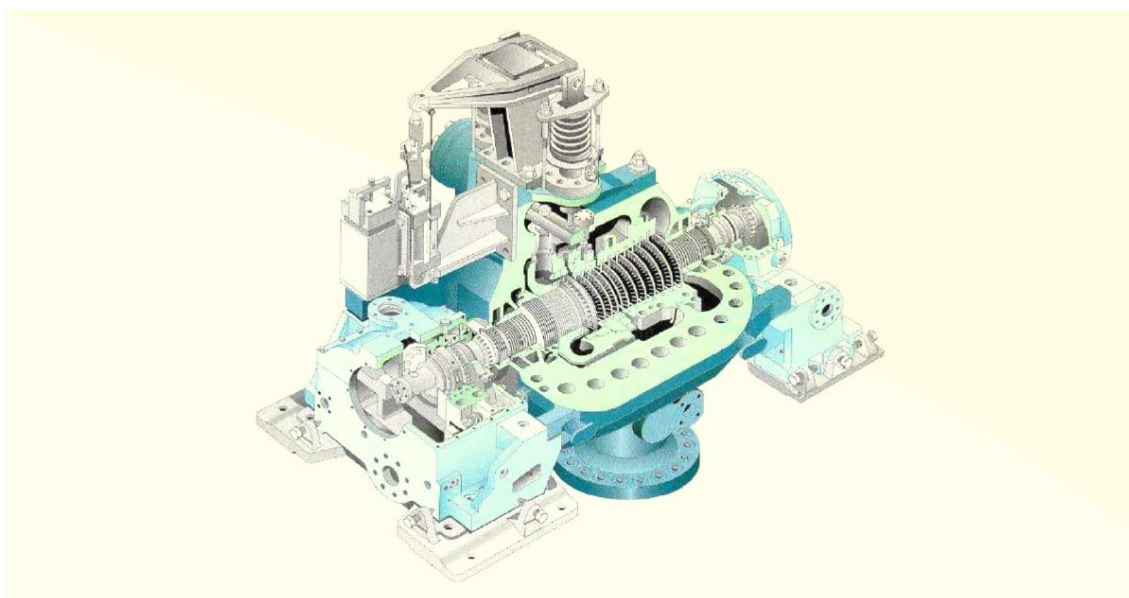


Figura 3.21 - Turbina de contrapressão de múltiplos estágios

Fonte: Carneiro (2012, p. 26).

A turbina a vapor de contrapressão possui as seguintes variações:

- **turbina de contrapressão de fluxo direto:** este tipo de turbina tem o vapor de descarga (escape) com pressão acima da pressão atmosférica e pode ser utilizado na indústria.
- **turbina de contrapressão com sangria:** conforme Oliveira (2017, p. 17), “a turbina de contrapressão com sangria fornece parte do fluxo de vapor para um consumidor externo, uma vez que o volume de vapor de extração é menor que o de escape”.

- **turbina de contrapressão com extração controlada:** conforme Oliveira (2017, p. 17), “já a de contrapressão com extração controlada é similar à com sangria, contudo, é utilizada quando o fluxo de vapor de extração é consideravelmente elevado se comparado com o de escape e tem-se variação na demanda no vapor extraído”.
- **turbina de condensação:** conforme Moraes (2007, p. 23), “as turbinas do tipo condensação possuem grandes áreas anulares na seção de exaustão, onde o vapor é expandido para baixas pressões (abaixo da pressão atmosférica), extraíndo o máximo de energia possível antes de ser descarregado (exaurido) para o condensador”. A Figura 3.22 apresenta uma turbina de condensação de múltiplos estágios.

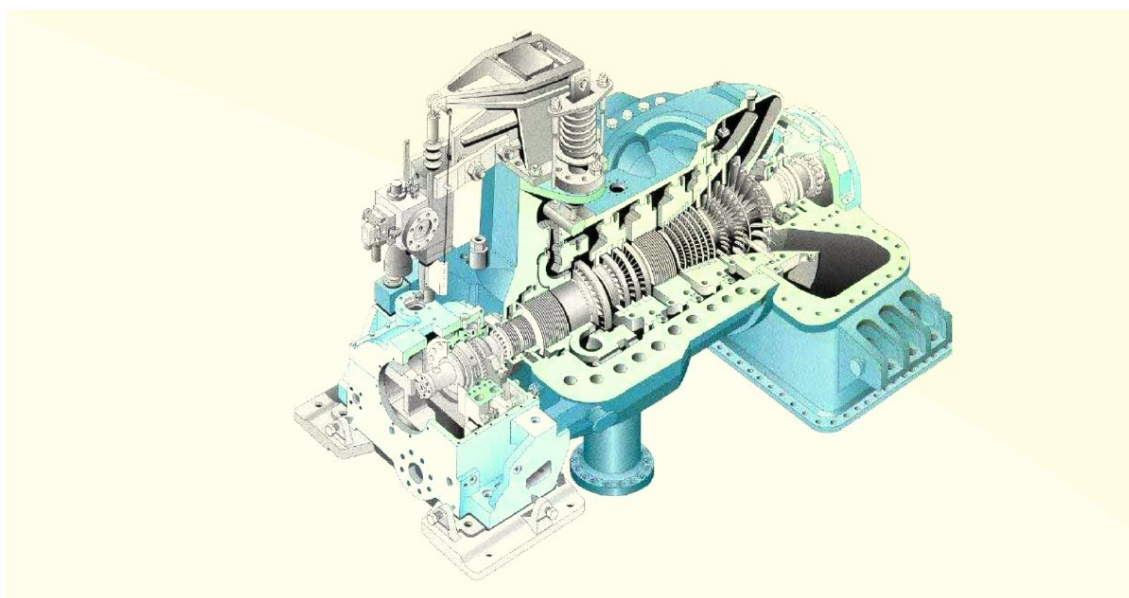


Figura 3.22 - Turbina de condensação de múltiplos estágios

Fonte: Carneiro (2012, p. 27).

É importante salientar que as últimas palhetas (palhetas maiores à direita) são as causadoras da diminuição significativa da pressão de vapor, no interior da carcaça da turbina.

Dentre as turbinas a vapor de condensação, há três variações:

- **Turbina de condensação de fluxo direto:** este tipo de turbina tem o vapor de descarga orientado ao condensador, no qual o vapor é condensado a uma pressão menor que a pressão atmosférica. Este fato permite que o vapor seja aplicado à caldeira, novamente. A baixa pressão resulta em um enorme volume de vapor, requerendo uma grande área de exaustão para minimizar as perdas de energia no processo de exaustão.

- **Turbina de condensação com extração:** este tipo de turbina, conforme Oliveira (2017, p. 17), “apresenta condensador onde ocorre o escape do vapor na condição de vácuo, e há a possibilidade de extrair vapor em quantidades variáveis sob pressão constante”.
- **Turbina de condensação com reaquecimento:** este tipo de turbina tem o seguinte princípio de funcionamento: o vapor transmite trabalho na fase de alta pressão e volta para caldeira para reaquecimento, ou seja, retorna à fase de menor pressão.

ATIVIDADES (Turbina a vapor)

- 2) A turbina a vapor é uma máquina térmica que utiliza o vapor sob pressão, sendo este produzido por uma caldeira. Em relação às turbinas a vapor, é correto afirmar que:
- a) o rotor é a parte móvel da turbina, sendo sua função básica converter a energia do vapor em energia cinética.
 - b) a turbina a vapor é uma máquina de combustão externa que transforma energia mecânica em energia elétrica.
 - c) a turbina a vapor de Curtis é do tipo reação e possui somente um estágio de pressão e velocidade, semelhante à turbina a vapor de Laval.
 - d) a turbina a vapor de Rateau é do tipo reação e possui diversos estágios de velocidade e de pressão.
 - e) as turbinas de condensação liberam além de energia mecânica, vapor para o processo a ser utilizado na indústria.

Funcionamento de motores de combustão interna - Ciclo Otto

O motor de combustão interna é uma das grandes descobertas do século XIX, pois suas aplicações são as mais diversas, até os dias de hoje. Conforme Martins (2006, p. 28), “o motor de combustão interna tem como principal utilização ser fonte de potência para locomoção de veículos, como: carros, motos, caminhões, locomotivas, aviões e afins. Pode também ser usado em aplicações para geração de eletricidade, por exemplo”.

Os motores de combustão interna são identificados, considerando o tipo do seu ciclo de funcionamento e podem ser de dois tipos: ciclo Otto e ciclo Diesel. Conforme Varella e Santos (2010, p. 5),

O ciclo de funcionamento é o conjunto de transformações na massa gasosa que ocorre no interior dos cilindros, desde sua admissão, até a eliminação para o meio ambiente. Ambos os ciclos podem ser completados em dois ou quatro cursos do pistão. Quando o motor completa o ciclo em dois cursos do pistão é chamado de motor de dois tempos e quando completa o ciclo em quatro cursos é chamado motor de quatro tempos.

Neste tópico, é discutido o ciclo Otto. O engenheiro e inventor alemão, Nikolaus August Otto, idealizou e construiu o primeiro motor de quatro tempos e definiu o ciclo teórico, ao qual este motor de combustão interna obedece. A Figura 3.23 apresenta as fases do ciclo Otto.

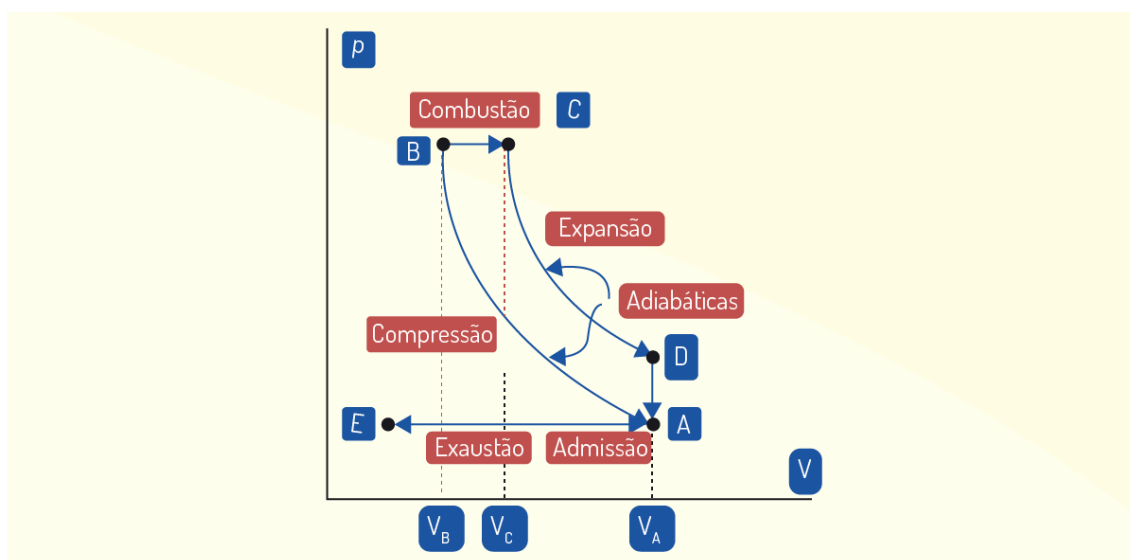


Figura 3.23 - Ciclo Otto teórico

Fonte: Gonfer / Wikimedia Commons.

Motor de combustão interna - principais componentes

Antes de iniciar o estudo das fases do motor de combustão interna, apresentar-se-á as suas principais partes.

- **Bloco:** este é componente base de um motor, sendo a maior parte do conjunto, pois serve como apoio para as demais partes. Geralmente, são fabricados de ferro fundido ou alumínio, no entanto, pode haver variações, por adição de outros materiais.
- **Cabeçote:** este componente comanda a passagem de ar e combustível para o interior dos cilindros, sendo que é posicionado, na parte superior do bloco. A fixação necessária entre cabeçote e bloco é feita por meio de parafusos. Geralmente, é composto do mesmo material do bloco.
- **Cárter:** este componente tem por função ser um depósito para o óleo lubrificante do motor, sendo localizado, na parte inferior do bloco. Geralmente, é construído com chapa dura prensada.
- **Biela:** este componente efetua a conexão entre pistão e virabrequim. Geralmente, é construído de aço forjado. Conforme Luz (2013, p. 8), “a biela é dividida em três partes: cabeça, corpo e pé. A cabeça é presa ao pistão pelo pino e o pé está ligado ao virabrequim através de um material antifricção, chamado casquilho ou bronzina”.
- **Virabrequim:** este componente é feito, geralmente, de aço forjado ou fundido. Este é constituído por duas variações de mancais: os chamados ‘excêntricos’, que são conectados às bielas e os de ‘centro’, que apoiam o virabrequim ao bloco. A Figura 3.24 apresenta um motor a combustão interna e suas principais partes.

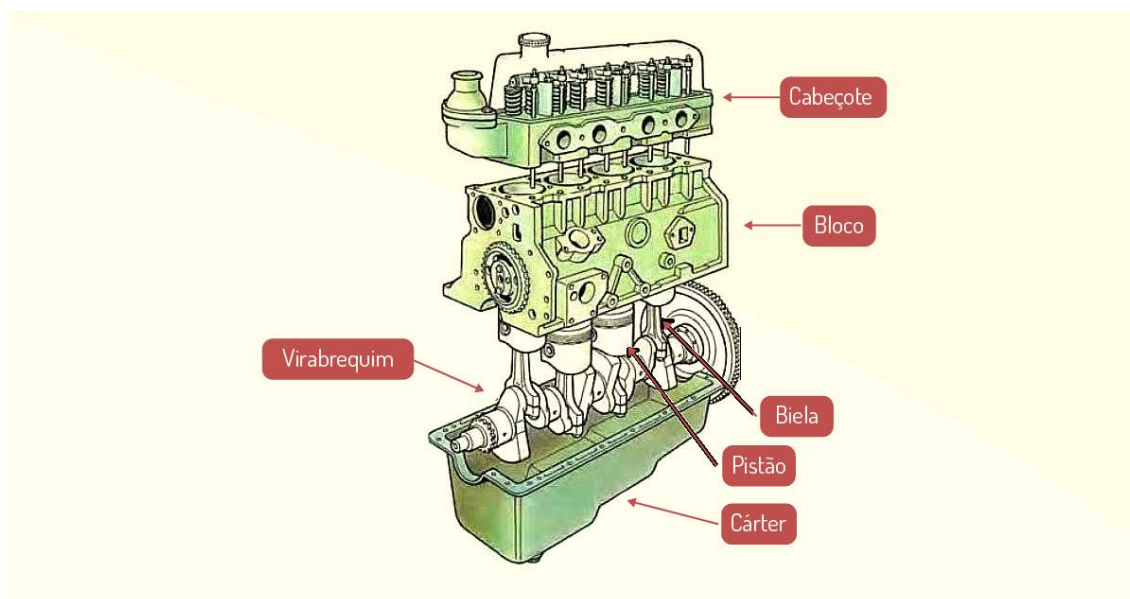


Figura 3.24 - Motor a combustão interna e suas principais partes

Fonte: Adaptada de Becker (2017, p. 13).

O motor a combustão interna é uma tecnologia largamente utilizada, atualmente, sendo necessário o leitor conhecer as suas principais partes e componentes para uma melhor compreensão dos assuntos apresentados na sequência.

Além dos componentes citados, é apresentado, na sequência, um cilindro em corte, indicando componentes, como: vela, pistão e as válvulas.

- **Vela:** este componente é característico dos motores a combustão interna que funcionam sob o ciclo Otto. A vela é responsável por criar uma centelha, esta centelha proporciona uma situação que gera o processo de combustão, ou seja, a queima da mistura de ar e combustível, no interior da câmara de combustão.
- **Pistão:** este componente desloca-se, continuamente, gerando o movimento de expansão e compressão dos gases dentro do cilindro. É importante salientar que o movimento de ‘sobe’ e ‘desce’ do pistão dentro do cilindro está, diretamente, ligado ao ponto morto inferior (PMI) e o ponto morto superior (PMS). A Figura 3.25 apresenta um pistão, indicando o seu respectivo curso e os pontos PMI e PMS.

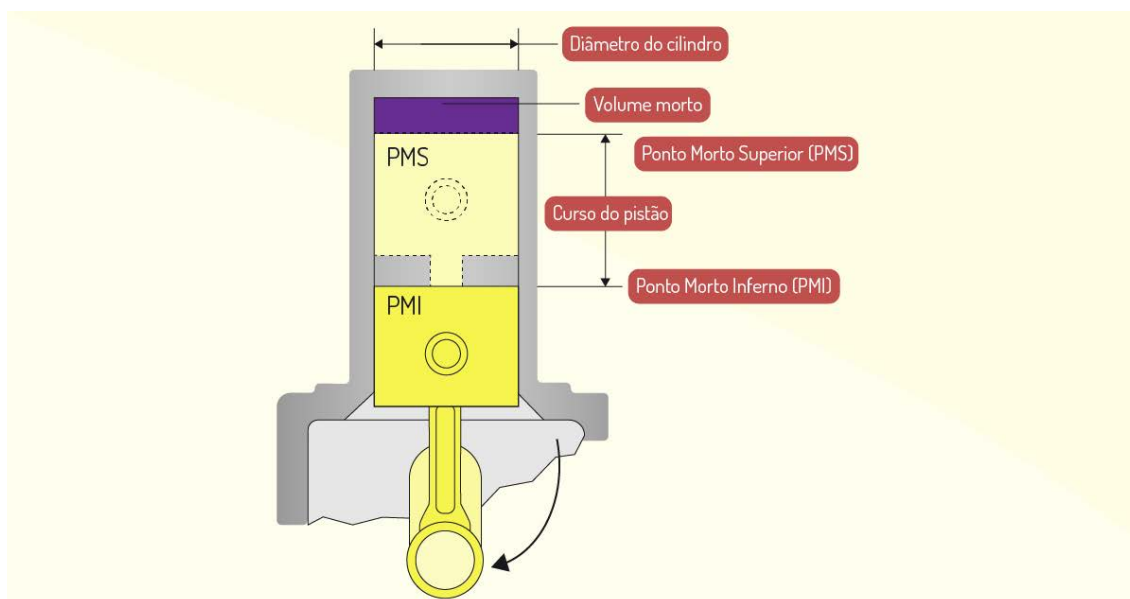


Figura 3.25 - Curso pistão - PMI e PMS

Fonte: Bastiani (2019, *on-line*).

- O PMI consiste no deslocamento máximo que o pistão consegue, ao movimentar-se de forma descendente dentro do cilindro. Já o PMS consiste no deslocamento máximo que o pistão consegue, ao movimentar-se de forma ascendente dentro do cilindro. Este componente é construído com ligas de alumínio e seu formato é, praticamente, cilíndrico.
- **Válvulas:** este componente é dividido em válvulas de admissão e de escape, são comandadas por um sistema de controle que define, quando elas devem ser acionadas. Conforme Luz (2013, p. 9), “o movimento do virabrequim é transmitido para o eixo de comando de válvulas por meio de engrenagens. O eixo de comando de válvulas liga-se por uma vareta ao eixo dos balancins. Este, por sua vez, é que acionará as válvulas”.

O ato de abrir e fechar das válvulas relaciona-se, diretamente, com o deslocamento do pistão e com o ponto de injeção, permitindo o funcionamento adequado do motor. A Figura 3.26 apresenta um cilindro em corte e seus respectivos componentes.

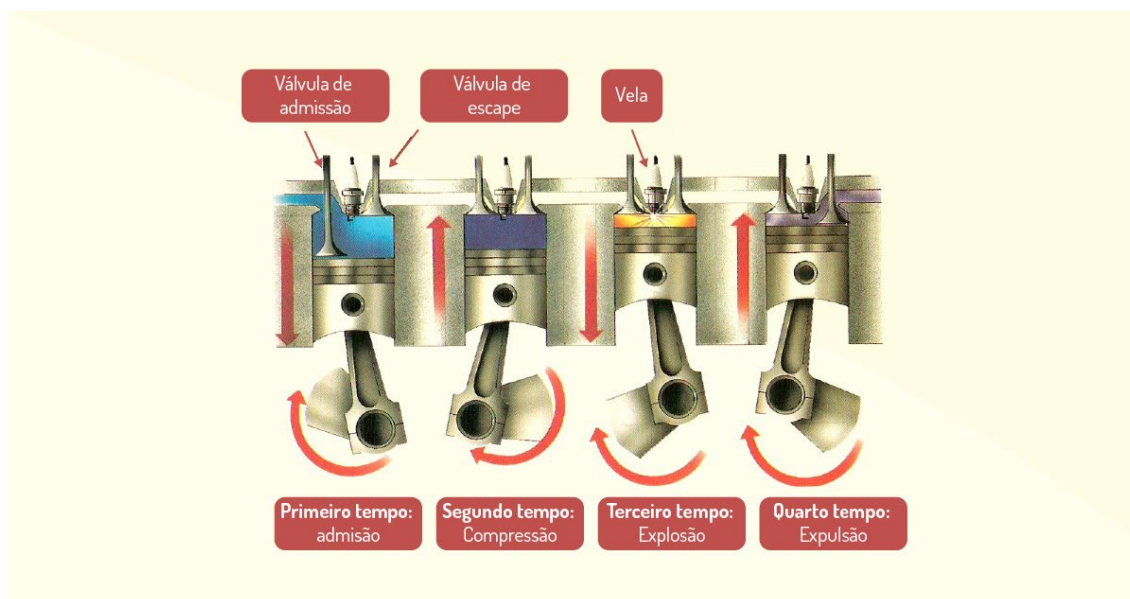


Figura 3.26 - Vela, válvulas e pistão

Fonte: Adaptada de Mecânica... (on-line).

A Figura 3.26 apresenta um cilindro em corte, este se faz necessário para uma melhor compreensão do leitor das partes integrantes do motor de combustão interna.

Na sequência, são descritas as fases do ciclo Otto, considerando o motor de quatro tempos e retratando o funcionamento de um motor, frequentemente, usado com combustíveis padrão (gasolina e álcool).

1ª Fase - Admissão

Esta fase, também chamada de primeiro tempo, é designada como admissão. Conforme Schulz (2009, p. 1), “nesta etapa a válvula de admissão permite a entrada, na câmara de combustão, de uma mistura de ar e combustível enquanto o pistão se move de forma a aumentar o espaço no interior da câmara”.

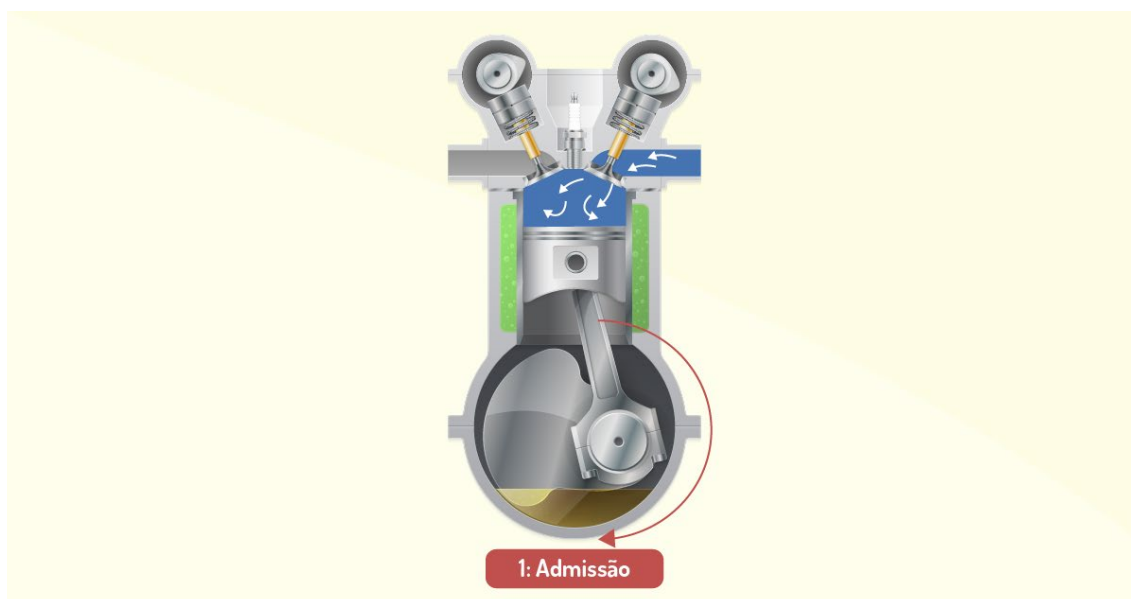


Figura 3.27 - Etapa de admissão

Fonte: Motor... (*on-line*).

Basicamente, pode-se dizer que a válvula de admissão é aberta e a válvula de exaustão é fechada, assim, é permitida a entrada de uma combinação de vapor de gasolina e ar no interior do cilindro. A Figura 3.27 apresenta a fase de admissão.

2ª Fase - Compressão

Esta fase também é chamada de segundo tempo, é designada como compressão. Conforme Schulz (2009, p. 1), “o pistão se move de forma a comprimir a mistura, fazendo seu volume diminuir. Nesta fase do ciclo ocorre uma compressão adiabática e em seguida a máquina térmica recebe calor numa transformação isocórica”.

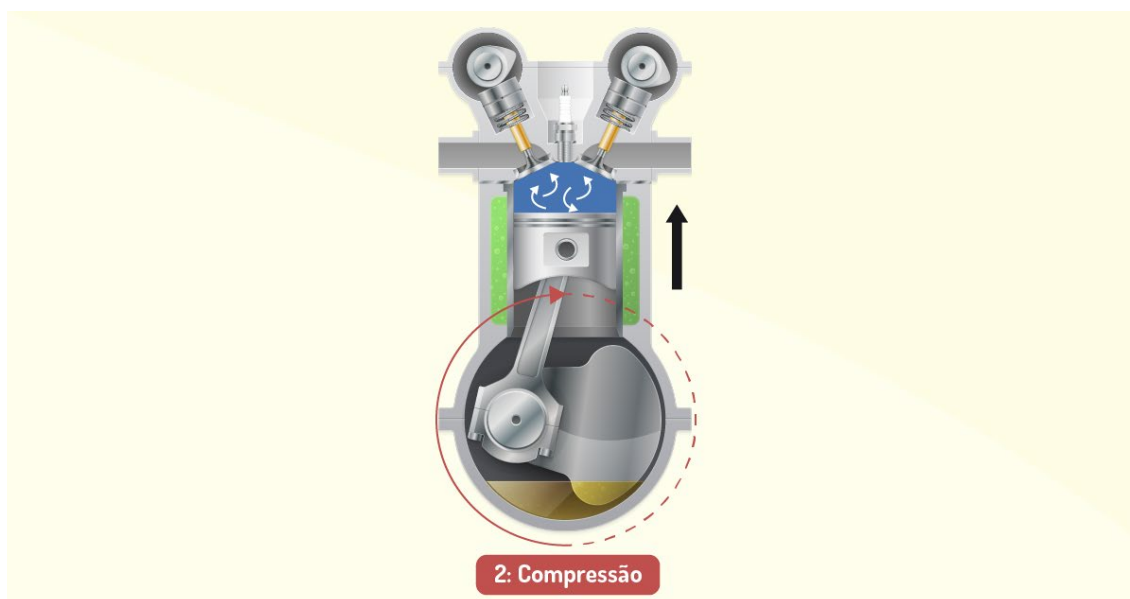


Figura 3.28 - Etapa de compressão

Fonte: Motor... (2007, *on-line*).

Basicamente, pode-se dizer que as válvulas de admissão e exaustão encontram-se fechadas, logo, a combinação de vapor de gasolina e ar, no interior do cilindro, é comprimida por meio do movimento do pistão, em direção às válvulas. A Figura 3.28 apresenta a fase de compressão.

3ª Fase - Explosão

Esta fase também é chamada de terceiro tempo, é designada como explosão. Conforme Schulz (2009, p. 2), “no término da compressão um dispositivo elétrico (vela) gera uma centelha que ocasiona a explosão da mistura ocasionando sua expansão”. A Figura 3.29 apresenta a fase de explosão.

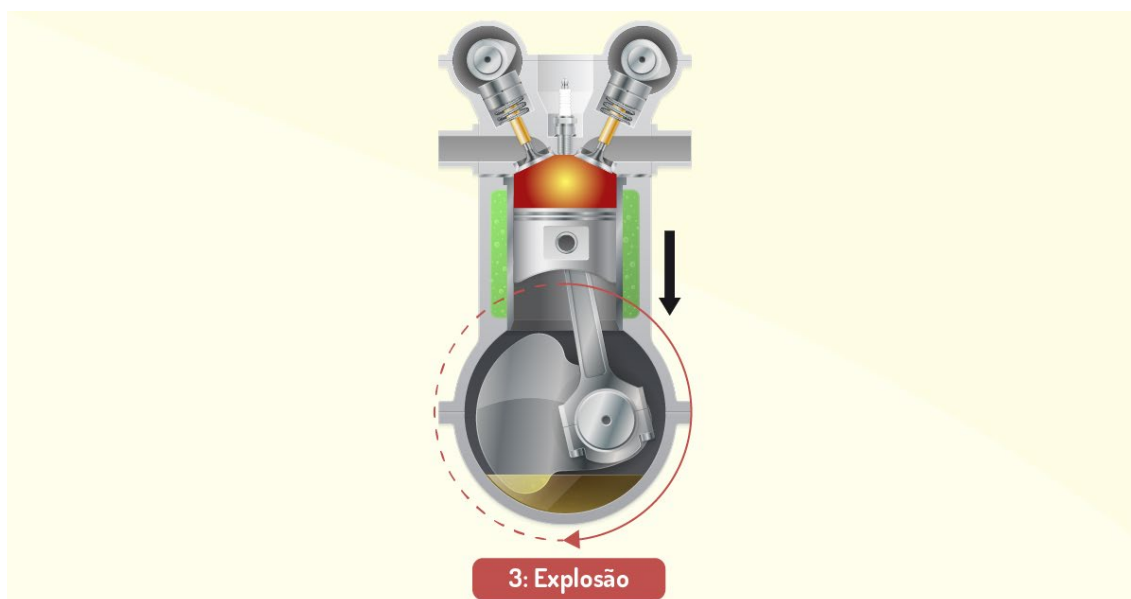


Figura 3.29 - Etapa de explosão

Fonte: Motor... (on-line).

Basicamente, pode-se dizer que, nesta fase, ocorre a explosão da mistura que se encontrava, no interior do cilindro, por meio de faísca gerada por uma vela, isto acarreta a expansão dos gases, no interior do cilindro, empurrando o pistão de forma descendente (em oposição às válvulas), gerando trabalho.

4ª Fase - Exaustão

Esta fase também é chamada de quarto tempo, é designada como exaustão. Conforme Schulz (2009, p. 2), “a válvula de saída abre e permite a exaustão do gás queimado na explosão. A expansão adiabática leva a máquina ao próximo estado, onde ela perde calor e retorna ao seu estado inicial, onde o ciclo reinicia”. A Figura 3.30 apresenta a fase de explosão.



Figura 3.30 - Etapa de exaustão

Fonte: Motor... (2007, *on-line*).

Basicamente, pode-se dizer que, nesta fase, a válvula de admissão encontra-se fechada e a válvula de exaustão está aberta, assim, os gases resultantes da explosão são liberados para o meio ambiente.

Foi apresentado, nos subtópicos anteriores, as fases do ciclo Otto para um motor de quatro tempos. No entanto, existem os motores do ciclo Otto de dois tempos. Como o próprio nome já diz, estes motores recebem essa nomenclatura por realizar seu ciclo de funcionamento em duas fases, ou seja, dois cursos de pistão. Conforme Varella e Santos (2010, p. 4), “A lubrificação do motor é feita através da mistura de óleo lubrificante no combustível. Não possuem sistema de válvulas sendo a admissão feita em duas etapas: primeiro no cárter e depois no cilindro”. A Figura 3.31 apresenta o motor correspondente ao ciclo de Otto de dois tempos.

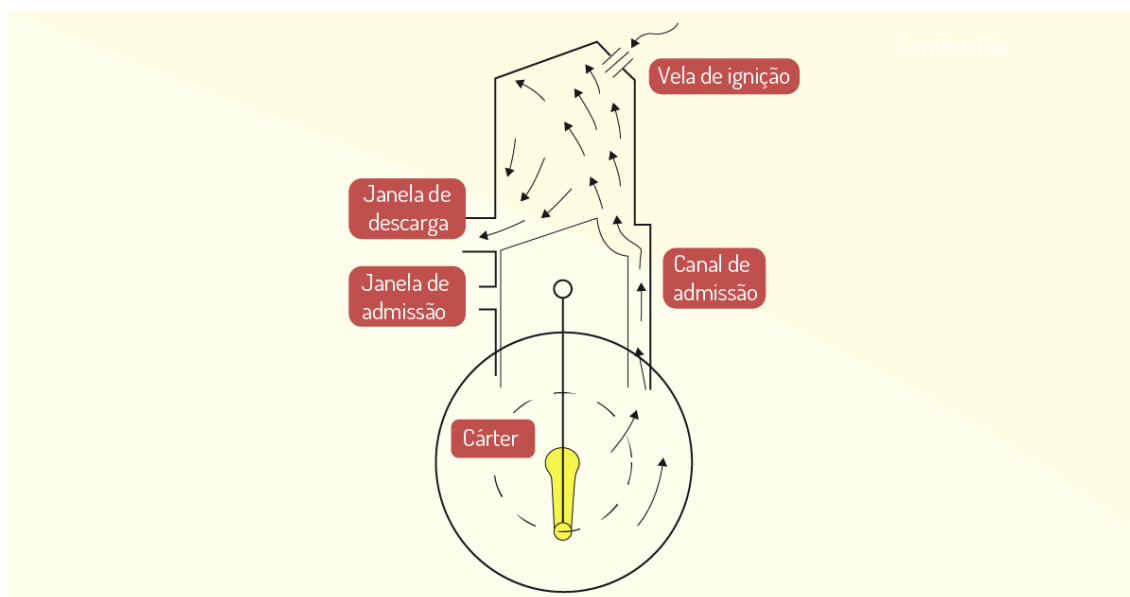


Figura 3.31 - Motor correspondente ao ciclo de Otto de dois tempos

Fonte: Varela (*on-line*).

Na sequência, são apresentadas as duas fases do ciclo de Otto, considerando os motores de dois tempos.

- **Fase 1:** conforme Varela (*on-line*), “O pistão se desloca do ponto morto inferior para o ponto morto superior. No primeiro curso ocorre a compressão e a admissão no cárter através da janela de admissão”. A Figura 3.32 apresenta a primeira fase do ciclo Otto para o motor de dois tempos.

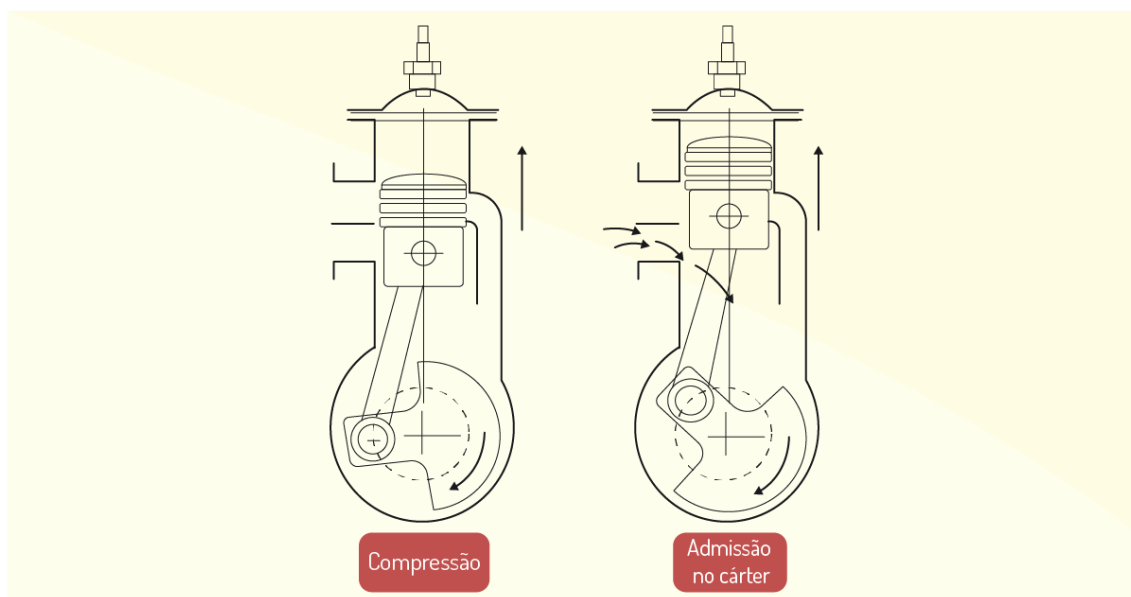


Figura 3.32 - Primeira fase do ciclo Otto para o motor de dois tempos

Fonte: Varella (*on-line*).

Fase 2: na segunda e última fase do ciclo Otto para o motor de dois tempos, o pistão move-se do ponto morto superior para o ponto morto inferior. Nesta etapa do ciclo, conforme Varella (*on-line*), “ocorre a expansão, a admissão da mistura no cilindro e a descarga dos resíduos da combustão. A renovação da mistura é chamada de lavagem do cilindro, ou seja, a mistura nova que estava no cárter é admitida no cilindro e expulsa os resíduos da combustão”. A Figura 3.33 apresenta a segunda fase do ciclo Otto para o motor de dois tempos.

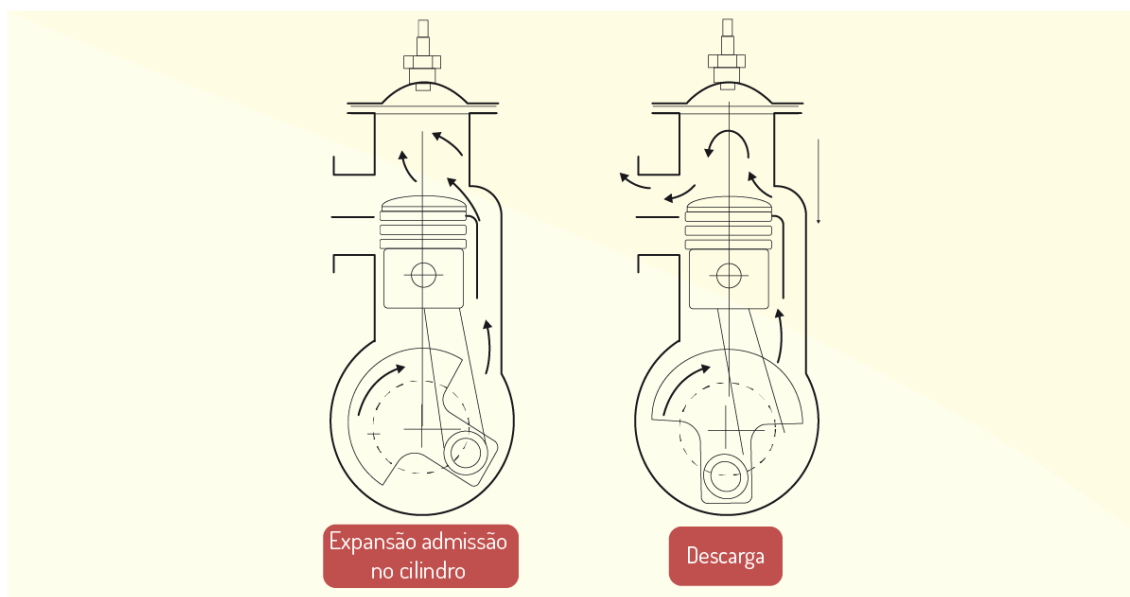


Figura 3.33 - Segunda fase do ciclo Otto para o motor de dois tempos

Fonte: Varella (*on-line*).

O motor de dois tempos tem como característica fundamental de funcionamento o deslocamento do pistão do PMI ao PMS, duas vezes, ou seja, uma volta completa em torno do eixo. Já o motor de quatro tempos tem como característica fundamental o deslocamento do pistão do PMI ao PMS, quatro vezes, isto é, duas voltas completas em torno do seu eixo. É importante observar que, no motor de quatro tempos, é regra utilizar válvulas, para controlar a entrada e saída de fluidos, já no motor de dois tempos, não é necessário o uso de válvulas, considerando pequenos motores.

Neste capítulo, foi discutido o ciclo de Otto para os motores de dois e quatro tempos, desde sua concepção, detalhamento das fases do ciclo de Otto. Além das diversas utilizações que este modelo apresenta, nos dias atuais, mostrando sua importância, principalmente, para a indústria de transportes, em geral, não somente a automotiva.

ATIVIDADES (Funcionamento de motores de combustão interna - Ciclo Otto)

- 3) O motor de combustão interna tem como princípio básico a transformação de energia térmica (queima do combustível) em energia mecânica (movimento do pistão). Em relação a estes motores, considerando o ciclo Otto, assinale a alternativa correta.
- a) Na etapa de compressão, que é a primeira etapa do ciclo Otto, tem-se que ambas as válvulas estão fechadas.
 - b) Nos motores de combustão interna do tipo ciclo Otto, a etapa de admissão permite a entrada de uma mistura ar-combustível na câmara de combustão.
 - c) Na etapa de exaustão, ambas as válvulas encontram-se fechadas, para não permitir a saída dos resquícios gerados na explosão (combustão) para o meio ambiente.
 - d) Nos motores a Diesel, a fase de combustão acontece devido à geração de uma centelha por um dispositivo elétrico que proporciona a explosão da mistura, gerando uma expansão.
 - e) Nos motores do tipo ciclo Otto de dois tempos, tem-se somente a válvula de admissão, realizada em duas etapas.

Funcionamento de motores de combustão interna - Ciclo Diesel

O engenheiro alemão Rudolf Diesel criou o motor a diesel, tendo recebido a patente em 1893. Este sistema mecânico é um dos mais importantes da história. O motor caracteriza-se por realizar a combustão pelo aumento da temperatura ao comprimir o ar dentro do cilindro.

Uma das principais vantagens do motor a diesel em relação aos motores de ciclo de Otto é a parcela de poluentes gerada em seu ciclo de funcionamento, todavia, o investimento, neste tipo de motor, é maior. Conforme Martins (2006, p. 30),

No que respeita aos gases poluentes produzidos, trata-se de um motor menos poluente que o a gasolina, mas o facto de produzir partículas (fumo) e os NOx não poderem ser eliminados eficazmente por sistemas catalíticos no escape, têm obrigado a grandes investimentos em desenvolvimento (muito superiores ao motor a gasolina) de modo a ajustar-se às exigentes legislações de anti-poluição.

A Figura 3.34 apresenta as fases do ciclo diesel.

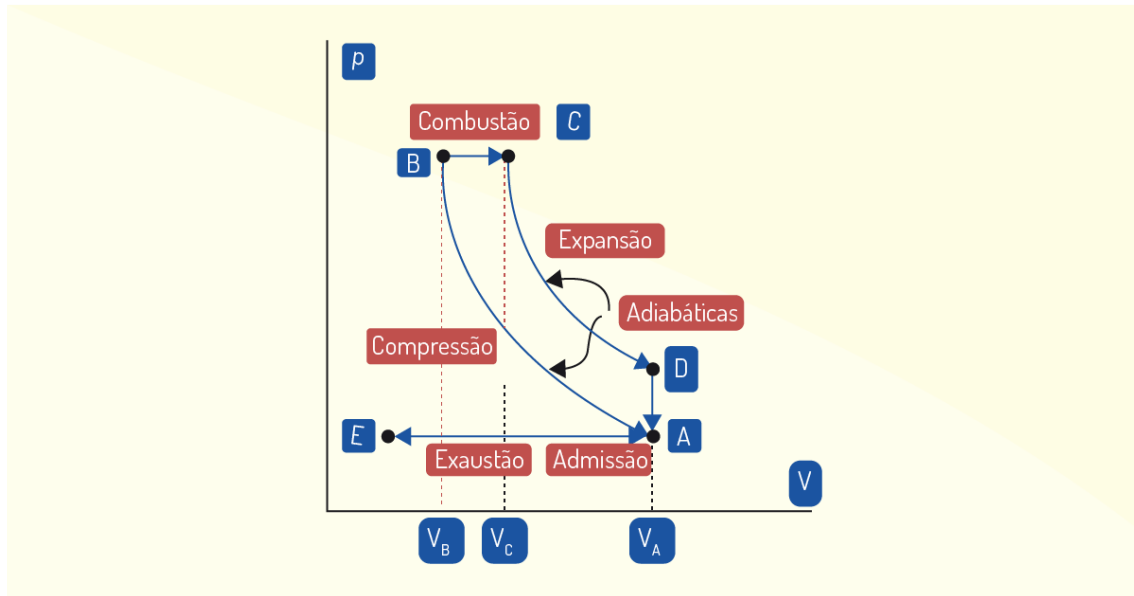


Figura 3.34 - Fases do ciclo diesel

Fonte: Ciclo... (*on-line*).

O funcionamento do ciclo diesel é muito parecido ao ciclo Otto. As fases do ciclo Diesel também são divididas em quatro etapas.

1ª Fase - Admissão

O pistão se move do ponto morto superior para o ponto morto inferior. Nesta fase do ciclo, ocorre a entrada somente de ar, no cilindro, diferentemente do ciclo Otto, onde entra ar- combustível.

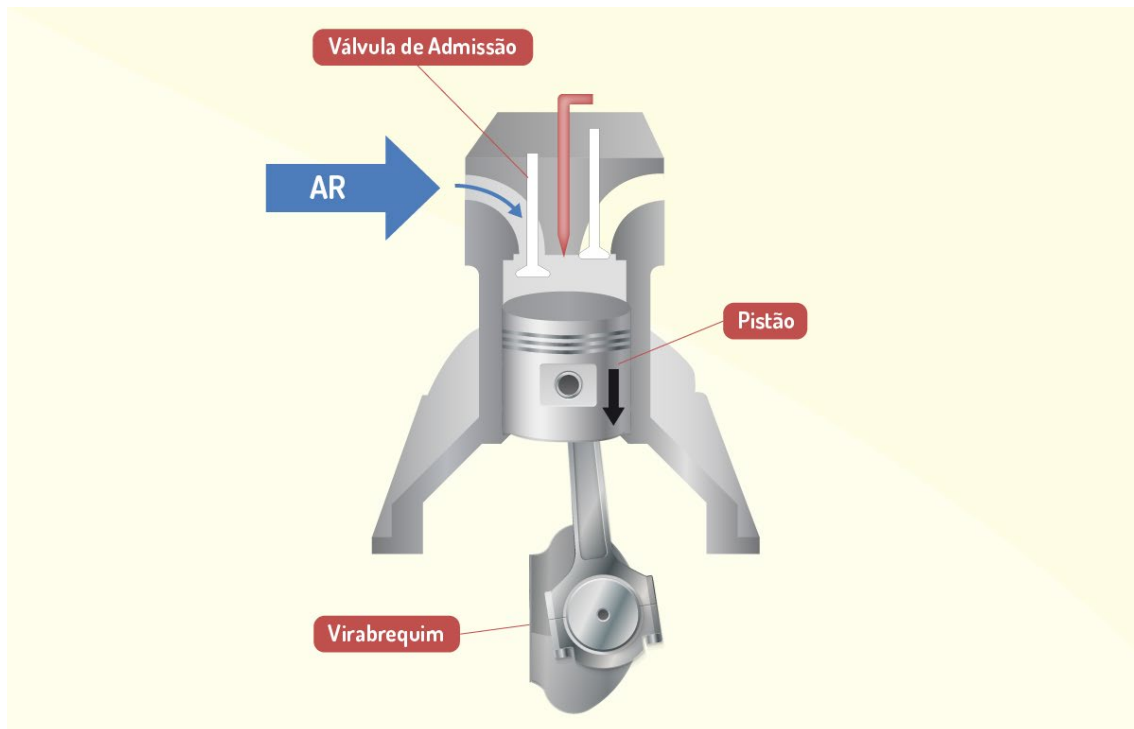


Figura 3.35 - Etapa de admissão

Fonte: Adaptada de Varella e Santos (2010, p. 12).

Conforme Varella e Santos (2010, p. 12), “o volume admitido é o volume de admissão ou cilindrada parcial do motor. Nos motores diesel o volume de ar aspirado é sempre o mesmo. A variação da potência é obtida pela variação do volume de combustível injetado de acordo com a posição do acelerador”. A Figura 3.35 apresenta a etapa de admissão.

2ª Fase - Compressão

O pistão move-se do ponto morto inferior para o ponto morto superior, acarretando a compressão do ar, visto que as válvulas de admissão e exaustão estão fechadas. O fato do ar estar, extremamente, comprimido, no interior do cilindro (câmara de combustão), ocasiona a elevação da temperatura.

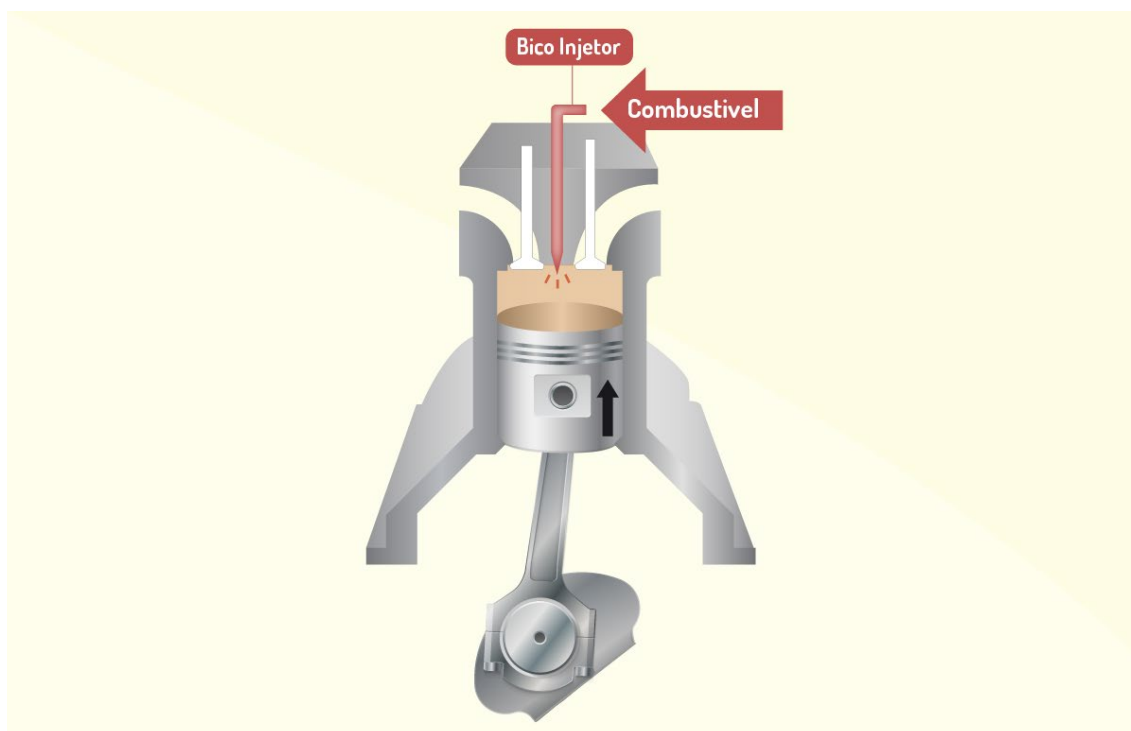


Figura 3.36 - Etapa de compressão

Fonte: Adaptada de Varella e Santos (2010, p. 13).

Conforme Varella e Santos (2010, p. 13),

No final da compressão, o combustível é dosado e injetado na câmara de combustão. A medida exata do combustível e o momento da injeção são fatores muito importantes para o bom funcionamento dos motores diesel. A injeção do combustível na câmara de combustão é feita pelo bico injetor. Imediatamente após a injeção, o combustível se inflama devido ao contato com o ar aquecido, iniciando-se a combustão.

A Figura 3.36 apresenta a etapa de compressão.

3ª Fase - Explosão

Nesta fase, o pistão move-se do ponto morto superior para o ponto morto inferior, acarretando a expansão da mistura ar-combustível. É importante salientar que, nesta fase, ambas as válvulas estão fechadas.

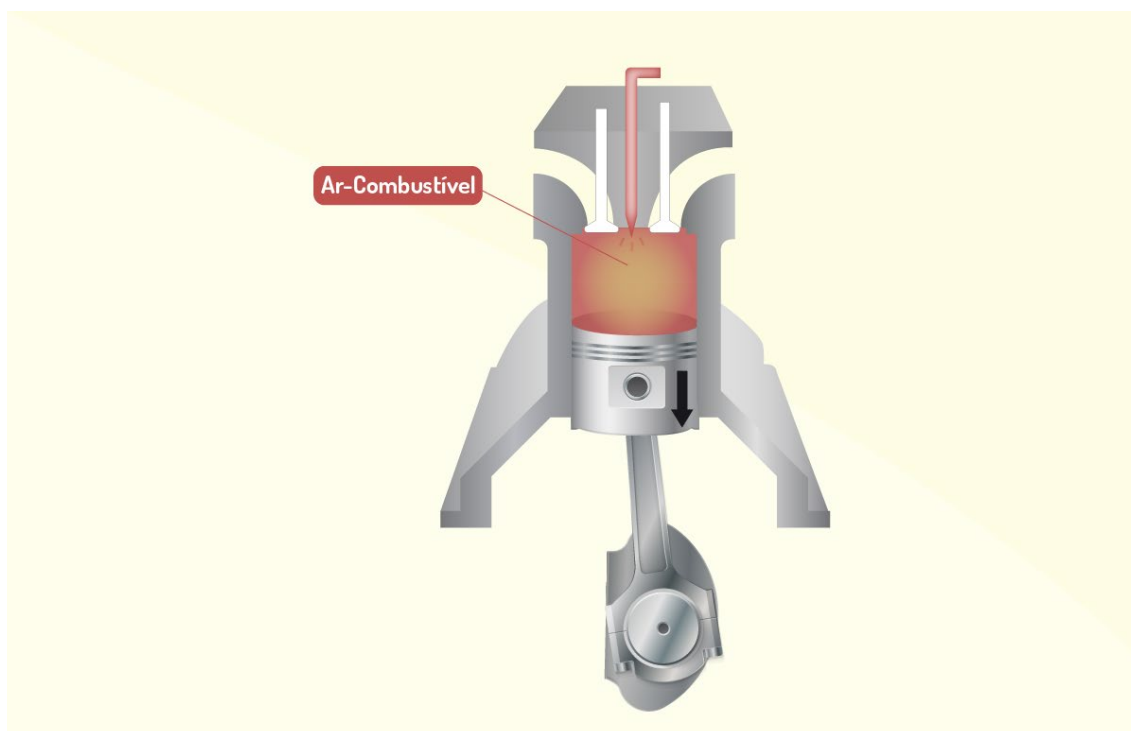


Figura 3.37 - Etapa de explosão

Fonte: Adaptada de Varella e Santos (2010, p. 14).

Conforme Varella e Santos (2010, p. 14), “à medida que o combustível é injetado, vai se inflamando, aumentando a temperatura dos gases que tendem a se dilatar cada vez mais. Durante a expansão o pistão é acionado pela força de expansão dos gases transformando a energia térmica em mecânica”. A Figura 3.37 apresenta a fase de explosão.

4ª Fase - Exaustão

Nesta etapa, o pistão move-se do ponto morto inferior para o ponto morto superior, acarretando a exaustão dos resquícios da combustão (explosão). Nesta fase, a válvula de admissão encontra-se fechada e válvula de exaustão aberta. O movimento de subida do pistão ocasiona a evacuação dos restos da combustão pela válvula de exaustão. A Figura 3.38 apresenta a etapa de exaustão.

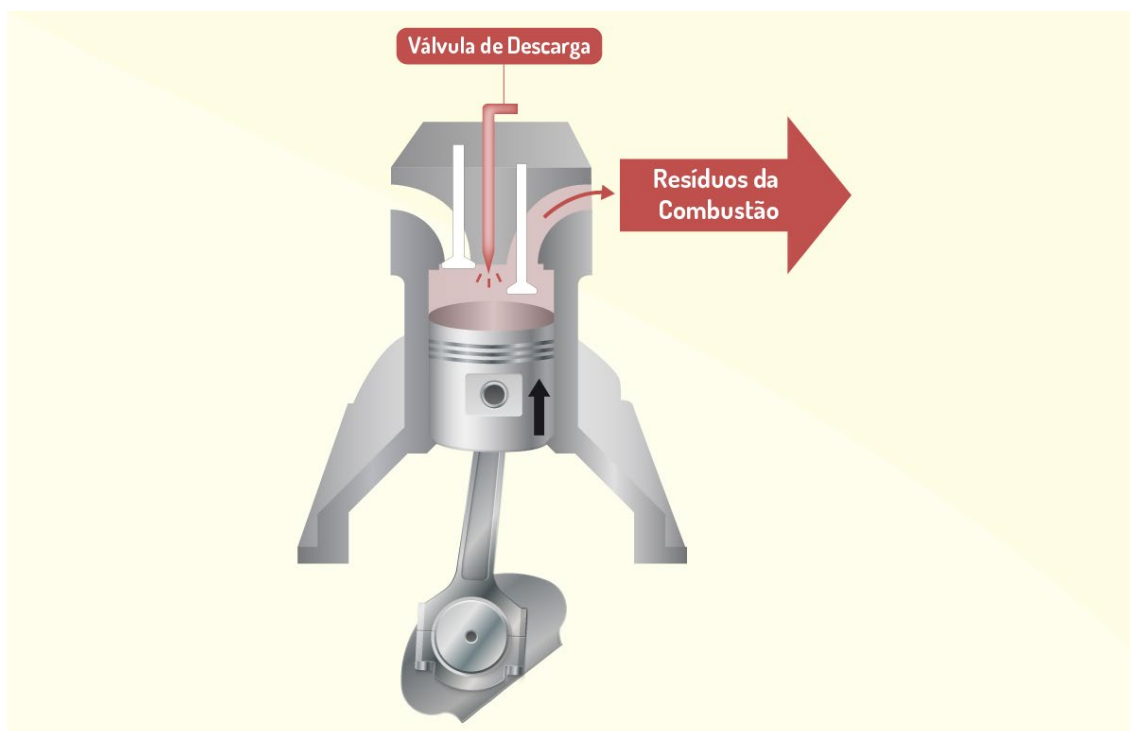


Figura 3.38 - Etapa de exaustão

Fonte: Adaptada de Varella (2010, p. 15).

Neste capítulo, foram discutidos o motor a diesel e as respectivas fases deste ciclo. Foram apresentadas a principal diferença entre o ciclo Otto e Diesel e as vantagens deste motor sobre os motores que trabalham considerando o ciclo de Otto.

ATIVIDADES (Funcionamento de motores de combustão interna - Ciclo Diesel)

- 4) Os motores de combustão interna possuem grande relevância, atualmente, visto que esta tecnologia é responsável pelo funcionamento dos motores de carros, aviões e afins. Em relação a estes motores, considerando o ciclo Diesel, assinale a alternativa correta.
 - a) Considerando o motor a Diesel, sabe-se que este tem seu processo de combustão interna iniciado pela ignição de uma centelha gerada por uma vela de ignição.
 - b) A principal diferença entre os motores Otto e Diesel é o fato de que, nos motores Diesel, o ar entra somente no cilindro, na etapa de admissão.
 - c) A terceira fase do ciclo Diesel é a fase de explosão (combustão), na qual as válvulas de admissão e exaustão estão fechadas.

- d) A segunda fase do ciclo Diesel corresponde à compressão, sendo nesta fase que ocorre a expansão da mistura ar-combustível.
- e) A primeira fase do ciclo Diesel corresponde à admissão e esta inicia-se com resquícios não eliminados na fase de exaustão.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Motores de combustão interna

Editora: Publindústria

Autor: Jorge Martins

ISBN: 972-8593-02-X

Comentário: Este livro traz desde os conceitos mais simples sobre máquinas térmicas até análises teóricas, parâmetros de funcionamento e descrição dos diversos tipos de motores de combustão interna. É uma obra que deve ser estudada pelo leitor o mais breve possível, visto que traz conceitos não tratados, neste material, devido à extensão do assunto.

REFERÊNCIAS

ALBERICHI, M. **Estudo das instalações e operações de caldeiras de uma indústria de produtos químicos do estado do Paraná, sob ótica da NR-13 e NR-28.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3818/1/CT_CEEEST_XXVI_2014_24.pdf>

. Acesso em: 9 set. 2019.

ALTAFINI, C. R. Curso de engenharia mecânica - disciplina de máquinas térmicas - apostila sobre caldeiras. Universidade de Caxias do Sul, 2002. Disponível em: <[https://fluidcontrols.com.br/wp-content/uploads/2019/05/2-Apostilas-sobre-Caldeiras-](https://fluidcontrols.com.br/wp-content/uploads/2019/05/2-Apostilas-sobre-Caldeiras-Prof%C2%BA-Carlos-Alberto-Altafini.pdf)

[Prof%C2%BA-Carlos-Alberto-Altafini.pdf](https://fluidcontrols.com.br/wp-content/uploads/2019/05/2-Apostilas-sobre-Caldeiras-Prof%C2%BA-Carlos-Alberto-Altafini.pdf)>. Acesso em: 8 set. 2019.

BASTIANI, G. C. de. Motor de Combustão Interna. **Oficina Mecânica Online**, 30 mar. 2019. Disponível em: <<https://oficinamecanicaonline.com/motor-de-combustao-interna/>>. Acesso em: 16 out. 2019.

BECKER, A. **Estudo do fresamento de cabeçotes de motor mistos de alumínio e aço com diferentes ferramentas de corte**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Técnica em Fabricação Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8636/1/PG_DAMEC_2017_2_01.pdf>.

Acesso em: 5 out. 2019.

BOTELHO, M. H. C; BIFANO, H. M. **Operação de caldeiras**: gerenciamento, controle e manutenção. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BRITO, R.; ARAGÃO, W.; JOHNSON, H.; BARROS, A.; SCHUENG, S. **Caldeiras**. São Paulo: ETEC - Escola técnica estadual, 2010.

CALDEIRAS. Disponível em:

<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM364/Material%20de%20Aula/Aula%20de%20caldeiras.pdf>. Acesso em: 8 set. 2019.

CARNEIRO, F. M. **Projeto de recuperação da planta termelétrica do laboratório de vapor do Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2012.

CICLO Diesel. **Wiki**. Disponível em: <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel>. Acesso em: 13 out. 2019.

DIAS, J. L. G. **Ciclo Otto**: aplicação teórica e utilidade prática. 2009. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/cicloottoartigofinal.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2019.

DUTRA. K. **Máquinas térmicas e processos contínuos**. Aula 13 - Turbinas a vapor, 2017. Disponível em: <https://kaiohdutra.files.wordpress.com/2017/01/mt_aula-13-turbinas-a-vapor.pdf>. Acesso em: 11 set. 2019.

ENUNCIADOS de questões e informações de concursos. **Tec Concursos**, 2010. Disponível em: <<https://www.teconcursos.com.br/conteudo/questoes/294912>>. Acesso em: 13 out. 2019.

FUHR, H. K. **Proposta de ajustes em uma caldeira flamotubular**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2016. Disponível em:

<http://www.fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2016/Henrique_Klockner_Fuhr.pdf>. Acesso em: 5 out. 2019.

LAGEMANN, V. **Combustão em caldeiras industriais** - Óleo & Gás combustível. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.

LEANDRO, F.; FARIAS, F. de; RIBEIRO, H. Turbinas a vapor, 2015. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/FabioMagaton/turbinas-a-vapor-56180855>>. Acesso em: 10 set. 2019.

LUZ, Maria Laura Gomes Silva da. Motores a combustão interna. Universidade Federal de Pelotas, 2013. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/mlaura/files/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combust%C3%A3o-Interna.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.

MANUAL de caldeiras. **Fábrica do Projeto**, 23 abr. 2010. Disponível em: <<https://www.fabricadoprojeto.com.br/2010/04/manual-de-caldeiras/>>. Acesso em: 16 out. 2019.

MARGONAR, R. Caldeiras. Eletronuclerar, Gerência de Treinamento, fev. 1998. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/RenanMargonar/caldeiras-apostila>>. Acesso em: 12 out. 2019.

MARTINELLI JR, L. C. Geradores de vapor. UNIJU, Campus Panambi, 2002. Disponível em: <<https://www.fabricadoprojeto.com.br/2010/04/manual-de-caldeiras/>>. Acesso em: 8 set. 2019.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. 2. ed. São Paulo: Publindústria, 2006.

MECÂNICA básica. **Mecânica para todos**. Disponível em:

<<http://mecanicomaniacos.blogspot.com/p/mecanica-basica.html>>. Acesso em: 13 out. 2019.

MORAES, S. O. de O. Cogeração no setor sucroalcooleiro a partir do reaproveitamento energético da biomassa do bagaço de cana, 2015. Disponível em <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/1051/4/SOOM19082016.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2019.

MORAIS, C. F. **Metodologia de análise de desempenho de turbinas a vapor operando em ciclos convencionais e combinado**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2007. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/42150517-Universidade-federal-de-itajuba.html>>. Acesso em: 11 set. 2019.

MOTOR Otto: o resgate de uma era. **Museu do Motor**. Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/mmotor/otto.htm>>. Acesso em: 15 set. 2019.

NR-13 – Norma Regulamentadora 13. Caldeiras e vasos de pressão. **Guia Trabalhista**, 2014. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr13.htm>>. Acesso em: 15 set. 2019.

OLIVEIRA JÚNIOR, D. P. de. **Motores de combustão interna**. 1997. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/4300434-Motores-de-combustao-interna.html>>. Acesso em: 12 set. 2019.

OLIVEIRA, G. R. M. de. **Análise energética de um sistema de geração de energia de uma usina siderúrgica como foco na turbina a vapor e no condensador**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/484/1/MONOGRAFIA_An%C3%A1liseEnerg%C3%A9ticaSistema.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

PALMEIRA, D. A.; MANHÃES, H. N.; MOTA, L. de S. M. **Os motores de combustão interna e os processos que levam ao superaquecimento**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Manutenção Industrial) - Instituto Federal Fluminense de Campos, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:

<<http://bd.centro.iff.edu.br/bitstream/123456789/2087/1/Texto.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2019.

PINTO, O. G. Operador de caldeira. **Slideshare**, 29 jul. 2016. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/OsmarGomes/caldeiras-1>>. Acesso em: 9 set. 2019.

PIRES, E. A.; MULLER JUNIOR, H.; SUARES, R. A. **Estudo de viabilidade técnica/econômica para instalação de um termogerador em queimador de gases de estufas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1934/1/CT_COELE_2013_1_17.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

ROQUE, J. C. de L. **Avaliação da periodicidade de manutenção da turbina de condensação Rateau com extração**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

SANTOS, D.; CABRITA, I.; GULYURTLU, I. Materiais para caldeiras e turbinas de centrais termoeletricas avançadas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 23, p. 72-86, 2011.

SCALCO, K. M. F. **Motores de combustão interna: ciclo Diesel**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Pitágoras, Poços de Caldas, 2017. Disponível em:

<<https://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/19637/1/KAIO%20MELOTTO%20FREITAS%20SCALCO.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.

SCHULZ, D. 4 Tempos: etapas de funcionamento, 2009. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/motores4t_etapas.htm>. Acesso em: 15 set. 2019.

SENAI PETROBRAS. **Turbinas a vapor**. Monitoramento e controle de processos. Unidade 2. 2013. Disponível em: <<http://cntq2.hospedagemdesites.ws/wp-content/uploads/2013/05/Turbinas-vapor.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019.

SORGATO, R. **Análise da variação de fase do comando de válvulas em um motor de combustão interna de ciclo Otto turbo alimentado**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1997/TCC%20Rodrigo%20Sorgato.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 set. 2019.

TURBINAS a vapor. Disponível em: <<http://cntq2.hospedagemdesites.ws/wp-content/uploads/2013/05/Turbinas-a-vapor-1.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2019.

UMA breve história das máquinas térmicas. Disponível em: <<https://social.stoa.usp.br/articles/0031/0392/MaquinasVapor.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2019.

VARELLA, C. A. A. **Princípios de funcionamento dos motores de combustão interna**. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/principios_de_funcionamento.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.

VARELLA, C. A. A.; SANTOS, G. de S. **Noções básicas de motores Diesel**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/No%E7%F5es%20B%E1licas%20de%20Motores%20Diesel.pdf>. Acesso em: 13 out. 2019.

VENTURA, F. B. **Turbinas a vapor**. 2016. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/9799323-Turbinas-a-vapor-expansores-convergentes-e-convergentes-divergentes-os-expansores-sao-restricoes-ao-fluxo-de-vapor-e-tem-como-objetivo-converter-a.html>>. Acesso em: 13 out. 2019.

WAGNER, F. Quais são os tipos de caldeiras? **RW Engenharia**, 10 nov. 2015. Disponível em:
<<http://www.rwengenharia.eng.br/quais-sao-os-tipos-de-caldeiras/>>. Acesso em: 08 set. 2019.

UNIDADE IV

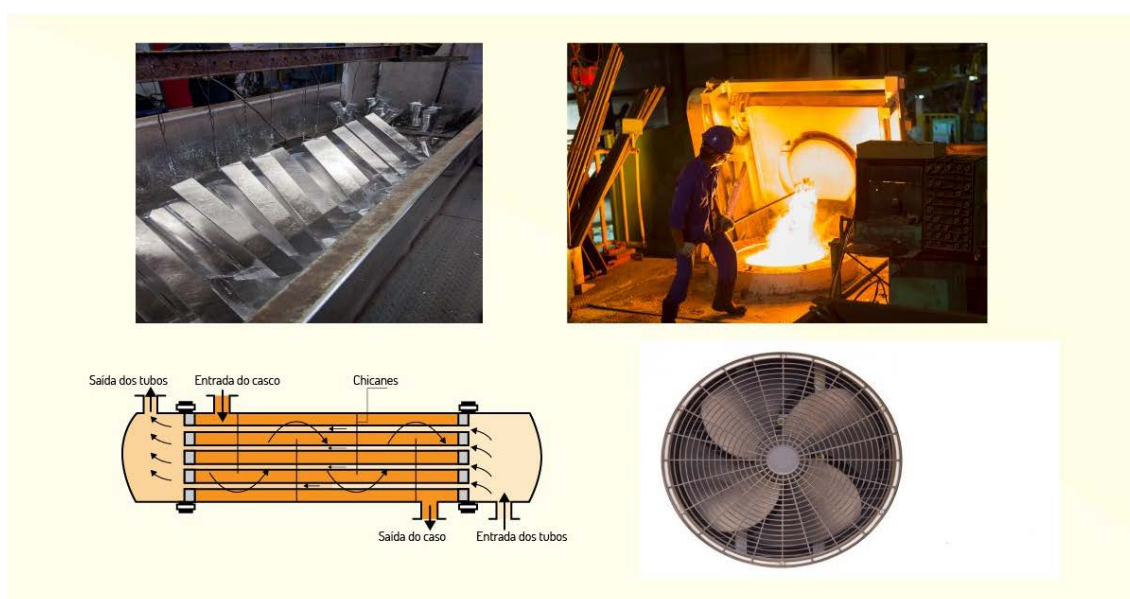
Processos complementares

Fábio Inocêncio Kravetz

Introdução

Nesta unidade, são discutidos os processos complementares em uma indústria. Eles se fazem necessários, como é o caso da ventilação industrial, que é uma opção bastante usada, na indústria, visto que possibilita a renovação do ar e, em alguns casos, remove substâncias tóxicas de determinado lugar e traz ar limpo.

No caso dos fornos industriais, estes são usados em diversas aplicações industriais e consistem em máquinas que proporcionam temperaturas elevadas e exatas, sendo utilizados, em indústrias de cerâmicas e de cerveja, por exemplo. Já os banhos industriais são processos aplicados, em diversos tipos de indústrias, como: químicas, mineração e afins, e se fazem necessários, para eliminar imperfeições de peças, por exemplo. Os trocadores de calor, por sua vez, são dispositivos utilizados, para realizar a troca de calor entre fluidos que estão sob diferentes temperaturas.



(a) Banho químico industrial

(b) Forno industrial

(c) Trocador de calor de casco e tubos

(d) Ventilador

Ventilação industrial

A ventilação industrial é um meio, para retirar substâncias que estão, no ar, e são prejudiciais aos usuários de determinado ambiente, ou seja, realiza a renovação do ar do ambiente de trabalho. Pode ser natural ou forçada, para introduzir o ar, em um determinado ambiente (insuflamento), ou para fazer a retirada do ar do ambiente (exaustão).

Conforme dito, no parágrafo anterior, a ventilação industrial é de suma importância, visto que realiza a remoção de substâncias nocivas do ar (gases, poeira e afins) à saúde das pessoas que trabalham, em determinado local ou indústria. Dependendo da substância ou temperatura a que a pessoa for exposta, os danos podem ser irreversíveis. Nesse âmbito, o Ministério do Trabalho, percebendo a importância da ventilação industrial para a segurança, no trabalho, nas empresas, criou a Norma Regulamentadora 15, que trata das atividades e operações insalubres, sendo os anexos 3, 11, 12 e 13 os que fazem referência à ventilação industrial.

A ventilação industrial subdivide-se em dois tipos:

- **ventilação geral.**

1. Ventilação natural;
2. Ventilação geral diluidora.
 01. Insuflação mecânica e exaustão natural;
 02. Insuflação natural e exaustão mecânica;
 03. Insuflação e exaustão mecânica.

- **ventilação local exaustora.**

Conforme Macintyre (1990, p. 37), “A ventilação geral consiste na movimentação de quantidades relativamente grandes de ar através de espaços confinados, com a finalidade de melhorar as condições do ambiente graças ao controle da temperatura da distribuição e da pureza do ar e, em certos casos, também da umidade”.

A qualidade do ar é essencial para o desenvolvimento de um trabalho adequado em qualquer tipo de ambiente, mantendo a saúde dos colaboradores, portanto, tem-se que o estudo da ventilação industrial, nas suas diversas modalidades, é de vital importância para que o leitor compreenda onde deve ou não ser aplicada.

Ventilação natural

Este tipo de ventilação traduz-se em possibilitar a entrada e saída de ar de determinado ambiente sem a utilização de meios mecânicos, ou seja, o ar entra e sai por acessos presentes, no ambiente, como: portas, janelas e lanternins (aberturas colocadas no telhado de edificações, permitindo a renovação contínua do ar do ambiente no qual está inserido).

Conforme Macintyre (1990, p. 38),

O fluxo de ar que penetra ou sai pelas aberturas (acessos) de um prédio por ventilação natural depende:

- da diferença entre as pressões existentes no exterior e no interior do prédio ou recinto;
- da resistência oferecida à passagem do ar pelas aberturas.

A ventilação natural é a mais comum, em nosso cotidiano, visto que não faz uso de ventiladores e/ou exaustores para entrada e/ou saída de ar, o que implica em consumo de energia menor e menos ruído. Para ser adequada, depende somente da disposição dos diversos tipos de aberturas presentes na indústria.

Movimento do ar devido ao vento

Conforme Costa (2005, p. 36), “a ventilação natural pode ser provocada pela ação dos ventos. Esta, embora intermitente, ocasiona escalonamento das pressões externas no sentido horizontal, por vezes apreciável”. A Figura 4.1 apresenta diferenças de pressão em uma determinada estrutura devido à ação dos ventos.

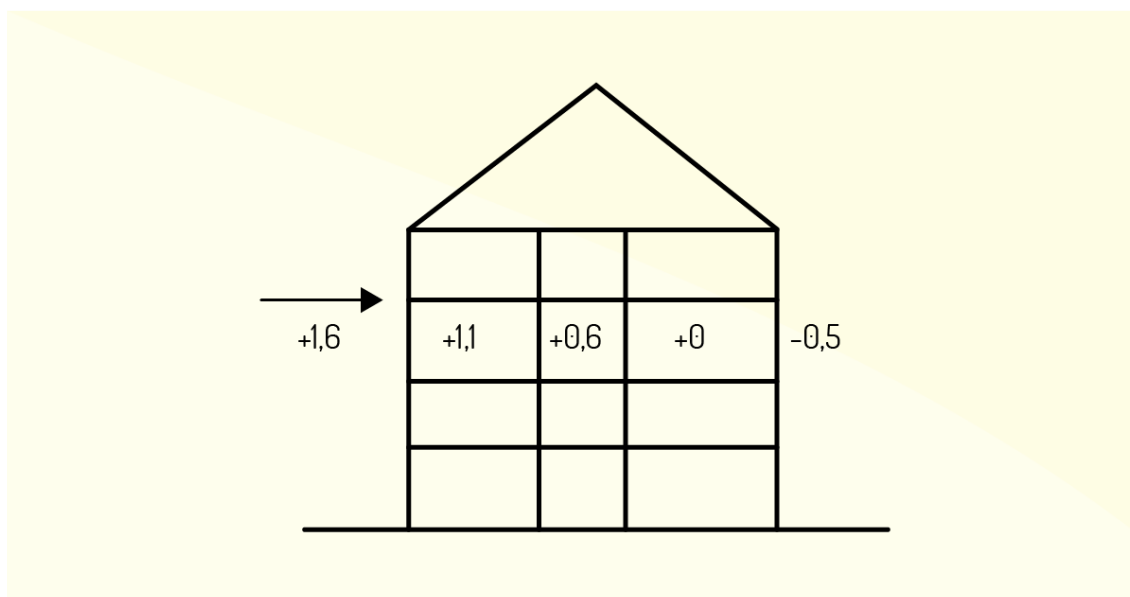


Figura 4.1 - Diferenças de pressão em uma estrutura devido aos ventos

Fonte: Adaptada de Costa (2005, p. 36).

A ventilação natural ocasionada pelos ventos pode ser aumentada por meio de acessos (portas, janelas e afins) colocados de forma adequada, na estrutura, ou seja, para o lado dos ventos preponderantes (zona de pressão positiva).

Movimento do ar devido às diferenças de temperatura

A elevação da temperatura do ar, em um determinado ambiente, diminui sua densidade, fazendo com que este se eleve e saia por acessos mais elevados da estrutura (efeito chaminé), ou seja, formam-se diferentes zonas de pressão, verticalmente, no mesmo ambiente. O efeito chaminé consiste em o ar frio (mais denso) efetuar uma pressão sob o ar quente (menos denso), fazendo-o subir e criando correntes de convecção. A Figura 4.2 apresenta o efeito chaminé.

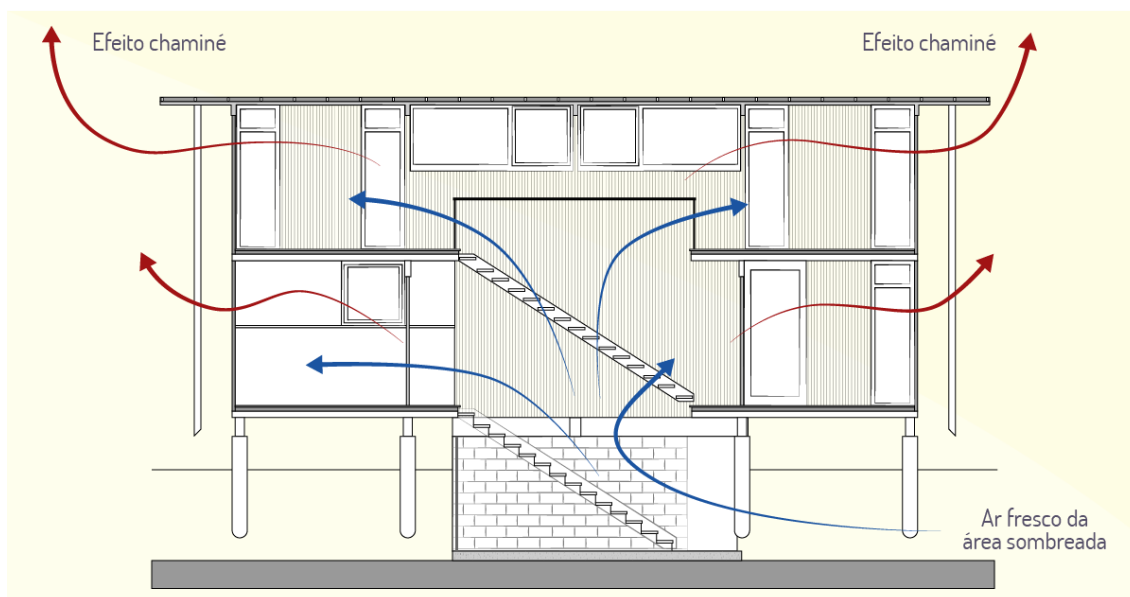


Figura 4.2 - Efeito chaminé

Fonte: Xavier (*on-line*).

Neste tópico, foi discutido o tema ventilação natural, que trata da entrada e saída de ar, em um ambiente qualquer, por aberturas projetadas (janelas, portas e afins) sem a utilização de meios mecânicos. Antes de iniciar os subtópicos referentes à ventilação forçada, são descritos os equipamentos responsáveis pela insuflação e exaustão.

1.2. Ventiladores

Estes equipamentos são os encarregados de fornecer energia para a movimentação do ar, em um ambiente ou duto qualquer.

A principal atribuição de um ventilador é deslocar uma certa quantia de ar, em um sistema de ventilação do qual faz parte. Portanto, o ventilador precisa criar uma pressão estática que seja capaz de superar as perdas do sistema e uma pressão cinética, para conservar o ar em constante movimento. Pode-se dizer que, essencialmente, tem-se dois tipos de ventilador: axiais e centrífugos. A Figura 4.3 apresenta um ventilador axial e um centrífugo.

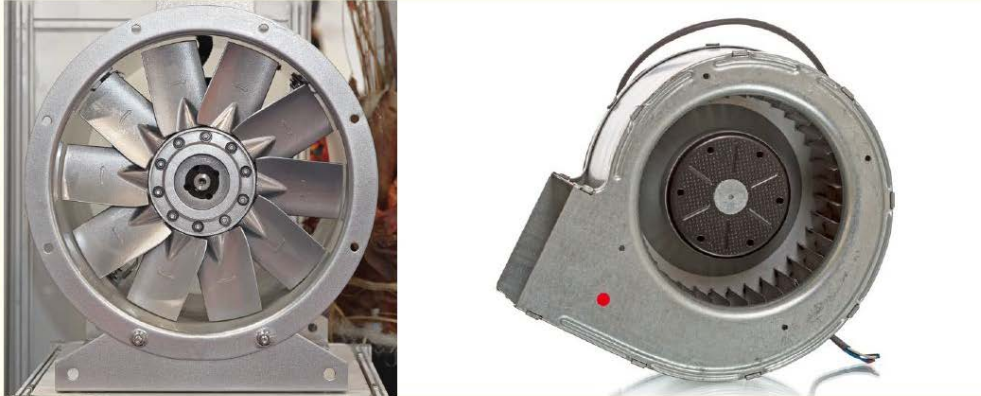


Figura 4.3 - Ventilador axial e ventilador centrífugo

Fonte: Baloncici / 123 RF; Yuri Minaev / 123RF.

Os ventiladores são um dos equipamentos essenciais para a ventilação industrial, visto que permitem a movimentação e renovação do ar, em um ambiente industrial, sendo necessária tanto para funcionários quanto para as máquinas de uma indústria.

Ventiladores axiais

Conforme Oliveira (*on-line*),

O ventilador de hélice consiste em uma hélice montada numa armação de controle de fluxo, com o motor apoiado por suportes normalmente presos à estrutura dessa armação. O ventilador é projetado para movimentar o ar de um espaço fechado a outro a pressões estáticas relativamente baixas. O tipo de armação e posição da hélice tem influência decisiva no desempenho do ar e eficiência do próprio ventilador.

O ventilador axial possui algumas variações que são apresentadas na sequência.

- **Axial propulsor:** este primeiro modelo é o que possui melhor custo-benefício para a movimentação de volumes expressivos de ar com baixas pressões. Esta variação é

bastante usada em circulação de ar ambiente. A Figura 4.4 apresenta o ventilador axial propulsor.

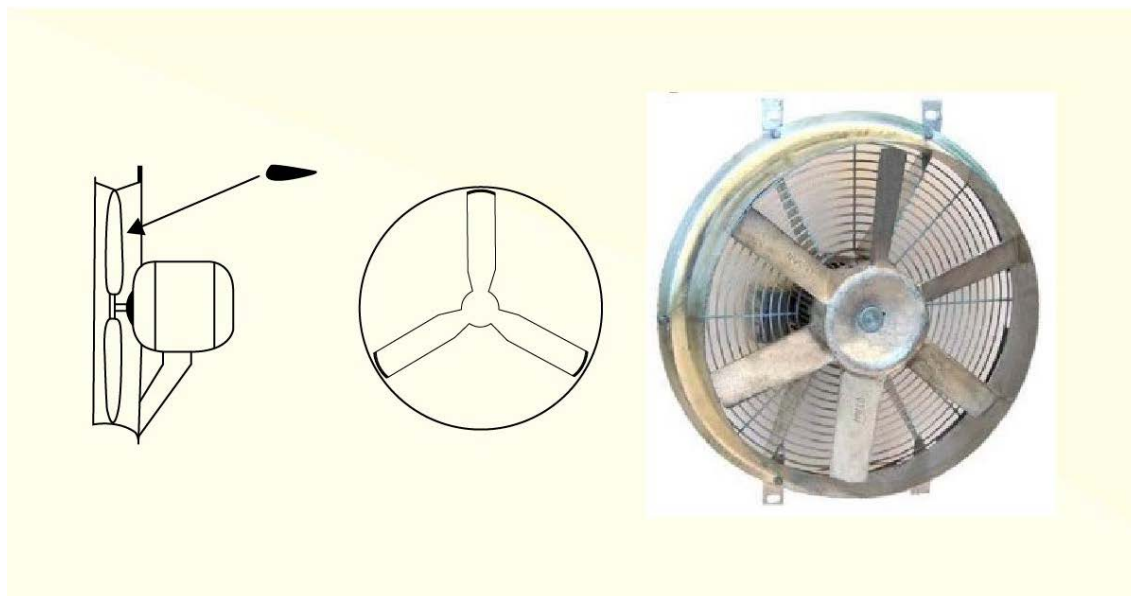


Figura 4.4 - Ventilador axial propulsor

Fonte: Adaptada de Oliveira (*on-line*); Perez (2014, p. 10).

- **Axial comum:** este modelo dispõe de uma grande calota central, isso permite que este ventilador seja usado, em ambientes com pressões altas. Conforme Oliveira (*on-line*), “é frequentemente usado em ventilação de minas subterrâneas e, em algumas ocasiões, em indústrias. Nesse tipo de ventilador, a forma das pás é muito importante, e eles não devem ser usados onde haja risco de erosão e corrosão”. A Figura 4.5 apresenta o ventilador axial comum.

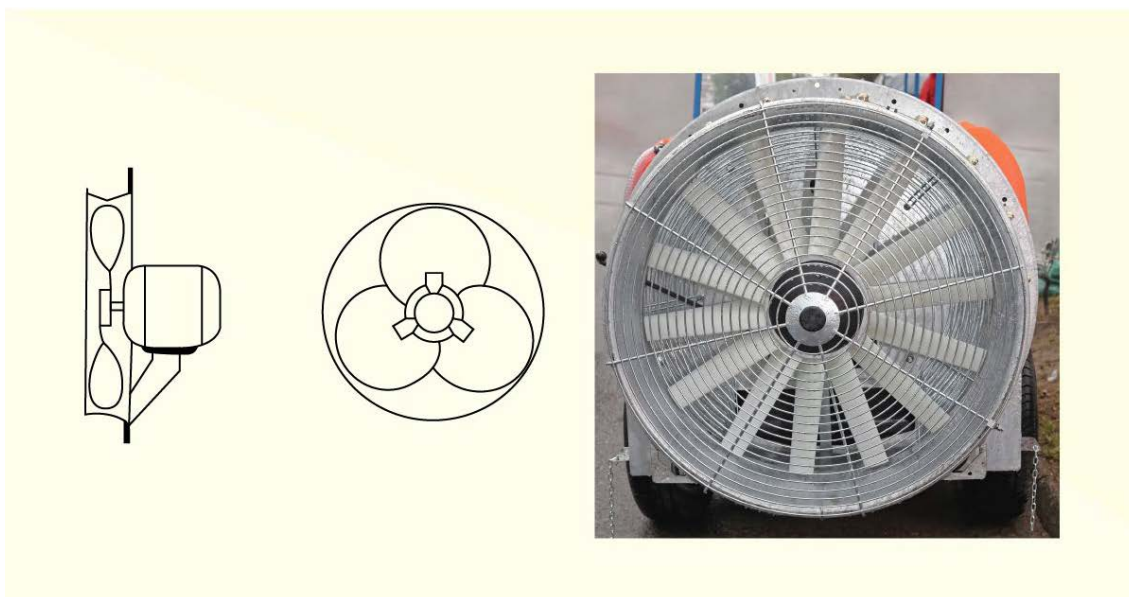


Figura 4.5 - Ventilador axial comum

Fonte: Adaptada de Oliveira (*on-line*); Baloncici / 123RF.

- **Turbo-axial:** este modelo é um propulsor, suas pás são mais grossas e extensas. Este ventilador é disposto dentro de um tubo, este fato possibilita seu uso, diretamente, em dutos. A Figura 4.6 apresenta um ventilador turbo-axial.

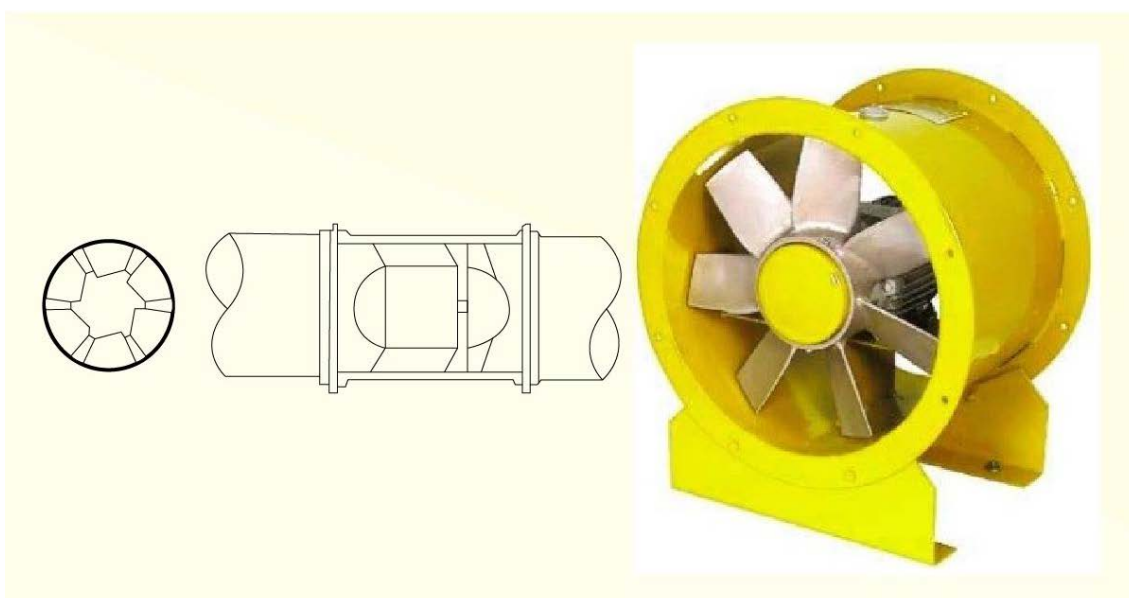


Figura 4.6 - Ventilador turbo-axial

Fonte: Adaptada de Oliveira (*on-line*); Perez (2014, p. 11).

Neste subtópico, foram apresentados os ventiladores axiais e algumas de suas variações. Este tipo de ventilador pode tanto ser utilizado para aplicações de movimentação de ar ambiente, ou para ficarem posicionados, diretamente, em dutos, ou podem trabalhar, em ambientes mais hostis como minas subterrâneas.

Ventiladores centrífugos

Conforme Oliveira (*on-line*), “Um ventilador centrífugo consiste em um rotor, uma carcaça de conversão de pressão e um motor. O ar entra no centro do rotor em movimento na entrada, é acelerado pelas palhetas e impulsionado da periferia do rotor para fora da abertura de descarga”. A Figura 4.7 apresenta o aspecto geral deste tipo de ventilador.

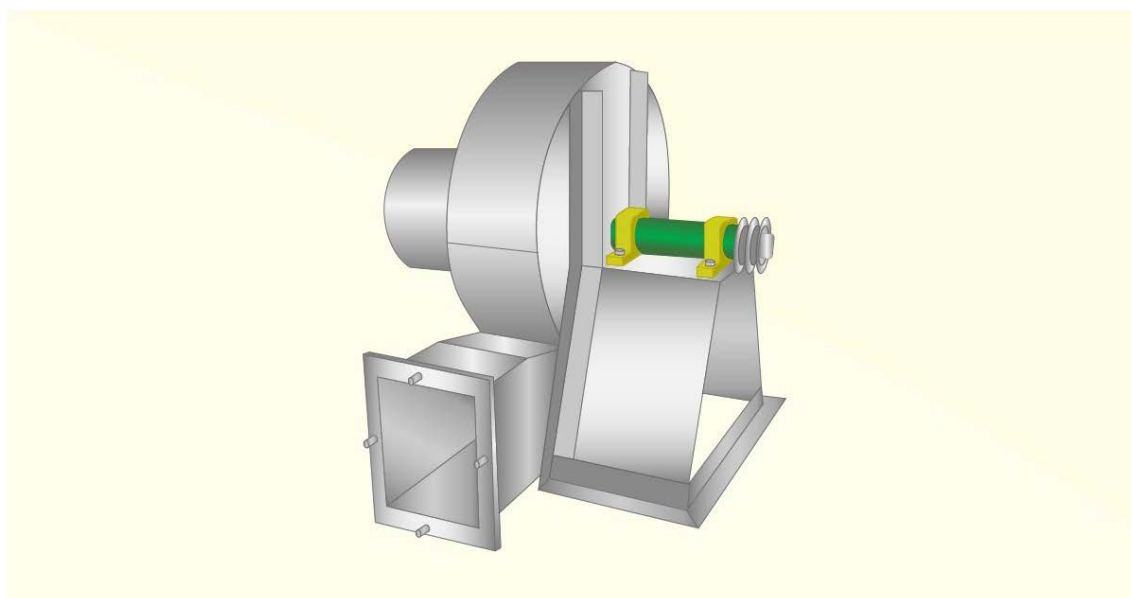


Figura 4.7 - Aspecto geral de um ventilador centrífugo

Fonte: Silva, Vitor e Lopes (2013, p. 2).

O ventilador centrífugo possui algumas variações que são apresentadas, na sequência, no qual o que muda é a disposição das pás.

- **Centrífugos de pás para trás:** este modelo é um ventilador de alto rendimento e baixo nível de ruído. Realiza o deslocamento de médios a altos volumes de ar, com uma faixa de pressão que varia de média a elevada. A Figura 4.8 apresenta o ventilador centrífugo de pás para trás.



Figura 4.8 - Ventilador centrífugo de pás para trás

Fonte: Silva, Vitor e Lopes (2013, p. 2).

- **Centrífugos de pás radiais:** este modelo possui baixa eficiência, baixa rotação e alto nível de ruído. Estes ventiladores são bastante utilizados, na movimentação de efluentes com grande quantidade de poeira, ou seja, trabalhos pesados. A Figura 4.9 apresenta o ventilador centrífugo de pás radiais.

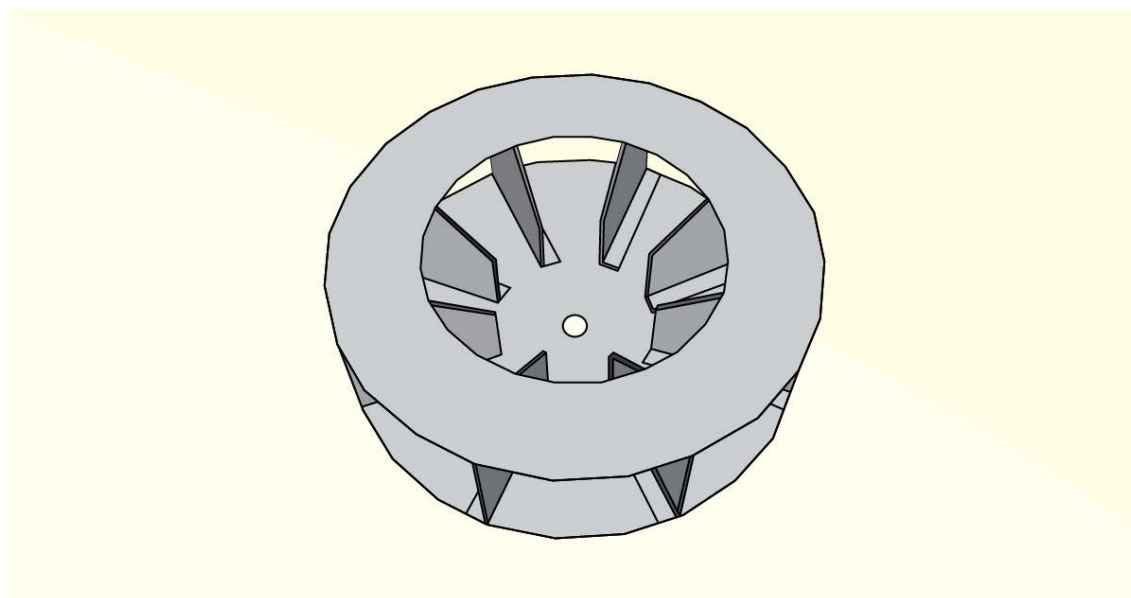


Figura 4.9 - Ventilador centrífugo de pás radiais

Fonte: Silva, Vitor e Lopes (2013, p. 2).

- **Centrífugos de pás para frente:** este modelo é utilizado para deslocamento de altos volumes de ar em baixa pressão. O seu uso é restrito ao deslocamento de ar livre de impurezas. Em relação ao seu funcionamento, possui baixo nível de ruído e alta eficiência. A Figura 4.10 apresenta o ventilador centrífugo de pás para frente.



Figura 4.10 - Ventilador centrífugo de pás para frente

Fonte: Silva, Vitor e Lopes (2013, p. 2).

Este subtópico se fez necessário para introduzir ao leitor o principal equipamento responsável pela ventilação mecânica, em um ambiente qualquer. Foram discutidos, neste subtópico, os principais tipos de ventiladores e suas respectivas variações que se fazem necessárias conforme a aplicação a que se destinam.

Ventilação geral diluidora

Este tipo de ventilação é utilizado, caso a ventilação natural não consiga fornecer credibilidade e eficiência, para atender aos parâmetros, como: vazão, temperatura e umidade. Conforme Costa (2005, p. 76),

[...] quando a movimentação do ar de ventilação é obtida por diferenças de pressão criadas mecanicamente, diz-se que a ventilação é artificial, forçada ou mecânica. Adota-se a ventilação mecânica sempre que os meios naturais não proporcionam o índice de renovação do ar desejado,

ou ainda, como elemento de segurança nas condições de funcionamento precário da circulação natural do ar.

Este tipo de ventilação utiliza meios mecânicos, para realizar a entrada ou retirada de ar de um determinado ambiente, ou seja, é aplicada a determinado ambiente, quando a ventilação natural é deficiente. Na sequência, são apresentadas algumas de suas variações.

Insuflação mecânica e exaustão natural

Neste primeiro tipo de ventilação mecânica, tem-se que a insuflação mecânica de ar consiste na introdução de ar, em um determinado ambiente por meio de ventiladores, estes transferem o ar que se encontra, em um ambiente externo, para o interior do ambiente, proporcionando uma diferença de pressão. Como a pressão no interior é maior do que no ambiente externo, o ar sai pelos acessos (aberturas) presentes no recinto.

Conforme Macintyre (1990, p. 74),

Nas aberturas para tomada de ar exterior deve-se garantir a impossibilidade de penetração de corpos estranhos e animais, por meio de telas, e de água de chuva, construindo platibandas, marquises etc. Prevê-se, quando necessário, a instalação de filtros adequados para a tomada de ar exterior, escolhidos em função das condições estabelecidas para o ambiente.

A Figura 4.11 apresenta um esquema de insuflação mecânica e exaustão natural.

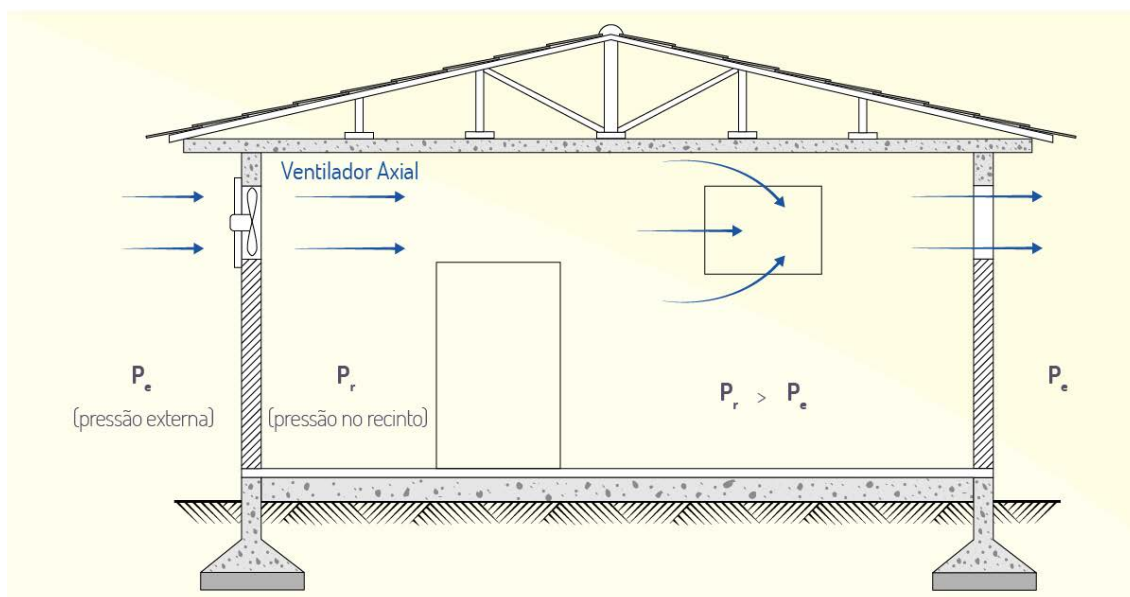


Figura 4.11 - Insuflação mecânica e exaustão natural

Fonte: Adaptada de Macintyre (1990, p. 73).

Neste subtópico, foi discutida a introdução do ar de maneira forçada, em um ambiente, e sua saída de forma natural, devido à diferença de pressão entre os ambientes interno e externo. É importante salientar que, neste tipo de sistema, deve-se tomar um cuidado especial com as aberturas exaustoras, visto que elas não podem ser obstruídas de forma alguma senão o ar não tem caminho para a saída.

Insuflação natural e exaustão mecânica

Neste segundo tipo de ventilação mecânica, tem-se que a entrada de ar, no recinto, ocorre de maneira natural, no entanto, a saída ocorre de maneira forçada (mecânica). Neste sistema, pode existir um ou diversos exaustores para a retirada do ar de determinado ambiente para um ambiente externo, assim, a pressão externa é superior à pressão interna devido ao processo de exaustão.

Conforme Macintyre (1990, p. 74), “embora em geral tenha menor custo que a insuflação mecânica, esse sistema não permite um controle adequado da qualidade do ar que penetra no recinto, salvo se forem utilizados filtros nas entradas de ar”. A Figura 4.12 apresenta um sistema insuflação natural e exaustão mecânica.

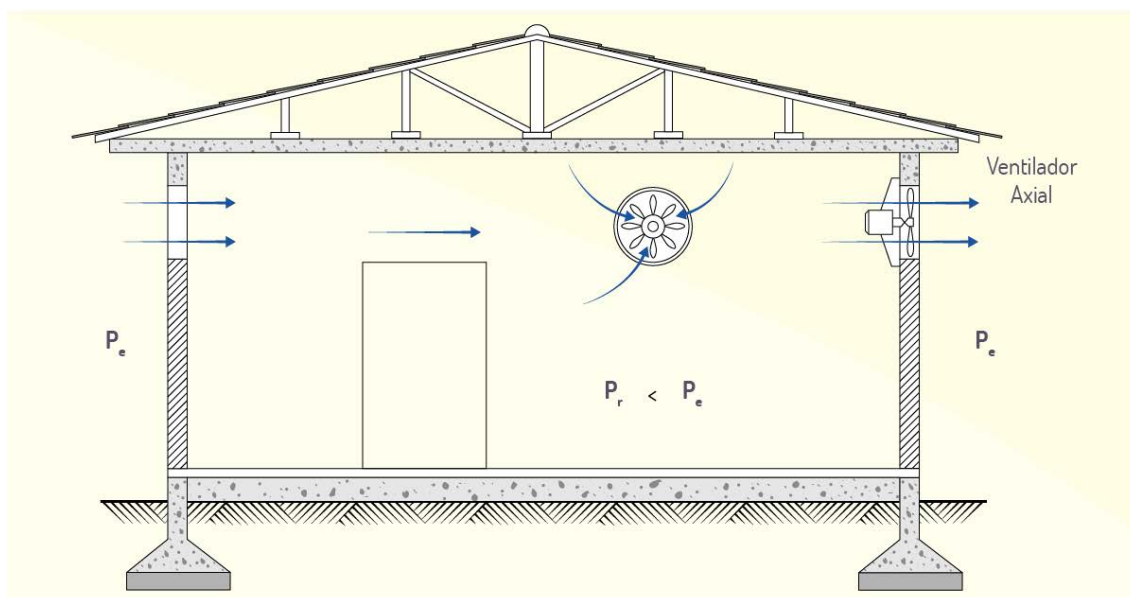


Figura 4.12 - Insuflação natural e exaustão mecânica

Fonte: Adaptada de Macintyre (1990, p. 74).

Neste subtópico, foi discutida a introdução do ar de maneira natural e sua saída (exaustão) de maneira forçada, em um determinado recinto. Neste sistema, tem-se que a pressão interna do ambiente é inferior à pressão externa devido ao processo de exaustão.

Insuflação e exaustão mecânica

Neste sistema, também chamado de sistema misto, tanto ventiladores que introduzem o ar (insuflação) quanto os que removem o ar (exaustão) trabalham em conjunto, em determinado ambiente. Esses equipamentos podem ser dispostos de modo direto ou em dutos para ventilação do ambiente em questão. Com essa combinação de ventiladores, é possível obter um controle da ventilação da qualidade do ar que está sendo introduzido, no ambiente, e da sua disseminação no ambiente. Conforme Macintyre (1990, p. 75), “tratando-se de um sistema mais dispendioso que os anteriores, o sistema misto, evidentemente, só deve ser adotado quando a ventilação não puder ser resolvida satisfatoriamente por um deles isoladamente”. A Figura 4.13 apresenta o sistema misto de ventilação.

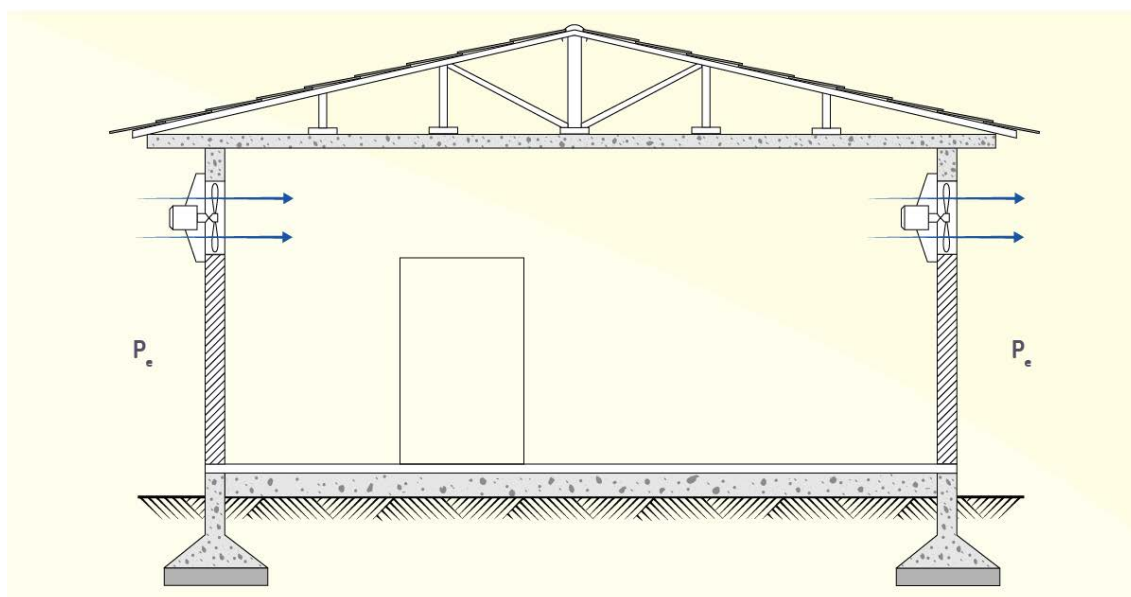


Figura 4.13 - Sistema misto de ventilação

Fonte: Adaptada de Macintyre (1990, p. 75).

Neste subtópico, foi discutida a ventilação geral diluidora e onde se aplicam suas respectivas variações. Este tipo de ventilação pode fazer uso de ventiladores e exaustores, trabalhando de forma isolada ou em conjunto, quando a ventilação natural não pode ser utilizada.

Ventilação local exaustora

Este tipo de ventilação retira o ar contaminado (gases tóxicos, fumos e poeiras) de forma mecânica de determinado ambiente, antes que se espalhe pelo local, prejudicando funcionários que estejam trabalhando. Para impedir que o ar contaminado se disperse pelo recinto, é necessário captá-lo junto à sua fonte de produção, assim, o ar contaminado não se espalhará pelo ambiente de trabalho, afetando os usuários do ambiente. Conforme Costa (2005, p. 140),

Uma instalação de ventilação local exaustora é constituída normalmente de captores, que envolvem o elemento poluidor extraíndo os contaminadores, de separadores ou coletores, que separam os contaminantes do ar que os arrasta, do elemento mecânico que garante a movimentação desejada do ar (ventiladores) e, das canalizações necessárias para a circulação do ar ao longo de todo o sistema.

Na sequência, são detalhados os componentes que formam um sistema de ventilação local exaustora.

- **Captor:** componente que capta o ar contaminado, sendo que este é disposto onde ar se origina.
- **Ventilador:** conforme Macintyre (1990, p. 199), “capaz de produzir rarefação ou depressão, graças à qual o ar contaminado se desloca do captor até a entrada do ventilador, e a pressão positiva, a fim de que esse ar saia do ventilador até a atmosfera exterior, ou aos filtros ou outros equipamentos de tratamento”.
- **Dutos:** este sistema é responsável por conduzir o ar contaminado do captor ao ventilador, a partir do ventilador, este é direcionado para fora do ambiente ou para sistemas de tratamento.
- **Coletores ou filtros:** dispositivos responsáveis por reter partículas ou diluir gases, impossibilitando que estes sejam lançados na atmosfera.

Portanto, pode-se dizer que o sistema de ventilação local exaustora é de extrema importância, visto que, em alguns casos, é aplicado visando ao conforto térmico, mas a maioria das aplicações deste sistema tem por finalidade a proteção à saúde humana. A Figura 4.14 apresenta um sistema de ventilação local exaustora.

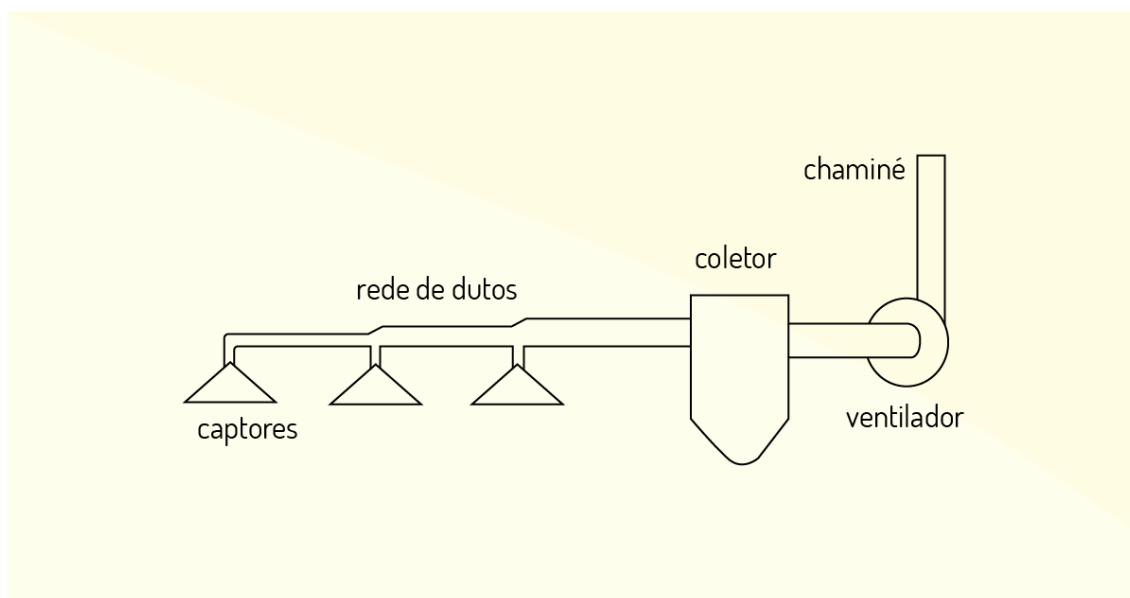


Figura 4.14 - Sistema de ventilação local exaustora

Fonte: Adaptada de Oliveira (*on-line*).

Neste subtópico, foram discutidas a introdução e a retirada do ar de um ambiente de maneira forçada; este sistema é, largamente, utilizado em indústrias que produzem gases, vapores ou poeiras tóxicas, em determinadas fases de seu processo, sendo que tem por função captar esses poluentes do ar e realizar seu devido tratamento, preservando a saúde do trabalhador.

ATIVIDADES (Ventilação industrial)

- 1) A ventilação industrial é de extrema importância para indústrias, visto que está, diretamente, relacionada à segurança do trabalhador. Sobre a ventilação local exaustora, é correto afirmar que:
 - a) a ventilação local exaustora, como o próprio nome já diz, é constituída somente de um exaustor que retira o ar de maneira mecânica.
 - b) a ventilação local exaustora, além de captar o ar contaminado, em determinado processo, pode também proporcionar conforto térmico ao trabalhador.
 - c) o sistema de ventilação local exaustora é formado por captores e dutos, sendo que sua instalação não depende do layout da fábrica.
 - d) a ventilação local exaustora é utilizada quando a contaminação do ar possui baixas concentrações de toxicidade.
 - e) o sistema de ventilação local exaustora é bastante utilizado quando se deseja realizar o deslocamento de grandes volumes de ar.

Fornos industriais

Os fornos industriais são máquinas que alcançam altas temperaturas com precisão e são empregados em diversas aplicações, como:

- processos químicos;
- processos de usinagem;
- processos de tratamento térmico
- produção de alimentos;
- soldas de montagem;
- secagens em geral.

Um forno industrial precisa ter seu revestimento de materiais específicos, visando gerar segurança para o usuário (operador) e, além disso, não prejudicar a qualidade da operação na qual esta máquina venha a ser aplicada, assim, são utilizados materiais refratários, adequados para suportar altas temperaturas, como exemplo, podemos citar as cerâmicas.

Conforme Mamede Filho (2008, p. 303),

Com o desenvolvimento econômico de País, surgiram projetos industriais em que fornos elétricos são parte fundamental da carga. Em geral, apresentam potência elevada, que preocupa sobremaneira as empresas concessionárias de energia elétrica, tanto pela capacidade do seu sistema supridor, como pela possibilidade de perturbação no seu próprio sistema, dependendo, neste caso, do tipo de forno que o consumidor adquiriu.

Como exemplo de consumo energético dos fornos, podemos citar uma indústria petroquímica, em que o investimento para adquirir fornos pode chegar a 20% do investimento total, no entanto, o consumo de energia é em torno de 80% da energia total consumida.

Considerando os fornos industriais elétricos, podemos citar três subdivisões:

- fornos a resistência elétrica;
- fornos de indução eletromagnética;
- fornos a arco.

Os fornos industriais elétricos são equipamentos robustos e, largamente, utilizados na indústria, devido ao aquecimento rápido que proporcionam (forno de indução eletromagnética) e alta eficiência energética (fornos a arco). Na sequência, são apresentados os tipos de fornos elétricos industriais.

Fornos a resistência elétrica

Este tipo de forno é caracterizado por utilizar o calor gerado por efeito Joule, em uma dada resistência elétrica, por onde passa corrente elétrica. O efeito Joule consiste na correlação entre o calor gerado, em um condutor, pela movimentação dos elétrons de forma ordenada (corrente elétrica), em um determinado tempo, ou seja, durante a passagem dos elétrons, no material condutor, devido às colisões dos elétrons com o núcleo dos átomos desorganizados, há o aumento da temperatura do material. Este efeito é denominado de efeito Joule. Considerando os fornos a resistência elétrica, têm-se duas variações:

- **fornos a resistência de aquecimento direto:** nesta primeira variação, o material aquecido fica disposto entre dois eletrodos que possuem uma pequena tensão. A corrente elétrica que flui pelo material e, conseqüentemente, realiza seu aquecimento, é a mesma do circuito externo. A Figura 4.15 apresenta o fluxo da corrente elétrica, em um forno a resistência de aquecimento direto.

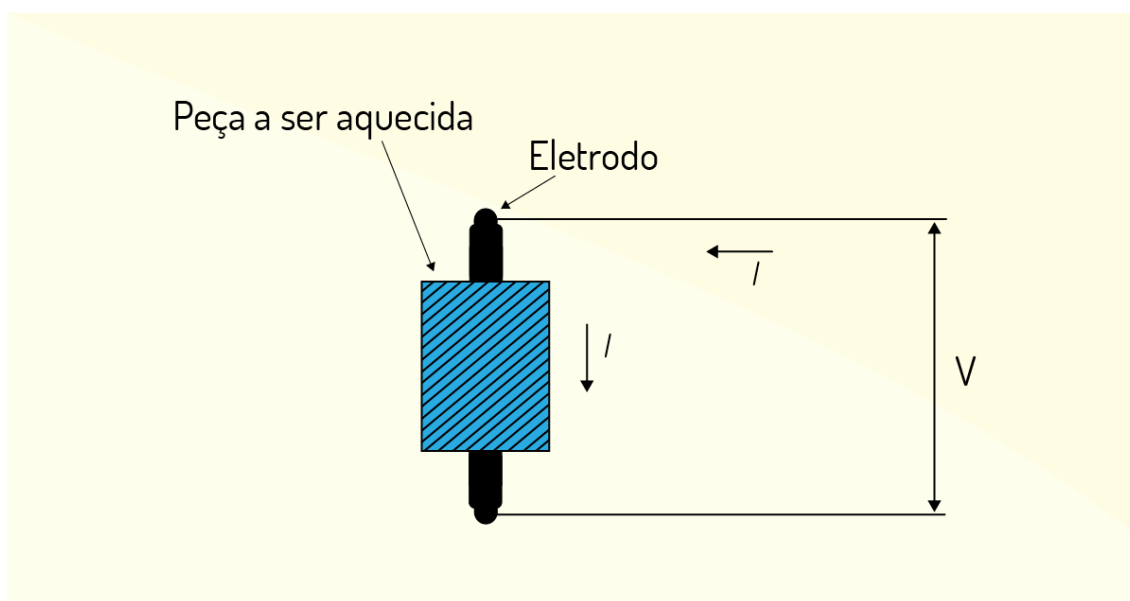


Figura 4.15 - Fluxo da corrente em um forno a resistência de aquecimento direto

Fonte: Mamede Filho (2008, p. 304).

- **fornos a resistência de aquecimento indireto:** nesta segunda variação, tem-se que o material a ser aquecido está disposto, em uma câmara separada, termicamente, sendo o calor transmitido pela resistência elétrica por meio de condução, convecção e radiação. Conforme Mamede Filho (2008, p. 307),

São os tipos mais comuns de fornos à resistência. Industrialmente, são empregados na fusão de materiais como chumbo e o alumínio, na secagem de vários produtos farmacêuticos, na vulcanização em geral, no cozimento de produtos alimentícios, no tratamento térmico de metais, etc.

A Figura 4.16 apresenta um esquema de um forno a resistência de aquecimento indireto. É importante salientar que a resistência elétrica e o material que está sendo aquecido estão em câmaras separadas.

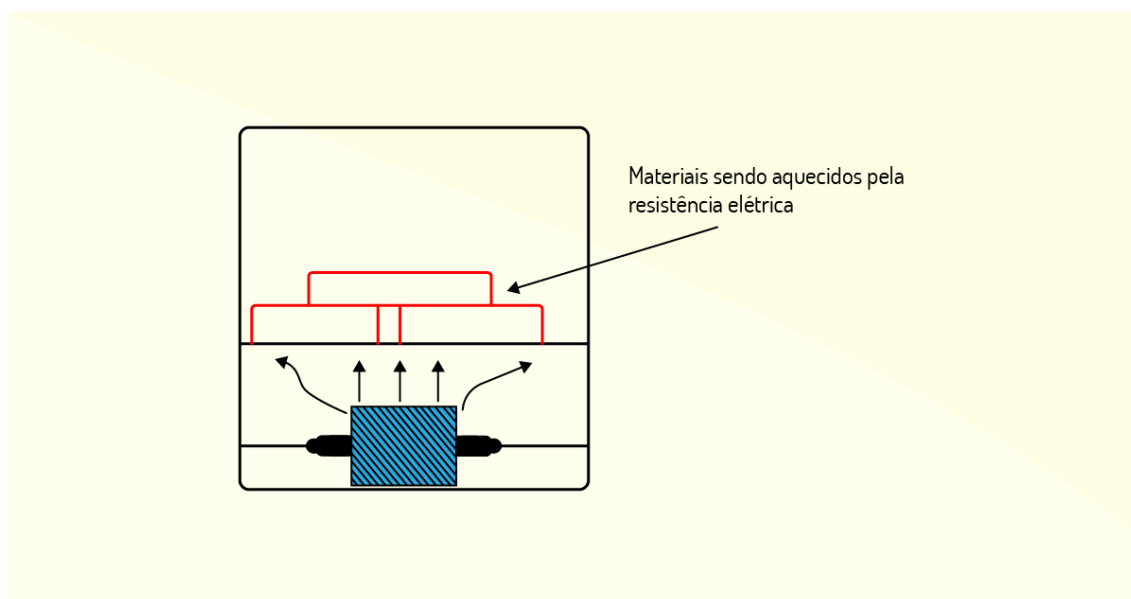


Figura 4.16 - Esquema de um forno a resistência de aquecimento indireto

Fonte: Elaborada pelo autor.

As resistências elétricas deste tipo de forno têm a possibilidade de serem conectadas como circuitos monofásicos ou trifásicos, sendo estes últimos mais adequados devido à utilização de menor quantidade de material resistor.

Fornos de indução eletromagnética

Conforme Gandhewar, Bansod e Borade (2011, p. 277),

O desenvolvimento de fornos de aquecimento a indução começa com Michael Faraday, que enunciou o princípio da indução eletromagnética no início do século XIX. No entanto, somente no final de 1870 o engenheiro britânico Sebastian de Ferranti começou experimentos aplicando a teoria de Faraday para aquecimento de metais. Em 1890, Edward Allen Colby patenteou o primeiro forno de indução para derretimento de metais. O primeiro uso prático foi em 1900 em Gysinnge (Suécia) por Kjellin. O primeiro forno de indução trifásico foi construído na Alemanha em 1906 por Rochling-Rodenhauser. Em 1907, foi produzido o primeiro aço em um forno de indução nos Estados Unidos.

Antes de iniciar o estudo dos fornos de indução eletromagnética, é importante ter alguns conceitos claros sobre o aquecimento indutivo. Esta técnica é indicada quando se deseja um controle de temperatura rigoroso, aquecimento rápido e aplicações que necessitem de altas densidades de potência. Caso uma peça metálica qualquer seja disposta dentro de uma bobina indutiva alimentada por uma corrente elétrica alternada, tanto a peça metálica quanto as bobinas se conectam por um campo eletromagnético, também alternado, assim, o campo magnético que flui pela peça gera correntes induzidas que aquecem a peça e realizam sua fundição. A Figura 4.17 apresenta o sistema de aquecimento indutivo.

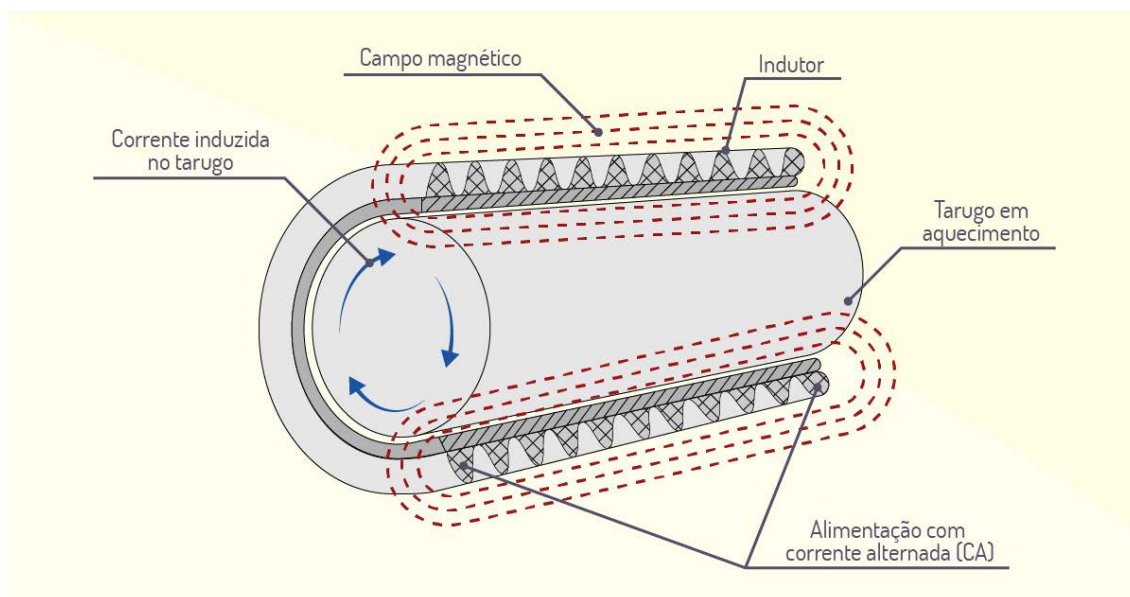


Figura 4.17 - Sistema de aquecimento indutivo

Fonte: Princípios... (on-line).

Este tipo de forno é, largamente, utilizado em indústrias de fundição, por exemplo, sendo que sua capacidade de material a ser fundido pode variar de dezenas de quilos a diversas toneladas. O seu funcionamento baseia-se no princípio de funcionamento de um transformador, ou seja, uma corrente elétrica que não é constante no tempo cria um campo magnético variável no tempo, este gera uma corrente elétrica variante no tempo, no enrolamento secundário do transformador. Conforme Mamede Filho (2008, p. 311), “os fornos de indução operam basicamente como um transformador, no qual o primário representa a bobina de indução do forno e o secundário, em curto-circuito, equivale à carga metálica de trabalho”. Basicamente, pode-se dizer que a corrente induzida citada gera o aquecimento do material. A Figura 4.18 apresenta o forno de indução.

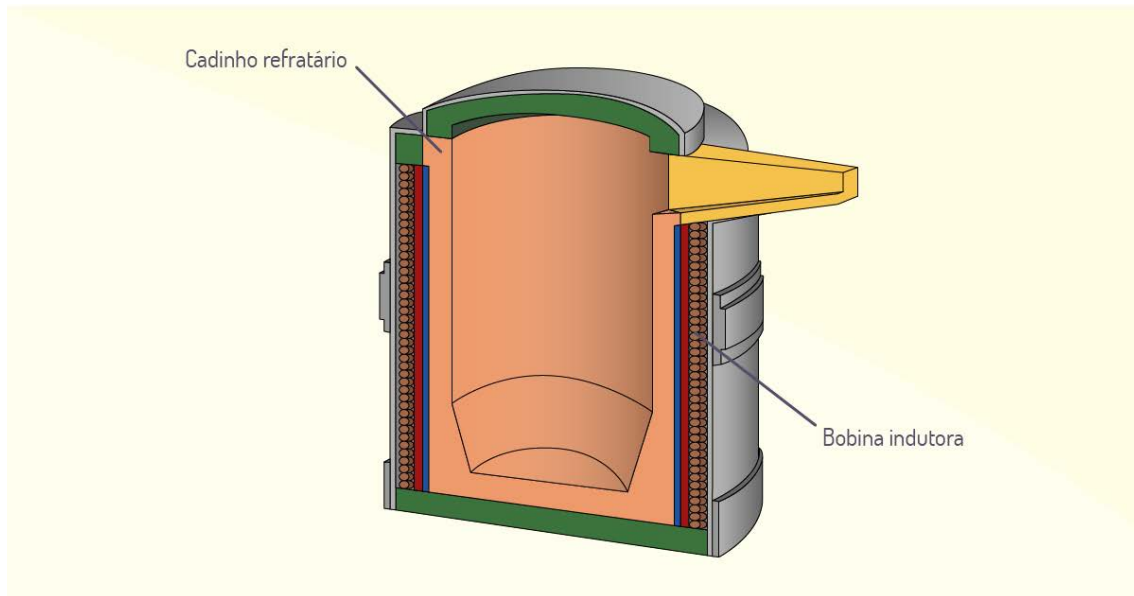


Figura 4.18 - Forno de indução

Fonte: Urrutia (2015, *on-line*).

Conforme Rudnev *et al.* (2002, p. 254), “o aquecimento indutivo apresenta uma grande eficiência energética, com alta taxa de aquecimento e reduzido nível de oxidação do material processado, possibilitando melhores condições de trabalho e controle de processo em questão”.

As principais vantagens deste tipo de forno é a rapidez com que o aquecimento ocorre e a não emissão de poeira, ruídos e gases pela grande parte destas máquinas, além das reduzidas perdas no processo. Os fornos de indução possuem três variações, que são descritas a seguir.

- **Fornos de indução a canal:** este tipo de forno também é conhecido como forno de indução com núcleo magnético, visto que dispõe de um núcleo de aço magnético parecido aos usados em transformadores, onde é enrolada uma bobina, sendo esta, geralmente, de cobre com refrigeração à água. É aplicada uma tensão nas extremidades da bobina, o que gera uma corrente elétrica que induz um campo eletromagnético no canal, aquecendo o metal nele colocado. A Figura 4.19 apresenta o forno de indução a canal.

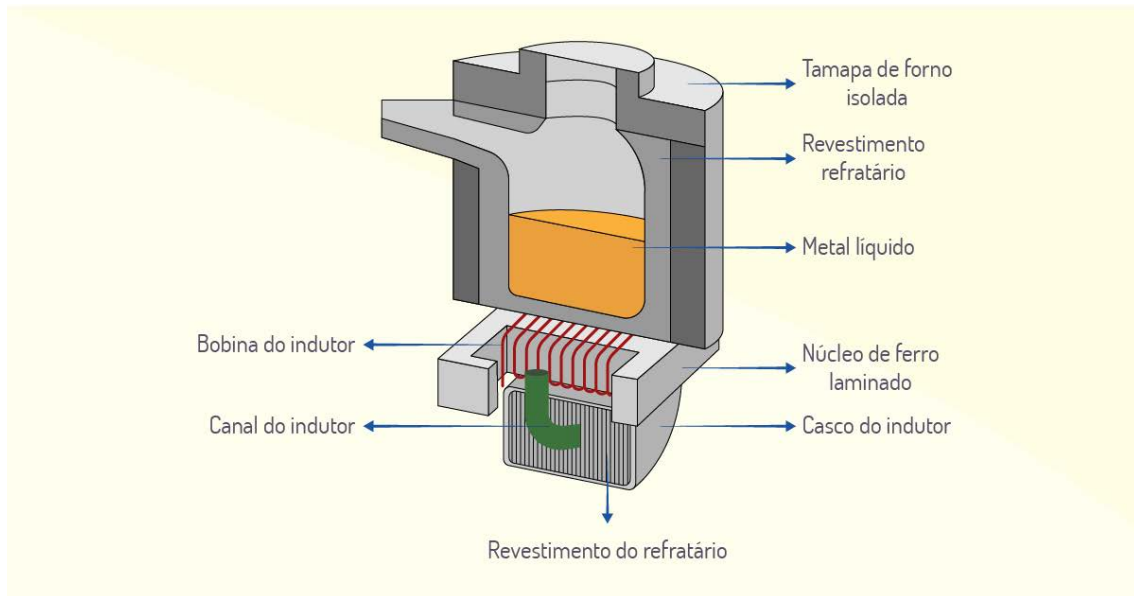


Figura 4.19 - Forno de indução a canal

Fonte: Adaptada de Frade (2015, p. 33).

- Fornos de indução de cadinho:** este tipo de forno também é conhecido como forno de indução sem núcleo magnético. Ele é formado por um reservatório circular onde é colocado o metal a ser fundido. Em seguida, vai sendo separado, termicamente, já que este é circundado por uma bobina de indução a qual aquece o recipiente circular e, conseqüentemente, o metal. Neste tipo de forno, o próprio metal que será fundido exerce a função de secundário. Conforme Padilha (*on-line*),

O início da operação é normalmente feita com carga sólida, porém, após a primeira fusão, é comum deixar certa quantidade de carga líquida no forno. Com cerca de 15 a 20% do total, normalmente chamado de ‘pé de banho’, essa quantidade ajuda a aumentar a velocidade de fusão da próxima carga.

A Figura 4.20 apresenta o forno de indução a cadinho.

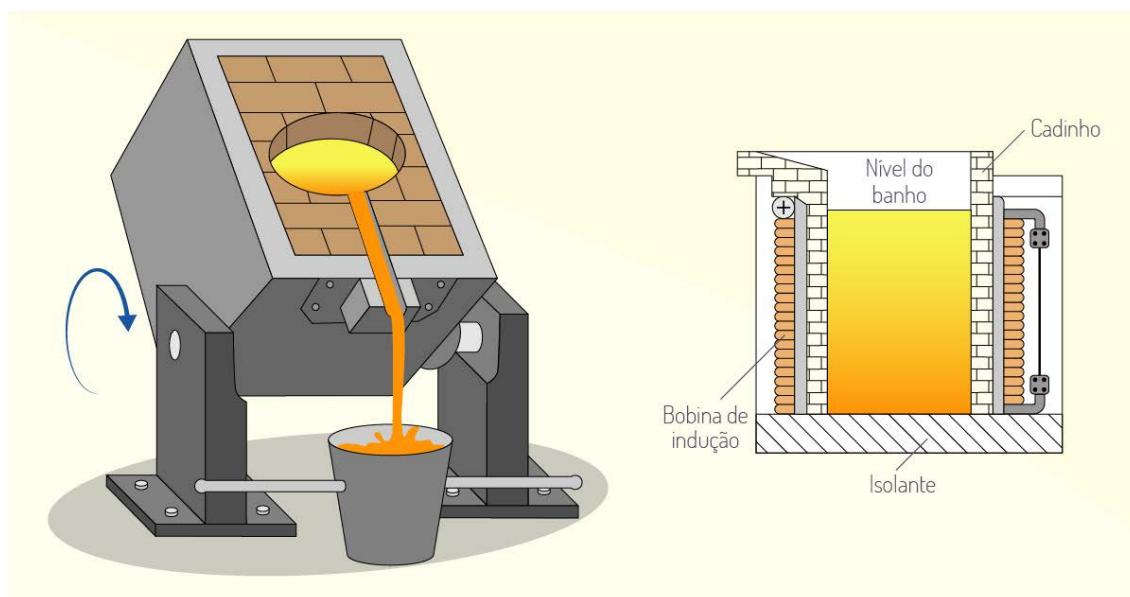


Figura 4.20 - Forno de indução a cadinho

Fonte: Dorival (2015, *on-line*).

- **Fornos de indução para aquecimento de tarugos:** conforme Mamede Filho (2008, p. 313),

Este tipo de forno é constituído de várias bobinas circulares, instaladas no interior de material refratário, através das quais é introduzida a carga. São empregados particularmente em companhias siderúrgicas voltadas para a fabricação de ferro para a construção civil, utilizando como matéria-prima a sucata.

A Figura 4.21 apresenta o forno de indução para aquecimento de tarugo.

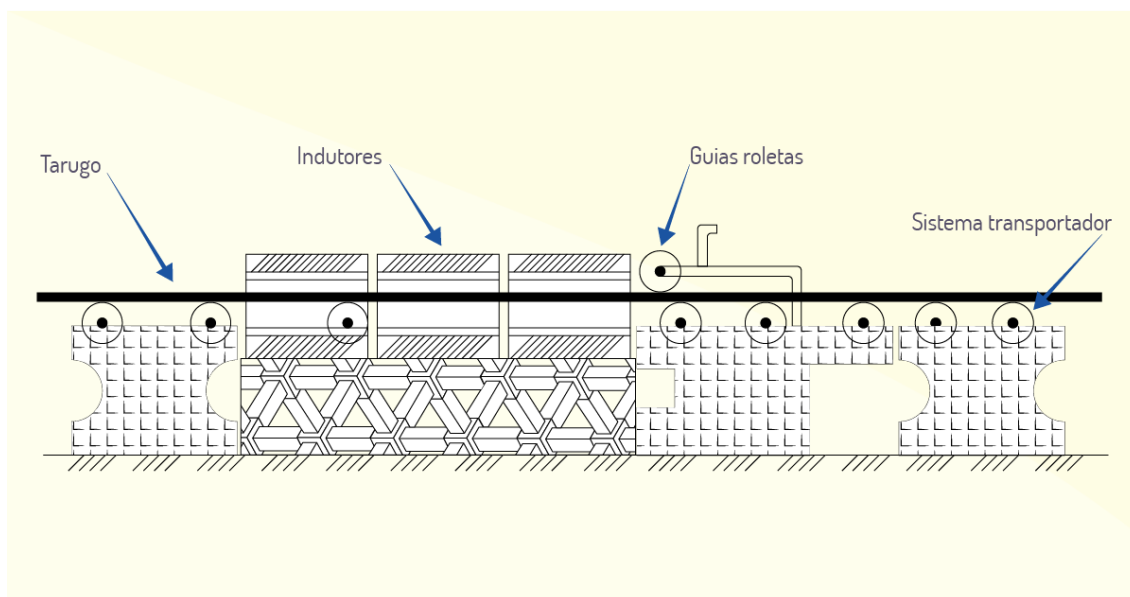


Figura 4.21 - Forno de indução para aquecimento de tarugo

Fonte: Mamede Filho (2008, p. 314).

Neste subtópico, foram discutidos os temas fornos de indução eletromagnética e algumas de suas variações, sendo apresentado o princípio de funcionamento, os métodos construtivos e as diversas aplicações desses equipamentos.

Fornos a arco

Conforme John (2009, p. 14), “a primeira patente de FEA foi concedida ao Sir William Siemens em 1878. A primeira planta industrial foi instalada por Paul Héroult nos Estados Unidos em 1907, e todas as plantas até a Segunda Guerra Mundial fabricavam somente aços especiais”.

Nesse tipo de forno, é usado o arco elétrico para produzir calor. Estes são, amplamente, empregados, na indústria, para realizar fundição de ferro e aço, por exemplo. O princípio do arco elétrico consiste na ruptura dielétrica do ar, ou seja, quando se tem um material qualquer que é um isolante (não há passagem de corrente elétrica), é exposto a uma tensão elevada que possibilita a passagem de elétrons por esse isolante, tem-se o arco elétrico. Os fornos a arco podem ser subdivididos em três tipos:

- **forno a arco submerso:** este tipo de forno também é chamado forno a arco-resistência, sendo formado por uma cuba coberta por material refratário, sendo que os eletrodos trabalham submersos na massa a ser fundida. Conforme Mamede Filho (2008, p. 315),

“são destinados mais especificamente à produção de diversas ligas de ferro que, dependendo da sua composição, consomem uma quantidade de energia compreendida entre 3.000 e 6.000 kWh/ton, podendo atingir, em certos casos, valores bem superiores”. A Figura 4.22 apresenta o forno a arco submerso.

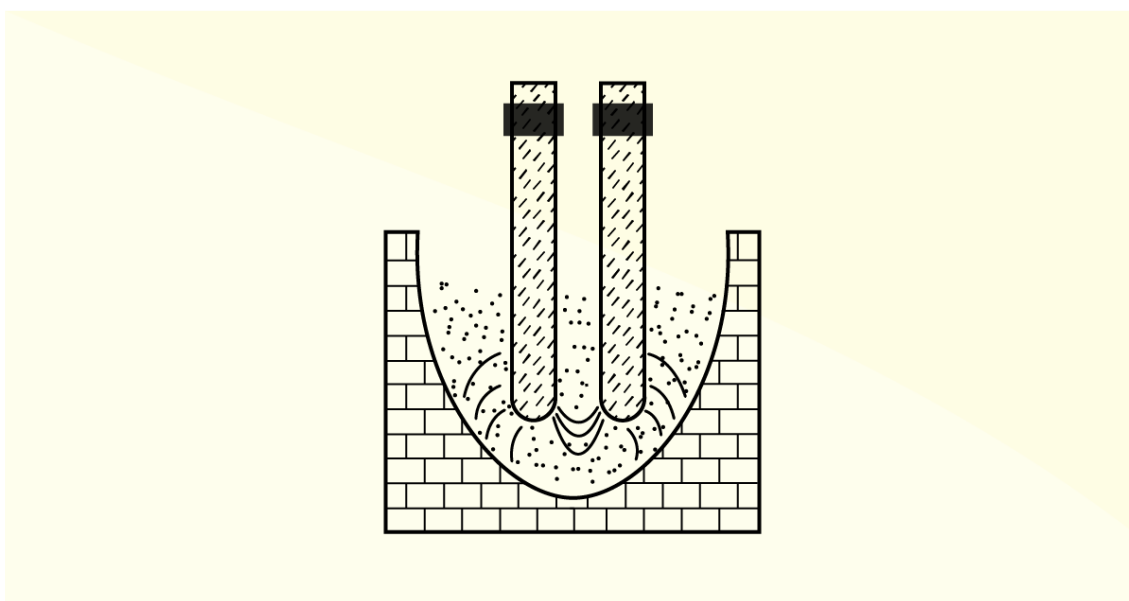


Figura 4.22 - Forno a arco submerso

Fonte: Teixeira (*on-line*).

- **forno a arco indireto:** este tipo de forno é formado por uma cuba coberta de material refratário, sendo que os eletrodos são dispostos, horizontalmente, levemente acima da carga de trabalho. Neste tipo de forno, o fenômeno arco-elétrico é conservado entre os eletrodos, no entanto, o calor gerado pelo arco é transferido aos materiais a serem fundidos por meio de irradiação e convecção. Conforme Mamede Filho (2008, p. 315), “São destinados mais especificamente à fusão de vários metais não-ferrosos. São de pouca utilização e constituídos normalmente de potências modestas, compreendidas, em geral, entre 100 e 1.000 kVA”. A Figura 4.23 apresenta o forno a arco indireto.

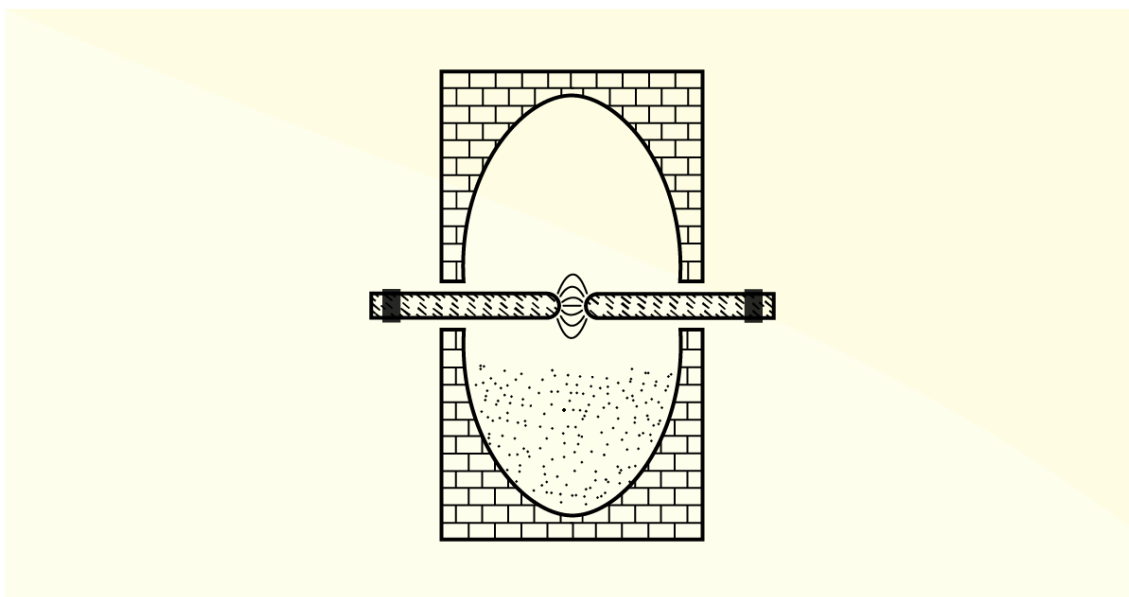


Figura 4.23 - Forno a arco indireto

Fonte: Teixeira (*on-line*).

- **forno a arco direto:** este tipo de forno é formado por uma cuba coberta de material refratário, sendo que os eletrodos são dispostos, verticalmente e levemente, acima da carga de trabalho. O arco elétrico é criado quando a corrente flui do eletrodo e passa pelo ar (ruptura do dielétrico) que separa o eletrodo do material, assim, a passagem de energia térmica (calor) acontece, diretamente, para a carga. Conforme Mamede Filho (2008, p. 315),

São destinados mais especificamente à fusão de sucata de ferro e aço dirigida à fabricação de lingotes que, após laminados, se convertem em vergalhões utilizados na construção civil e em barras de espessuras e tamanhos variados, utilizadas em aplicações diversas. Também são empregados no superaquecimento e manutenção da temperatura de banhos de metais líquidos provenientes de outros fornos.

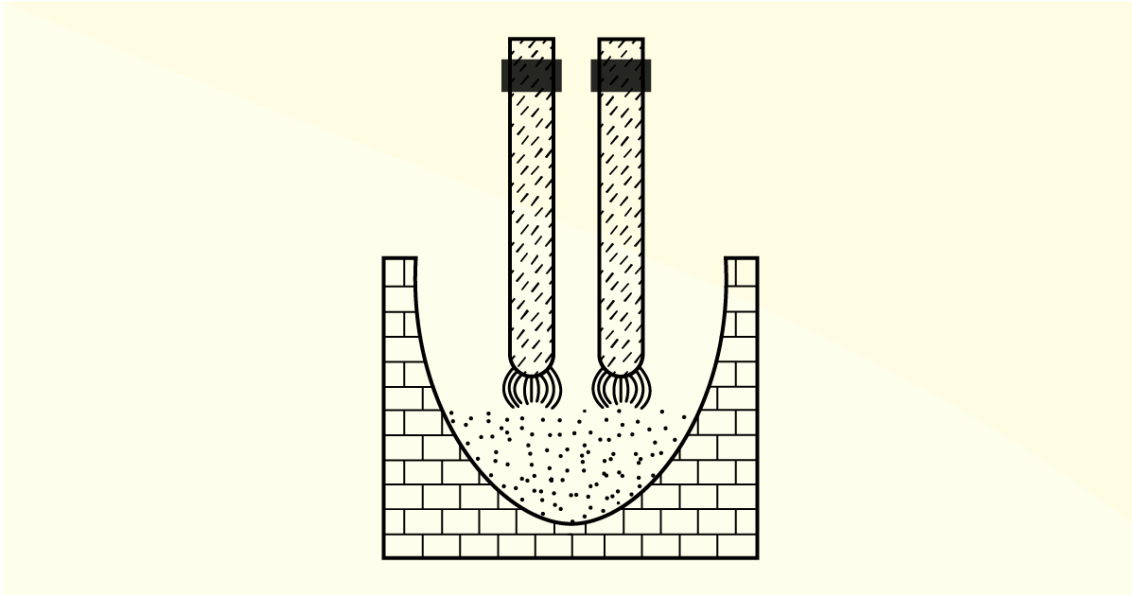


Figura 4.24 - Forno a arco direto

Fonte: Teixeira (*on-line*).

Neste tópico, foi discutido o tema fornos industriais e suas variações, destacando sua importância e aplicabilidade, na indústria, e também foram apresentadas algumas vantagens e desvantagens desta máquina, além do seu princípio de funcionamento.

ATIVIDADES (Fornos Industriais)

- 2) Os fornos industriais são equipamentos que conseguem atingir temperaturas elevadas, sendo utilizados, em indústrias siderúrgicas, por exemplo. Em relação aos fornos industriais elétricos, assinale a alternativa correta.
- a) Os fornos a resistência de aquecimento direto geram correntes elétricas induzidas que aquecem a peça a qual será fundida.
 - b) O forno de arco direto gera o aquecimento do material a ser fundido por meio do fenômeno do arco elétrico.
 - c) O forno a arco submerso realiza o aquecimento do material que se deseja fundir pelo fenômeno da convecção e irradiação de calor.
 - d) O efeito Joule surge pelo movimento desordenado dos elétrons que fluem pelos eletrodos, aquecendo o material.
 - e) O forno a resistência de aquecimento direto transmite o calor por meio da condução, convecção e irradiação.

Banhos industriais

Os banhos industriais são os tratamentos químicos feitos na superfície de uma peça. Neste capítulo, é tratado o tema galvanoplastia, que se trata de um processo industrial o qual faz uso da eletrólise, para proteger uma peça metálica com outro metal.

Conforme o *site* CRQ-IV (GALVANIZAÇÃO..., *on-line*),

A galvanoplastia é um processo químico ou eletroquímico de deposição de uma fina camada de um metal sobre uma superfície, que pode ser metálica ou não. O objetivo deste processo é embelezar as peças, e também protegê-las contra a corrosão, aumentar sua durabilidade, melhorar as propriedades superficiais e características de resistência, espessura, condutividade e capacidade de estampar. A galvanoplastia é aplicada em vários ramos da atividade econômica: na indústria automobilística, na indústria de bijuterias, na construção civil, na indústria de utensílios domésticos, na informática, na indústria de telefonia e na recuperação de objetos decorativos. Para ganhar uma

camada externa metálica, as peças são submetidas a um ou mais banhos, que podem ser de cromo, níquel, ouro, prata, cobre, zinco ou estanho.

O processo galvânico traduz-se na deposição de uma camada metálica sobre um determinado material com o uso de energia elétrica. Esta técnica consiste em mergulhar a peça que se deseja galvanizar e o material que fornecerá o revestimento em uma solução eletrolítica. O material que está à direita fornece o revestimento à peça que se encontra à esquerda. Neste meio aquoso, ocorre fluxo de cátions (íons com carga elétrica positiva) do metal de revestimento para a peça que está sendo revestida e os ânions (íons com carga elétrica negativa) da solução eletrolítica fluem para o material de revestimento. É importante salientar que, durante este processo, o material que fornece o revestimento é gasto, logo, o processo precisa ser monitorado e restituído para a continuidade do processo de galvanoplastia. A Figura 4.25 apresenta o processo galvânico em detalhe.

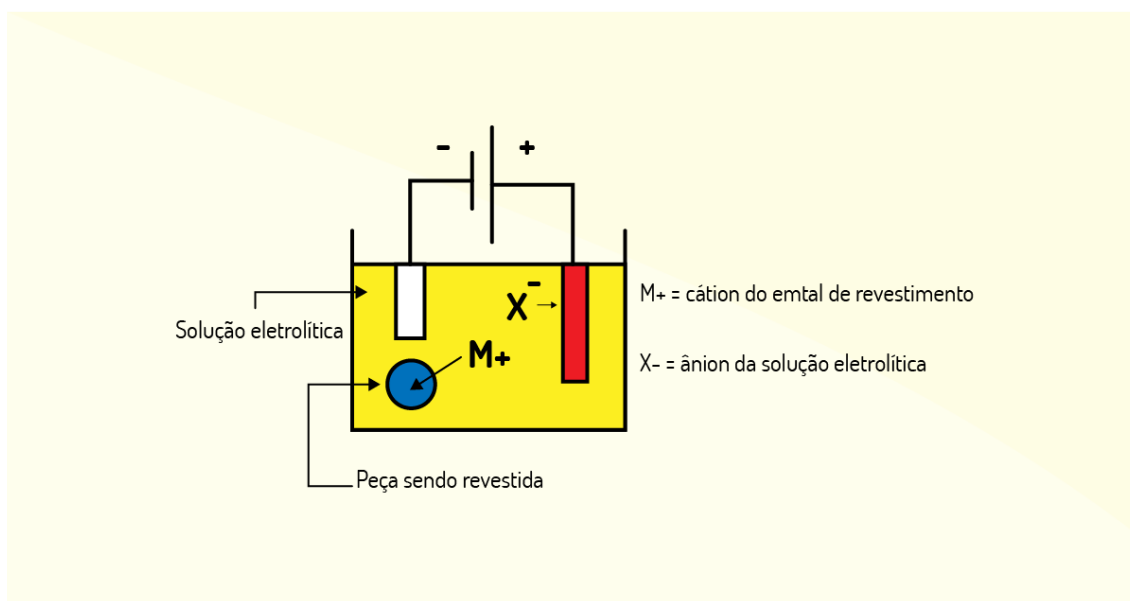


Figura 4.25 - Processo galvânico - eletrólise

Fonte: Adaptada de Barros (2016, p. 21).

O metal que fornece os cátions para o revestimento da peça é que define o tipo da técnica de galvanização, sendo que estas podem ser: cromagem, prateação, douração, niquelagem, zincagem, estanhagem, cobreagem entre outras.

A galvanoplastia segue várias fases que antecedem o processo de eletrólise, propriamente dito, sendo separadas em três etapas distintas, descritas a seguir.

- **Pré-tratamento:** conforme o *site* CRQ-IV (GALVANIZAÇÃO..., *on-line*),

[...] consiste na preparação da superfície da peça para que tenha aderência, favorecendo também a uniformidade e a aparência do metal que será depositado. O pré-tratamento pode ser realizado por escovação, lixamento, polimento, decapagem e jateamento para remoção de rebarbas, sulcos, tintas, graxas e ferrugem.

Basicamente, pode-se dizer que esta etapa é encarregada de remover possíveis falhas (defeitos), proporcionando uniformidade à peça ou material em questão que vai receber o banho industrial.

- **Tratamento:** conforme o *site* CRQ-IV (GALVANIZAÇÃO..., *on-line*),

Nesta etapa a peça é submetida a um ou mais banhos de metais para que adquira uma fina camada metálica. Nessa fase, a peça é ligada ao pólo negativo de uma fonte de corrente contínua tornando-se cátodo, no qual ocorre a deposição do metal. Para a cromeação, por exemplo, a peça passa por um banho de cobre, outro de níquel e ao final recebe uma camada de cromo.

Basicamente, pode-se dizer que, nesta etapa, a peça recebe de fato a camada de metal, proporcionando melhoria de algumas características das peças, como: estética, resistência à corrosão e dureza em alguns casos.

- **Pós-tratamento:** conforme CRQ-IV (GALVANIZAÇÃO..., *on-line*), “esta etapa consiste em um processo de lavagem com água fria ou quente, secagem em centrífuga, estufa ou jatos de ar, banho de óleo para embalagem, proteção e pintura ou envernizamento”. Esta é a fase final e tem por finalidade dar o acabamento final ao material. A Figura 4.26 apresenta as fases de pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento da galvanoplastia.

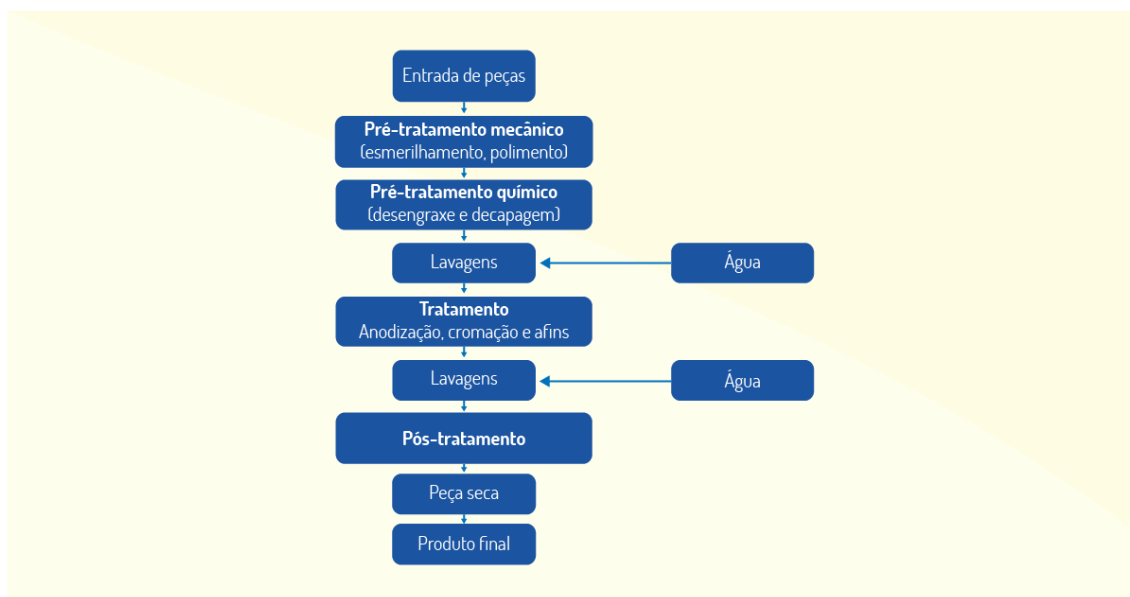


Figura 4.26 - Fases da galvanoplastia

Fonte: Adaptada de Barros (2016, p. 23).

Além do processo de galvanoplastia, têm-se os processos de anodização e eletrodeposição. A anodização consiste em um outro tipo de tratamento de superfície que é empregado para o alumínio e suas respectivas ligas. Esta técnica é uma oxidação forçada do material, conferindo a este uma camada de proteção, isolante e com alta durabilidade.

A técnica de eletrodeposição tem como finalidade a deposição de metal, em uma superfície plástica, visando à melhoria da estética entre outras melhorias do material.

A eletrodeposição aumenta a resistência à corrosão em peças de automóveis, por exemplo. Este tipo de metalização tem a vantagem de produzir peças com pesos menores que as peças metálicas. A metalização em plásticos é usada em peças sanitárias que requerem camadas de alta duração e resistentes à água e à umidade, em geladeiras, máquinas de lavar, eletrodomésticos e em peças de acabamento para a indústria automobilística, como grades frontais e frisos externos dos veículos. Equipamentos eletrônicos também usam este tipo de acabamento. A eletrodeposição utiliza cobre, níquel, níquel acetinado e cromo. O resultado é um acabamento brilhante e acetinado, que pode

ter uma série de cores, como dourado, prateado e vários tons metálicos (GALVANIZAÇÃO..., *on-line*).

A eletrodeposição é um processo eletroquímico que, basicamente, melhora as características da peça a qual passa por esse banho, conferindo-lhe resistência e melhoria da sua estética.

Banhos de lavagem

As operações de galvanoplastia acontecem por meio de uma sequência de banhos químicos que proporcionam às peças as quais recebem este revestimento diversas camadas distintas de cobertura metálica. Entre um banho químico e outro, geralmente, existem tanques de lavagem com água, estes são necessários para a remoção de excessos do produto químico em questão, consequentemente, preparando a peça para o próximo banho químico.

Conforme Buzzoni (1991, p. 79),

As águas de lavagem devem ser objeto de atenção sanitária por parte dos gestores da produção, pois tanto as soluções dos banhos quanto a água de lavagem não devem ser dispostas diretamente nos corpos hídricos ou nas redes de esgoto, mas obrigatoriamente sofrer processo de neutralização e retirada de ácidos, álcalis, cianetos e metais pesados.

A Figura 4.27 apresenta tanques de lavagem com água.

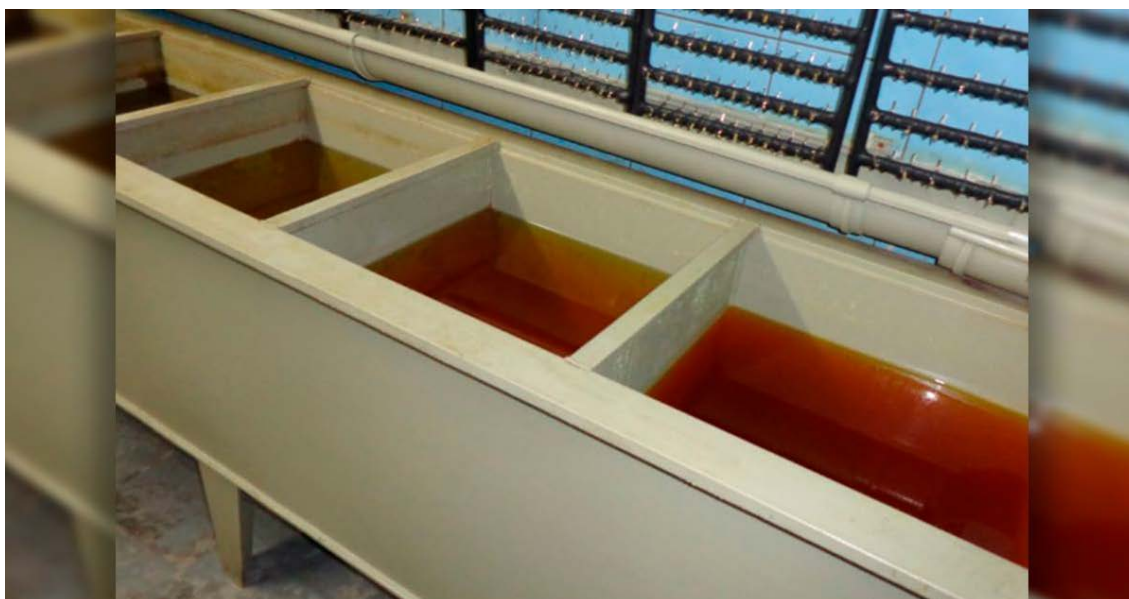


Figura 4.27 - Tanque de lavagem com água

Fonte: Perez, Corrêa e Pires (2014, p. 14).

Conforme Buzzoni (1991, p. 80),

A durabilidade da concentração dos banhos eletrolíticos é fundamental para a qualidade do revestimento metálico sobre as peças, o que é alcançado com um manuseio cuidadoso e trabalho limpo, os quais diminuem o arraste de eletrólitos para os tanques de lavagem e consequentemente reduzem o volume de tratamento de águas residuais.

Neste subtópico, discutimos o tema banhos de lavagem e a importância de eles serem realizados de maneira correta, para a obtenção do resultado desejado, em relação às peças que passam por determinado banho industrial.

Banhos industriais - agentes poluidores

O processo de galvanoplastia é uma área de alta complexidade referente à emissão de poluentes, na natureza, estes poluentes podem ser líquidos, sólidos, além da emissão de gases e o uso de metais pesados, os quais são, extremamente, prejudiciais a todo o ecossistema.

Os efluentes líquidos têm como principal vilã a eliminação das águas de lavagens das peças galvanizadas, fato que ocorre entre os banhos químicos. Para o descarte correto dessas águas,

pode ser realizada uma simples neutralização da acidez ou alcalinidade até a retirada de metais pesados que se encontram diluídos na água.

Na galvanoplastia, o uso de metais para o banho é fundamental, todavia, como estes estão em altas concentrações, na maioria dos casos, tornam-se tóxicos, causando problemas à saúde humana e ao meio ambiente, caso não sejam descartados de maneira correta. É importante salientar que alguns metais, como o chumbo e o cádmio, por exemplo, que são utilizados em banhos industriais, são prejudiciais a qualquer organismo vivo, em qualquer concentração. Eles são os chamados metais pesados.

Conforme o Inea (2014, p. 26), “Os resíduos sólidos podem ser provenientes do processo produtivo ou da manipulação e do transporte de insumos e reagentes necessários à manutenção do processo”. Na sequência, são apresentados alguns exemplos de resíduos sólidos gerados no processo:

- sucatas;
- resquício da fase de pré-tratamento;
- lodo originário do processo de tratamento das águas de lavagem;
- embalagens;
- lama dos tanques de lavagem.

Conforme o Inea (2014, p. 26),

Os resíduos sólidos, notadamente o lodo do tratamento, são um dos problemas que mais afeta a atividade. Atualmente, a alternativa mais usada é a disposição em aterros especiais, com altos custos de disposição. Em função dos metais presentes no lodo, este resíduo é classificado como Classe I – Perigoso, pela NBR 10.004:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o que exige destinação controlada.

Neste tópico, foi discutido o tema banhos industriais (galvanoplastia) e a sua importância, visto que proporciona a melhoria das características dos materiais em que é aplicada, como aumento da durabilidade, resistência à corrosão e afins. Por fim, analisou-se, brevemente, o impacto desta tecnologia no meio ambiente.

ATIVIDADES (Banhos industriais)

- 3) A galvanoplastia é um processo industrial que proporciona melhoria de algumas características de diferentes tipos de peças. Sobre a galvanoplastia, é correto afirmar que:
- a) a galvanoplastia, praticamente, não apresenta impactos ambientais, visto que a água proveniente das lavagens é pura.
 - b) os metais possuem alta dissolução em água, este fato pode causar danos à saúde. No caso da galvanoplastia, esse fato é mais crítico.
 - c) a fase de tratamento, no processo de galvanoplastia, diz respeito ao preparo da peça, ou seja, são eliminadas possíveis imperfeições.
 - d) na fase de pós-tratamento, no processo de galvanoplastia, a peça ainda está mergulhada na solução eletrolítica.
 - e) o processo de galvanização produz vários tipos de poluentes prejudiciais ao meio ambiente, todavia, não é emitido nenhum tipo de gás.

Trocadores de calor

Conforme Incropera *et al.* (2008, p. 425),

O processo de troca de calor entre dois fluidos que estão a diferentes temperaturas e se encontram separados por uma parede sólida ocorre em muitas aplicações de engenharia. O equipamento usado para implementar essa troca é conhecido como trocador de calor, e suas aplicações específicas podem ser encontradas no aquecimento de ambientes e no condicionamento de ar, na produção de potência, na recuperação de calor em processos e no processamento químico.

O trocador de calor é uma máquina que possibilita a troca de calor entre fluidos que possuem temperaturas diferentes. Conforme Coelho (2016, p. 215),

Os trocadores de calor são, tradicionalmente, equipamentos que permitem a transferência de calor entre dois fluidos através de uma parede sólida. Largamente utilizados na indústria, pode-se encontrá-los nos mais diversos setores produtivos, tais como: produção de açúcar e álcool, produção de petróleo e seus derivados, papel e celulose, entre outros.

Os trocadores de calor são segmentados, considerando sua configuração de escoamento e o tipo construtivo.

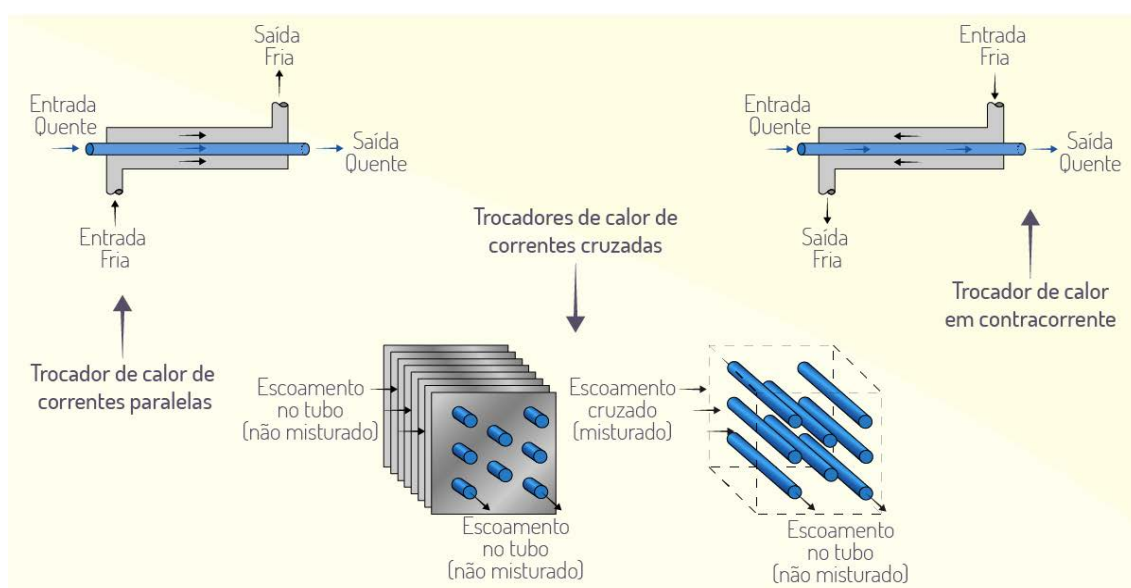


Figura 4.28 - Trocadores de calor - Tipos de escoamento

Fonte: Adaptada de Bohorquez (*on-line*).

Considerando os modelos mais triviais, o fluido quente e frio desloca-se tanto no sentido paralelo, como no sentido de contracorrente. Os modelos mais avançados possuem o escoamento cruzado, ou seja, um fluido com ângulo de 90° em relação ao outro. Conforme Souza (2016, p. 68), “simplicadamente, os trocadores de calor são classificados pelo movimento relativo entre os fluidos, que podem mover-se por correntes paralelas ou contrárias, e pela maneira como é feita a separação entre os fluidos”. Os trocadores de calor são subdivididos em três tipos:

- **recuperadores:** conforme Kreith (2003, p. 435),

Nesse tipo de trocador de calor, os fluidos quente e frio são separados por uma parede, e o calor é transferido por meio de uma combinação de convecção para e a partir da parede e de condução através da parede. Esta pode incluir superfícies estendidas, como aletas, ou outros dispositivos de aumento de transferência de calor.

A Figura 4.29 apresenta um trocador de calor recuperador, sendo que os fluidos são separados por uma parede.

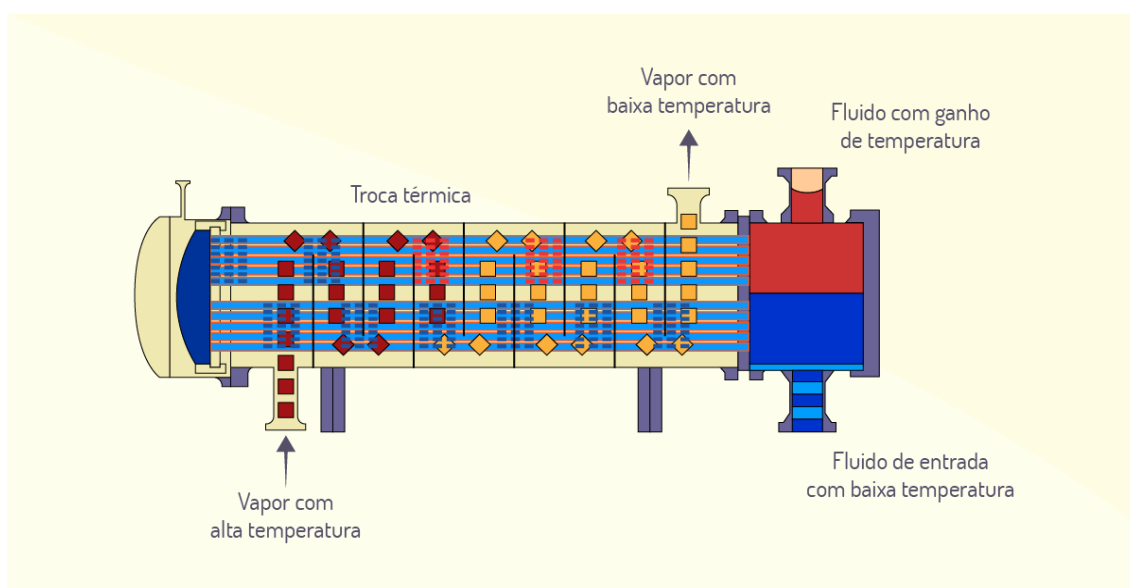


Figura 4.29 - Trocador de calor recuperador

Fonte: Adaptada de Pires *et al.* (2016, p. 3).

- **regeneradores:** este tipo de trocador de calor tem como característica principal a alternância entre os fluidos quente e frio do espaço no núcleo do trocador. Este núcleo funciona como um local de armazenamento de calor, ou seja, é aquecido pelo fluido mais quente, em determinado momento, e, na sequência, transmite esse calor para o fluido que se encontra mais frio.

- **contato direto:** este é o tipo de trocador de calor em que, como o próprio nome já diz, os fluidos quente e frio estão em contato direto.

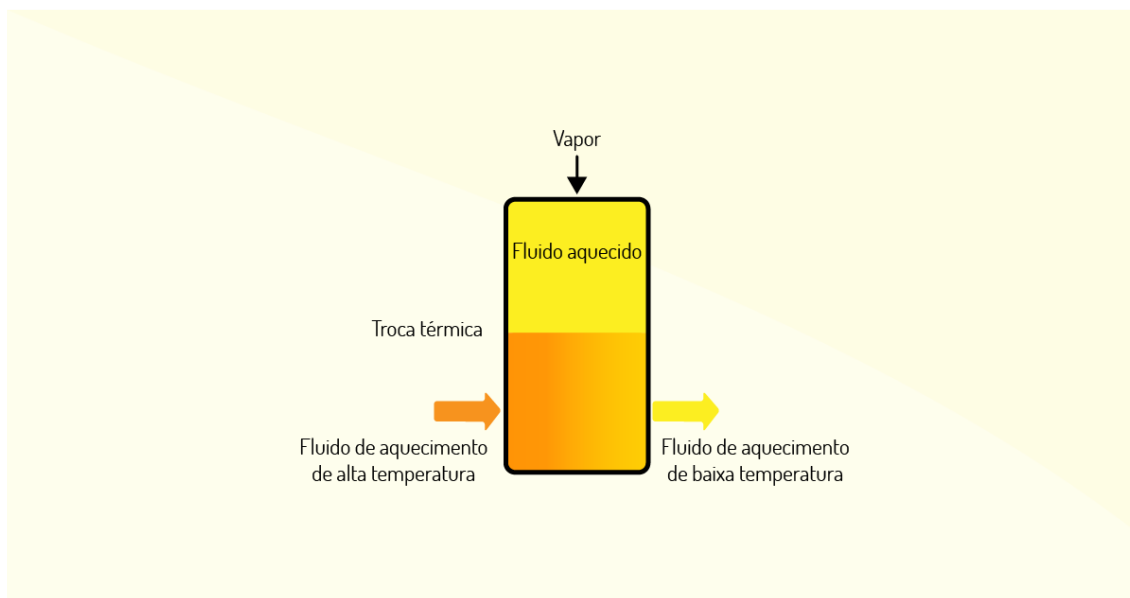


Figura 4.30 - Trocador de calor de contato direto

Fonte: Adaptada de Pires *et al.* (2016, p. 4).

Os trocadores de calor são classificados conforme o seu processo de transferência de calor, sendo que estes podem ser de contato direto e indireto.

Trocadores de calor - contato indireto

Neste tipo de trocador de calor, os fluidos não se misturam, ou seja, o calor é transferido de modo contínuo por meio de uma parede (recuperadores), que se subdividem em trocadores do tipo transferência direta e armazenamento.

Na sequência, são apresentados alguns tipos de trocadores de calor com relação ao seu tipo construtivo, sendo do tipo tubular e de placas, ou seja, trocadores de calor do tipo transferência direta.

Trocadores tubulares

Este tipo construtivo de trocadores de calor pode ser de tubos circulares ou diversas outras variações, dependendo da aplicação. Geralmente, são utilizados quando pressões e/ou temperaturas são elevadas.

Trocador de calor casco e tubo

Esse tipo de trocador é o mais comumente usado em indústrias químicas e de processos. Eles são utilizados para as mais diversas capacidades e condições, como pressões e temperaturas, fluidos viscosos etc. Conforme Kreith (2003, p. 436), “nesse trocador de calor um fluido se desloca dentro dos tubos e outro se desloca ao longo do seu envoltório, o fluido é forçado a se deslocar no sentido paralelo aos tubos, pois se obtém um coeficiente de transferência de calor mais alto”.

Considerando o modelo mais simplório deste trocador de calor, há apenas uma fileira de tubos, de acordo com a Figura 4.31. Conforme Incropera *et al.* (2008, p. 426), “geralmente são instalados chicanes para criar uma turbulência no fluxo do fluido, assim aumentando o seu coeficiente convectivo, além disso as chicanes apoiam fisicamente os tubos reduzindo a vibração”. As chicanes guiam o escoamento do fluido em alternância, ou seja, em determinado momento, o escoamento cruzado em outro é paralelo, isso proporciona uma turbulência ao fluido e um maior tempo deste fluido junto ao casco, ocasionando maior transferência de calor.

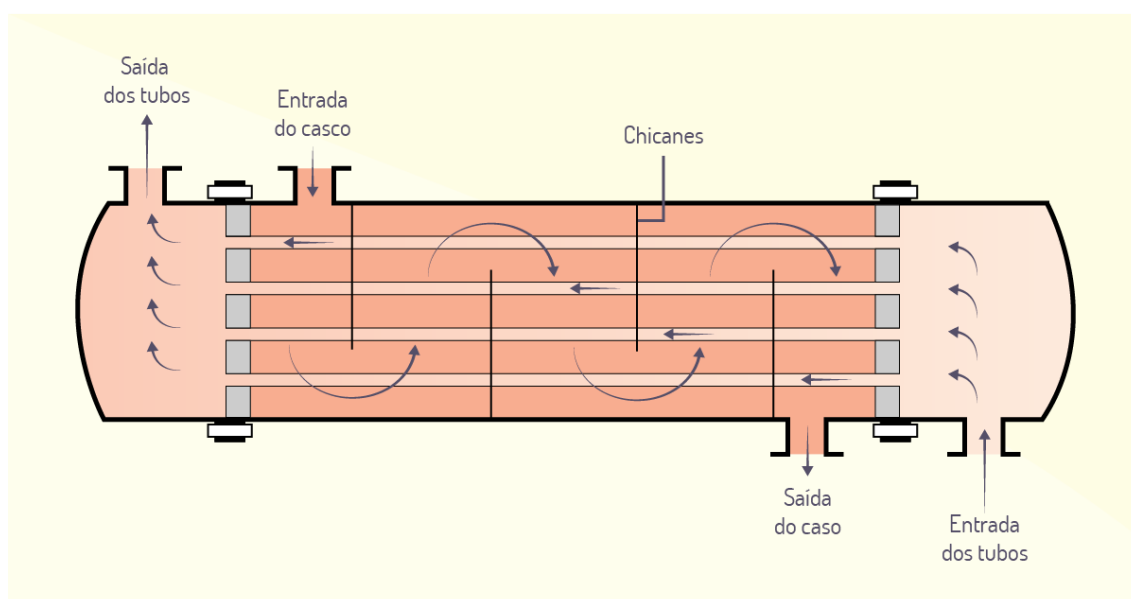
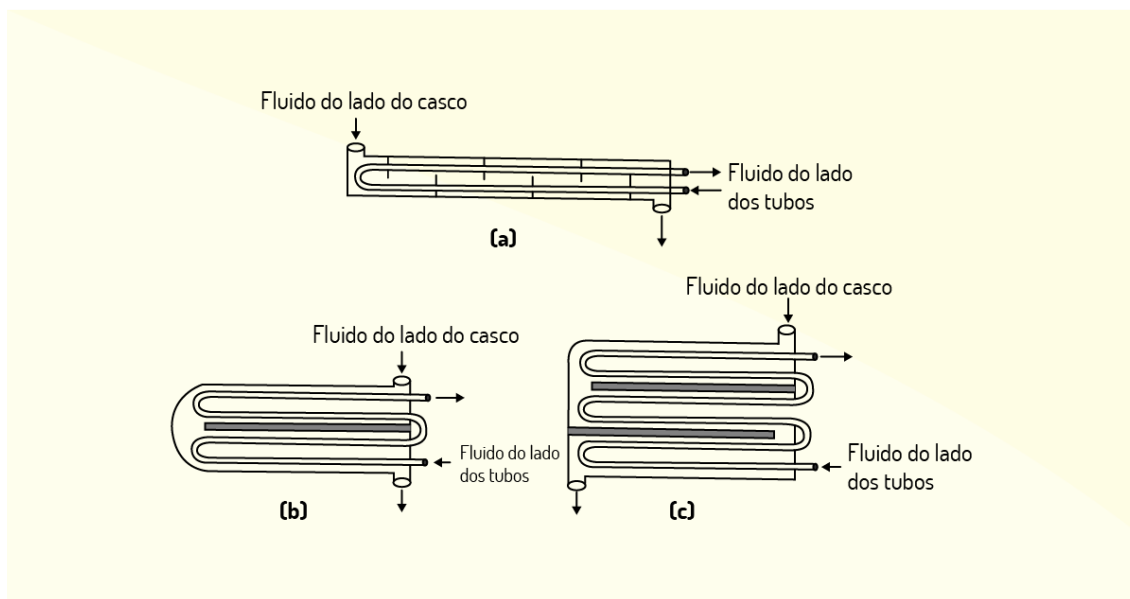


Figura 4.31 - Trocador de calor de casco e tubo

Fonte: Adaptada de Incropera *et al.* (2008, p. 426).

O trocador de calor de casco e tubo pode contemplar o escoamento multipasse. Este tipo de configuração de escoamento com diversos passes é, amplamente, utilizado na concepção de trocadores de calor, visto que a multipassagem aumenta o rendimento global do sistema. Os passes múltiplos proporcionam uma gama muito grande de configurações das correntes. A Figura 4.32 apresenta as configurações típicas de escoamento multipasse.



Legenda: (a) Um passe no casco, dois passes no tubo; (b) Dois passes no casco, quatro passes nos tubos; (c) Três passes no casco, seis passes nos tubos.

Figura 4.32 - Escoamento multipasse no trocador de calor de casco e tubo

Fonte: Equipamentos... (on-line).

- Neste subtópico, foi tratado o tema trocador de calor de casco e tubo, sendo discutido seu princípio de funcionamento e princípio construtivo e aplicações, em diversos tipos de indústria.

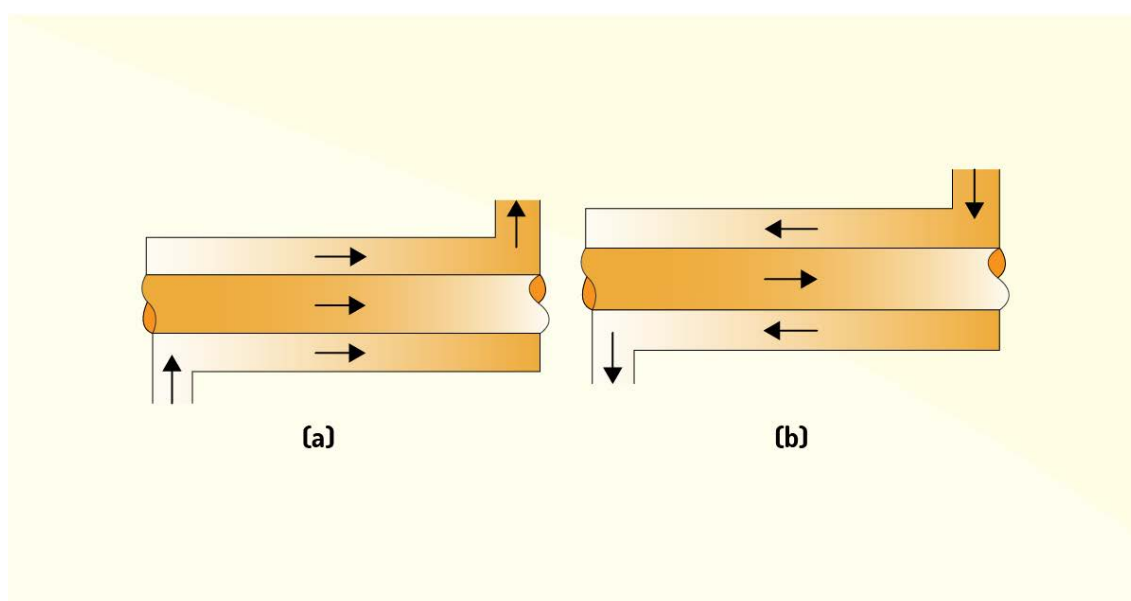
Trocador de calor bitubular ou de tubo duplo

Neste trocador de calor, os fluidos deslocam-se tanto no sentido paralelo quanto no sentido contracorrente, sendo sua construção com tubos concêntricos de diâmetros diferentes também chamada de bitubular. Conforme Incropera *et al.* (2008, p. 425),

Na configuração paralela, os fluidos quente e frio entram pela mesma extremidade, escoam no mesmo sentido e deixam o equipamento também na mesma extremidade. Na configuração contracorrente, os fluidos entram por extremidades opostas, escoam em sentidos opostos e deixam o equipamento em extremidades opostas.

Este tipo de trocador de calor é viável no aspecto econômico, caso a superfície de troca térmica não seja grande (menor que 20 m²). É importante salientar que este equipamento é de fácil construção e manutenção.

A Figura 4.33 apresenta o trocador de calor bitubular na configuração paralela e contracorrente.



Legenda: (a) Escoamento paralelo; (b) Escoamento contracorrente.

Figura 4.33 - Trocador de calor bitubular

Fonte: Adaptada de Incropera *et al.* (2008, p. 429).

Neste subtópico, foi tratado o tema trocador de calor bitubular ou de tubo duplo, sendo discutido seu princípio de funcionamento e princípio construtivo.

Trocador de calor em serpentina

Este trocador de calor constitui-se em um ou diversos tubos circulares, dentro de uma carcaça. A transferência de calor deste trocador de calor em questão é superior em comparação ao trocador de calor bitubular. Ademais, as expansões térmicas, nessa estrutura, não são problemáticas, porém, a limpeza é complexa pela disposição dos tubos. A Figura 4.34 apresenta o trocador de calor em serpentina.

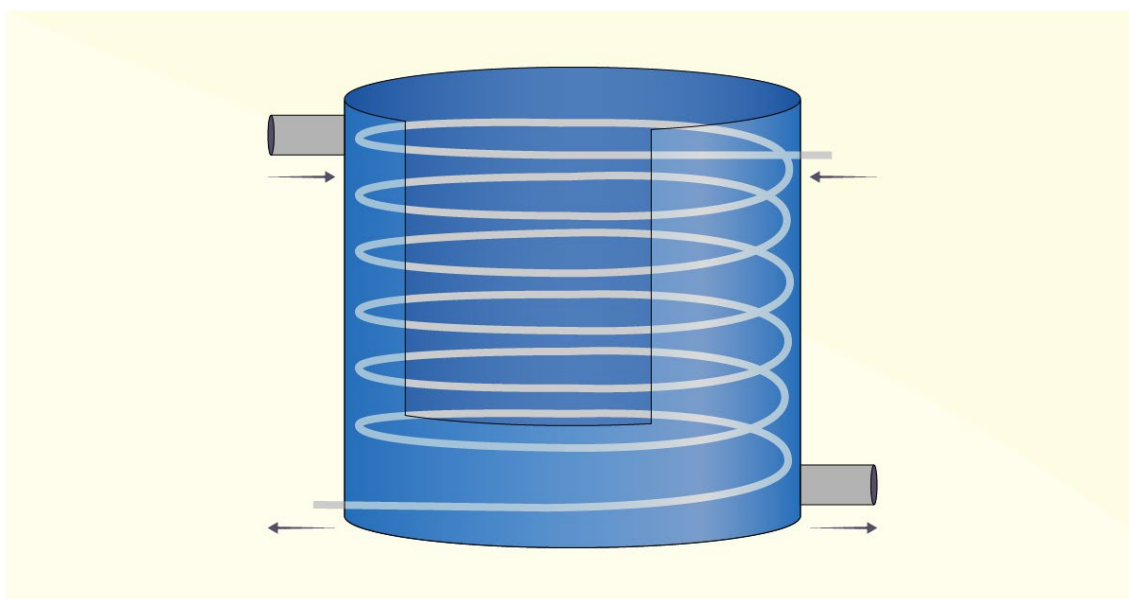


Figura 4.34 - Trocador de calor em serpentina

Fonte: Adaptada de Trocadores... (*on-line*).

Neste subtópico, foi tratado o tema trocador de calor em serpentina, sendo discutido seu princípio de funcionamento e princípio construtivo.

Trocadores de calor de placas

Este tipo construtivo de trocador de calor é, comumente, construído com placas lisas ou corrugadas. Este equipamento não consegue trabalhar com pressões elevadas em comparação aos trocadores de calor do tipo tubular. Este trocador é constituído de um suporte, no qual placas são fixadas por compressão, sendo uma das extremidades estática e outra móvel. Entre as placas se estabelece os canais por onde o fluido escoar. A Figura 4.35 apresenta o trocador de calor do tipo placas.

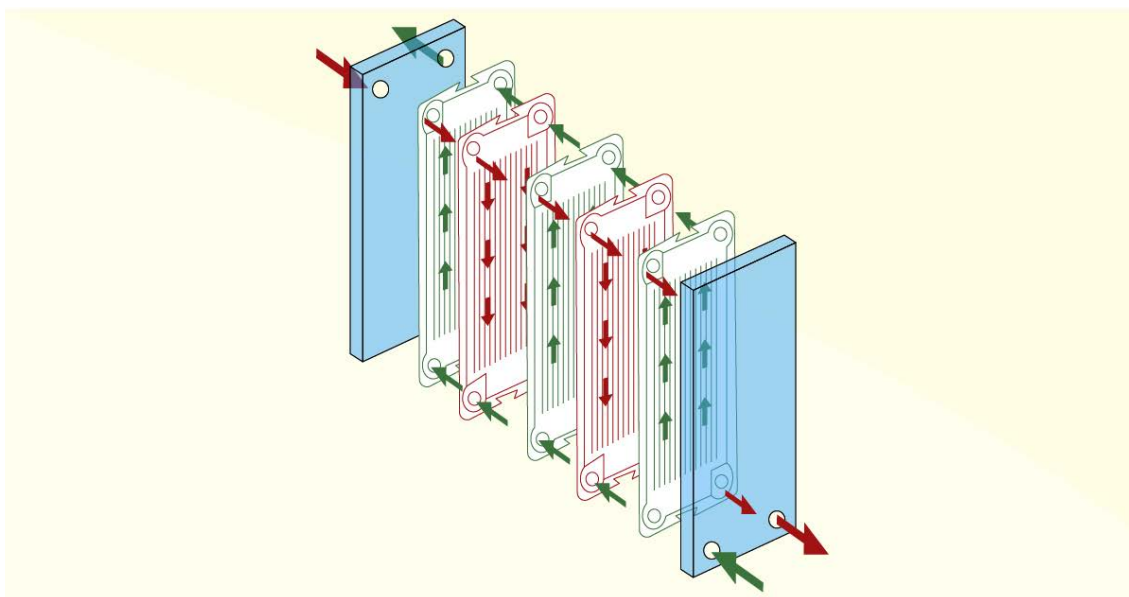


Figura 4.35 - Trocador de calor do tipo placa

Fonte: Adaptada de Trocadores... (*on-line*).

Neste subtópico, foi tratado o tema trocador de calor de placas, sendo discutido seu princípio de funcionamento e princípio construtivo.

Trocadores de calor compactos

Este modelo de trocador de calor é um híbrido de placas e tubos. Conforme Incropera *et al.* (2008, p. 426), “esta classe de trocadores de calor é utilizada para atingir superfícies de transferência de calor muito grandes ($\geq 400\text{m}^2/\text{m}^3$ para líquidos e $\geq 700\text{m}^2/\text{m}^3$ para gases) por unidade de volume”. A Figura 4.36 apresenta um trocador de calor do tipo compacto, largamente, empregado em nosso cotidiano.

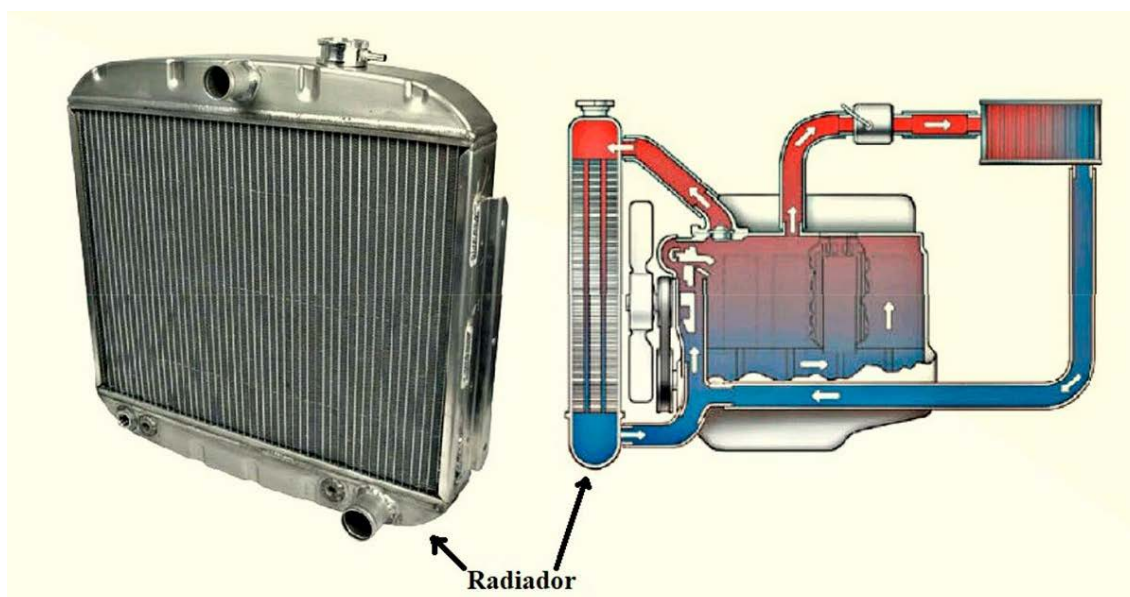


Figura 4.36 - Trocador de calor do tipo compacto

Fonte: Bohorquez (*on-line*).

Esse tipo de trocador de calor pode ser de tubos aletados ou placas e, geralmente, são usados quando um dos fluidos é um gás. As seções de escoamento relacionadas aos trocadores compactos são pequenas com escoamento comumente laminar. A Figura 4.37 apresenta os modelos de trocadores de calor compactos.

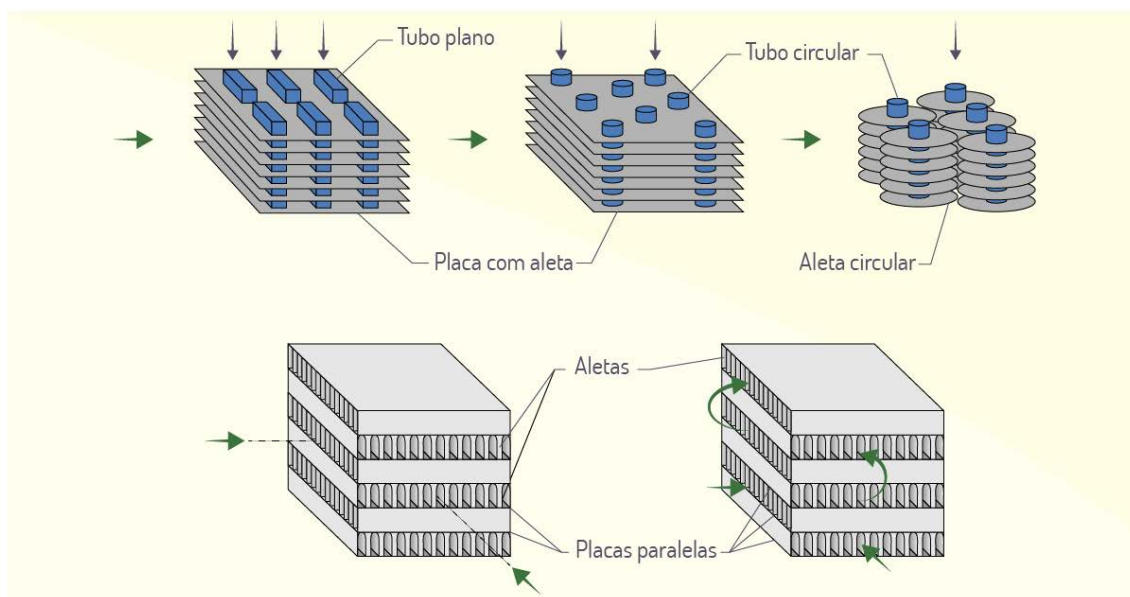


Figura 4.37 - Modelos de trocadores de calor compactos

Fonte: Adaptada de Incropera *et al.* (2008, p. 442).

Neste subtópico, foi tratado o tema trocador de calor compacto, sendo discutido seu princípio de funcionamento e princípio construtivo.

Trocador de calor de armazenamento

Neste tipo de trocador de calor, os fluidos transitam, de modo alternado, os mesmos caminhos de troca de calor. A área de transmissão de calor é, comumente, de uma estrutura chamada matriz. Considerando o aquecimento, o fluido percorre a área de transferência de calor e a energia térmica é “estocada” na matriz. Em um segundo momento, o fluido frio flui pelos mesmos caminhos e a matriz fornece a energia térmica armazenada na primeira etapa. Este trocador de calor também é conhecido como regenerador. A Figura 4.38 apresenta um trocador de calor de armazenamento. Neste trocador de calor, a matriz deverá ser, ou similar, um material poroso, que irá armazenar o máximo de calor possível. Poderá ser feita de um material poroso, de tubos de aço ou esferas de aço, de tal forma que permita a passagem de fluido no seu interior, ao mesmo tempo que possua uma grande área de troca térmica.

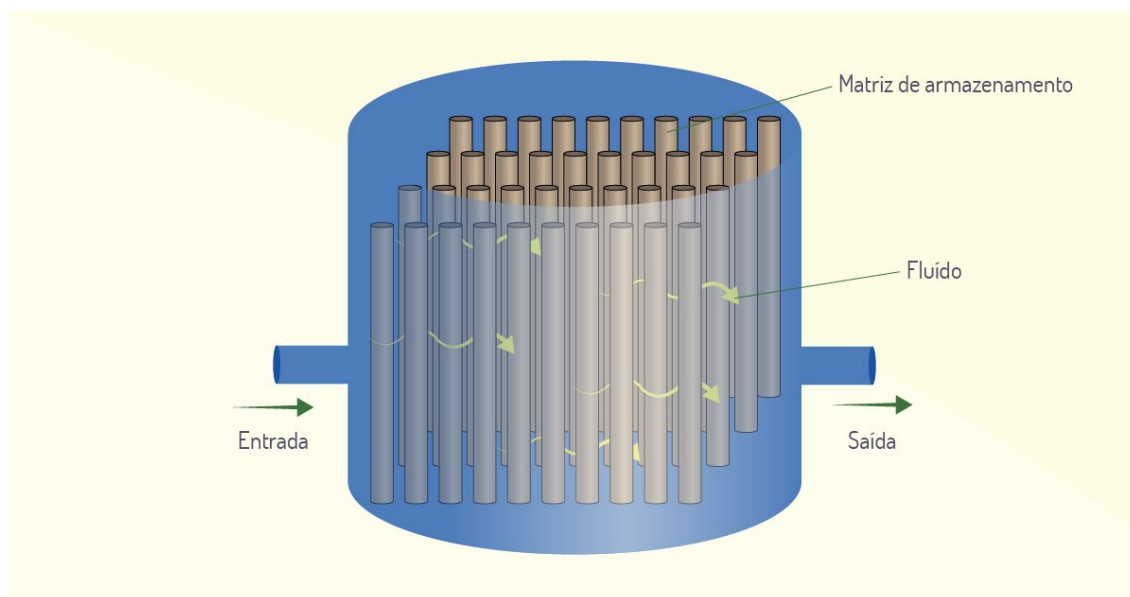


Figura 4.38 - Trocador de calor de armazenamento

Fonte: Adaptada de Trocadores... (*on-line*).

Neste subtópico, foi tratado o tema trocador de calor de armazenamento, sendo discutido seu princípio de funcionamento.

Trocador de calor de contato direto

Este tipo de trocador de calor permite a mistura entre os fluidos, ou seja, não há parede que delimite a área em que os fluidos quente e frio atuem. As aplicações mais comuns deste equipamento abrangem a transferência de massa e a transferência de calor. Este tipo de trocador de calor, se comparado com os de contato indireto e de armazenamento, alcança níveis de transferência de calor mais elevadas. Todavia, as aplicações desta tecnologia são restritas às situações em que o contato direto entre dois fluidos é permitido. A Figura 4.39 apresenta um separador de líquido e vapor com troca de calor por contato direto.

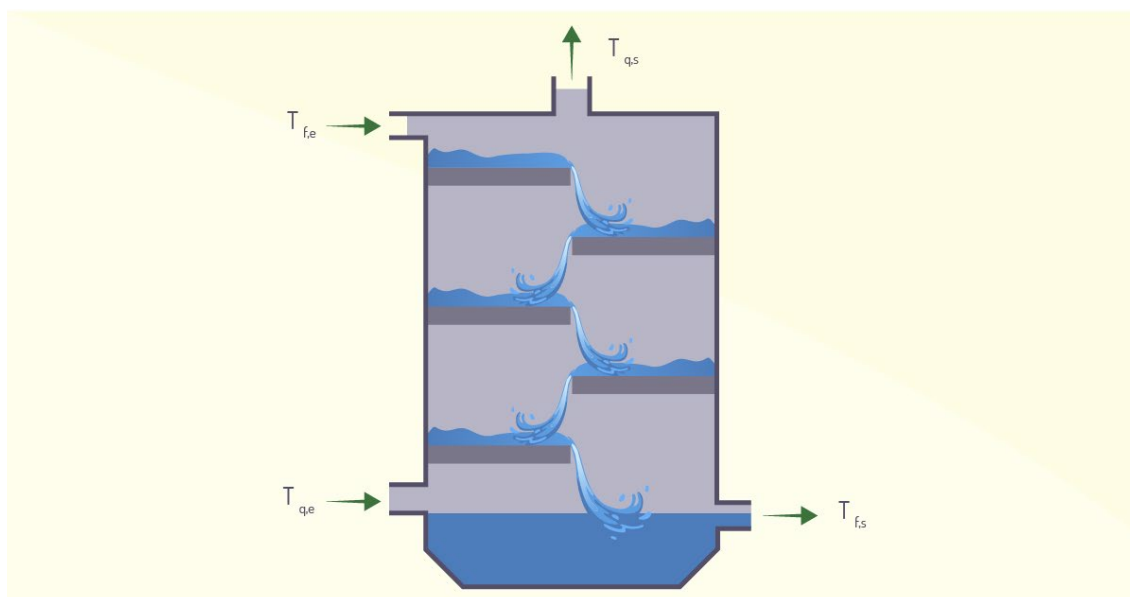


Figura 4.39 - Trocador de calor de contato direto

Fonte: Adaptada de Trocadores... (*on-line*).

Neste subtópico, foi tratado o tema trocador de calor bitubular ou de tubo duplo, sendo discutido seu princípio de funcionamento, princípio construtivo e aplicações.

FIQUE POR DENTRO

O material complementar disponibilizado no link a seguir é referente a um resumo bem detalhado do assunto trocadores de calor como um todo. Este material apresenta diversos diagramas de blocos, fato que deixa mais claro o entendimento do assunto trocadores de calor. Este material complementa alguns pontos que não foram abordados ou abordados de forma superficial, neste material, como o equacionamento de diversas equações respectivas aos trocadores de calor apresentados.

Consulte em: <<https://www.mundomecanico.com.br/wp-content/uploads/2014/01/Trocadores-de-calor.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2019.

REFLITA

Qual a importância dos trocadores de calor nos processos químicos? Quais as aplicações mais comuns deste equipamento?

Neste tópico, foi discutido o tema trocadores de calor. Este tema é referente à troca de energia térmica entre fluidos. Foi apresentado os tipos principais de trocadores de calor: contato direto, indireto e armazenamento e suas respectivas subdivisões, sendo detalhadas para melhor compreensão do leitor deste material.

ATIVIDADES (Trocadores de calor)

- 4) Os trocadores de calor são classificados segundo suas configurações de escoamento e o respectivo tipo construtivo. Sobre os trocadores de calor, assinale a alternativa correta.
- a) O trocador de calor do tipo placas é, largamente, utilizado em aplicações com elevadas pressões.
 - b) Nos trocadores de calor do tipo recuperador, os fluidos estão, sempre, em contato direto, isso acarreta a limitação de sua aplicação na indústria.
 - c) No trocador de calor de armazenamento, os fluidos alternam-se, no núcleo do trocador, ou seja, o núcleo é aquecido, em determinado momento, e resfriado em outro momento.
 - d) O trocador de calor em serpentina tem como principal desvantagem a limitação de sua aplicação para transferências de calor elevadas.
 - e) O trocador de calor de contato direto possui uma parede entre os fluidos, no entanto, esta apresenta pequenos canais por onde os fluidos entram em contato.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Fundamento de transferência de calor e de massa

Editora: LTC

Autor: Frank P. Incropera; David P. Dewitt; Theodore L. Bergman; Adrienne S. Lavine

ISBN: 978-85-216-1584-2

Comentário: Este livro trata do termo transferência de calor, no entanto, são apresentados desde os conceitos mais básicos até os mais avançados, permitindo ao leitor construir seu conhecimento sobre o assunto de modo adequado. Além disso, este livro apresenta diversas aplicações sobre os mais variados assuntos relacionados à transferência de calor, na indústria, permitindo, assim, ao leitor ver a aplicabilidade do assunto.

REFERÊNCIAS

BARROS, S. S. **Galvanoplastia: controle ambiental no Brasil e na Alemanha, suas bases legais e tecnológicas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/47883/R%20-%20D%20-%20SERGIO%20SILVEIRA%20DE%20BARROS%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

Acesso em: 23 set. 2019.

BOHORQUEZ, W. O. I. **Aula 23 – Trocadores de calor**. UFJF. Disponível em: <http://www.ufjf.br/washington_irrazabal/files/2014/05/Aula-23_Trocadores-de-Calor.pdf>.

Acesso em: 27 out. 2019.

BUZZONI, H. A. **Galvanoplastia**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1991.

COELHO, J. C. M. **Energia e fluidos: transferência de calor**. Volume 3. São Paulo: Blucher, 2016.

COSTA, E. C. da. **Ventilação**. São Paulo: Blucher, 2005.

DORIVAL. Classificação e propriedade dos materiais. **Docplayer**, jan. 2015. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/19510150-Classificacao-e-propriedades-dos-materiais.html>>. Acesso em: 27 out. 2019.

EQUIPAMENTOS de troca térmica. Disponível em: <<https://essel.com.br/cursos/material/03/CAP2.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2019.

FRADE, S. B. **Estudo de massas refratárias de vibração a seco para indutores de fornos de indução**. 2015. Dissertação (Mestrado em em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Joinville, 2015. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/47853488-Estudo-de-massas-refratarias-de-vibracao-a-seco-para-indutores-de-fornos-de-inducao.html>>. Acesso em: 21 set. 2019.

GALVANIZAÇÃO e outros processos. Disponível em: <https://www.crq4.org.br/quimicavivatratamento_de_superficies>. Acesso em: 23 set. 2019.

GANDHEWAR, V. R.; BANSOD, S. V.; BORADE, A. B. Induction Furnace - A Review. International Journal of Engineering and Technology, India. 2011. Disponível em: <<http://www.enggjournals.com/ijet/docs/IJET11-03-04-06.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2019.

INCROPERA, F. P. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

JOHN, A. L. **Melhorias no desempenho dos injetores supersônicos em operação em um forno elétrico a arco**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2009.

KREITH, F.; BOHN, M. S. **Princípios de transferência de calor**. 6. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

OLIVEIRA, J. M. de. Noções de ventilação industrial. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO_INDUSTRIAL.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.

PADILHA, H. Fornos para fundição. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/11122921/>>. Acesso em: 19 set. 2019.

PEREZ, I. C.; CORRÊA, R. G.; PIRES, J. L. **Galvanoplastia**. Orientações para o controle ambiental. 2. ed. Rio de Janeiro: Inea, 2014. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/6-Galvanoplastia-2%C2%AA-ed..pdf>>. Acesso em: 23 set. 2019.

PEREZ, N. P. Sistemas fluidomecânicos. **Unesp**, 2014. Disponível em: <<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/nestorproenzaperez/sfm-2014-aula-23.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2019.

PIRES, A. *et al.* Trocadores de calor, 13 nov. 2016. Disponível em: <https://docs.google.com/document/d/1YIWpfi2zhKF6U8zrbTKSM82OEHuxChfQo-B_At76vPo/edit?ts=5db1ef87#>. Acesso em: 27 out. 2019.

PRINCÍPIOS físicos do aquecimento indutivo. **Albatherm**. Disponível em: <http://www.albatherm.com.br/informativo_principios-fisicos-do-aquecimento-indutivo.php>. Acesso em: 27 out. 2019.

RUDNEV, V. *et al.* **Handbook of Induction Heating**. Nova Iorque: CRC Press, 2002.

SILVA, J. de S.; VITOR, D. G.; LOPES, R. P. Construção de ventiladores centrífugos para uso agrícola. **Comunicado Técnico 3**, Brasília, maio 2013.

SOUZA, J. A. L. de. **Transferência de calor**. São Paulo: Pearson, 2016.

TEIXEIRA, M. D. **Tópicos Avançados em Eletrônica I** – Cap. 4 - Flutuação de Tensão. Disponível em:

<http://www.eletrica.ufpr.br/p/_media/professores:mateus:te274_-_flutuacao_de_tensao.pdf>.

Acesso em: 27 out. 2019.

TROCADORES de calor. **Mundo Mecânico**. Disponível em:

<<https://www.mundomecanico.com.br/wp-content/uploads/2014/01/Trocadores-de-calor.pdf>>.

Acesso em: 27 out. 2019.

URRUTIA, J. C. G. Processo de obtenção de aço e ferro fundido. **SlideShare**, 3 jul. 2015.

Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/Juancagarciauru/processo-de-obteno-de-ao-e-ferro-fundido>>. Acesso em: 27 out. 2019.

XAVIER, C. Ventilação natural. **Vila Taguaí**. Disponível em:

<<http://www.crisxavier.com.br/taguai/home.php?content=6&id=3>>. Acesso em: 27 out. 2019.

CONCLUSÃO DO LIVRO

O propósito deste livro foi desenvolver um conteúdo de qualidade, apresentando como uma instalação industrial é organizada e seu respectivo funcionamento, considerando as diversas atividades que podem ser realizadas nela.

Na Unidade I, apresentamos o tópico “Organização Industrial”, que tratou, de forma clara e objetiva, as fases para a produção de um determinado produto, visto que foi apresentado, de modo detalhado, desde o recebimento da matéria-prima até a expedição do produto, sendo destacada a importância de cada fase e o porquê de cada uma existir.

Na Unidade II, demonstramos o tópico “Bombas e Compressores”, com a finalidade de apresentar ao leitor a importância desses equipamentos nos diversos ramos industriais existentes. Além disso, foi detalhado o funcionamento dos tipos mais utilizados de bombas e compressores e suas respectivas áreas de aplicação. Por fim, apresentamos, de forma mais resumida, as características gerais de uso do ar comprimido.

Na Unidade III, abordamos o tópico “Máquinas Térmicas”, visando mostrar ao leitor a importância desses equipamentos na indústria e o porquê de sua utilização, desde tempos remotos até os dias atuais. Como exemplo, podemos citar os motores de combustão interna, que são largamente utilizados, atualmente, e continuarão sendo, mesmo com o advento das energias renováveis, as quais estão em voga no momento.

Na Unidade IV, tratamos o tópico “Processos Complementares”, com ênfase nos processos industriais, que visam incrementar ou melhorar determinada característica do processo industrial, considerando aspectos de segurança ou conforto térmico ao usuário (ventilação industrial) ou melhoria da resistência e estética de determinadas peças (banhos industriais), dentre outras características.

Esperamos que este material tenha auxiliado você no desenvolvimento de seus conhecimentos. Até uma próxima oportunidade.

Obrigado!