



Vibrações Mecânicas

Prof. Luiz Eduardo Miranda J. Rodrigues



Aula - 5

Elementos de Amortecimento



Conteúdos Abordados Nessa Aula

Aula 5

- ➊ Elementos de Amortecimento;
- ➋ Associação de Amortecedores.



Definição de Amortecedor

Aula 5

- Na análise de vibrações mecânicas, os amortecedores são dispositivos fundamentais cuja principal função é dissipar a energia mecânica gerada pelo movimento oscilatório de um sistema.
- Quando uma estrutura ou máquina está sujeita a vibrações, a tendência natural é que a energia cinética e potencial envolvidas nesse processo se mantenham em um ciclo contínuo de troca, especialmente em sistemas ideais sem perdas.
- No entanto, na prática, é necessário controlar e reduzir essas vibrações para evitar danos estruturais, fadiga dos materiais, desconforto ou perda de desempenho.
- É nesse contexto que o amortecedor atua, convertendo parte da energia vibracional em calor por meio de mecanismos como o atrito viscoso, forças de histerese ou resistências hidráulicas.



Resposta Dinâmica do Sistema Amortecido

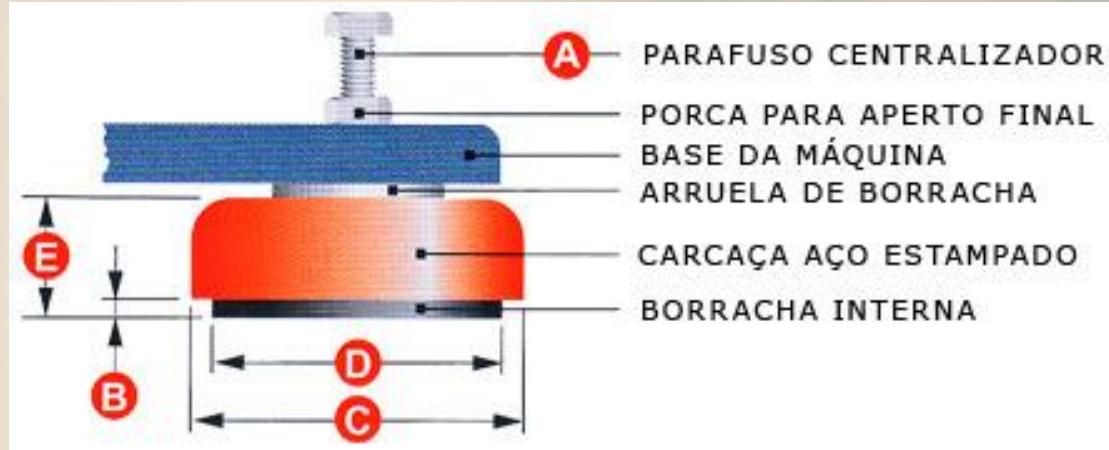
Aula 5

- ➊ A presença do amortecedor altera significativamente a resposta dinâmica do sistema, atenuando a amplitude das oscilações ao longo do tempo, especialmente nas proximidades da frequência natural, onde os efeitos da ressonância seriam mais críticos.
- ➋ Em termos matemáticos, o amortecedor é geralmente representado por uma força proporcional à velocidade relativa entre dois pontos do sistema, sendo essa força descrita por uma constante de amortecimento multiplicada pela velocidade.
- ➌ Os tipos mais comuns de amortecedores utilizados incluem os viscosos, hidráulicos e os com materiais elastoméricos que absorvem energia.
- ➍ Em aplicações reais, como na suspensão de veículos, em sistemas de isolamento de máquinas ou em estruturas civis sujeitas a eventos sísmicos, os amortecedores são componentes indispensáveis para garantir segurança, durabilidade e conforto, evidenciando sua relevância prática na engenharia de vibrações.



Exemplos de Amortecedores

Aula 5





Associação de Amortecedores

Aula 5

- ➊ Na análise de vibrações mecânicas, as técnicas de associação de amortecedores são essenciais para a modelagem e o controle preciso da dissipação de energia em sistemas vibratórios compostos.
- ➋ Essas associações seguem princípios semelhantes aos utilizados na combinação de molas e massas, permitindo representar de maneira eficaz a atuação conjunta de múltiplos elementos de amortecimento.
- ➌ Os amortecedores podem ser associados em série ou em paralelo, dependendo da configuração física do sistema e do comportamento dinâmico desejado.



Associação de Amortecedores em Série e Paralelo

Aula 5

- ➊ Na associação em série, a força total que atua sobre os amortecedores é a mesma para todos os elementos, enquanto a velocidade relativa total entre os pontos conectados é a soma das velocidades relativas de cada amortecedor.
- ➋ Nesse caso, a constante de amortecimento equivalente é calculada de forma inversamente proporcional às constantes individuais, assim como ocorre com as resistências elétricas em série.
- ➌ Já na associação em paralelo, os amortecedores compartilham a mesma velocidade relativa, e a força total é a soma das forças resistivas individuais, resultando em uma constante de amortecimento equivalente obtida pela soma direta das constantes dos componentes.



Escolha do Tipo de Associação

Aula 5

- A escolha entre esses arranjos depende dos requisitos de rigidez, dissipação e resposta dinâmica do sistema.
- Em aplicações industriais, por exemplo, pode-se combinar amortecedores viscosos com amortecedores estruturais para obter uma resposta mais eficaz diante de excitações externas variadas, como impactos, vibrações harmônicas ou aleatórias.
- A correta associação desses dispositivos permite não apenas melhorar o desempenho do sistema vibratório, mas também otimizar sua durabilidade, eficiência energética e segurança operacional, sendo uma estratégia fundamental na engenharia de projetos mecânicos, automotivos, aeroespaciais e civis.



Modelagem Matemática

Aula 5

- ➊ Na análise de vibrações mecânicas, as técnicas de solução matemática utilizadas na associação de amortecedores desempenham um papel fundamental na obtenção de modelos precisos que representem o comportamento dinâmico dos sistemas.
- ➋ Quando os amortecedores são associados, seja em série ou em paralelo, é necessário desenvolver equações diferenciais que descrevam a dissipação de energia promovida por esses dispositivos em função da velocidade relativa entre os elementos que compõem o sistema vibratório.
- ➌ A modelagem matemática desses sistemas é feita a partir da segunda lei de Newton ou do princípio de D'Alembert, considerando as forças de amortecimento como proporcionais à velocidade, segundo a equação $F = c \cdot \dot{x}$, onde c representa a constante de amortecimento e \dot{x} é a velocidade relativa entre os pontos de interesse.

$$F = c \cdot \dot{x}$$



Modelagem Matemática

Aula 5

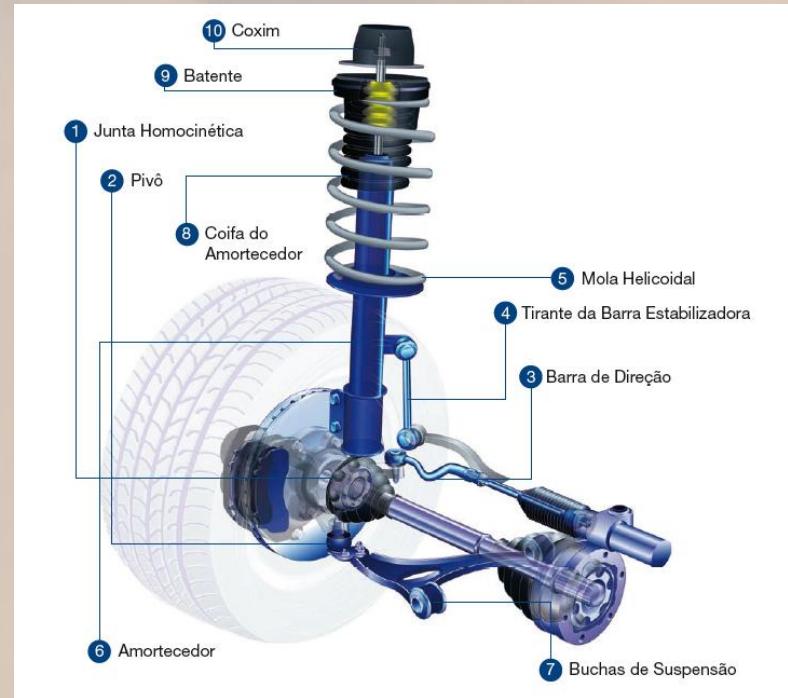
- As equações diferenciais que resultam das associações de amortecedores são, em geral, de segunda ordem e podem ser resolvidas por métodos analíticos clássicos, como o método de coeficientes indeterminados, a transformada de Laplace ou o uso de variáveis de estado.
- Para sistemas mais complexos, especialmente aqueles com múltiplos graus de liberdade e amortecedores distribuídos, torna-se necessário empregar técnicas numéricas como o método de Runge-Kutta, o método de Newmark ou o método das diferenças finitas.
- O uso de softwares de simulação, como MATLAB, ANSYS ou Simulink, é amplamente difundido para auxiliar na obtenção de soluções aproximadas, especialmente quando os sistemas possuem comportamentos não lineares, amortecimento dependente do tempo ou combinações com outros elementos mecânicos.
- Assim, as técnicas de solução matemática aplicadas às associações de amortecedores constituem uma base indispensável para o entendimento e controle do desempenho vibratório de estruturas e máquinas em diversos setores da engenharia.



Exemplo Prático – Amortecedor Automotivo

Aula 5

- Um exemplo prático de associação de amortecedores na análise de vibrações mecânicas pode ser observado no sistema de suspensão de um veículo automotivo moderno, no qual amortecedores hidráulicos são utilizados em paralelo com elementos elásticos como molas helicoidais para garantir conforto e estabilidade durante a condução.
- Nesse sistema, os amortecedores atuam para dissipar a energia cinética proveniente das irregularidades da pista, enquanto as molas armazenam e liberam energia de forma elástica.
- Em determinadas configurações de veículos, especialmente em modelos com suspensão adaptativa ou sistemas mais avançados de controle de estabilidade, podem existir múltiplos elementos de amortecimento dispostos de forma combinada, com diferentes características de resposta em função da velocidade ou da frequência da excitação.





Exemplo Prático – Amortecedor Automotivo

Aula 5

- ➊ O amortecedor automotivo é um componente essencial no sistema de suspensão de veículos, cuja principal função é controlar e atenuar as vibrações provocadas pelas irregularidades do solo durante a movimentação.
- ➋ Trata-se de um dispositivo dissipador de energia, geralmente do tipo hidráulico, composto por um cilindro preenchido com óleo e um pistão que se move em seu interior.
- ➌ Quando o veículo passa por um obstáculo, como um buraco ou lombada, as molas da suspensão absorvem a energia do impacto, mas, sem um elemento de controle, essa energia seria liberada de forma oscilatória, gerando movimentos contínuos e desconfortáveis.
- ➍ É nesse ponto que o amortecedor atua, resistindo ao movimento do pistão e convertendo parte da energia vibratória em calor, o qual é dissipado através do fluido.





Exemplo Prático – Amortecedor Automotivo

Aula 5

- Em determinados veículos, pode haver um amortecedor principal em paralelo com um amortecedor secundário que atua apenas em determinadas condições de carga ou aceleração.
- A análise matemática dessa associação considera o efeito combinado dos amortecedores sobre a dissipação de energia do sistema e resulta em um coeficiente de amortecimento equivalente, que pode ser ajustado por válvulas eletrônicas controladas por sensores de aceleração e deslocamento.
- Essa configuração é fundamental para evitar a ocorrência de oscilações excessivas após o impacto com buracos ou lombadas e para reduzir a transferência de vibrações à carroceria, melhorando significativamente a dirigibilidade e o conforto dos ocupantes.
- Assim, o estudo da associação de amortecedores permite compreender como diferentes mecanismos de dissipação atuam em conjunto para controlar a dinâmica vibratória de um sistema real, contribuindo para o desenvolvimento de soluções cada vez mais eficientes e seguras no campo da engenharia automotiva.



Exemplo Prático – Amortecedor Automotivo

Aula 5

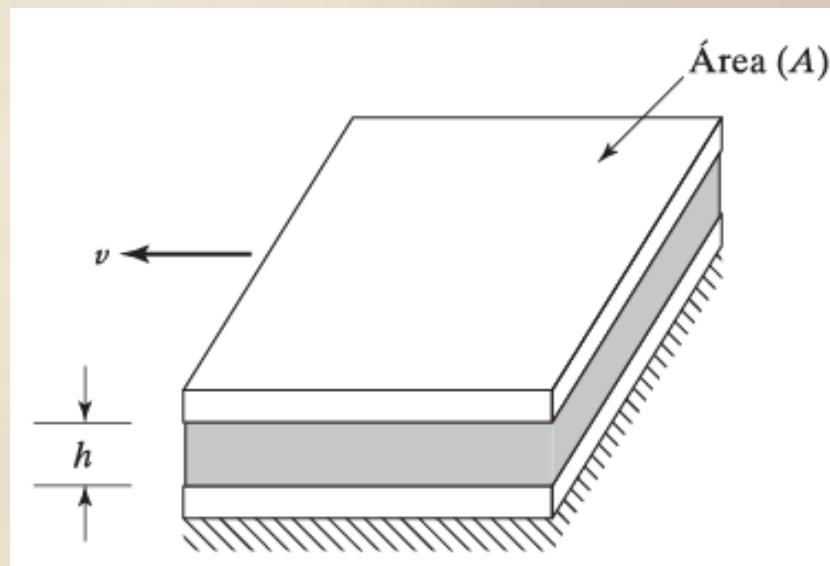
- A presença do amortecedor no modelo do veículo influencia diretamente na resposta transitória e na estabilidade do sistema, sendo capaz de reduzir a amplitude das vibrações e acelerar a convergência ao estado de equilíbrio.
- Em veículos modernos, a análise dessas vibrações permite o desenvolvimento de amortecedores inteligentes, cuja resistência varia conforme a intensidade das excitações, utilizando válvulas controladas eletronicamente.
- Dessa forma, o estudo e a compreensão dos amortecedores automotivos sob a ótica das vibrações mecânicas permitem avanços significativos no conforto, na segurança e na durabilidade dos sistemas veiculares, sendo uma das aplicações mais práticas e visíveis da engenharia de vibrações no cotidiano.



Exemplo de Aplicação

Aula 5

- Verificou-se que um mancal, que pode ser aproximado como duas placas planas separadas por uma fina camada de óleo lubrificante, oferece uma resistência de 400 N quando é usado óleo SAE30 como lubrificante e a velocidade relativa entre as placas é 10 m/s. Se a área das placas for $0,1 \text{ m}^2$, determine a folga entre as placas. Suponha que a viscosidade absoluta do óleo SAE30 seja $\mu = 0,3445 \text{ Pa.s}$.





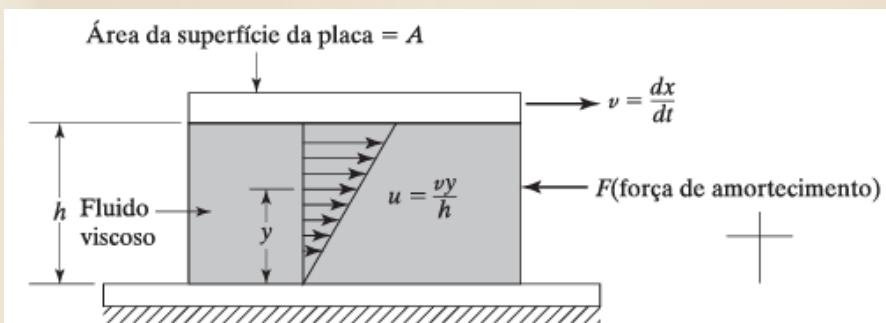
Solução do Exemplo

Aula 5

- A força de resistência F pode ser expressa como $F = c \cdot \dot{x}$, onde c é a constante de amortecimento e \dot{x} a velocidade, portanto:

$$c = \frac{F}{\dot{x}} \rightarrow c = \frac{400}{10} \rightarrow c = 40 \text{ Ns/m}$$

- O mancal poder ser modelado como um amortecedor do tipo placa plana conforme mostrado na figura:



- Nessa situação, a tensão de cisalhamento desenvolvida na camada de fluido a uma distância y da placa fixa é dada por:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy}$$

- Onde $du/dy = v/h$, representa o gradiente de velocidade. Portanto, a força de cisalhamento desenvolvida na superfície inferior da placa em movimento é calculada por:

$$\tau = \frac{F}{A} \rightarrow F = \tau \cdot A \rightarrow F = \mu \cdot \frac{du}{dy} \cdot A$$



Solução do Exemplo

Aula 5

- Considerando $v = \dot{x}$ e $du/dy = v/h$, A equação pode ser reescrita da seguinte forma:

$$F = \mu \cdot \frac{\dot{x}}{h} \cdot A$$

- Como $F = c \cdot \dot{x}$, pode-se escrever que:

$$c = \frac{F}{\dot{x}} \quad \longrightarrow \quad c = \frac{\mu \cdot \frac{\dot{x}}{h} \cdot A}{\dot{x}}$$

$$c = \frac{\mu \cdot \dot{x} \cdot A}{\dot{x} \cdot h} \quad \longrightarrow \quad c = \frac{\mu \cdot A}{h}$$

- Substituindo os valores numéricos:

$$c = \frac{\mu \cdot A}{h}$$

$$40 = \frac{0,3445 \cdot 0,1}{h}$$

$$h = \frac{0,3445 \cdot 0,1}{40}$$

$$h = 0,00086125 \text{ m}$$

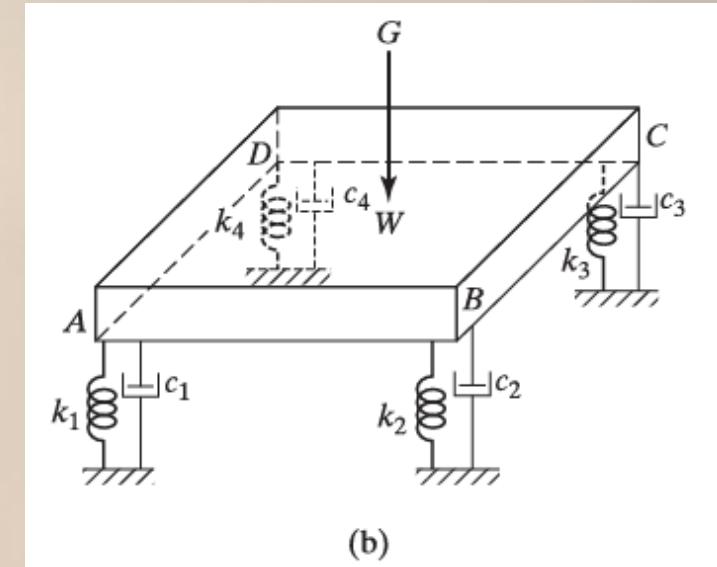
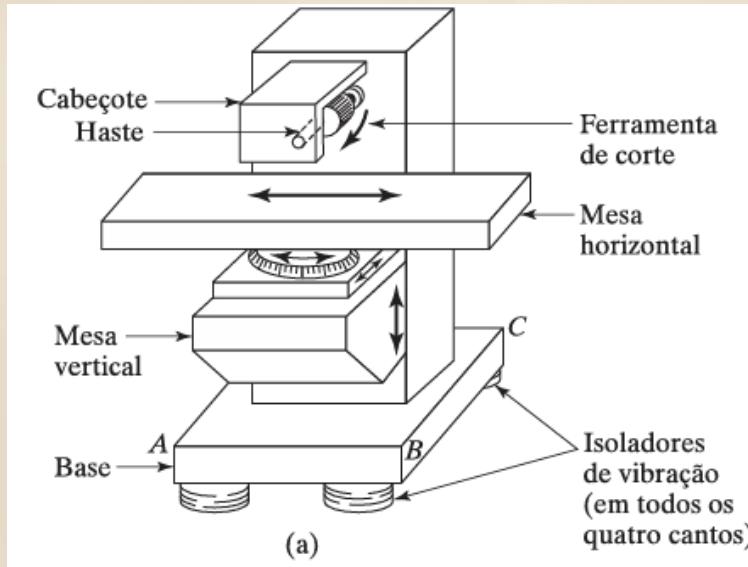
$$h = 0,86125 \text{ mm}$$



Exercícios Propostos

Aula 5

1. Uma fresadora de precisão está apoiada em quatro suportes isoladores de choque como mostrado na figura. A elasticidade e o amortecimento de cada isolador de choque podem ser modelados como uma mola e um amortecedor viscoso conforme mostrado. Determine a constante elástica equivalente, k_{eq} , e a constante de amortecimento equivalente, c_{eq} , do suporte da máquina ferramenta. Considere que o centro de massa G do suporte está localizado em uma posição simétrica aos quatro isoladores de vibração.



Obrigado Pela Atenção

Nos Encontramos na Próxima Aula

