

# Definição e estimativa da resistância de mancais para rolamentos montados:

Por que isso é importante para otimizar o seu trabalho?



## Índice:

Por que a resistência é algo importante?	2
A necessidade de informações confiáveis sobre a resistência dos mancais	3
Metodologia de teste da resistência dos mancais	4
Teste físico	6
Resultados dos testes de resistência dos mancais	8

## Definição e estimativa da resistência de mancais para rolamentos montados:

Por que isso é importante para otimizar o seu trabalho?

### Resumo

Engenheiros de projetos de vários setores dependem do uso de rolamentos de mancais em diferentes aplicações difíceis e não convencionais. Ter acesso às informações sobre resistência e desempenho desses mancais é fundamental para escolher o tipo adequado de rolamento que vai otimizar as operações do negócio.

Quais considerações sobre o projeto devem ser feitas quando a aplicação exige a instalação de um mancal em uma orientação não horizontal? O que acontece quando a carga do rolamento não é distribuída através da base da unidade? A The Timken Company encontrou as respostas para essas perguntas por meio de testes físicos, modelos avançados e experiências reais feitas com o objetivo de facilitar a escolha dos rolamentos de mancais para aplicações específicas.



### Por que a resistência é algo importante?

O rolamento autocompensador é um componente essencial para inúmeras aplicações industriais no mundo todo. A confiabilidade e a repetibilidade dos processos nos quais diferentes tipos de rolamentos autocompensadores atuam são de suma importância para várias operações cotidianas.

Na maioria das operações industriais, os projetistas buscam maximizar o tempo de operação usando componentes que ofereçam uma vida útil maior. Na maioria das aplicações em que elementos rolantes são usados, a capacidade de carga **estática** e **dinâmica** representa um parâmetro crucial para estimar a vida útil operacional da peça.

- **Capacidade de carga estática:** A carga máxima que um rolamento suporta para uso em pistas de rolamento ou com elementos rolantes antes de sofrer danos permanentes; indica a carga aplicada em uma direção constante e invariável em condições de não rotação.
- **Carga dinâmica nominal:** É a carga radial sob a qual um grupo de rolamentos atingirá uma vida útil L10 de 1 milhão de revoluções. O valor de carga é usado para estimar a vida útil do rolamento com base nas cargas e velocidades reais aplicadas.

Para aplicações com **mancais** a própria resistência nominal do mancal representa um atributo de desempenho importante — e é por isso que a Timken realizou uma avaliação da resistência dos mancais e calculou a carga permitida para sua linha de mancais de rolos.

- **Mancais monoblocos:** Mancais monoblocos pré-montados, pré-lubrificado, selados e que oferecem uma instalação simples e direta.
- **Mancais bipartidos:** Mancais com duas partes divididas que são montadas por meio de parafusos centrais. Esses modelos permitem uma instalação mais simples e a substituição de rolamentos e retentores sem a necessidade de remoção dos mancais.

Operadores de equipamentos industriais confiam nesses mancais e rolamentos especializados para aplicação em eixos, engrenagens e outros componentes oscilantes ou rotativos em diferentes orientações de carga. Além disso, quase sempre existem necessidades especiais de projeto que devem ser consideradas. Por exemplo: **Quais mudanças no projeto devem ser feitas quando a aplicação exige que um mancal seja instalado de ponta-cabeça? O que acontece quando a carga do rolamento não é distribuída através da base?**

O projetista do equipamento se baseia nas orientações de ajuste da carga estática do mancal para escolher adequadamente o rolamento do mancal para determinada aplicação. Portanto, é fundamental que as pessoas responsáveis por tomar essas decisões tenham acesso a informações sobre a resistência do mancal, com o intuito de otimizar a eficiência do equipamento.

### A necessidade de informações confiáveis sobre a resistência dos mancais

As demandas dos processos atuais exigem que os rolamentos operem de maneira mais pesada e duradoura. Isso significa que o mancal também deve operar de maneira mais pesada.

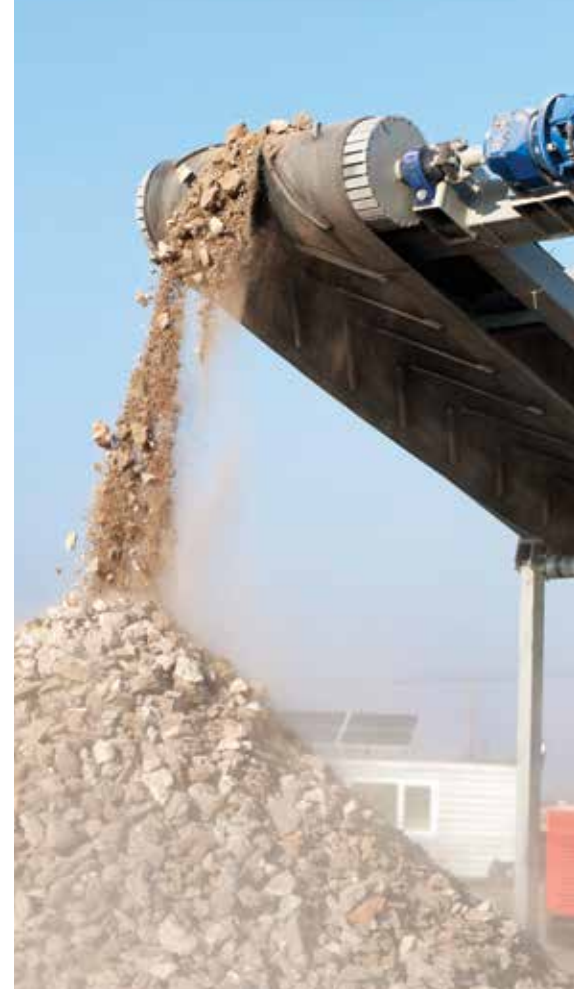
As aplicações que geram mais de uma orientação de carga nos rolamentos exigem mancais que possam resistir às mesmas cargas, por isso é necessário ter informações consistentes sobre a resistência da peça ao projetar o equipamento. Nesses tipos de aplicação, os mancais suportam forças extremas em diferentes direções, permitindo que o rolamento seja montado em posições nas quais a carga não seja aplicada diretamente através da base.

Essas orientações são mais comuns em grandes sistemas de esteiras transportadoras e em aplicações extremas como trituradores ou em moinhos de martelo.

**Rolamentos autocompensadores de rolos costumam ser usados em aplicações industriais em geral, oferecendo um desempenho confiável e recursos de suporte às cargas radiais com carga axial limitada.**

Uma dúvida comum ao realizar a reposição para rolamentos montados é: **Que tipo de carga pode ser aplicada no rolamento que eu for usar?** Ter a resposta dessa pergunta é fundamental para selecionar um rolamento adequado para sua aplicação. As geometrias dos mancais de rolamentos montados podem ser complexas e apresentar diferentes formatos, dependendo do tamanho e do tipo do mancal suportado. Isso é algo que complica a estimativa da resistência do mancal.

A metodologia de teste da Timken para gerar os dados de resistência do mancal combina técnicas avançadas de modelagem e testes experimentais, tudo embasado por experiências do mundo real com o objetivo de fornecer respostas aos clientes.







### Metodologia de teste da resistência dos mancais

As cargas podem ser aplicadas nos rolamentos dos mancais de praticamente qualquer maneira. Testar cada mancal individualmente utilizando todas as orientações de carga é algo inviável que exige uma técnica de modelagem consistente para maximizar os dados úteis disponíveis.

A Timken desenvolveu um método para gerar dados de resistência baseado em testes de laboratório, cálculos avançados de modelagem e no histórico da empresa no campo de engenharia metalúrgica. **A Análise de elementos finitos (FEA)** é combinada com **testes experimentais** para criar modelos que calculam a resistência estática limite de um mancal. Então, as limitações de resistência do projeto do mancal são definidas e os valores adequados de resistência são publicados.

#### **Modelagem/Análise de elementos finitos (FEA)**

A FEA é aplicada principalmente com o objetivo de estipular a diversidade de formas e complexidades dos mancais montados. Para definir a resistência do mancal em formatos complexos, é preferível usar a FEA em vez dos limites das expressões analíticas simplificadas.

A FEA é capaz de analisar a interação entre geometrias complexas de mancais e as propriedades de materiais não lineares durante o cálculo de estresse e deformação.

Modelos tridimensionais de mancais monoblocos estão prontos para serem usados na incorporação inicial ao modelo FEA. Com base na simetria da geometria e carga, um meio modelo foi criado para reduzir o tamanho do modelo e o tempo de resolução. Esses modelos foram desenvolvidos primeiramente para obter uma estimativa aproximada da resistência a rupturas das peças testadas e para definir as exigências experimentais de ferramentas. Posteriormente, esses modelos foram aprimorados incluindo critérios de falha validados por meio de resultados experimentais. (Consulte a Figura 1 na página 5)

Por conta da sua estrutura relativamente rígida, da resistência à compressão e à corrosão, o ferro fundido em geral é usado nos mancais. Entretanto, algumas aplicações exigem cargas de impacto muito altas ou uma montagem não horizontal em que o ferro fundido não fornece a resistência adequada. Para isso, o aço fundido é uma alternativa sólida.

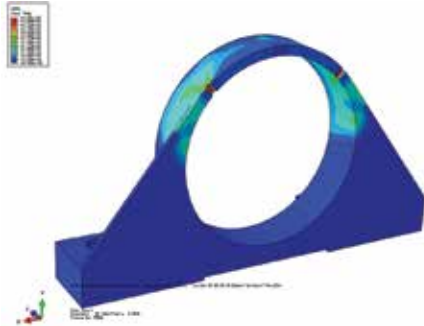


Figura 2:  
O estresse fica concentrado próximo aos furos de lubrificação deste mancal.

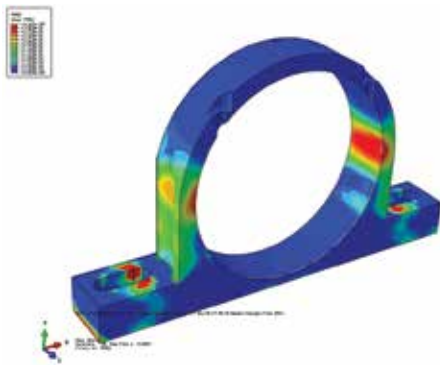
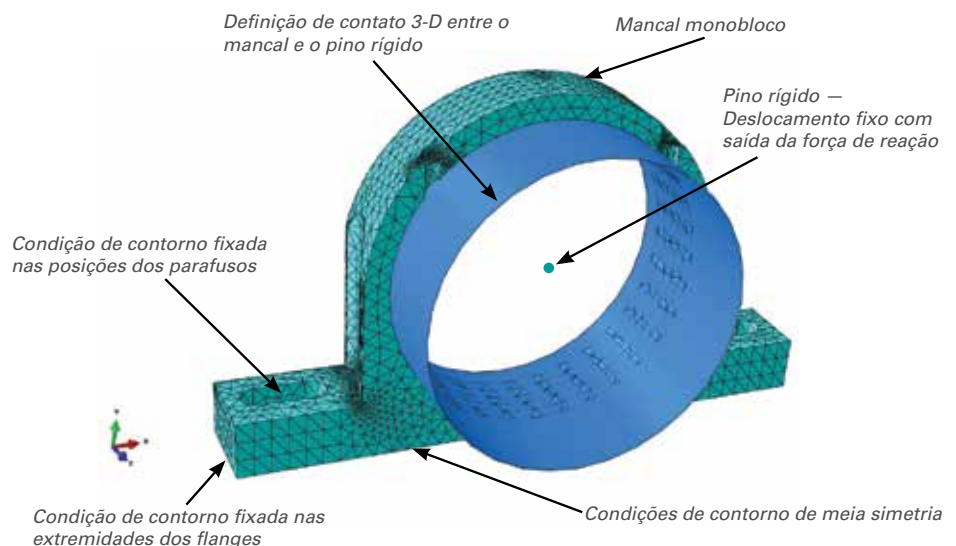


Figura 3:  
A deformação contorna a peça.

Figura 1:  
Neste exemplo, o material é definido como AISI 1035 em aço fundido, com dados de teste de deformação obtidos a partir de diferentes fundições com o objetivo de aumentar a relevância das informações.



Ele tem aproximadamente o dobro da resistência de elasticidade em comparação com o ferro fundido e oferece maior resistência a fraturas em aplicações mais difíceis. O ferro nodular também ultrapassa os índices de resistência do ferro fundido e pode ser vantajoso para determinadas geometrias de mancal.

Usando o modelo FEA, a Timken conseguiu calcular e definir **precisamente os índices de deformação** e tensão de fratura. **A resistência à tração para mancais em aço fundido** foi estimada por meio de uma análise não linear elástico-plástica com um modelo de endurecimento isotrópico. Com base nas propriedades do material do mancal, os dados de dano nodular foram inseridos nos modelos da FEA para verificar o índice máximo de deformação de cada elemento. Conforme a carga do mancal aumenta, o material endurece e os elementos se alongam, ultrapassando os limites críticos de deformação. A carga sobre o mancal atinge o limite máximo e em seguida vem a fratura nodular.

Padrões típicos de deformação estão ilustrados nas Figuras 2 e 3. Um modelo simulado que segue um método estabelecido, conforme indicado acima, permite que a Timken estipule a resistência do mancal, de modo que o cliente possa criar um projeto mais confiável.

A modelagem é apenas parte do processo. O ensaio também é usado para checar os pressupostos da modelagem e para oferecer parâmetros de modelo mais realistas.

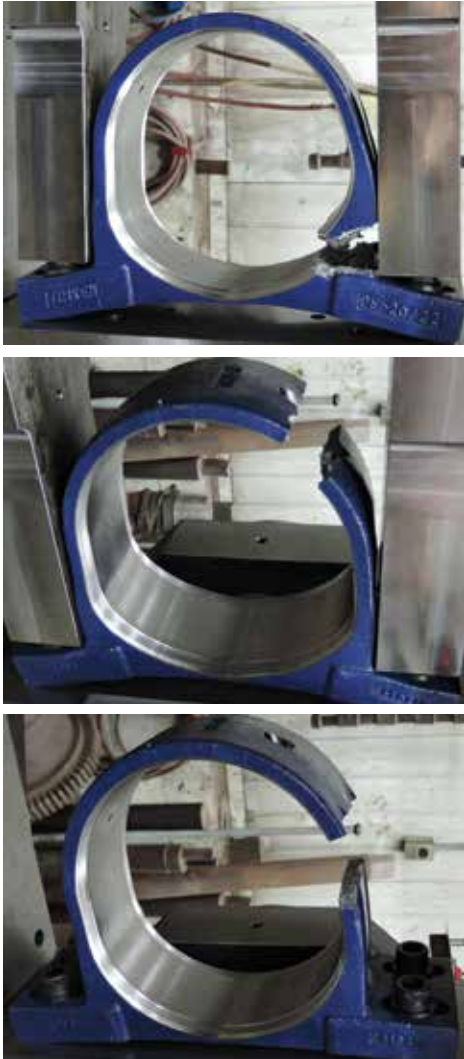


Figura 4:  
Fratura dos mancais bipartidos.

### Testes físicos

Os pressupostos das simulações da FEA foram baseados em descobertas feitas usando mancais que receberam cargas até o ponto de fratura. Para estipular esses dados, foram selecionados mancais da Timken de diferentes tamanhos que foram testados em uma prensa hidráulica equipada com ferramentas universais especializadas. Posteriormente, esses mesmos mancais receberam diferentes níveis de carga.

As ferramentas universais usadas nesses experimentos são capazes de quebrar mancais em inclinações de carga de 180, 150 e 90 graus com base em diferentes configurações, refletindo assim os ângulos não convencionais nos quais os mancais são instalados no mundo real. Uma vez que a carga estimada necessária para quebrar um mancal nessas simulações pode exceder o limite estático para rolamentos, nenhum rolamento foi usado nesse exercício. Em vez disso, eles foram substituídos por barras redondas. Diferentes modelos de mancais monoblocos e bipartidos foram fisicamente testados.

Cada teste foi realizado usando ciclos de carga adequadamente controlados. O fluido hidráulico foi lentamente medido no pistão de carga usando uma válvula de controle. Um computador foi usado para registrar os valores da célula de carga durante o teste e assim as cargas máximas foram definidas.

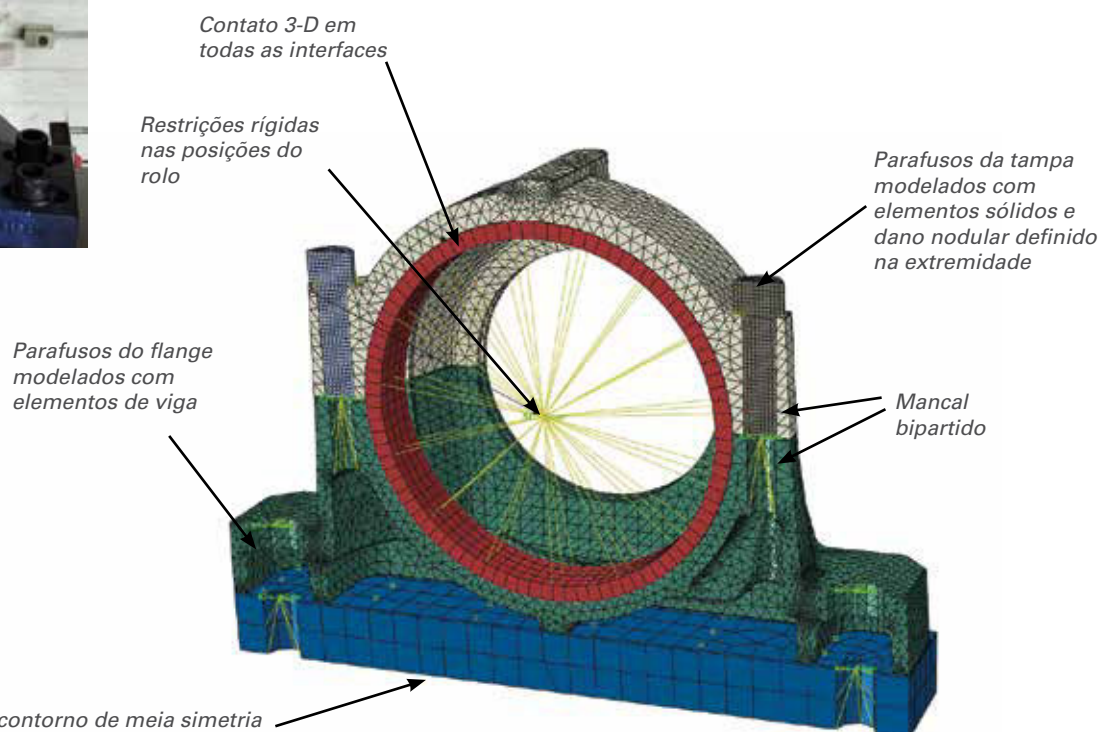
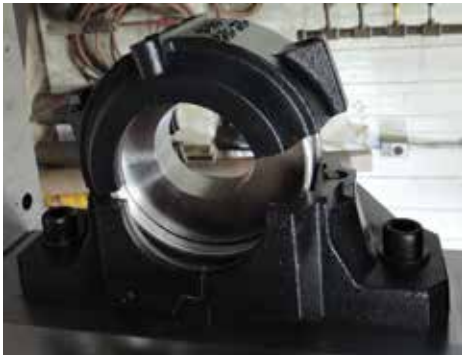


Figura 5:  
FEA do mancal bipartido.



Várias repetições foram feitas em cada uma das direções de carga. Os resultados do teste indicaram uma variabilidade entre as repetições com relação à magnitude da carga e ao local de ruptura. Por exemplo, um mancal com quatro parafusos apresentou três locais de falha diferentes usando a inclinação de 180 graus. Os parafusos de fixação do flange da base tiveram que ser reforçados em cada teste para evitar que quebrassem e gerassem uma ruptura no mancal. Foi necessário fazer isso mesmo ao usar parafusos de qualidade Classe 9.



As falhas de ruptura do mancal, como visto na Figura 6, foram de natureza nodular, conforme comprovado pela deformação vista no mancal antes de a fratura ocorrer. Esses resultados são condizentes com as expectativas relacionadas a materiais em aço fundido e com os pressupostos baseados nos dados gerados pela FEA. Uma deformação plástica grande foi vista na área da junção do parafuso nos flanges, embora nenhuma fratura significativa tenha acontecido ali. As informações sobre carga de ruptura, deslocamento e local de ruptura foram coletadas em cada teste.

A metodologia para análise e teste de mancais bipartidos foi similar à usada com mancais monoblocos. O teste mostrou que os mancais de ferro fundido apresentavam um processo de falha mais quebradiço com pequena deformação antes da fratura. As cargas de ruptura eram menores do que as do aço fundido por conta da diferença de resistência do material. Os mancais de ferro nodular apresentavam um nível mais alto de deformação para fratura em comparação com o ferro fundido, porém não tão alto quanto as peças de aço fundido. (Consulte a Figura 6.)

Figura 6:  
Fratura dos mancais bipartidos.

Na FEA, os critérios de falha do mancal de ferro fundido foram definidos usando um modelo de mecânica da fratura estendida. Comparativamente, os mancais de ferro nodular usaram o mesmo modelo de falha dos mancais monoblocos, apresentando, porém, uma estimativa menor de fratura. Os mancais bipartidos também utilizaram outro modelo de falha que apresentou fratura dos parafusos em alguns dos mancais. Para elucidar esses elementos, os modelos da FEA foram aprimorados para incluir critérios de falha de dano nodular do parafuso. (Consulte a Figura 5 na página 6.)



### Resultados dos testes de resistência dos mancais

A metodologia da Timken para determinar a resistência à tração dos mancais pode ajudar os projetistas do equipamento e os usuários finais a tomarem decisões conscientes com base nas vantagens e benefícios de cada um dos mancais da Timken. Durante esse processo rigoroso de testes, a Timken determinou não apenas a resistência dos seus materiais, mas também estipulou aplicações específicas com as quais o portfólio de rolamentos montados e mancais da empresa apresenta um ótimo desempenho, embasando suas estimativas de resistência de mancais em dados conclusivos.

Os modos de falha podem variar com base na geometria e no material da fundição, além do tamanho e da classe dos parafusos da tampa. Os mancais bipartidos oferecem uma montagem mais simples e podem ajudar a reduzir os custos de instalação, no entanto, não apresentam a mesma resistência em comparação com os modelos monoblocos de peça única. Em geral, os valores de resistência dos mancais monoblocos de aço fundido excedem a capacidade do rolamento, independentemente da direção da carga. Usando uma abordagem conservadora, os valores publicados de resistência dos mancais para mancais monoblocos foram estabelecidos considerando as propriedades mínimas dos materiais.

Em geral, o ferro fundido tem uma capacidade de carga menor em diferentes orientações quando comparado com o ferro fundido nodular. Embora o ferro fundido seja um material com melhor custo-benefício que o ferro nodular, ele pode não ser a escolha adequada para aplicações mais exigentes usadas em aplicações de carga não horizontal.

Foram desenvolvidas normas simples de segurança para carga dos mancais bipartidos da Timken, nos casos em que a carga não é aplicada diretamente na base ou quando a base não é suportada ( $P_0$ ). O índice de segurança da carga é o máximo sugerido para aplicação em mancais, dependendo da direção da carga. As normas de segurança para carga dos mancais bipartidos abrangem o índice de resistência à tração do mancal e o índice de resistência à tração dos parafusos da tampa. Um fator de segurança aceito em geral de 5 é usado para o índice de resistência à tração do material do mancal bipartido, enquanto um fator de segurança de 3 é usado para o índice de resistência à tração do parafuso da tampa. Fatores de segurança adicionais podem ser aplicados pelo usuário para aplicações críticas de segurança. Os valores de segurança de carga publicados pressupõem que o mancal tenha sido adequadamente instalado à base e que o torque correto tenha sido aplicado aos parafusos da tampa.

A Figura 7, na página 9, mostra uma comparação das cargas de segurança dos mancais de ferro fundido e ferro nodular com relação ao tamanho do eixo e ao ângulo da carga aplicada. Isso mostra a importância do projeto do mancal e da escolha do material ao selecionar o mancal adequado para alguma aplicação.

Ao usar os resultados da FEA em conjunto com os testes experimentais, a Timken conseguiu criar uma metodologia que estipula a resistência do mancal sem precisar testar cada peça individualmente.

Usando essa combinação de modelos avançados e experiência concreta, a Timken é capaz de oferecer índices estimados de resistência de mancal das suas ofertas de rolamento montado. Essas informações práticas e acessíveis são outra forma que a Timken encontra de atender à crescente demanda da indústria pesada, diariamente.

*Todos os dados específicos relacionados à resistência de mancais baseados no método da Timken estão disponíveis no catálogo de mancais mais recente da empresa.*

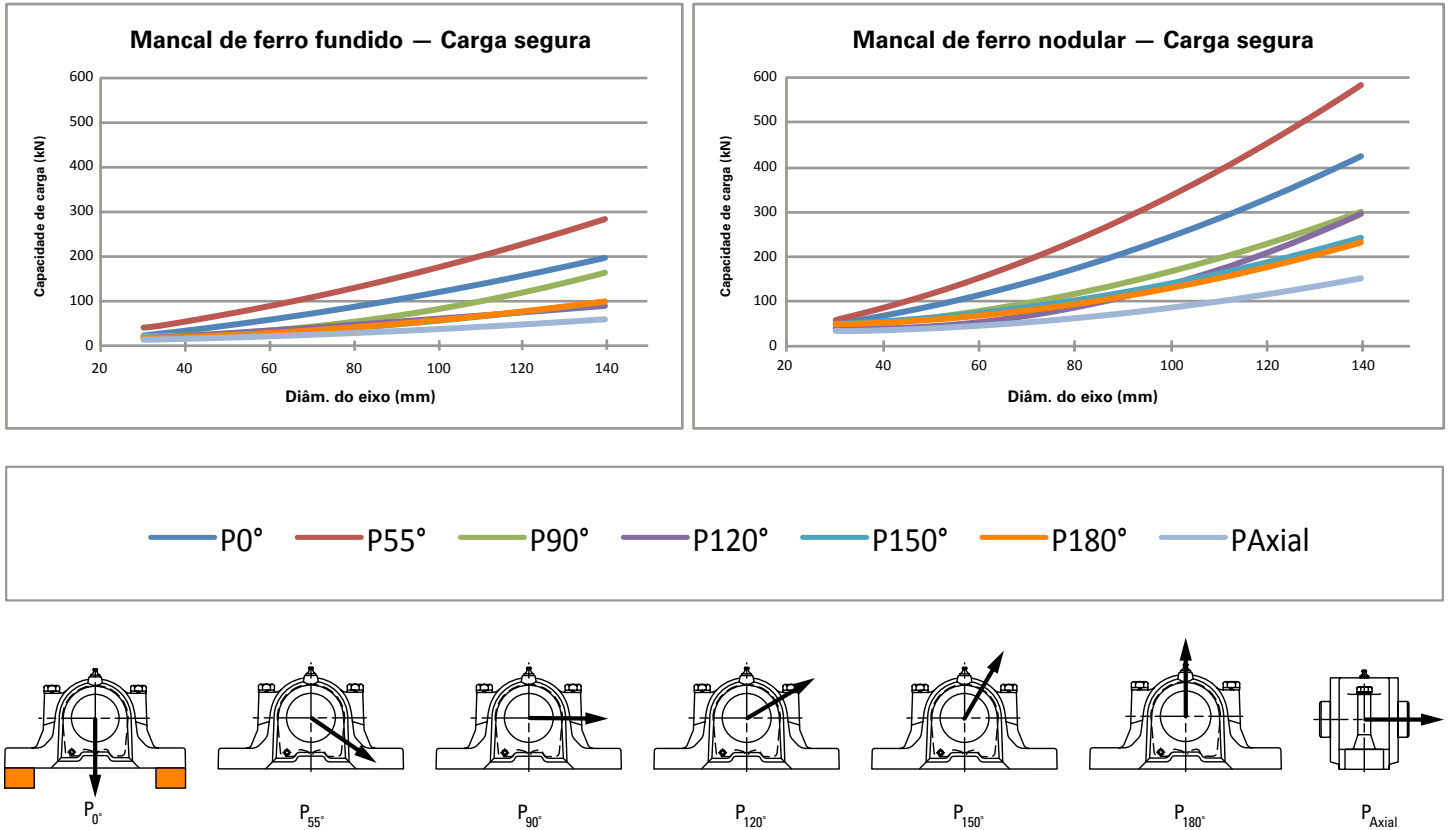


Figura 7:  
comparação das cargas seguras do  
mancal para ferro fundido e ferro  
nodular.