

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA**

**KEILA SORAIA BARRETO DE OLIVEIRA**

**O USO DE SELOS MECÂNICOS EM SUBSTITUIÇÃO ÀS GAXETAS**

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**KEILA SORAIA BARRETO DE OLIVEIRA**

**O USO DE SELOS MECÂNICOS EM SUBSTITUIÇÃO ÀS GAXETAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: D.Sc. Alexandre Silva de Lima

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**KEILA SORAIA BARRETO DE OLIVEIRA**

**O USO DE SELOS MECÂNICOS EM SUBSTITUIÇÃO ÀS GAXETAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: D.Sc. Alexandre Silva de Lima

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

Dedico ao meu esposo Fabio Luiz, pessoa com quem amo partilhar a vida. Obrigada pelo seu amor, pela paciência, e pela segurança que de forma especial e carinhosa me deu força, coragem e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me dado a vida e me guiado neste caminho de conquistas.

À minha família, que sempre apoiou minhas decisões nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador D.Sc. Alexandre Silva de Lima, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Aos professores deste Centro de Instruções por proporcionar os conhecimentos que contribuíram para o meu aprendizado e aprovação nesta jornada.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

*José de Alencar*

## RESUMO

Nos sistemas e processos industriais é comum haver vazamentos de produtos através de equipamentos e isso ocorre normalmente por não haver uma especificação adequada, ou pelo fato do sistema de vedação estar danificado. Neste contexto, destaca-se a necessidade de especificar corretamente o vedante, de tal forma que possa suportar as ações químicas e mecânicas das instalações de produção. As vedações são componentes cuja função é impedir o fluxo de um fluido qualquer entre dois meios. Entre as mais utilizadas estão as gaxetas e os selos mecânicos. As vedações à base de gaxetas possuem uma boa eficiência, porém impõem ao sistema de bombeamento, perdas do produto recalado. Estas são variáveis que norteiam fatores relacionados às condições físicas do equipamento, como por exemplo, o desgaste excessivo das buchas, falta da regulagem adequada e até mesmo o porte das bombas. O selo mecânico é um vedador dinâmico, que utiliza princípios hidráulicos para reter fluidos e gases, de alta tecnologia e desempenho, com contato que compensa o seu desgaste axialmente e destina-se a isolar dois, ou mais ambientes, quando entre eles passar um eixo rotativo com nenhum ou pouco deslocamento axial. São utilizados principalmente para operar com fluidos mais agressivos, em que as gaxetas não são capazes de vedar. Os selos mecânicos tem longa vida útil e sua manutenção é praticamente inexistente ou mínima. Além de gerar grande economia de energia elétrica, o selo mecânico proporciona inúmeras vantagens e benefícios quando comparado a gaxetas.

**Palavras-chave:** Vedações. Selos mecânicos. Gaxetas.

## **ABSTRACT**

In the systems and industrial processes it is common leaks from equipment and this is usually due to lack of proper specification, or because of the sealing system is damaged. In this context, correctly highlights the need to specify the seal, so that it can withstand chemical and mechanical actions of the production facilities. Seals are components whose function is to prevent the flow of fluid between any two media. Among the most used are packing and mechanical seals. Packing has good efficiency, but requires to the pumping system losses to the product to be pumped. These are variables that guide factors related to the physical condition of the equipment, such as excessive bushing wear, lack of adequate regulation and even the size of the pumps. The mechanical seal is a dynamic seal, which uses hydraulic principles to retain fluids and gases, high technology and performance, to isolate two or more media, when a rotating shaft passes between them. They are used primarily to operate with more aggressive fluids, in which packing is not capable to seal. Mechanical seals have long service life and maintenance is practically non-existent or minimal. Besides generating great savings of electricity, mechanical seal provides numerous advantages and benefits when compared to packing.

**Keywords:** Seal. Packing. Mechanical Seal.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>09</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>TRIBOLOGIA</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Breve histórico sobre a tribologia</b>	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>Princípios básicos de tribologia</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Considerações sobre fenômenos tribológicos</b>	<b>18</b>
<b>3.4</b>	<b>Soluções tribológicas</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>GAXETAS</b>	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>Classificação de gaxetas</b>	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>Seleção da gaxeta</b>	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Substituição da gaxeta</b>	<b>27</b>
<b>4.4</b>	<b>Tipos de gaxetas</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>SELO MECÂNICO</b>	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Vantagens do selo mecânico</b>	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>Princípio de funcionamento</b>	<b>35</b>
<b>5.3</b>	<b>Formas construtivas</b>	<b>37</b>
5.3.1	Selos mecânicos com conjunto de compensação rotativo	37
5.3.2	Selos mecânicos com conjunto de compensação estacionário	38
<b>5.4</b>	<b>Disposição de selos mecânicos</b>	<b>43</b>
5.4.1	Selo mecânico simples	43
5.4.2	Selo mecânico múltiplo	43
<b>5.5</b>	<b>Forças e pressões</b>	<b>46</b>
<b>5.6</b>	<b>Materiais utilizados na fabricação do selo mecânico</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo identificar os conceitos e as características de dois dos principais agentes de vedação e selagem em bombas centrífugas que são as gaxetas e os selos mecânicos. Estes vedadores são peças fundamentais para o processo de bombeamento, pois sua utilização garante a máxima eficiência dos sistemas e evitam a perda de fluido bombeado. Através de uma avaliação comparativa das características de cada um desses vedadores, é possível identificar qual é o método mais eficaz para decisão da melhor aplicação e entender porque o selo mecânico se tornou tão importante, devido à quantidade de atividades que podem ser utilizados com segurança e economia. Ainda neste trabalho foi abordado sobre a tribologia e como ela está aplicada aos processos de desgaste e atrito nas diferentes áreas do conhecimento tecnológico.

## 2 DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Segundo Macintyre (1987), os primeiros dispositivos implementados para a solução dos problemas relacionados ao deslocamento dos líquidos foram a *Nora chinesa*, um engenhoso dispositivo construído por roda dotada de caçamba para levar a água a canais de irrigação, e os sistema de correntes e caçambas com a qual, 3000 a.C, no poço de Josephus, no Cairo, a água era retirada de um poço construído com duas plataformas com quase 100 metros de profundidade.

Arquimedes (287-212 a.C) inventou a primitiva bomba de parafuso e Ctesibus (270 a.C) propôs a bomba de êmbolo, dois inventos de origem grega. Ao longo dos séculos surgiram outros tipos de bombas e os aperfeiçoamentos de acordo com as necessidades operacionais, progresso industrial, melhoria das condições de saúde e conforto, que estão totalmente ligados ao progresso da ciência e tecnologia das máquinas destinadas ao deslocamento dos líquidos por escoamento forçado, que são as bombas. Nesta evolução chegou-se à aplicação das gaxetas, como elemento vedante e refrigerador do eixo das mesmas.

Para Macintyre (1987), bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo esta uma máquina geratriz, transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia cinética e pressão. Estes equipamentos também são denominados de máquinas operatrizes hidráulicas, porque realizam um trabalho útil específico ao deslocarem um líquido.

Conforme Tsutiya (2005), bombas cinéticas são aquelas que fornecem energia à água sob a forma de energia de velocidade. Essa energia converte-se dentro da bomba em energia de pressão, permitindo que a água atinja posições mais elevadas dentro de uma tubulação.

Para Tsutiya (2005), as bombas centrífugas com vedações a base de gaxeta, possuem uma boa eficiência, porém impõem ao sistema de bombeamento, perdas do produto recalçado. Estas são variáveis que norteiam fatores relacionados às condições físicas do equipamento, como por exemplo, o desgaste excessivo das buchas, falta da regulagem adequada e até mesmo o porte das bombas.

Para Tsutiya (2005), as gaxetas são elementos mecânicos utilizados para impedir a passagem de um fluxo de fluido de um local para o outro, de forma total ou parcial. Os materiais usados na fabricação de gaxetas são: algodão, juta, asbesto (amianto), nylon, teflon, borracha, alumínio, latão e cobre. A esses materiais são aglutinados outros: óleo, sebo, graxa, silicone, grafite, mica, entre outros. A função destes últimos materiais que são aglutinados às gaxetas é torná-las autolubrificadas.

Em algumas situações, o fluxo de fluido não deve ser totalmente vedado, pois existe a necessidade de passagem mínima de fluido com a finalidade de auxiliar a lubrificação entre o eixo rotativo e a própria gaxeta. A este tipo de propriedade dá-se o nome de restringimento, que é aplicado, por exemplo, quando se trabalha com bomba centrífuga de alta velocidade. Nesse tipo de bomba, o calor gerado pelo atrito entre a gaxeta e o eixo rotativo é muito elevado e por este motivo, o mecanismo exige uma saída controlada de fluido para minimizar o possível desgaste.

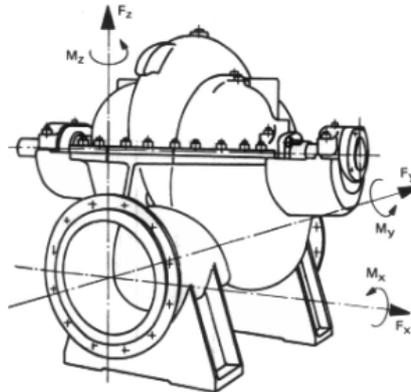
A caixa de gaxetas mais simples apresenta um cilindro oco, onde ficam alojados vários anéis de gaxeta pressionados por uma peça chamada sobreposta. A função dessa peça é manter alojada a gaxeta entre a caixa e o eixo sob a pressão conveniente para o trabalho.

De acordo com Passeto e Frison (2008), durante a realização das manutenções eletromecânicas preventivas existem procedimentos e instruções de trabalho para a execução das regulagens das sobrepostas e gaxetas das bombas, porém, mesmo com estes procedimentos, ainda nota-se a perda de líquido por estes sistemas de vedação e refrigeração, considerados de certa relevância.

Conforme Tsutiya (2005), as bombas centrífugas são compostas por peças fundamentais ao seu funcionamento ideal, tais como:

a) carcaça: As pás do rotor impulsionam o líquido em direção à carcaça proporcionando-lhe um aumento de pressão e velocidade. A carcaça, que na maioria das vezes tem a forma de espiral, possui entre outras funções a de receber o líquido que sai do rotor, transformando parte de sua energia cinética em energia potencial de pressão, conforme figura 1.

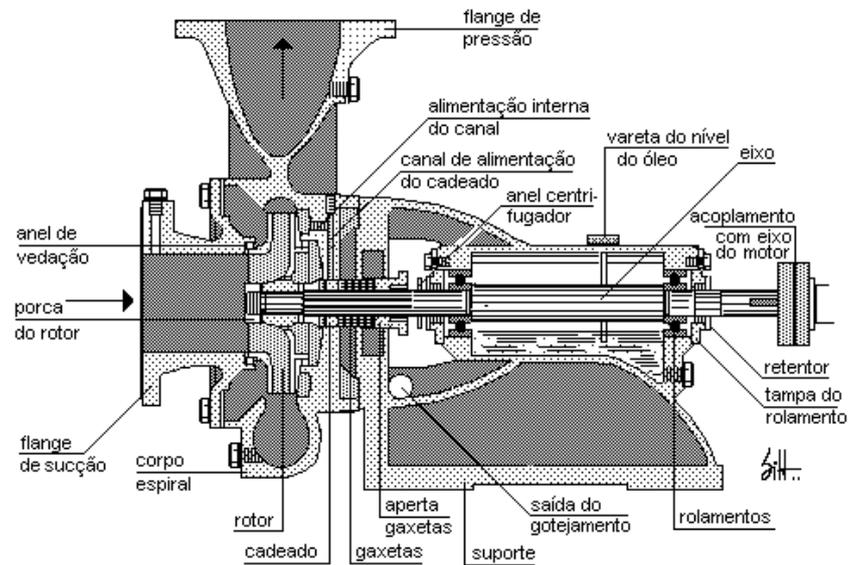
Figura 1 - Desenho com forças e momentos atuantes nas flanges



Fonte: <http://meusite.mackenzie.com.br>.

- b) mancais: São elementos de apoio do eixo e têm a função de manter o conjunto girante ou rotativo na posição correta em relação às partes estacionárias do equipamento. Podem ser mancais de deslizamento ou de rolamentos, radiais, axiais ou mistos;
- c) rotores: são os componentes da bomba que possuem a função de transferir para a massa líquida, o movimento de rotação, convertendo a energia mecânica em energia cinética. Podem ser classificadas quanto à admissão do líquido (simples sucção ou dupla sucção), quanto às paredes (aberto, semiaberto e fechado) e quanto à direção de saída do líquido (fluxo axial, fluxo radial e fluxo misto);
- d) vedação: a caixa de gaxeta tem a função de impedir vazamento onde o eixo atravessa carcaça. Se a pressão do líquido bombeado no interior da caixa de gaxeta for maior que a pressão atmosférica, sua função é evitar que o líquido vaze para fora da bomba. Se a pressão no interior for menor que a pressão atmosférica, sua função é evitar a entrada de ar para dentro da bomba. A vedação entre a carcaça e o eixo, pode ser feita por gaxeta ou com selo mecânico.

Figura 2 – Vista explodida de uma bomba centrífuga



Fonte: [www.dec.ufcg.edu.br](http://www.dec.ufcg.edu.br).

Para o funcionamento de uma bomba centrífuga segundo Macintyre (1987), é necessário preencher a mesma com líquido a ser bombeado, antes da partida, o que se denomina *escorva*<sup>1</sup>. Existem bombas que são autoaspirantes ou autoescorvantes.

Para Bran e Souza (1980), a existência de processos irreversíveis no funcionamento das máquinas de fluxo é comumente denominada de perda. As perdas internas nas máquinas de fluxo, dentro de seu recinto de responsabilidade, provêm principalmente de três fontes, atrito de superfícies, fugas de fluidos e atrito em labirintos.

De acordo com Pfeleiderer e Petermann (1979), as principais perdas que ocorrem dentro das máquinas de fluxo são devido ao atrito, às variações de seção e velocidade, que em geral reduzem a pressão e são denominadas perdas hidráulicas. Além destas, existem as perdas por fuga de fluido que não influem na pressão ou tem uma influência de menor importância. A estas pertencem, primeiramente, as perdas que ocorrem devido à existência de um interstício entre o rotor e a carcaça, denominado labirinto, que é necessário por razões construtivas e através do qual uma parte do meio de trabalho flui para o tubo de sucção, evitando o rotor. Além destas, existe usualmente uma perda de fluido através da gaxeta, conforme figura 3.

Figura 3 – Vista do sistema de engaxetamento e sobreposta



Fonte: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com).

### 3 TRIBOLOGIA

O termo Tribologia, que vem do grego Τριβο (Tribo - esfregar) e Λογος (Logos - estudo) foi utilizado, oficialmente, pela primeira vez em 1966 em um relatório feito por H. Peter Jost para o comitê do departamento inglês de educação e ciência. Neste relatório, o termo foi definido como a “ciência e tecnologia de superfícies interativas em movimento relativo e dos assuntos e práticas relacionados” (Jost, 1990). Jost foi o primeiro a estudar os impactos econômicos devido à utilização dos conhecimentos de tribologia. Este estudo é considerado o marco de criação da tribologia (Sinatora, 2005).

A tribologia apresenta diferentes interesses nas diversas áreas do conhecimento tecnológico, com uma série de disciplinas científicas se ocupando de problemas tribológicos, tais como:

- a) A ciência dos materiais, com o desenvolvimento de materiais tribológicos especiais;
- b) A química, com o estudo de lubrificantes, aditivos e problemas de camada limite;
- c) A física, com estudos de novos materiais e processos de revestimentos, e estudo do atrito no nível atômico / quântico;
- d) A fabricação, com estudo da qualidade de superficial proveniente da fabricação e suas relações com a tribologia;
- e) A metrologia, com a qualificação superfícies tribológicas e a automação de sistemas;
- f) O projeto, com a aplicação de superfícies tribológicas;
- g) A automação, com o estudo da influência do atrito em sistemas de controle; entre outras.

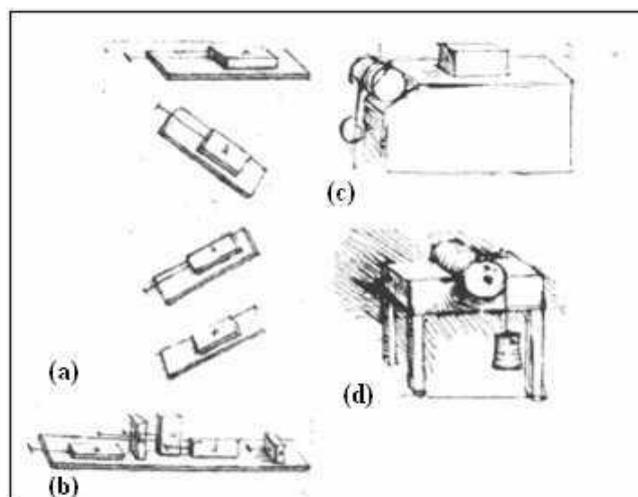
#### 3.1 Breve histórico sobre tribologia

A tribologia reúne os conhecimentos adquiridos na física, na química, na mecânica e na ciência dos materiais para explicar e prever o comportamento de sistemas físicos que são utilizados em sistemas mecânicos. O que unifica a

tribologia não são os conhecimentos básicos, mas sim a área de aplicação. Assim como os campos do conhecimento que formam a tribologia existiam antes dela, os estudos dos fenômenos de lubrificação, atrito e desgaste antecedem muito a 1966 (Sinatora, 2005).

Após a renascença, Leonardo da Vinci (1452 – 1519), que pode ser considerado o pai da tribologia moderna, deu importantes contribuições para o entendimento dos fenômenos de atrito e desgaste. Como em outros campos de conhecimento, da Vinci antecipou em séculos algumas descobertas que não foram aproveitadas por seus contemporâneos e seguidores. Através de seus estudos ele mediu forças de atrito em planos horizontais e inclinados, demonstrou que estas são dependentes da força normal ao deslizamento dos corpos e independentes da área de contato aparente, propôs uma distinção entre atrito de escorregamento e de rolamento e introduziu o coeficiente de atrito como sendo proporcional à força normal (Zum-Gahr, 1987). A figura 4 mostra os desenhos dos equipamentos desenvolvidos por da Vinci para a determinação da força de atrito. Estes, sem dúvida, constituem-se nos primeiros tribômetros documentados na história da civilização.

Figura 4 – Tribômetros, desenvolvidos por Leonardo da Vinci, para a determinação da força de atrito: (a) em superfícies horizontais e inclinadas; (b) considerando o efeito da área aparente; (c) utilizando uma polia; e (d) considerando o torque num cilindro.



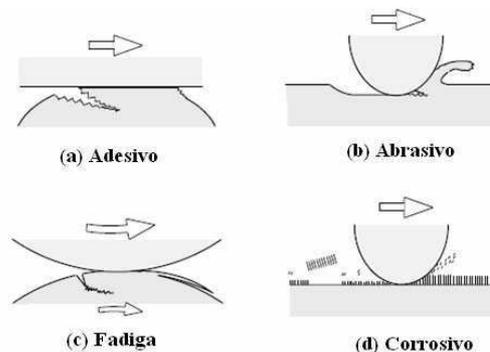
Fonte: Anais do XIII ENCITA 2007, ITA. Tribologia, conceitos e aplicações.

Outras contribuições importantes deste grande engenheiro e arquiteto foram: estabelecer a importância dos lubrificantes para diminuir a força de atrito; considerar o efeito da rugosidade no deslizamento e demonstrar que a interposição de esferas (ou objetos que permitem rolamento, como pedras e galhos) entre corpos diminui a resistência ao movimento.

### 3.2 Princípios básicos de tribologia

Um dos principais focos de estudo da tribologia é o desgaste. Tradicionalmente são aceitos quatro modos de desgaste que estão representados na figura 5.

Figura 5 - Desenho esquemático dos quatro modos representativos de desgaste



Fonte: Anais do XIII ENCITA 2007, ITA. Tribologia, conceitos e aplicações.

O desgaste adesivo ocorre quando a ligação adesiva entre as superfícies é suficientemente forte para resistir ao deslizamento. Como resultado dessa adesão, uma deformação plástica é causada na região de contato gerando uma trinca que pode se propagar levando à geração de um terceiro corpo e a uma transferência completa de material. No desgaste abrasivo ocorre remoção de material da superfície. Esse desgaste ocorre em função do formato e da dureza dos dois materiais em contato. Quando o desgaste é ocasionado pelo alto número de repetições do movimento ele é chamado de desgaste por fadiga. Finalmente, o desgaste corrosivo ocorre em meios corrosivos, líquidos ou gasosos. Neste tipo de desgaste são formados produtos de reação devido às interações químicas e

eletroquímicas. Essas reações são conhecidas como reações triboquímicas e produzem uma intercamada na superfície que depois é removida.

Os modos de desgaste podem ocorrer através de diversos mecanismos. Os mecanismos de desgaste são descritos pela consideração de mudanças complexas na superfície durante o movimento. Em geral, o desgaste ocorre através de mais de um modo, portanto a compreensão de cada mecanismo de desgaste em cada modo se torna importante.

O desgaste ocorre em função da cinemática do sistema. Pode variar entre, deslizamento, rolamento, oscilação, impacto e erosão, dependendo do tipo de interação e do movimento das interfaces. A erosão pode ainda ser classificada pelo estado físico do contra-corpo, sólido ou líquido, ou pelo ângulo de ação, alto ou baixo. Os processos de desgaste também poderão ser classificados quanto ao elemento interfacial podendo ser de desgaste de 2-corpos ou estar sob a ação de partículas sólidas pressionadas entre duas superfícies, por exemplo, poeira em lubrificantes ou minerais em rochas sob pressão, caracterizando um desgaste de 3-corpos (Peterson, 1980). O pesquisador tem que ter sempre em mente o tipo de aplicação do material que ele deseja testar para que possa simular as mesmas condições de velocidade, de movimento e de carga.

### **3.3 Considerações sobre fenômenos tribológicos**

Antes de considerar quais os tipos de problemas tribológicos, tantos os encontrados na indústria quanto especificamente nos projetos motores, vamos considerar o fenômeno de uma maneira geral. Essencialmente, em uma situação tribológica ocorre a interação de duas superfícies sólidas em um determinado ambiente, resultando em duas manifestações exteriores:

- I. Ocorre uma dissipação de energia que é a resistência ao movimento representada pelo coeficiente de atrito. Essa dissipação de energia resulta em calor liberado no contato e certa quantidade de ruído pequena, mas muitas vezes significativa. Deve ser enfatizado que como estão sempre envolvidas duas superfícies, parâmetros como o coeficiente de atrito devem ser relacionados com o par de materiais que interagem. É interessante salientar que a existência de superfícies sem atrito é cientificamente impossível, e que a associação

geralmente feita de baixo atrito com superfícies lisas é, também, basicamente incorreta;

- II. Durante o processo de escorregamento relativo, as superfícies modificam suas características básicas, de um valor maior ou menor. Elas podem se tornar mais lisas ou mais rugosas, ter propriedades físicas, tais como dureza, alteradas, e podem ainda perder material através do processo de desgaste. Essas mudanças nas superfícies podem ser benéficas, como acontece em situações de amaciamento, para produzir condições de operação próximas a ideal, ou desastrosas, quando ocorre a falha da superfície (perda da função técnica), necessitando da substituição da peça.

Pelas considerações anteriores pode-se concluir que, tanto o atrito, quanto o desgaste, é sempre desvantajoso, mas esse não é o caso. Em muitas aplicações em engenharia, emprega-se o atrito para preencher certas funções requeridas. Freios, embreagens, rodas diretoras de carros e trens, funcionam devido à existência do atrito. O desgaste em máquinas pode, em algumas vezes, ser vantajoso, como o desgaste inicial, resultando em uma melhor acomodação das peças (amaciamento) é evidentemente desejável, enquanto que o fato das peças desgastarem e necessitarem ser trocadas é, muitas vezes, uma forte motivação para substituir máquinas já obsoletas.

Uma interpretação errônea, e amplamente difundida, é a de que o atrito e o desgaste, devem ser relacionados de alguma maneira, pois ambos provém da interação de superfícies, são relacionados de uma maneira simples, alto atrito significando desgaste elevado, o que nem sempre é o caso.

### **3.4 Soluções Tribológicas**

Talvez o efeito mais importante da introdução da palavra tribologia tenha sido criar uma visão de qualquer sistema pode ser orientada para o problema. A análise de qualquer projeto mecânico onde haja a necessidade de suportar carga e promover deslocamento relativo entre partes, sempre leva à pergunta: “Qual é a melhor solução para o problema de suportar carga através da interface com atrito e desgaste aceitáveis?”. O pensamento clássico leva a uma solução via lubrificação

fluídica, contudo as soluções de engenharia disponíveis para problemas tribológicos são mais amplas e complexas do que o simples uso de lubrificantes.

Métodos de solução de problemas tribológicos (Leal, 1981) em que:

- a) contato a Seco: Neste caso escolhem-se materiais que apresentem características intrínsecas de baixo atrito e/ou boas características de desgaste, embora isto possa significar a aceitação de menores capacidades de carga, como por exemplo, quando materiais plásticos são empregados. Em muitos casos, é possível usar materiais com camadas superficiais de baixo atrito depositadas sobre substratos que preencham as exigências estruturais impostas a peça. Esse método é empregado nos casquilhos usados em motores de automóveis;
- b) filmes Finos: Os Filmes Finos, também denominados de Filmes Químicos, podem ser aplicados para proteger as superfícies e, em parte, reduzem o contato íntimo dos materiais de base. Nesses sistemas, a estabilidade térmica dos filmes é importante devido às altas temperaturas localizadas que surgem nos pontos em que ocorre contato durante o escorregamento. Exemplos, revestimento com cromo duro em eixos e mancais, e nitreto de titânio (TiN) em ferramentas de usinagem de geometria definida;
- c) sólidos Lamelares: Recobrimentos sólidos das superfícies podem ser usados, desde que tenham baixa resistência ao cisalhamento, por exemplo, as camadas de metais moles, ou sólidos lamelares como grafite e dissulfeto de molibidênio. Estes últimos materiais tem uma estrutura em camadas, como um pacote de cartas de baralho, resistentes para cargas normais e frágeis ao longo de planos de  $90^\circ$ , facilitando o escorregamento;
- d) lubrificação Fluídica: As superfícies com movimento relativo podem ser separadas com um filme fluido contínuo, este pode ser líquido, vapor ou gás, geralmente ar. Nesses sistemas deve se originar uma pressão no filme fluido para resistir ao efeito das cargas aplicadas. A pressão de sustentação pode ser originada pelo efeito do movimento relativo das superfícies, efeito cunha dos mancais fluidodinâmicos, ou por uma bomba externa, originando os mancais fluidostáticos. A ação hidrodinâmica é mais dependente da viscosidade do fluido do que a ação hidrostática. Em ambos os casos, uma ampla gama de fluidos como água, óleos,

ar, ou mesmo metais líquidos em reatores nucleares, tem sido empregados com sucesso;

- e) elastômeros: Em aplicações onde a amplitude do deslocamento transversal é muito pequena, as superfícies podem ser separadas por elastômeros colocados às duas superfícies. Esta pode ser uma excelente solução;
- f) elementos rolantes: Uma das soluções tribológicas amplamente utilizadas é interpor elementos rolantes. Mancais de elementos rolantes ou de rolamento, apesar de apresentarem um projeto e um cálculo dimensional extremamente complexo, são os tipo de mancais antifricção mais amplamente utilizados na solução de problemas tribológicos, tanto pela forma simplificada de cálculo e seleção posta a disposição pelos fabricantes, quanto pelo nível de padronização encontrado no mercado. Nestes mancais, as superfícies com movimento relativo são separadas por um elemento rolante, o qual pode ser esférico, cilíndrico, cônico, na forma de barril ou de agulha. Nestes, os carregamentos são absorvidos pela deformação elástica de contato dos elementos rolantes junto aos anéis. Por isso, seu campo de utilização é limitado tanto pela rigidez possível de se obter quanto pelo baixo ou inexistente amortecimento, o que diminui sua precisão no deslocamento.

## 4 GAXETAS

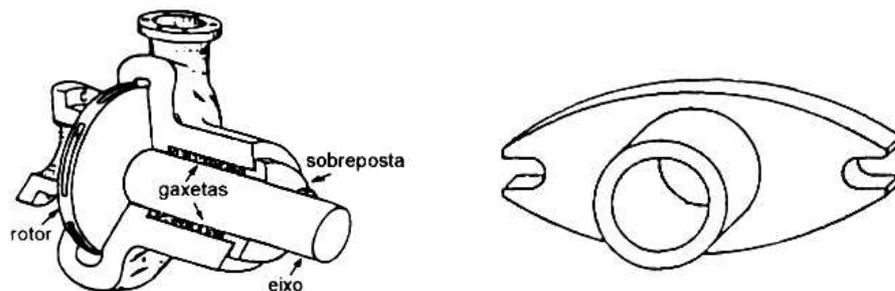
São elementos pré-formados, de estrutura flexível, usadas para impedir a passagem de um fluido ao longo de uma região. São fabricadas em tiras e a maioria delas tem seção quadrada. As tiras são cortadas e instaladas em volta do eixo. A ajustagem é feita por compressão resultante do aperto de uma peça chamada sobreposta ou preme-gaxeta. A função da gaxeta em uma bomba centrífuga não é impedir totalmente a saída do líquido em operação. Permite-se, na prática, um pequeno vazamento da ordem de 30 a 60 gotas por minuto, com a finalidade de resfriar e lubrificar os anéis de gaxeta. Se os anéis de gaxeta são comprimidos demasiadamente, provocam maior atrito no eixo (ou na luva), implicando em grande geração de calor podendo até “trancar” a bomba. No caso de gaxetas aplicadas em eixos rotativos, os anéis mais próximos à sobreposta são os que suportam a maior parte da compressão mecânica transmitida pela sobreposta. Mas cada anel restringe parte da pressão total, apenas em escala decrescente, à medida que se afasta da sobreposta.

A fim de atender satisfatoriamente às condições operacionais, as gaxetas devem ser:

- a) Bastante flexíveis para adaptar-se aos ajustes operacionais;
- b) Bem elásticas para absorver os movimentos radiais normais do eixo girando;
- c) Não ter componente solúvel atacável pelo produto bombeado;
- d) Não causar abrasão ou corrosão ao eixo ou à luva;
- e) Desgastar-se vagarosamente.

A figura 6 mostra em corte do equipamento, as gaxetas alojadas entre um eixo e um mancal e a sobreposta onde ocorrem os apertos e ajustes para regulagem das mesmas.

Figura 6 – Alojamento da Gaxeta e Sobreposta

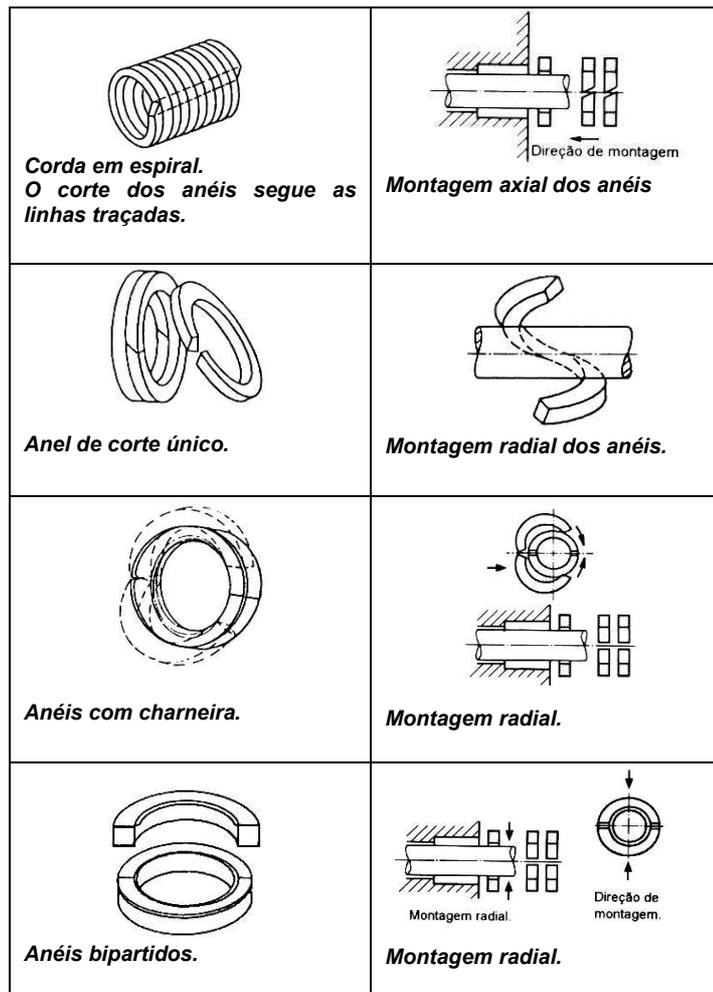


Fonte: Apostila Noções básicas de elementos de máquinas. SENAI – ES, 1997.

As gaxetas são fabricadas em forma de cordas para serem recortadas ou em anéis já prontos para a montagem.

A figura seguinte mostra gaxeta em forma de corda, anéis e algumas de suas aplicações, bem como estilos de montagem e posições de assentamento.

Figura 7 – Formatos e aplicações de gaxetas



Fonte: Apostila Noções básicas de elementos de máquinas. SENAI – ES, 1997.

#### 4.1 Classificação de gaxetas

As gaxetas são classificadas em três tipos básicos:

- a) Trançadas;
- b) Plásticas;
- c) Metálicas.

- ✓ Trançadas: têm a vantagem do preço baixo e fácil manuseabilidade. As principais fibras usadas na confecção da trança são: Linho, rami, algodão, asbesto (branco e azul).

As tranças são impregnadas de lubrificante especial, grafite ou resina de teflon. Este trançado pode ser total ou parcial. O tipo construtivo de trançado torna a gaxeta bastante flexível e de fácil ajustamento.

- ✓ Plásticas: são constituídas de uma mistura homogênea de fibra de asbesto, grafite, óleo e aglutinante especial. Às vezes, acrescentam-se partículas de metal patente. Suas desvantagens podem ser a pouca resistência a pressões elevadas e relativa dificuldade manuseio no campo devido à rigidez plástica. Nesta categoria destacam-se as gaxetas de teflon, com larga faixa de aplicação, por causa da grande inércia química desse plastômero e de sua resistência ao calor. Destacam-se também, as gaxetas de grafite, com acentuada aplicação para condições operacionais de alta temperatura, geralmente acima de 250°C. Boa inércia química, baixo coeficiente de atrito, alta resistência a temperaturas e excelente condutividade térmica. São fabricados sob a forma de fios trançados, folheados ou escamas laminadas de grafite puro.
- ✓ Metálicas: são feitas de folhas contínuas de metal, espiraladas ou dobradas em forma de sanfona e retorcidas entre si a fim de ficarem com a sua seção transversal quadrada. Os metais mais usados são o chumbo, o alumínio, o cobre, o níquel, e o bronze fosforoso. Cada folha metálica é lubrificada individualmente com óleo ou grafite.

Em algumas modalidades, apenas a capa externa é feita com folheado metálico, o núcleo pode ser de linho ou asbesto, preferencialmente retorcido. As gaxetas metálicas são flexíveis, duráveis, boas dissipadoras de calor, porém são resilientes.

## 4.2 Seleção da gaxeta

A seleção de uma gaxeta abrange a determinação de sua bitola dimensional e a escolha do estilo. O estilo é a referência comercial com que cada fabricante batiza as diversas modalidades de gaxetas de sua linha de fabricação, variando de fabricante para fabricante. Ao selecionar gaxetas para um conjunto de bombas, deve-se reduzir ao máximo a variedade de estilo, diminuindo assim a probabilidade de uso incorreto da gaxeta, além da minimização do estoque. A seleção do estilo da gaxeta para um determinado serviço exige o conhecimento das condições hidráulicas e mecânicas do equipamento. Os dados principais são:

- a) hidráulicos: líquido bombeado; pH; contaminantes; peso específico; pressão e temperatura;
- b) mecânicos: diâmetro da caixa; profundidade da caixa; diâmetro da luva; rotação máxima; material da luva e dureza do material.

De posse de todos esses dados o usuário consulta o catálogo técnico e seleciona a gaxeta adequada. Em caso de dúvidas, deve-se procurar o serviço de assistência técnica do fabricante. O fator pH (potencial hidrogeniônico) é fundamental para seleção do material da gaxeta. O valor do pH de um líquido representa a medida numérica de sua relativa acidez ou alcalinidade. A água destilada é considerada neutra, com  $\text{pH} = 7$ . A tabela de valores de pH é a seguinte:

Tabela 1 – Tabela de valores de pH

14	Alcalinidade máxima
13, 12, 11	Alcalinidade severa
10, 9, 8	Alcalinidade moderada
7	Neutra
6, 5, 4	Acidez moderada
3, 2, 1	Acidez severa
0	Acidez máxima

Fonte: Apostila Noções básicas de elementos de máquinas. SENAI – ES, 1997.

O produto da pressão de vedação com a velocidade periférico do eixo (ou da luva) constitui o fator “pv”, que também é de fundamental importância na seleção da

gaxeta. A pressão é medida em bar ou psi, e a velocidade periférica em m/s ou pé/min.

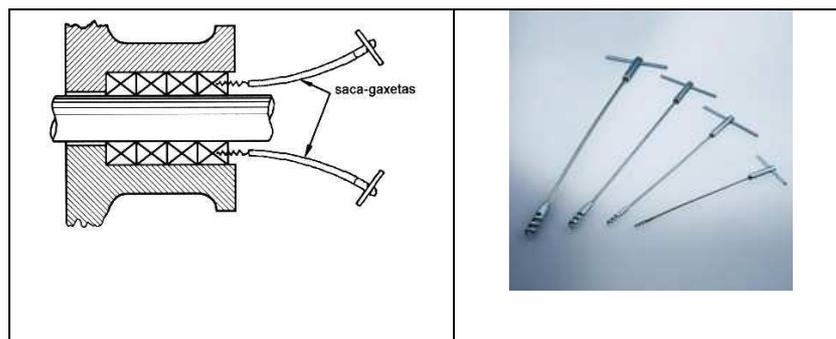
A escolha da gaxeta adequada para cada tipo de trabalho deve ser feita com base em dados fornecidos pelos catálogos dos fabricantes. No entanto, os seguintes dados deverão ser levados em consideração:

1. Material utilizado na confecção da gaxeta: existem vários tipos de materiais disponíveis no mercado, como em grafite, teflon, borracha, algodão, borracha sintética, feltro, espuma, couro, etc.;
2. Dimensões da caixa de gaxeta: são de acordo com o sistema de vedação utilizado e tamanho do equipamento a ser vedado;
3. Fluido líquido ou gasoso bombeado pela máquina: existem gaxetas apropriadas para cada tipo de gás e de acordo também com o tipo de líquido a ser bombeado ou vedado;
4. Temperatura e pressão dentro da caixa de gaxeta: estas condições são primordiais para seleção da gaxeta, levando em consideração a aplicabilidade de cada tipo de gaxeta;
5. Tipo de movimento da bomba (rotativo/alternativo): alternativo é um movimento do equipamento entre dois pontos e seguindo uma sequência alternativa e o movimento rotativo é quando se tem o eixo girando dentro de uma câmara onde contém um líquido que deve ser vedado;
6. Material utilizado na construção do eixo ou da haste: deve ser de acordo com o tipo de serviço e exposição a ser efetuada. As buchas podem ser de bronze, latão, etc.;
7. Ciclos de trabalho da máquina: as gaxetas são selecionadas conforme rotação do equipamento devido à questão da temperatura, contato ao eixo, etc.;
8. Condições especiais da bomba: alta ou baixa temperatura; local de trabalho (submerso ou não); meio (ácido, básico, salino) a que se encontra exposta.

### 4.3 Substituição da gaxeta

A gaxeta deve ser removida com um par de saca-gaxeta e com tamanho adequado, conforme figura 8. O interior da caixa de gaxetas deve ser bem limpo. O grau de limpeza poderá ser verificado com o auxílio de um espelho ou lâmpada, caso seja necessário. O saca-gaxeta é flexível, resistente e permite a total retirada das gaxetas, inclusive as de difícil acesso, além de prevenir danos ao eixo quando usadas de maneira adequada. Estes atributos alinham-se em uma ferramenta fabricada em aço especial resistente à corrosão e dimensionada para resistir ao torque aplicado com durabilidade incomparável. O uso de saca-gaxeta representa uma grande economia de tempo no serviço de manutenção de bombas e válvulas, em relação às ferramentas improvisadas para estes serviços.

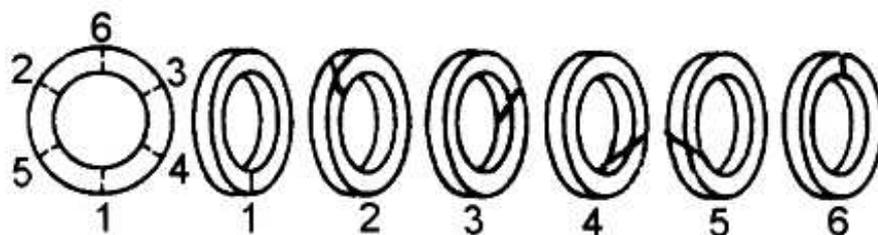
Figura 8 – Saca-gaxetas



Fonte: <http://www.eagleburgmann.com>.

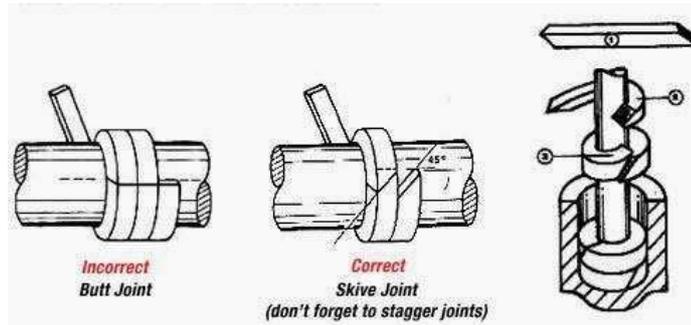
Caso não exista uma gaxeta padronizada, deve-se substituí-la por uma em forma de corda, tomando cuidado em seu corte e montagem. O corte deverá ser a 45° para que haja uma vedação. A gaxeta deverá ser montada escalonadamente para que não ocorra uma coincidência dos cortes ou emendas, evitando assim possíveis vazamentos conforme mostra a figura 9.

Figura 9 – Formas de corte e montagem de gaxetas



Fonte: Apostila Noções básicas de elementos de máquinas. SENAI – ES, 1997.

Figura 10- Montagem da gaxeta no eixo da bomba



Fonte: marcelomaianautica.blogspot.com.

A tabela abaixo mostra os possíveis defeitos e falhas nos elementos de vedação denominados de gaxetas, bem como suas possíveis causas e origem.

Tabela 2 – Defeitos e falhas em gaxetas

<i>Defeitos</i>	<i>Possíveis causas</i>
<i>Excessivas reduções na seção da gaxeta situada embaixo do eixo.</i>	<i>Mancais baixos com o eixo atuando sobre a gaxeta; vazamento junto à parte superior do eixo.</i>
<i>Redução excessiva da espessura da gaxeta em um ou em ambos os lados do eixo.</i>	<i>Mancais gastos ou haste fora de alinhamento.</i>
<i>Um ou mais anéis faltando no grupo.</i>	<i>Fundo de caixa de gaxeta muito gasto, o que causa extrusão da própria gaxeta.</i>
<i>Desgaste na superfície externa da gaxeta.</i>	<i>Anéis girando com o eixo ou soltos dentro da caixa.</i>
<i>Conicidade na face de um ou mais anéis.</i>	<i>Anéis adjacentes cortados em comprimento insuficiente, fazendo com que a gaxeta seja forçada dentro do espaço livre.</i>
<i>Grande deformação nos anéis posicionados junto à sobreposta, enquanto os anéis do fundo se encontram em boas condições.</i>	<i>Instalação inadequada da gaxeta e excessiva pressão da sobreposta.</i>
<i>Gaxetas apresentam tendência para escoamento ou extrusão entre o eixo e a sobreposta.</i>	<i>Pressão excessiva ou espaço muito grande entre o eixo e sobreposta.</i>
<i>Face de desgaste do anel seca e chamuscada, enquanto o restante da gaxeta se encontra em boas condições.</i>	<i>Temperatura de trabalho elevada e falta de lubrificação.</i>

Fonte: Apostila Noções básicas de elementos de máquinas. SENAI – ES, 1997.

#### 4.4 Tipos de gaxetas

- Gaxeta acrílica PTFE

Fabricada com filamentos acrílicos nas bitolas quadradas entrelaçadas em diagonal, impregnada com dispersão de PTFE e lubrificada inerte. Utilizada para a maioria dos serviços em reatores, misturadores, agitadores e todos os tipos de bombas no segmento de papel e celulose, químicos e nas indústrias de tratamento de água.

Figura 10 – Gaxeta Acrílica PTFE



Fonte: <http://www.eagleburgmann.com>.

- Gaxeta aramida PTFE

Fabricada com filamentos contínuos de aramida impregnada com dispersões de PTFE e lubrificantes entrelaçada, na bitola quadrada com grande resistência mecânica. Utilizada para trabalhar com água, vapor, amônia, ar, hidrogênio, petróleo, produtos ácidos e alcalinos fracos, abrasivos, massas de pape, e celulose onde for necessário grande resistência mecânica, eixos rotativos, hastes de válvulas, bombas centrífugas e alternativas, misturadores, agitadores, reatores e portas autoclave.

Figura 11 – Gaxeta aramida PTFE



Fonte: <http://www.eagleburgmann.com>.

- Gaxeta PTFE Grafitado

Fabricada com filamentos de PTFE expandido, impregnada a base de grafite e óleo inerte, entrelaçada na bitola quadrada, proporcionando uma grande flexibilidade nas construções dos anéis, devido as suas características. Utilizada na maioria das bombas de altas rotações, misturadores, agitadores, hastes de válvulas e outros.

Figura 12 – Gaxeta PTFE grafitado

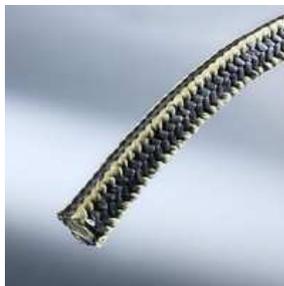


Fonte: <http://www.eagleburgmann.com>.

- Gaxeta aramida com PTFE grafitado

Fabricação com filamentos contínuos de aramida entrelaçada, com núcleo de PTFE grafitado nas bitolas quadradas, com grande flexibilidade e resistência mecânica. Utilizada para trabalhar em quaisquer tipos de bombas, misturadores, reatores, hastes de válvulas, em pressões elevadas, sendo ideal para fluidos abrasivos, além de solventes, óleos e graxas, entre outros.

Figura 13 – Gaxeta aramida com PTFE grafitado



Fonte: <http://www.eagleburgmann.com>.

- Gaxeta fibra mineral PTFE

Fabricada com fios de crisotila nas bitolas quadradas entrelaçadas em diagonal, impregnadas com dispersão de PTFE e lubrificantes. Utilizadas para a maioria dos equipamentos que operam com agentes agressivos, tais como ácidos, amônia, ar hidrogênio, gases, petróleo, solventes usados em misturadores, filtros rotativos, reatores, bombas, hastes de válvulas e outros.

Figura 14 – gaxeta fibra mineral PTFE



Fonte: <http://www.eagleburgmann.com>.

- Gaxeta PTFE Puro seca

Fabricada com filamento expandido de puro PTFE, entrelaçadas na bitola quadrada resultando em uma gaxeta compacta, porém bem flexível. Utilizadas para trabalhar com produtos químicos agressivos, corrosivos, gases solventes, oxigênio, produtos alimentícios e farmacêuticos, indicada para hastes de válvulas em serviços de baixa velocidade e estáticos, que não podem ser contaminados.

Figura 15 – gaxeta PTFE puro seca



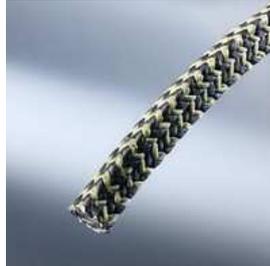
Fonte: <http://www.eagleburgmann.com>.

- Gaxeta de PTFE com reforço de aramida

Fabricada com PTFE expandido e filamentos de fibra amarida (Kevlar) entrelaçada no perfil quadrado proporcionando flexibilidade nas construções dos anéis. Utilizada para a maioria dos equipamentos de segmentos químicos,

farmacêuticos, alimentícios, pastas abrasivas, indústrias de papeis e celulose e outras.

Figura 16 – Gaxeta PTFE com reforço de aramida



Fonte: <http://www.eagleburgmann.com>.

- Gaxeta de grafite flexível

Fabricada com filamento de grafite com reforço de fibra têxtil na bitola quadrada calandrada proporcionando maior flexibilidade nas construções dos anéis. Utilizada para serviços severos e altas temperaturas, vapor saturado, dutos de gases, produtos químicos e óleos sintéticos.

Figura 17 – Gaxeta de grafite



Fonte: <http://www.viavedacoes.com.br>.

## 5 SELO MECÂNICO

Selo Mecânico é um dispositivo mecânico de forma cilíndrica, de alta tecnologia e alto desempenho que elimina e previne vazamentos de fluidos, líquidos ou gases sob pressão na caixa de selagem ou câmara do selo, de bombas centrífugas, bombas hidráulicas, reatores, onde o eixo rotativo atravessa seu corpo.

O selo mecânico evita a passagem, fuga de líquidos e gases entre o eixo rotativo (móvel) a carcaça fixa da bomba. Eles têm o objetivo prático de vedar, sem provocar aquecimento excessivo nem causar desgaste prematuro no eixo ou na luva. Surgiu em substituição às gaxetas que não trabalhavam bem em condições operacionais mais severas, como para operar com líquidos corrosivos, altas velocidades, altas pressões e elevadas temperaturas. Tem longa vida útil, manutenção praticamente inexistente ou mínima, além de gerar grande economia de energia elétrica, o selo mecânico proporciona inúmeras vantagens e benefícios quando comparado às gaxetas.

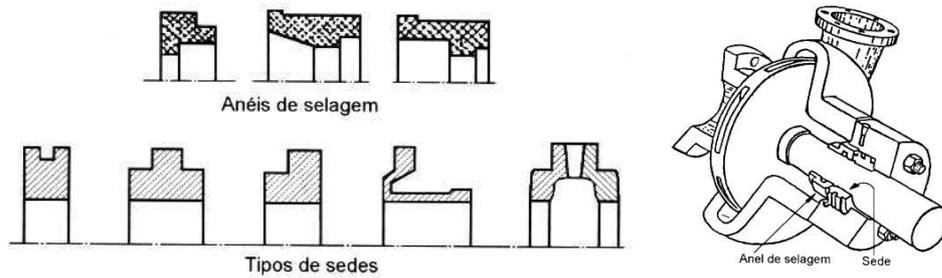
O selo mecânico é um vedador de pressão que utiliza princípios hidráulicos para reter fluidos. Esse componente trabalha retendo líquidos e impedindo que vazem pelo conjunto. Ele é formado por um conjunto rotativo que gira no sentido do eixo e por um conjunto estacionário. A vedação exercida pelo selo mecânico se processa em dois momentos: a vedação principal e a secundária.

A vedação principal é feita num plano perpendicular ao eixo por meio do contato deslizante entre as faces altamente polidas de duas peças, geralmente chamadas de sede e anel de selagem. A sede é estacionária e fica conectada numa parte sobreposta. O anel de selagem é fixado ao eixo e gira este componente.

Para que as faces do anel de selagem e da sede permaneçam sempre em contato e pressionadas, utilizam-se molas helicoidais conectadas ao anel de selagem.

A figura 18 mostra alguns tipos de sede e de anéis de selagem, bem como um selo mecânico em corte e detalhamento da bomba centrífuga.

Figura 18 – Tipos de sede e selo mecânico em corte

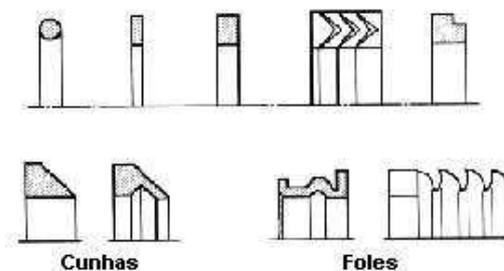


Fonte: Apostila Noções básicas de elementos de máquinas. SENAI – ES, 1997.

A vedação secundária, aplicada à sede e ao anel de selagem, pode ser feita por meio de vários anéis com perfis diferentes, tais como: junta, anel o'ring, anel "V", cunha, fole etc.

A figura 19 mostra detalhamento dos componentes de um selo mecânico, conforme corte da bomba centrífuga, indicando suas vedações secundárias, conformação de cunhas e foles, posicionamento de anéis "O" rings.

Figura 19 – Vedações secundárias



Fonte: Apostila Noções básicas de elementos de máquinas. SENAI – ES, 1997.

### 5.1 Vantagens do selo mecânico

Os selos mecânicos são utilizados com vantagens em relação às gaxetas, pois não permitem vazamentos e podem trabalhar sob grandes velocidades e em temperaturas e pressões elevadas, sem apresentarem desgastes consideráveis. Eles permitem a vedação de produtos tóxicos e inflamáveis.

O selo mecânico é usado em equipamento de grande importância como bombas de transporte em refinarias de petróleo, bombas de lama bruta nos tratamentos de água e esgoto, bombas de submersão em construções, bombas de fabricas de bebidas, em usinas termoelétricas e nucleares, bombas de produtos químicos, etc.

As vantagens de utilização do selo mecânico são:

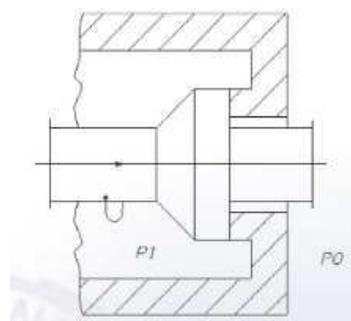
1. Reduz o atrito entre o eixo da bomba e o elemento de vedação reduzindo, conseqüentemente, a perda de potência.
2. Elimina o desgaste prematuro do eixo e da bucha.
3. A vazão ou fuga do produto em operação é mínima ou imperceptível.
4. Permite operar fluidos tóxicos, corrosivos ou inflamáveis com segurança.
5. Tem capacidade de absorver o jogo e a deflexão normais do eixo rotativo.

Para Shiels (2002), frequentemente as falhas apresentadas nos componentes dos selos mecânicos são detectadas em inspeções visuais. Isto pode ocorrer devido à existência de cavitação anterior ou ao mesmo tempo da falha destes dispositivos.

## 5.2 Princípio de funcionamento

A forma mais simples de selo mecânico seria aquela representada na figura 20 onde uma das faces de contato é formada pela face frontal de um ressalto no eixo e a outra pela face frontal de um ressalto na carcaça.

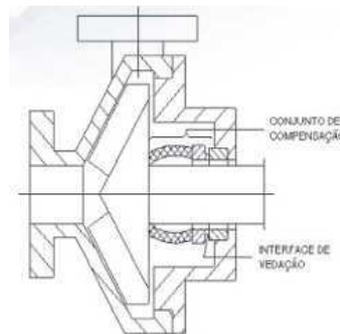
Figura 20 – Selo mecânico simples



Fonte: Apostila Burgmann do Brasil.

Sendo a pressão  $P_1 > P_0$  o eixo é forçado axialmente do meio “1” ao meio “0”, fechando a interface de vedação, tanto mais, quanto maior for o diferencial  $P_1/P_0$ . Esta forma construtiva para tornar-se funcional, necessitaria de um fechamento prévio da interface de vedação e um deslocamento axial do eixo à medida que as faces de vedações forem se desgastando. A fim de evitar os problemas construtivos funcionais a solução interessante é construir as partes sujeitas ao movimento relativo, independente do eixo e da carcaça a fim de facilitar sua confecção e permitir a escolha adequada de materiais. Outra medida necessária é a introdução de um elemento elástico capaz de compensar o desgaste das faces. Tal forma construtiva encontra-se na figura abaixo.

Figura 21 – Selo mecânico comercial



Fonte: Apostila Burgmann do Brasil.

Nesta solução ainda são deficientes a transmissão de torque do eixo para a face rotativa e as vedações secundárias, ou seja, a vedação entre os componentes rotativos/eixo e a vedação entre o componente estacionário/carcaça.

Nos selos mecânicos comerciais todos estes aspectos estão previstos e por isto pode-se afirmar que todos os selos mecânicos são compostos de:

- ✓ Conjunto de compensação de desgaste, composto de: anel deslizante, vedação secundária, mola
- ✓ Conjunto axialmente fixo, composto de: sede (contra anel), vedação secundária

O sistema de transmissão de torque é composto de anel de arrasto e parafuso, porém esta função poderá estar sendo desempenhada por outros

componentes como, por exemplo, mola ou foles. Praticamente todos os selos mecânicos apresentam, de uma forma ou de outra, os seguintes elementos:

- Vedação principal ou dinâmica: composta pela interface de vedação, ou seja, pelo contato entre o anel deslizante e sede;
- Vedações secundárias: são aquelas que efetuam a vedação entre partes do selo mecânico e componentes do equipamento. Podem ser feitos por anéis elastoméricos ou não;
- Mola: possui a função de manter a interface de vedação fechada, quando não houver pressão hidráulica, agindo sobre o selo mecânico. A função deste elemento poderá, em algumas formas construtivas de selos mecânicos, estar sendo desempenhado por um fole;
- Arrasto ou ancoragem: possui a função de transmitir o torque do eixo para o conjunto de compensação quando este for rotativo ou de ancorá-lo, quando este for estacionário. Este papel poderá, em algumas formas construtivas de selos mecânicos, estar sendo desempenhada por uma mola ou um fole.

### 5.3 Formas construtivas

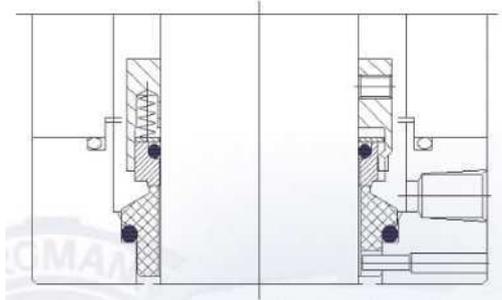
Muitas são as formas construtivas de selos mecânicos, mas basicamente podemos dividi-los em dois grupos principais:

- ✓ Com conjunto de vedação rotativo e sede estacionária
- ✓ Com conjunto de compensação estacionária e sede rotativa

#### 5.3.1 Selos mecânicos com conjunto de compensação rotativo

É a forma construtiva mais usual. Destina-se a velocidades de deslize, na interface de vedação, de aproximadamente até 20m/s. A partir deste valor, o efeito da força centrífuga poderá afetar o desempenho do elemento elástico.

Figura 22 – Selo mecânico com conjunto de compensação rotativo

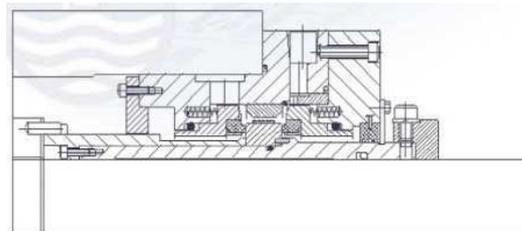


Fonte: Fonte: Apostila Burgmann do Brasil.

### 5.3.2 Selos mecânicos com conjunto de compensação estacionário

É a forma construtiva apropriada para velocidades de deslize mais elevadas, uma vez que possui apenas a sede e sua vedação rotativas, minimizando desta forma eventuais problemas de desbalanceamento dinâmico. Nada impede sua aplicação em velocidades baixas.

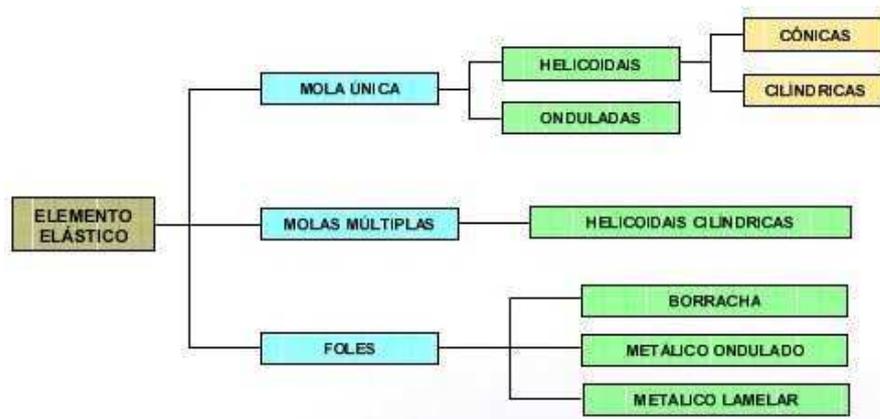
Figura 23 – Selo mecânico com conjunto de compensação estacionário



Fonte: Apostila Burgmann do Brasil.

Cada um destes grupos ainda pode ser dividido em função do tipo de elemento elástico que compõe o conjunto de compensação. Este elemento, geralmente uma mola ou um fole, possui a função de manter a interface fechada quando sobre o selo mecânico não estiver atuando a pressão hidráulica. Na figura abaixo está representada uma classificação geral destes componentes.

Figura 24 – Classificação geral dos elementos elásticos

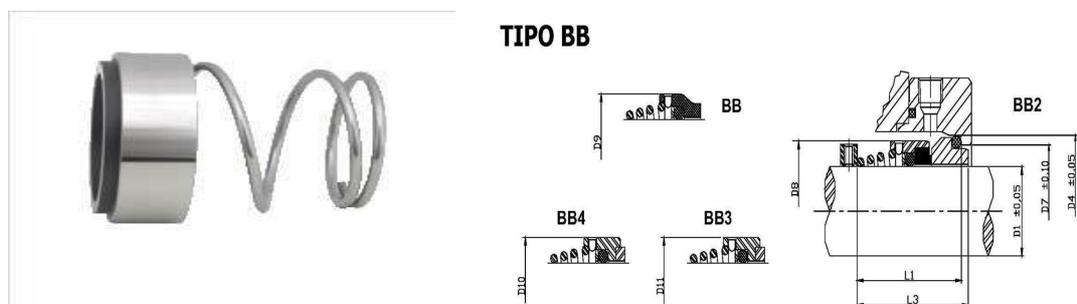


Fonte: Apostila Burgmann do Brasil.

### I. Mola única helicoidal cônica

Montada sempre como elemento elástico único é capaz de compensar grandes erros de posicionamento do eixo, em alterar significativamente sua carga. É recomendável evitar seu emprego em selos mecânicos com tamanhos maiores que 75 mm de eixo, pois, a partir daí, começam ser de manuseio incômodo. Por outro lado, sua aplicação em tamanhos pequenos é interessante por ser um elemento relativamente grande e pouco suscetível a emperramento por impurezas ou alterações de fase do produto. Sua distribuição de força irregular ao longo do perímetro da interface de vedação é, na prática, irrelevante. Por ser também um elemento de transmissão de torque, determina que o selo mecânico seja dependente do sentido de rotação, sendo que nestes casos é necessário especificar a mola de acordo com o sentido de giro do eixo.

Figura 25 – Selo mecânico com mola única helicoidal cônica

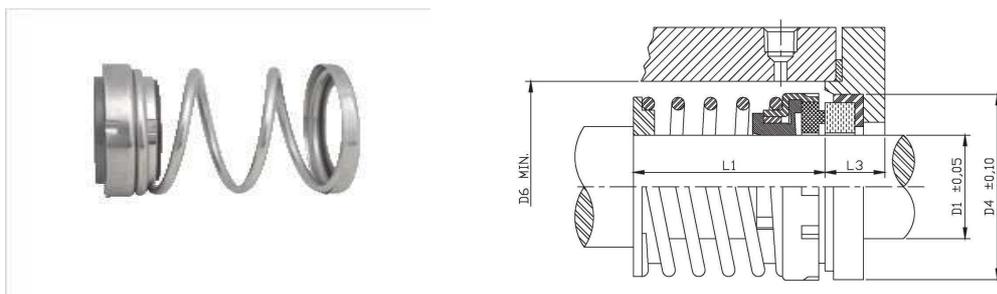


Fonte: [www.egemaf.com.br](http://www.egemaf.com.br).

## II. Mola única helicoidal cilíndrica

É capaz de compensar grandes erros de posicionamento do eixo, sem alterar significativamente sua carga. É recomendável evitar seu emprego em selos mecânicos com tamanhos maiores que 75mm, pois, a partir daí, começam a ser de manuseio incômodo. Por outro lado, sua aplicação em tamanhos pequenos é interessante por ser um elemento relativamente grande e pouco suscetível a emperramento por impurezas ou alterações de fase do produto. Sua distribuição de força irregular ao longo do perímetro da interface de vedação é, na prática, irrelevante. Sem qualquer outro sistema de transmissão de torque, determina que o selo mecânico seja dependente do sentido de rotação. Nestes casos é necessário especificar a mola de acordo com o sentido de giro do eixo.

Figura 26 – Selo mecânico com mola única helicoidal cilíndrica

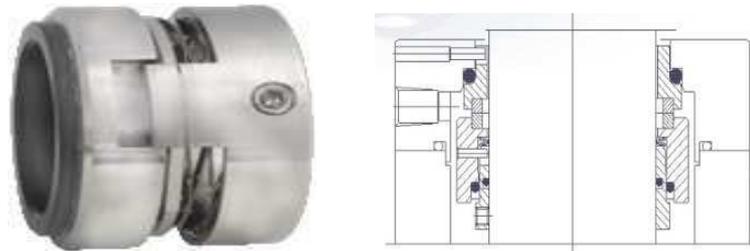


Fonte: [www.engemaf.com.br](http://www.engemaf.com.br).

## III. Mola única ondulada

Caracteriza-se por necessitar de pouco espaço e ser de fácil montagem. Apresenta curva característica muito acentuada, o que implica numa variação grande de carga em função do deslocamento axial se comparado com as molas helicoidais.

Figura 27 – Selo mecânico com mola única ondulada

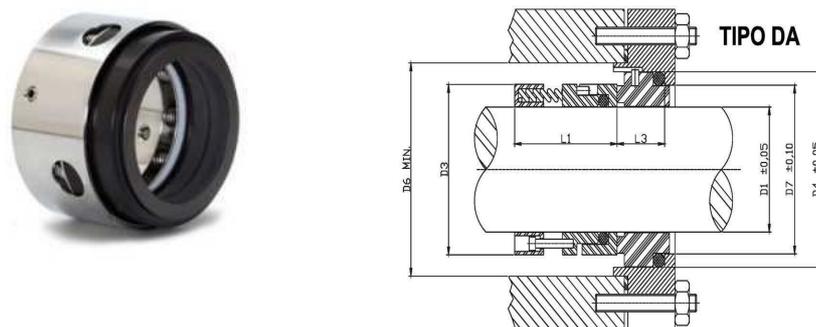


Fonte: [www.engemaf.com.br](http://www.engemaf.com.br).

#### IV. Molas múltiplas helicoidais cilíndricas

Apresentam uma boa distribuição de carga ao longo do perímetro da interface de vedação se distribuídas uniformemente. É recomendável evitar seu emprego em selos mecânicos com tamanhos menores que 50mm, pois, a partir daí, começam a tornar-se muito pequenas e portanto suscetíveis a emperramento por impurezas ou alterações de fase do produto. Estes problemas podem ser minimizados pela adoção de modelos de selos mecânicos que as mantenham fora do produto. Possuem pequeno curso para compensação de erros no posicionamento do eixo, e que tornam seu uso ainda mais crítico para tamanhos menores de selos mecânicos.

Figura 28 – Selo mecânico com molas múltiplas helicoidais cilíndricas



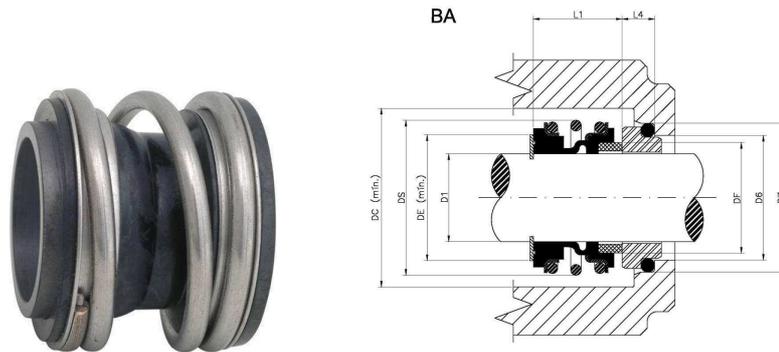
Fonte: [www.ultraseal.com.br](http://www.ultraseal.com.br).

#### V. Fole de borracha

Confeccionado a partir de manta de borracha pura (normalmente viton, etileno ou perbunam) e vulcanizado em temperaturas de 150 a 180 °C em moldes de acordo com a geometria e diâmetro desejado. O fole de borracha em um selo

mecânico não é sujeito a nenhuma torção. O projeto do fole de borracha incorpora diversas funções tais como arrasto, elemento de vedação secundário e alojamento para o anel deslizante. A transmissão de torque é feita através da mola e de anéis angulares montados externamente sobre o mesmo.

Figura 29 – Selo mecânico com fole de borracha

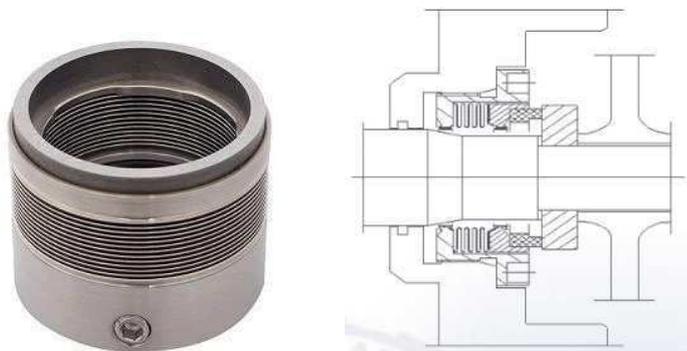


Fonte: [www.engemax.com.br](http://www.engemax.com.br).

#### VI. Fole metálico ondulado

Confeccionado a partir de uma chapa fina lisa calandrada e soldada longitudinalmente. As ondulações na chapa são feitas por repuxo mecânico ou hidrostático. Alteram suas características físicas com a variação da pressão de trabalho e apresentam pequena suscetibilidade a impurezas, facilidade de limpeza e boa resistência a variações de temperaturas.

Figura 30 – Selo mecânico com fole metálico ondulado



Fonte: [www.flexaseal.com.br](http://www.flexaseal.com.br).

## 5.4 Disposição de selos mecânicos

### 5.4.1 Selos mecânicos simples

Selo com um único conjunto de sedes. O selo simples interno fica instalado dentro da caixa de vedação. O líquido existente na caixa de vedação mantém os componentes do selo sob compressão e penetra na interface dos anéis primários pelo diâmetro externo das faces seladoras a fim de lubrificá-las. O selo simples externo tem a sede montada na sobreposta e a cabeça compressível instalada do lado de fora da caixa de vedação. O líquido existente na caixa de vedação passa pela folga existente entre a sede e a luva e penetra na interface dos anéis primários pelo diâmetro interno das faces seladoras a fim de lubrificá-las. O líquido não entra em contato com as molas do selo. Este tipo de selo é utilizado em líquidos com sólidos em suspensão até 5%, baixa agressividade química, etc. Possuem uma única interface de vedação. Sua refrigeração e lubrificação são feitas na maioria dos casos pelo próprio produto que se pretende vedar e por isto apresentam limitações quanto:

- a) a quantidade de sólidos em suspensão;
- b) teor de gases em suspensão;
- c) pressão de vapor;
- d) agressividade química;
- e) viscosidade.

Sua utilização deve ser preferencialmente pela maior simplicidade de operação.

### 5.4.2 Selo mecânico múltiplo

Pode-se dispor de dois ou mais selos numa mesma vedação, objetivando determinadas soluções, como a combinação de dois selos na disposição oposta (back-to-back), ou a disposição em série (tandem). Combinações com mais de dois selos são raras, podendo citar-se três ou mais selos em série e dois selos em disposição oposta mais um em série com o selo externo.

- Disposição oposta

Esta combinação consiste em montar os dois conjuntos de compensação entre os contra anéis, formando-se entre o produto e a atmosfera uma câmara intermediária que deverá ser preenchida por um “líquido de obturação” ou “líquido de barreira”. É necessário que este circule, por convecção natural ou de forma forçada, bem como seja pressurizado a uma pressão superior à pressão do produto junto ao selo interno.

Figura 31 – Montagem de selo mecânico na posição oposta “back-to-back”



Fonte: <http://machining.grundfos.com>.

As principais características desta disposição são:

- ✓ Conseguir-se 100% de vedação do produto em relação a atmosfera. Possíveis vazamentos ocorrem do líquido de obturação para o produto e do líquido de obturação para a atmosfera;
- ✓ Poucas peças do selo entram em contato com o produto, conseguindo-se assim otimizar a resistência química pela eliminação ou redução de componentes metálicos com o produto;
- ✓ Permite a vedação de gases ou líquidos com alto percentual de sólidos em suspensão, pois o líquido que está na interface de vedação é um líquido limpo (líquido de obstrução);
- ✓ O produto sofrerá pequena contaminação pelo líquido de obturação.

- Disposição em série

Esta forma consiste em montar dois selos mecânicos em série formando-se entre o produto e a atmosfera uma câmara intermediária, que deverá ser preenchida por um líquido de obturação. É necessário que este circule, por convecção natural ou de forma forçada, bem como seja pressurizado a uma pressão inferior a pressão do produto junto ao selo interno, ou até que seja completamente despressurizado.

Somente nos selos duais o líquido de obturação poderá ser pressurizado. Em caso de se utilizar líquido de obturação sem pressão, é importante otimizar-se as propriedades deslizantes da combinação de materiais que compõe a interface de vedação, pois como o diferencial de pressão a ser vedado é pequeno, a pressão poderá ser insuficiente para forçar o líquido de obstrução para dentro da interface, provocando falta de lubrificação.

Figura 32 - Montagem de selo mecânico na posição em série “tandem”



Fonte: <http://machining.grundfos.com>.

As principais características desta disposição são:

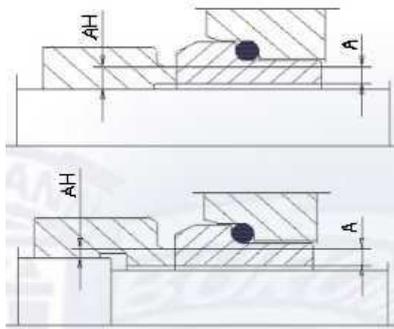
- ✓ Conseguir-se boa vedação do produto em relação à atmosfera, pois os possíveis vazamentos do produto ocorrem dentro de um ambiente confinado;
- ✓ O produto não sofrerá contaminação pelo líquido de obturação;
- ✓ Mesmas características citadas no selo de disposição oposta são válidas, quando se tratar de selo dual pressurizado.

## 5.5 Forças e pressões

- Pressão hidráulica

As forças hidráulicas atuantes sobre o selo mecânico são, em sua maior parte, neutralizadas por forças da mesma intensidade, porém, em sentidos opostos. Apenas uma ação resultante é formada pela área  $A_H$  indicada na figura 35, sobre a qual é gerada a “força hidráulica” ( $F_h$ ). Diante disto pode-se conceber duas categorias de selos mecânicos, ou seja, aqueles que possuem uma área de interface de vedação  $A$  menor que a área de atuação hidráulica  $A_H$ , e aqueles cuja área de interface de vedação  $A$  é maior que a área de atuação hidráulica  $A_H$ .

Figura 35 – relação das áreas hidráulicas e de interface



Fonte: Apostila Burgmann do Brasil.

Nos selos onde  $AH/A \geq 1$  a pressão de contato na interface é maior ou igual a pressão hidráulica, sendo por isto, chamados de selos mecânicos **não balanceados**.

Nos selos **onde**  $AH/A < 1$  a pressão de contato na interface é menor que a pressão hidráulica, sendo por isto, chamados de selos mecânicos **balanceados**.

Os fatores de balanceamento variam de 1 a 2 nos selos não balanceados e de 0,6 a 0,99 na maioria dos selos balanceados.

Devido ao alívio de pressão na interface dos selos balanceados é que estes são mais adequados para aplicações em pressões hidráulicas mais elevadas, nada impedindo, porém, sua utilização em pressões baixas. Do ponto de vista teórico deve-se esperar um vazamento ligeiramente maior nos selos balanceados em

relação aos não balanceados, quando sujeitos as mesmas condições operacionais, porque a força total de fechamento é menor.

- Força de mola

De maneira similar à pressão hidráulica, a força de mola gera também uma pressão de contato na interface de vedação chamada de “**P.F.**”. sua função é manter a interface de vedação fechada enquanto não houver pressão hidráulica atuando sobre o selo. Os valores desta pressão ficam numa faixa de 10 a 50 N/cm<sup>2</sup>, e de 5 a 25 N/cm<sup>2</sup>.

As aplicações de selos mecânicos devem ser feitas de tal forma que a força resultante da pressão hidráulica some-se à força das molas, pois do contrário poderá ocorrer abertura da interface de vedação.

## **5.6 Materiais utilizados na fabricação do Selo Mecânico**

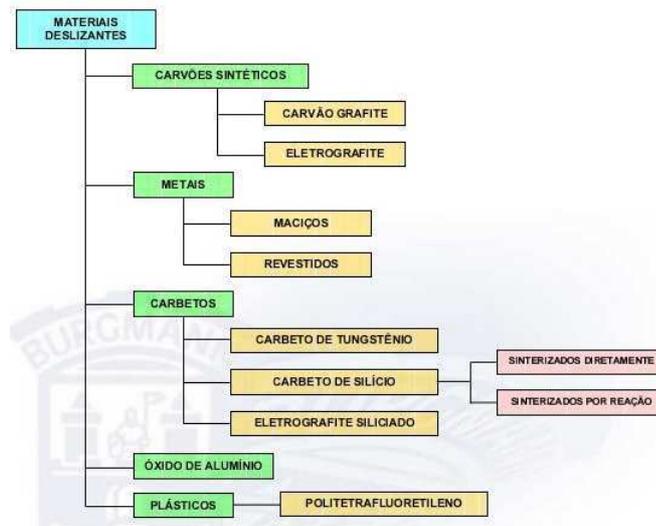
Na especificação de um selo mecânico, deve haver especial atenção na escolha dos materiais construtivos, onde são verificadas todas as propriedades físicas e químicas para cada aplicação de produto a ser vedado. A temperatura e a corrosão química são dois fatores vitais, pressão e velocidade do serviço, além de serem consideradas as características do produto bombeado ou misturado, como: PH, concentração, abrasivos, sólidos em suspensão e gases dissolvidos, com o objetivo de levar o selo mecânico a uma vida operacional satisfatória.

Abaixo os materiais mais utilizados para:

- a) Materiais deslizantes (Vedadores primários)

Os materiais deslizantes podem ser classificados como indicado na figura abaixo.

Figura 33 – Classificação de materiais deslizantes



Fonte: Apostila Burgmann do Brasil.

- Carvão-Grafite: possui maior resistência mecânica que os carvões sintéticos impregnados com resina e menor resistência química, em função do metal utilizado como impregnante. Usado como opção para um dos vedadores primários do selo mecânico em mais de 90% dos líquidos industriais. O carvão tem baixa condutividade térmica, apresenta boa qualidade lubrificante e é adequado para temperaturas até 450°C;
- Eletrografite: em comparação ao carvão grafite, o eletrografite apresenta uma menor resistência mecânica, porém, uma maior condutibilidade térmica. Para compensar a menor condutividade destes materiais torna-se imperativo direcionar o fluxo de refrigeração para as faces a fim de remover o calor gerado;
- Metais maciços: os melhores resultados são conseguidos com ligas especiais fundidas, a base de níquel ou cromo que apresentam boas propriedades deslizantes e boa resistência química;
- Metais revestidos: a utilização destes metais revestidos é limitada por: espessura fina do revestimento, não permitindo recuperação; falhas no revestimento, permitindo ataques ao metal base; propriedades físicas; dificuldade de garantia da qualidade do processo de revestimento, podendo provocar lascamento do revestimento;

- Carbetos: são ligas binárias de elementos com o carbono, sendo divididos em carbetos salinos, carbetos covalentes e carbetos metálicos. Como matéria prima para selos mecânicos são utilizados basicamente o carbeto metálico de tungstênio (W) e o covalente de silício (SiC). O carbeto de Tungstênio é o material mais versátil utilizado em vedadores primários, devido à excelente qualidade de dureza, propriedades antifricção e inerte a maioria dos produtos químicos industriais; O carbeto de silício é extremamente duro, resistente ao desgaste, opera com produtos abrasivos e corrosivos. Neste carbeto a inserção de grafite melhora as propriedades tribológicas, fazendo com que as perdas de resistência mecânica daí resultante possam ser toleradas;
- Óxido de alumínio: é o mais conhecido dos materiais óxido-cerâmicos para aplicação como material deslizante. É um material sintetizado, compacto, de granulometria fina, frágil e resistente a abrasão. Em geral sua combinação dá-se com carvões sintéticos ou carbeto de tungstênio em aplicações de baixa ou média pressão ( $p < 25$  bar). Em conjunto com alguns tipos de carvões, forma uma das combinações com maior resistência química.
- Plásticos: são materiais que apresentam em sua combinação uma grande quantidade de ligação de macro-moléculas orgânicas obtidas sinteticamente ou pela transformação de produtos naturais. São conformáveis quando sujeitos a temperatura e pressão. Destaca-se o politetrafluoretileno (PTFE), cuja aplicação se faz necessária para produtos altamente oxidantes, como por exemplo, o  $H_2O_2$  onde os carvões não mais resistem.

#### b) Vedadores Secundários

As vedações secundárias podem ser classificadas conforme a figura abaixo.

Figura 34 – Classificação dos materiais para vedações secundárias



Fonte: Apostila Burgmann do Brasil.

- Elastômeros: são materiais poliméricos com grandes cadeias moleculares, não perdendo as características elásticas com a variação de temperatura. Em baixas temperaturas aumentam sua rigidez e em altas temperaturas mantêm a elasticidade, sem fluir, até atingir sua temperatura de deterioração. Podem ser obtidos a partir de meios orgânicos (plantas vegetais) ou de hidrocarbonetos (borracha sintética);
- Elastômeros revestidos: aplicam-se apenas a anéis do tipo “O” aliando a elasticidade do núcleo (elastômero) com a resistência química do revestimento (PTFE). Podem ser divididos em anéis com revestimentos abertos e anéis com revestimento fechado. Anéis com revestimento aberto somente podem ser montados em ranhuras axialmente abertas, uma vez que não permite sua deformação, sob pena de desencaparem. Anéis com revestimento fechado apresentam limitações em aplicações dinâmicas severas, podendo ocorrer vazamento nas vedações secundárias dos anéis deslizantes, onde a compressão destes anéis é baixa;
- Não elastômeros: é a denominação genérica dada a substâncias sintéticas e naturais, que em comparação aos elastômeros, apresentam baixa elasticidade ou fluem quando sujeitos a pequenas cargas, como, por exemplo, polímeros ou fibras. Dentre estes se destacam o grafite expandido e o PTFE.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

É possível concluir através deste trabalho que a utilização de selos mecânicos como vedadores para bombas é a melhor opção para sistemas de bombeamento, pois estes componentes por possuírem vários tipos e formatos podem trabalhar sobre regimes mais severos de utilização. Saber as condições de trabalho e operação a que o selo estará exposto é importante para a correta escolha do mesmo, para poder garantir a máxima eficácia e desempenho do mesmo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, Jaisla Priscila Costa. Selos Mecânicos e suas aplicações em bombeamento de fluidos industriais. 17f. (Artigo científico submetido ao Curso Superior de Tecnologia Mecânica) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2011.

BOMBAS CENTRÍFUGAS. Disponível em <http://pt.slideshare.net/MariaMarina1/bombas-centr-fugas-manuteno-e-operao>. Acesso em: 25 out. 2014.

DE PAULI, Evandro Armini. Noções Básicas de Elementos de Máquinas – Mecânica. SENAI - ES, 1997.

GAXETAS. Disponível em <http://www.artigonal.com/press-release-artigos/o-que-sao-as-gaxetas-2879290.html>. Acesso em: 14 set.2014.

MECHANICAL SHAFT SEAL TYPES disponível em [http://machining.grundfos.com/media/16602/shaftseal\\_chapter2.pdf](http://machining.grundfos.com/media/16602/shaftseal_chapter2.pdf). Acesso: 25 out. 2014.

RADI, Polyana Alves. Tribologia, conceitos e aplicações. Anais do 13<sup>o</sup> Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XIII ENCITA / 2007. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP.

SELOS MECÂNICOS. Luana Altoé. Disponível em <http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Selos-Mecanicos/49137264.html>. Acesso em: 14 set. 2014.

SELOS MECÂNICOS. Mario Machado. Disponível em <http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Ddff-d-Sdsfvf/55897995.html>. Acesso em: 14 set.2014.

SISTEMAS DE SELAGEM. Disponível em <http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Sistema-De-Selagem-Em-Circuito-Fechado/39152704.html>. Aceso em 14 set. 201.

SISTEMAS DE VEDAÇÃO. Ana Perota. Disponível em <http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Sistemas-De-Veda%C3%A7%C3%A3o/51988229.html>. Acesso em 14 set. 2014.

SOUZA, Védson Lopes de. Estudo técnico-econômico da substituição de gaxetas por selos mecânicos em bombas centrífugas. 63 f. (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, Taubaté-SP, 2009.

TRIBOLOGIA. Bruno Rennó. Disponível em <http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Tribologia/154510.html>. Acesso em: 14 set. 2014.

SELOS MECÂNICOS BURGMANN. Disponível em <http://pt.slideshare.net/FabinhoGarcia/apostila-selosmecanicosburgmann>. Acesso em: 25 out. 2014.