

# **TEORIA DO BALANCEAMENTO**

## **O QUE É UM DESBALANCEAMENTO:**

Entende-se por peça desbalanceada, aquela que tem seu eixo de massa diferente do seu eixo de rotação definido pelos mancais.

Uma peça estar “perfeitamente” balanceada é uma situação que, dificilmente é atingida na prática.

## **DESBALANCEAMENTO ESTÁTICO:**

Diz-se que uma peça está desbalanceada estaticamente quando seu eixo de massa assume uma posição paralela ao eixo de rotação.

Pode-se observar este fato da seguinte maneira:

Apóie a peça sobre duas réguas horizontais, (pode ser o próprio balanceador) quando então, pela força da gravidade, a peça girará até que o eixo de massa fique para baixo.

## **DESBALANCEAMENTO DINÂMICO:**

Diz-se que uma peça está desbalanceada dinamicamente quando seu eixo de massa forma um ângulo com o eixo de rotação e seu centro de massa encontra-se sobre este eixo.

Neste caso, se apoiarmos a peça em duas réguas horizontais, ela não se moverá, uma vez que o sistema encontra-se em equilíbrio. Mas, quando colocada em giro, aparecerão os efeitos causados pelas forças centrífugas, levando a peça a assumir um movimento oscilatório.

## **DESBALANCEAMENTO ESTÁTICO-DINÂMICO:**

É o que ocorre na maioria dos casos. A peça está desbalanceada estática e dinamicamente.

Obter o balanceamento nesta situação significa girar o eixo de massa em torno do centro de gravidade e deslocá-lo paralelamente ao eixo de rotação até que coincidam.

## **CONCLUSÕES:**

1 - Nas peças em forma de disco, o balanceamento estático é suficiente, uma vez que, o momento de desbalanceamento é pequeno, embora as forças centrífugas atuantes no sistema possam ser grandes. Em peças desta forma o ângulo entre o eixo de massa e o de rotação é aproximadamente nulo, o que elimina o efeito do desbalanceamento dinâmico.

**2** - Em peças cilíndricas (ou qualquer outra em que o comprimento seja maior que o diâmetro) o balanceamento estático poderá até piorar as condições dinâmicas da peça como descrito abaixo:

Suponha que a peça esteja desbalanceada, do lado esquerdo, e que após balancearmos estaticamente (por azar) no lado direito, surgirá uma massa igual e oposta neste lado. Pela experiência do balanceamento estático, se a peça estiver apoiada sobre duas réguas horizontais ela não se moverá, pois o sistema está estaticamente equilibrado.

**Porém, quando colocada em giro, aparecerão os efeitos dobrados causados pelas forças centrífugas das duas massas (antes do balanceamento era uma) e a peça tenderá ao movimento oscilatório com duas vezes o valor anterior (ou seja, ela ficou bem pior do que antes).**

## **TOLERÂNCIAS:**

Caso o fabricante da peça a ser balanceada não informe a tolerância de balanceamento, deverá ser seguida a norma **ISO 1940** (A norma **ABNT** referente a tolerância de balanceamento é equivalente).

Para determinar até que grau de precisão os diversos tipos de rotores (peças) devem ser balanceados, está incluso no programa os valores e cálculos das tolerâncias de balanceamento conforme a norma **ISO 1940**. Essas tolerâncias referem-se à máxima velocidade tangencial do centro de massa. Esta norma classifica as peças em grupos a saber:

**G 40** - Rodas de carro, Aros, Rodeiros.

**G 16** - Peças rotativas de motores oscilantes, **eixos cardã**n, peças de máquinas agrícolas, e de britadeiras.

**G 6,3** - Eixos cardã de qualidade elevada, tambores de centrífugas, ventiladores, **virabrequins**, volantes, peças de máquinas e induzidos normais de motores elétricos.

**G 2,5** - Turbinas a gás e a vapor, rotores de alimentadores, turbo-geradores, comandos de máquinas operatrizes, induzidos médios e grandes de motores elétricos de precisão elevada e induzidos pequenos.

**G 1** - Turbinas de motores aeronáuticos, acionamento de gravadores e toca-discos, acionamentos e rebolos de retificas e induzidos de motores elétricos de precisão elevada.

**G 0,4** - Acionamentos e rebolos de retificas de precisão elevada, giroscópios.

O programa calcula a tolerância, apenas selecione o “**G**” correspondente ao tipo de peça que será balanceada.

## **NORMAS REFERENTE A BALANCEAMENTO:**

Como não é permitido copiar normas; segue os números das normas **ISO** referente a balanceamentos, para possibilitar ou auxiliar V.S. na implantação da norma série **ISO 9000**.

Contatar a **ABNT** (Associação Brasileira de Normas técnicas) para a aquisição da(s) norma(s) desejada(s).

**Nº ISO**

**Assunto**

|        |                                  |
|--------|----------------------------------|
| 1925   | Vocabulário                      |
| 1940/1 | Resíduo permitido                |
| 2953   | Máquinas e certificado           |
| 8821   | Chaveta                          |
| 7475   | Segurança                        |
| 5343   | Rotores flexíveis, critérios     |
| 5406   | Rotores flexíveis, balanceamento |

### **GENERALIDADES:**

| <b>Nº ISO</b> | <b>Assunto</b>                    |
|---------------|-----------------------------------|
| 2372          | Vibração de máquinas-básico       |
| 7919          | Vibração de máquinas              |
| 3945          | Vibração de máquinas grandes      |
| 2954          | Vibração de máquinas alternativas |
| 2371          | Balanceamento no campo            |
| 5348          | Montagem de sensores              |
| 5347          | Calibragem de sensores            |

### **TEORIA DO BALANCEAMENTO:**

Quando se executa um balanceamento em uma peça, sensores medem a vibração na carcaça da máquina, e um disco indica a posição do desbalanceamento. Para isto ser possível, é feita a calibragem por taragem onde se calcula a proporção entre a vibração da carcaça e o peso causador dela. Se esta proporção não se mantiver constante, será impossível realizar o balanceamento, por isso além da condição descrita acima, deverão ser preenchidos mais quatro condições:

- 1** - Acesso na parte rotativa para colocação ou retirada de peso.
- 2** - Durante o processo de balanceamento, a rotação não deve variar.
- 3** - A fixação ou apoio do equipamento não deve ter folgas ou se modificar durante o balanceamento.
- 4** - Não pode modificar a posição do disco indicador de posição.

### **SOBRE A MECÂNICA DA MÁQUINA:**

O sistema de acionamento por correia é o mais versátil. Este sistema de acionamento apresenta as seguintes vantagens:

- Qualquer tipo de peça, que esteja dentro dos limites de utilização do equipamento, pode ser balanceada imediatamente, pois é dispensada a confecção de luvas ou qualquer outro dispositivo de acoplamento.
- Para empresas de prestação de serviços e indústrias de rotores variados, esta característica é indispensável.
- Caso sejam fabricadas luvas de acoplamento para eixo cardã, tenha certeza que elas não estarão introduzindo interferências (vibrações), que podem comprometer a precisão do balanceamento. Para isto, uma os dois acopladores com parafusos e faça o balanceamento deles.

- Estes balanceadores enquadram-se no grupo das chamadas máquinas "duras", isto é, sua estrutura de apoio da peça é **rígida**, isto garante que a massa da peça não interfira na medida; o que resulta na possibilidade de uma calibragem puramente geométrica.

- Nas máquinas chamadas "macias", esta calibragem não é possível, porque o sistema de medição depende da massa da peça, implicando em que, para cada tipo de peça, sejam feitos giros de ensaio com a técnica de calibragem por taragem.

### **IMPORTANTE:**

Para balancear peças com peso superior a **100 Kg**, é aconselhável o uso de talha ou ponte rolante para colocação e retirada da peça. Pois uma batida violenta da peça nos discos de apoio, poderá criar uma depressão que interferirá no resultado dos balanceamentos (tanto na peça quanto nos discos).

### **CONDIÇÕES PARA UM BALANCEAMENTO:**

Alguns problemas encontrados no balanceamento como:

- Peças empenadas, flexíveis, peças sem eixo próprio, etc...

**O perfeito entendimento destas informações que se seguem será de grande valia na solução de uma série de problemas de balanceamento.**

### **BATENTE AXIAL:**

Para evitar o movimento axial da peça (**no sentido do eixo da peça**), a máquina deve possuir um batente no lado oposto do sensor óptico, (também chamado de **contra-pino**), cuja função é impedir que ela se movimente lateralmente. Caso a peça tenha tendência de se movimentar para o outro lado, desalinhe os dois mancais de forma que o lado do batente fique alguns milímetros abaixo do lado oposto (desalinhe somente o necessário).

- O batente que acompanha o balanceador (contra-pino), deve ser posicionado na mesma altura do eixo da peça.

### **PEÇAS SEM EIXO PRÓPRIO:**

Peças desta natureza são as que provavelmente apresentam os maiores problemas de balanceamento. Pela própria definição de balanceamento, pode-se chegar a esta conclusão. Diz-se que uma peça está perfeitamente balanceada quando seu eixo de massa coincide com o de rotação definido pelos mancais.

Três aspectos são responsáveis pela dificuldade de balanceamento deste tipo de peças. Vejamos cada caso em separado.

### **EXCENTRICIDADE:**

Excentricidade quer dizer que o a linha do centro geométrico da peça não coincide com o centro efetivo do giro do eixo.

Suponha que um virabrequim ou eixo qualquer esteja com uma excentricidade de 0,02mm e que o volante que será montado sobre ele tem uma excentricidade é de 0,03mm (pode ser somente na furação ou ter sofrido algum dano em acidente).

No pior caso, a diferença, de centro será de 0,05 (0,02+0,03). Ora, **esta diferença, representa um erro dez (10) vezes maior do que a precisão desejada.** Uma vez que a ordem de grandeza da precisão de balanceamento (distância entre eixos de massa e eixo de rotação) é da ordem de 5 microns o que significa 0,005mm. Repare que estas peças podem estar balanceadas separadamente e este (erro) desbalanceamento aparecerá somente após a montagem.

### **CONCLUSÃO:**

É necessário balancear as peças em separado e depois o conjunto das peças montadas e não esquecer de marcar a posição. Para que sejam montadas sempre nesta posição (a do balanceamento).

### **FOLGAS:**

Folgas entre peças criam sérios problemas de balanceamento, uma vez que por causa desta folga, não existirá um eixo exato. Isto também é válido para peças com líquidos dentro (óleo) ou parafusos soltos. **A cada tentativa de balanceamento haverá uma nova posição de desbalanceamento.**

### **CONICIDADE NO FURO:**

As peças definem um eixo de rotação que muda quando colocados **pinos ou parafusos**, alterando o balanceamento executado.

Estes três aspectos acima podem ocorrer simultaneamente.

É muito difícil obter precisões melhores que 0,02mm de centro, folga e conicidade, sem maquinário especial de usinagem.

### **SUGESTÕES PARA SE OBTER BONS RESULTADOS DE BALANCEAMENTOS:**

- Fazer usinagem suficientemente precisa (dentro da faixa de precisão que se quiser de balanceamento) no furo, mandril e pino definitivo.
- Sempre que possível, balancear rotores com os próprios pinos montados e nas mesmas condições como posição, aperto de parafusos, etc...

### **ROTORES FLEXÍVEIS:**

Um rotor é chamado de flexível, quando a sua rotação máxima de operação é próxima ou maior que a sua primeira ressonância.

Em outras palavras, as forças centrífugas atuantes nas diversas partes do rotor, quando em alta rotação, são suficientes para deformá-lo (quebrando em alguns casos), mudando conseqüentemente seu centro e o resultado do balanceamento.

Devido a grande variedade e a complexidade do estudo de rotores deste tipo, não cabe aqui uma análise mais profunda. Em geral, o fabricante do rotor instrui sobre as condições que ele deve ser balanceado. Vamos nos ater aos dois casos mais comuns, que são os balanceamentos de eixos de manivela (virabrequins) e eixos cardã ou cilindros.

## **EIXO DE MANIVELA (VIRABREQUIM):**

O eixo de manivela apresenta as seguintes características:

- Quando montado no motor, ele é apoiado em todos os mancais (fixos), o que o caracteriza como peça rígida, uma vez que o conjunto é solidário à carcaça.

Quando colocado no balanceador ele é apoiado somente em dois pontos, apresentando por isso características de peça flexível quando em alta rotação.

Sugerimos então que, o balanceamento de eixos de manivela, seja executado em **velocidade de rotação baixa (600 rpm)**. Certamente é a condição que melhor simula as suas características de peça rígida.

Observe que a maioria dos virabrequins possui número par de cilindros (o peso de um compensa o peso de outro), mas existem exceções como:

- Virabrequim de compressores (um cilindro),
- Virabrequim de minitratores Tobata (três cilindros),
- Virabrequim de Mercedes 355 (5 cilindros),
- Virabrequim do Marea (6 cilindros) é par, mas precisa de contrapesos,
- Virabrequim de Maverick V8 (8 cilindros) também necessita de contrapesos.

Virabrequins com número **ímpar** de cilindros para serem balanceados necessitam de contrapesos que tenham o mesmo peso da sua (biela + pistão + pino).

## **EIXO CARDÃN OU CILINDROS:**

Estas peças, quase sempre apresentam um desbalanceamento estático elevado, causado pela espessura diferente da parede. E se corrigido em dois planos nas pontas, a força centrífuga das massas de balanceamento, agindo em sentido oposto a massa da parede mais grossa, poderá empenar o mesmo, causando um desbalanceamento.

### **O balanceamento de eixos cardãn ou cilindros pode ser obtido por dois métodos:**

**1)** Este método é mais complexo, porém proporciona um melhor resultado final:

**a)** Faça o balanceamento em baixa rotação escolhendo como planos de balanceamento as extremidades do eixo.

**b)** Coloque o cardãn para girar em uma rotação mais alta (tome cuidado para não exagerar). A máquina indicará um desequilíbrio em ângulos iguais para os dois planos (empeno causado pelas forças descritas acima). Não leve em consideração as indicações de quantidade, pois a peça estará flexionada, mascarando, portanto, esta informação.

**c)** Faça a correção do desequilíbrio no centro do eixo cardãn por tentativas, procurando obter o melhor resultado possível.

**d)** Coloque novamente a peça em baixa rotação e retoque o balanceamento nas extremidades.

**2)** Este método tem vantagem da rapidez de execução, porém o resultado final não é tão preciso quanto o método 1:

**a)** Coloque o eixo cardãn para girar a 2/3 da rotação máxima.

b) Defina os planos de balanceamento a uma distância dos mancais equivalente a 1/5 do comprimento do eixo.

c) Faça a correção indicada pela máquina.

### **ANTES DE BALANCEAR NÃO ESQUEÇA:**

- 1 - Verificar a limpeza das peças e da máquina,
  - 2 - Verificar se não há partes quebradas,
  - 3 - Verificar empenos, ovalizações e se o eixo está polido.
  - 4 - Verificar ovalização de carcaça (cardã).
  - 5 - Verificar se as folgas de buchas estão corretas.
- Faça as correções e substituições necessárias antes de balancear.

### **CUIDADOS NA COLOCAÇÃO DA PEÇA NO BALANCEADOR:**

Lubrifique com um pouco de óleo a superfície de apoio dos roletes.  
Não use "O-ring" no eixo para apoiar o eixo axialmente.  
Utilize a menor pressão possível da correia, de forma que a mesma não deslize.

### **ROTORES COM PARTES SOLTAS:**

Quando ocorre um caso deste tipo, a cada medida o balanceador informará um resultado diferente. Certos rotores devem então ser vistoriados para evitar problemas como:

- Pinos, contra-pinos, arruelas, outras peças soltas.
- Em rotores bobinados pode haver espiras soltas.
- Em rotores ocos pode haver pesos soltos em seu interior, como líquidos, limalhas, resíduos de solda, arruelas, etc.
- O rotor poderá não estar rigidamente fixo em seu eixo, mudando seu centro em cada início de rotação.

Se ocorrer um destes casos ou algo semelhante será impossível balancear corretamente a peça.

### **ROTORES COM EIXO EMPENADO:**

Ao colocarmos um rotor com eixo empenado no balanceador, ficará definido um eixo de rotação. Se após a montagem houver uma mudança do eixo de rotação, o balanceamento ficará perdido.

Sugerimos então que o rotor seja apoiado no balanceador no mesmo local onde será apoiado após a montagem, evitando assim que o eixo de rotação se altere em prejuízo do balanceamento.

### **APOIOS IRREGULARES:**

O acabamento dos eixos dos rotores, no local em que são apoiados no balanceador, É importante para um bom resultado final, pois apoios ou eixos irregulares comprometem a precisão do balanceamento.

### **TOLERÂNCIAS DO EIXO DO ROTOR:**

Ovalização máx. - 20 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.  
Triangulação máx. - 10 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.  
Rugosidade máx. - 10 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.

### **ROLETES DO BALANCEADOR:**

Excentricidade máx.-50 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.  
Rugosidade máx. - 10 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.

### **HÉLICES:**

O passo das pás deve ser constante para que a quantidade de ar deslocada por cada pá seja igual, caso contrário surgirá um efeito de forças similares ao desbalanceamento, que a máquina interpretará como tal.

Para obter-se um bom balanceamento de hélices devemos observar o seguinte:

- Alinhar cuidadosamente as pás e fazer o balanceamento em condições que simulem as condições de trabalho.

Dessa forma o efeito descrito acima poderá ser corrigido com contrapesos.