



Conteúdo

1. Introdução e Objetivos

2. Tipos de Desbalanceamento

3. Rotores Rígidos Apoiados em Mancais Rígidos

3.1 Esforços nos Mancais

3.2 Balanceamento “Teórico”

3.3 Classes de Balanceamento

4. Máquinas de Balanceamento

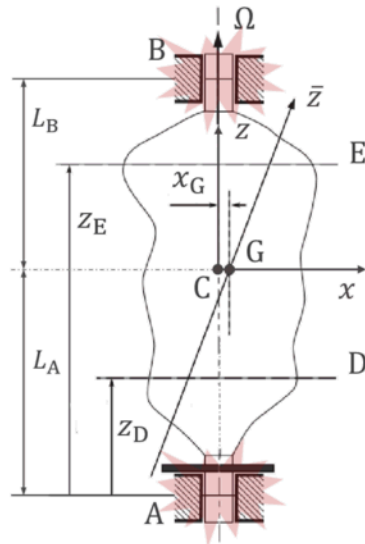
4.1 Máquinas de Balanceamento de Mancais Rígidos

4.2 Máquinas de Balanceamento de Mancais Flexíveis

5. Referências

❑ Introdução e Objetivos

- Quando se coloca uma **peça assimétrica** para girar em torno de um eixo fixo no espaço, forças dinâmicas radiais são geradas nos mancais devido aos esforços de inércia gerados pela **distribuição irregular de massa da peça em torno do eixo de rotação**.
- As forças dinâmicas nos mancais são transmitidas para os demais componentes do sistema, podendo ocasionar problemas de vibrações indesejadas e fadiga, comprometendo a funcionalidade do equipamento.
- **Consequências do Desbalanceamento**
 - Desgaste ou falhas excessivas/prematuras de mancais, engrenagens, eixos, etc., reduzindo o tempo de vida dos componentes.
 - Redução da confiabilidade e capacidade de um equipamento funcionar adequadamente.
 - Ruído,



❑ Introdução e Objetivos

➤ Princípio do Balanceamento

- Rotores são projetados para serem balanceados. Entretanto, variações de densidade dos materiais ou de geometria que ocorrem durante a fabricação e montagem podem gerar assimetria na distribuição de massa com rotor.
- Dessa forma, intervenções posteriores de balanceamento devem ser realizadas para modificar (“balancear”) a distribuição de massa do rotor, de modo que as forças radiais não ultrapassem certos valores, conforme o tipo de aplicação.
- **O balanceamento tem por finalidade minimizar os esforços dinâmicos nos mancais.** Esse procedimento é realizado por meio da adição ou retirada de massa do rotor nos planos de balanceamento.
- Aplica-se balanceamento em quaisquer componentes rotativos, e tanto mais quanto maior for a rotação do sistema em estudo.
- O balanceamento reduz apenas a vibração causada pela assimetria da distribuição de massa do rotor em relação ao seu eixo de rotação. Outros tipos de vibração não podem ser eliminadas por meio do balanceamento.



Máquina de balanceamento de mancais rígidos horizontal. Fonte: [Hofmann](#).



Balanceamento do rotor de um turbocompressor. Fonte: [TURBOMED](#).

❑ Introdução e Objetivos

➤ Princípio do Balanceamento

- Rotores são projetados para serem balanceados. Entretanto, variações de densidade dos materiais ou de geometria que ocorrem durante a fabricação e montagem podem gerar assimetria na distribuição de massa com rotor.
- Dessa forma, intervenções posteriores de balanceamento devem ser realizadas para modificar (“balancear”) a distribuição de massa do rotor, de modo que as forças radiais não ultrapassem certos valores, conforme o tipo de aplicação.
- **O balanceamento tem por finalidade minimizar os esforços dinâmicos nos mancais.** Esse procedimento é realizado por meio da adição ou retirada de massa do rotor nos planos de balanceamento.
- Aplica-se balanceamento em quaisquer componentes rotativos, e tanto mais quanto maior for a rotação do sistema em estudo.

- Apenas **conceitos fundamentais** de balanceamento de **rotores rígidos** serão tratados no curso.



Máquina de balanceamento de mancais rígidos horizontal. Fonte: [Hofmann](#).



Balanceamento do rotor de um turbocompressor. Fonte: [TURBOMED](#).



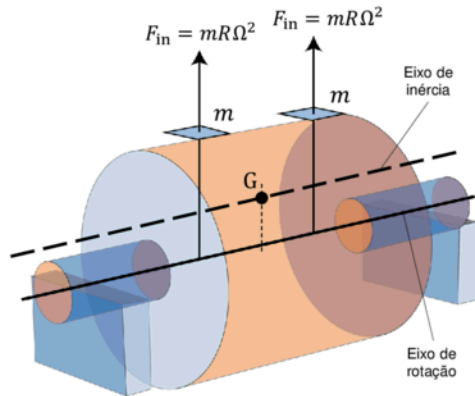
Conteúdo

1. Introdução e Objetivos
- 2. Tipos de Desbalanceamento**
3. Rotores Rígidos Apoiados em Mancais Rígidos
 - 3.1 Esforços nos Mancais
 - 3.2 Balanceamento “Teórico”
 - 3.3 Classes de Balanceamento
4. Máquinas de Balanceamento
 - 4.1 Máquinas de Balanceamento de Mancais Rígidos
 - 4.2 Máquinas de Balanceamento de Mancais Flexíveis
5. Referências

❑ Tipos de Desbalanceamento

➤ Desbalanceamento Estático

- O centro de massa (G) do rotor **não é localizado** sobre o eixo de rotação (eixo entre mancais);
- O eixo principal de inércia longitudinal do rotor permanece **paralelo** ao eixo de rotação.
- As **forças radiais nos mancais** são paralelas entre si e com módulos distintos, e permanecem no **mesmo plano e em fase com a força de inércia** de desbalanceamento (força centrífuga).
- Desbalanceamento identificado sem a necessidade de rotação do rotor.
- Apenas um plano de balanceamento é suficiente para balancear o rotor. A massa de balanceamento deve ser adicionada/removida no plano do rotor que contém o seu centro de massa.
- Comum em rotores curtos com $L/D < 0.15$ (e.g., discos, rodas, volantes) [1].

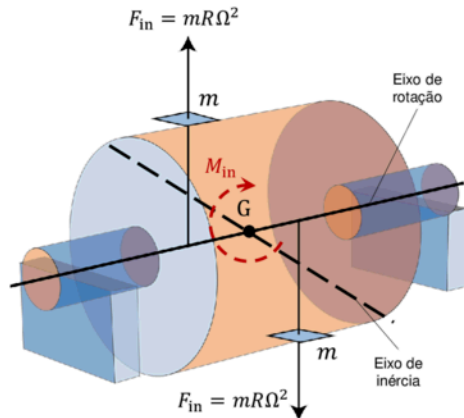
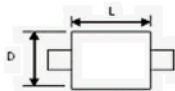


Desbalanceamento estático. Fonte: adaptado de [DEWEsoft](http://DEWEsoft.com).

❑ Tipos de Desbalanceamento

➤ Desbalanceamento de Momentos

- O centro de massa (G) do rotor **é localizado** sobre o eixo de rotação (eixo entre mancais). Ausência de desbalanceamento estático.
- O eixo central principal longitudinal de inércia do rotor **cruza** o eixo de rotação no seu centro de massa.
- As **forças radiais nos mancais** possuem o mesmo módulo, direção e sentidos opostos (fases opostas), constituindo assim um **binário de forças**.
- Identificado apenas com o rotor girando.
- São necessários dois planos de balanceamento para balancear o rotor.
- Comum em rotores longos com $L/D > 0.15$ (e.g., cilindros) [1].

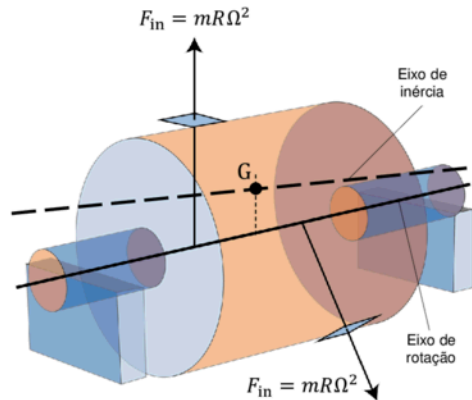


Desbalanceamento de momentos. Fonte: adaptado de [DEWEsoft](#).

❑ Tipos de Desbalanceamento

➤ Desbalanceamento Dinâmico

- Combinação de desbalanceamento estático e de momentos.
- Tanto o centro de massa (G) quando o eixo principal de inércia do rotor são deslocados em relação ao eixo de rotação.
- Em geral, as **forças radiais nos mancais** possuem módulos, direções e sentidos distintos.
- Identificado integralmente apenas com o rotor girando.
- São necessários dois planos de balanceamento para balancear o rotor.
- Caso mais comum encontrado em rotores reais.



Desbalanceamento dinâmico. Fonte: adaptado de [DEWEsoft](#).



Conteúdo

1. Introdução e Objetivos
2. Tipos de Desbalanceamento
- 3. Rotores Rígidos Apoiados em Mancais Rígidos**
 - 3.1 Esforços nos Mancais**
 - 3.2 Balanceamento “Teórico”
 - 3.3 Classes de Balanceamento
4. Máquinas de Balanceamento
 - 4.1 Máquinas de Balanceamento de Mancais Rígidos
 - 4.2 Máquinas de Balanceamento de Mancais Flexíveis
5. Referências

❑ Rotores Rígidos Apoiados em Mancais Rígidos

- Seja um **rotor rígido \mathcal{R} desbalanceado**, de massa m , que gira com velocidade angular Ω (constante) em torno de um eixo vertical fixo no espaço apoiado pelos mancais A e B.
- Pretende-se estudar as **forças radiais nos mancais** devidas ao desbalanceamento e o possível **balanceamento** do rotor nos planos D e E.
- **Sistemas de Referência:**
 - Sistema de coordenadas $OXYZ$, de base $(\hat{i}, \hat{j}, \hat{k})$, **solidário aos mancais** (referencial fixo)
 - Sistema de coordenadas $Cxyz$, de base $(\hat{i}, \hat{j}, \hat{k})$, **solidário ao rotor**, onde C é o centro geométrico do rotor. O plano Cxy contém o centro de massa (G) do rotor.
 - Eixos:
 - Eixo entre mancais (OZ): solidário ao referencial fixo.
 - Eixo geométrico do rotor (Cz): solidário ao rotor e correspondente ao seu eixo de **simetria radial**.
 - Eixo principal central longitudinal de inércia ($G\bar{z}$): solidário ao rotor, mas não coincidente com o eixo geométrico Cz devido ao desbalanceamento estático e/ou dinâmico.
 - Eixo de rotação do rotor: coincidente com o eixo entre mancais (OZ). No caso de rotores rígidos apoiados em mancais rígidos, os eixos entre mancais e geométrico são coincidentes (OZ = Cz).

