



# Vibrações Mecânicas

**Prof. Luiz Eduardo Miranda J. Rodrigues**



## Aula - 2

**Modelagem de um Sistema Vibratório**



# Conteúdos Abordados Nessa Aula

Aula 2

- ➊ Monitoramento e Medições de Vibrações;
- ➋ Modelagem de Sistemas Vibratórios.



# Monitoramento e Medição de Vibrações

Aula 2

- Na indústria, o monitoramento e a medição de vibrações são atividades essenciais para garantir a segurança, a eficiência e a longevidade de máquinas, equipamentos e estruturas.
- Para isso, diversas técnicas especializadas são utilizadas, combinando instrumentos de alta precisão, métodos analíticos e sistemas automatizados de coleta e interpretação de dados.
- Entre as principais técnicas, destaca-se o uso de sensores específicos, como acelerômetros, velocímetros e transdutores de deslocamento, que convertem grandezas mecânicas, como aceleração, velocidade e deslocamento, em sinais elétricos passíveis de análise.
- Esses sensores são estrategicamente posicionados em pontos críticos dos equipamentos ou estruturas, de modo a capturar informações representativas sobre o comportamento vibratório em diferentes condições de operação.



# Monitoramento e Medição de Vibrações

Aula 2

- As técnicas utilizadas na indústria para o monitoramento e medição de vibrações são fundamentais para assegurar a integridade, a segurança e a eficiência de sistemas mecânicos e estruturais.
- A combinação de métodos tradicionais e tecnologias avançadas permite uma abordagem abrangente e eficaz para a gestão das vibrações, contribuindo para a otimização dos processos produtivos, a redução de custos operacionais e o aumento da competitividade industrial.
- A indústria também emprega sistemas de monitoramento contínuo baseados em tecnologias digitais e redes de sensores inteligentes, que permitem a coleta automatizada de dados em tempo real, o armazenamento em bancos de dados e a aplicação de algoritmos de diagnóstico e prognóstico.
- Esses sistemas são frequentemente integrados a plataformas de manutenção preditiva e gestão de ativos, utilizando recursos de inteligência artificial e aprendizado de máquina para detectar padrões anômalos e antecipar falhas com elevada precisão.



# Monitoramento e Medição de Vibrações

Aula 2

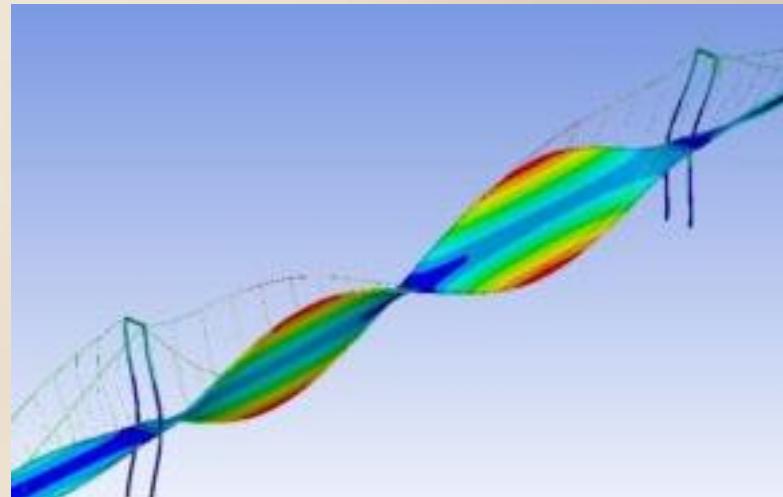
- ➊ Uma técnica amplamente empregada é a análise espectral, realizada por meio da Transformada Rápida de Fourier (FFT), que permite decompor os sinais de vibração em suas componentes de frequência.
- ➋ Com isso, é possível identificar frequências características associadas a falhas mecânicas, como desalinhamentos, desbalanceamentos, folgas, desgaste de rolamentos e engrenagens danificadas.
- ➌ A análise espectral é fundamental para a manutenção preditiva, pois possibilita detectar precocemente anomalias e programar intervenções corretivas antes que ocorram falhas catastróficas, reduzindo custos e aumentando a confiabilidade operacional.
- ➍ Outra técnica é a análise de vibração no domínio do tempo consiste na observação direta dos sinais de vibração ao longo do tempo, permitindo avaliar transientes, impactos ou comportamentos não estacionários que nem sempre são evidentes na análise em frequência.



# Monitoramento e Medição de Vibrações

Aula 2

- ⌚ Técnicas mais avançadas incluem a análise modal experimental, que visa determinar os modos de vibração naturais de uma estrutura, suas frequências e seus fatores de amortecimento, por meio da aplicação controlada de excitações e da medição das respostas vibratórias.
- ⌚ Esse tipo de análise é essencial no desenvolvimento e validação de projetos estruturais, bem como na identificação de alterações que possam indicar degradação ou danos.





# Ensaio de “Crash Test” em um Automóvel

Aula 2

- O ensaio de “crash test” em um automóvel é um procedimento fundamental para avaliar o comportamento estrutural e a segurança dos veículos em situações de colisão, e para isso são utilizadas diversas técnicas de medição de vibrações e de monitoramento dinâmico.
- Durante esse tipo de ensaio, o objetivo principal é obter dados precisos sobre as forças, deslocamentos, acelerações e deformações que ocorrem em diferentes partes do veículo e em seus ocupantes simulados, permitindo assim analisar a eficiência dos sistemas de proteção e a integridade estrutural.
- A medição de vibrações desempenha um papel central nesse contexto, pois possibilita entender como as diferentes partes do veículo respondem às cargas extremas e repentinhas geradas pela colisão.



# Técnicas Utilizadas no Ensaio de “Crash Test”

Aula 2

- Entre as principais técnicas utilizadas, destaca-se o uso de acelerômetros triaxiais de alta frequência, que são instalados em pontos estratégicos do veículo, como chassi, colunas estruturais, sistema de suspensão, além de nos bonecos antropomórficos que simulam os ocupantes.
- Eses sensores medem as acelerações nas três direções do espaço, fornecendo informações detalhadas sobre os picos de carga e os modos de vibração que ocorrem no momento do impacto.
- A análise desses sinais permite identificar como a energia do choque é dissipada pela estrutura do veículo e como essa resposta influencia na segurança dos ocupantes.



# Técnicas Utilizadas no Ensaio de “Crash Test”

Aula 2

- ➊ Além dos acelerômetros, são utilizados extensômetros e sensores de deformação que monitoram o alongamento ou compressão de elementos estruturais críticos, registrando o comportamento dinâmico das zonas de deformação programadas.
- ➋ Esses dados são essenciais para verificar se as partes do veículo destinadas a absorver energia de impacto funcionam conforme o projetado, evitando a transferência excessiva de forças para o habitáculo dos passageiros.
- ➌ Também são empregados sensores de deslocamento e velocímetros para medir, respectivamente, os movimentos relativos entre diferentes partes do veículo e as velocidades atingidas antes, durante e após a colisão, garantindo uma avaliação completa da dinâmica do evento.



# Técnicas Utilizadas no Ensaio de “Crash Test”

Aula 2

- As técnicas de medição incluem ainda a utilização de sistemas ópticos de alta velocidade e câmeras que capturam milhares de quadros por segundo, permitindo uma análise visual detalhada das deformações e das vibrações em tempo real.
- Esses registros visuais são complementares aos dados dos sensores, oferecendo uma visão global da sequência dos eventos e possibilitando a correlação precisa entre os parâmetros medidos e os efeitos físicos observados.
- Em muitos casos, técnicas de correlação de imagens digitais são aplicadas sobre essas imagens para medir campos de deslocamento e deformação superficial com alta precisão.



# Ensaio de “Crash Test”

Aula 2





# Tratamento dos Dados no Ensaio de “Crash Test”

Aula 2

- O tratamento dos dados obtidos envolve métodos avançados de análise no domínio do tempo e da frequência, como a Transformada de Fourier, para identificar os modos de vibração que surgem em decorrência do impacto e sua relação com as frequências naturais das estruturas veiculares.
- A interpretação desses resultados é fundamental para validar modelos computacionais de simulação de “crash test”, que, por sua vez, orientam o desenvolvimento de veículos mais seguros.
- As técnicas de medição de vibrações aplicadas ao ensaio de “crash test” são complexas, integradas e de alta precisão, combinando sensores mecânicos, ópticos e eletrônicos para fornecer uma caracterização completa da resposta dinâmica do automóvel em situações críticas.
- Essas técnicas são indispensáveis para o aprimoramento dos projetos automotivos, contribuindo para a redução de lesões e fatalidades no trânsito, bem como para o atendimento aos rigorosos padrões internacionais de segurança veicular.



# Modelagem Esquemática e Matemática

Aula 2

- A modelagem esquemática e matemática de um sistema vibratório tem como finalidade fundamental representar, de maneira simplificada e precisa, o comportamento dinâmico de um sistema real, possibilitando sua análise, compreensão e controle.
- A principal finalidade dessa modelagem é, portanto, prever o comportamento do sistema sob diversas condições operacionais, permitindo antecipar e mitigar problemas relacionados a vibrações indesejadas, como ressonância, fadiga estrutural e desconforto.
- Além disso, a modelagem possibilita otimizar o projeto de componentes e sistemas, promovendo a eficiência, a segurança e a durabilidade.
- Em muitos casos, a modelagem matemática serve como base para o desenvolvimento de sistemas de controle ativo ou passivo de vibrações, que visam reduzir ou eliminar efeitos prejudiciais.



# Modelagem Esquemática

Aula 2

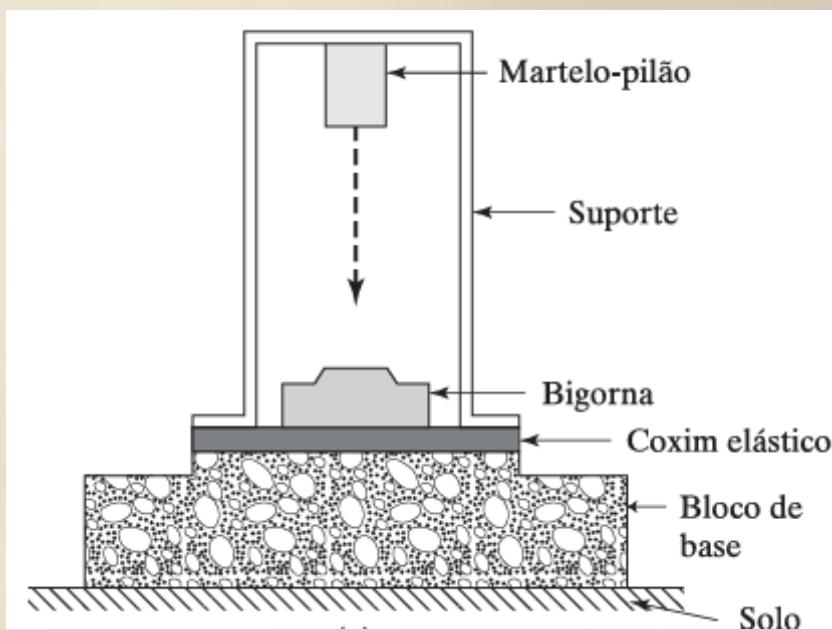
- ➊ Através da modelagem esquemática, identifica-se e seleciona-se os componentes mais relevantes do sistema, como massas, molas, amortecedores e pontos de aplicação de forças, transformando um conjunto físico complexo em um diagrama idealizado que capta suas principais características dinâmicas.
- ➋ Essa simplificação é essencial para que o problema se torne tratável do ponto de vista analítico ou computacional, eliminando detalhes irrelevantes que não afetam significativamente o comportamento vibratório global.



# Exemplo de Aplicação

Aula 2

- O martelo de forjar consiste em um suporte, um martelo de queda conhecido como pilão, uma bigorna e um bloco de base. A bigorna é um bloco maciço de aço no qual o material é forjado até a forma desejada pelos golpes repetidos do pilão. A bigorna normalmente é montada sobre um coxim elástico para reduzir a transmissão de vibração para o bloco de base e suporte. Considerando o modelo mostrado na figura, realize a modelagem esquemática do sistema vibratório.

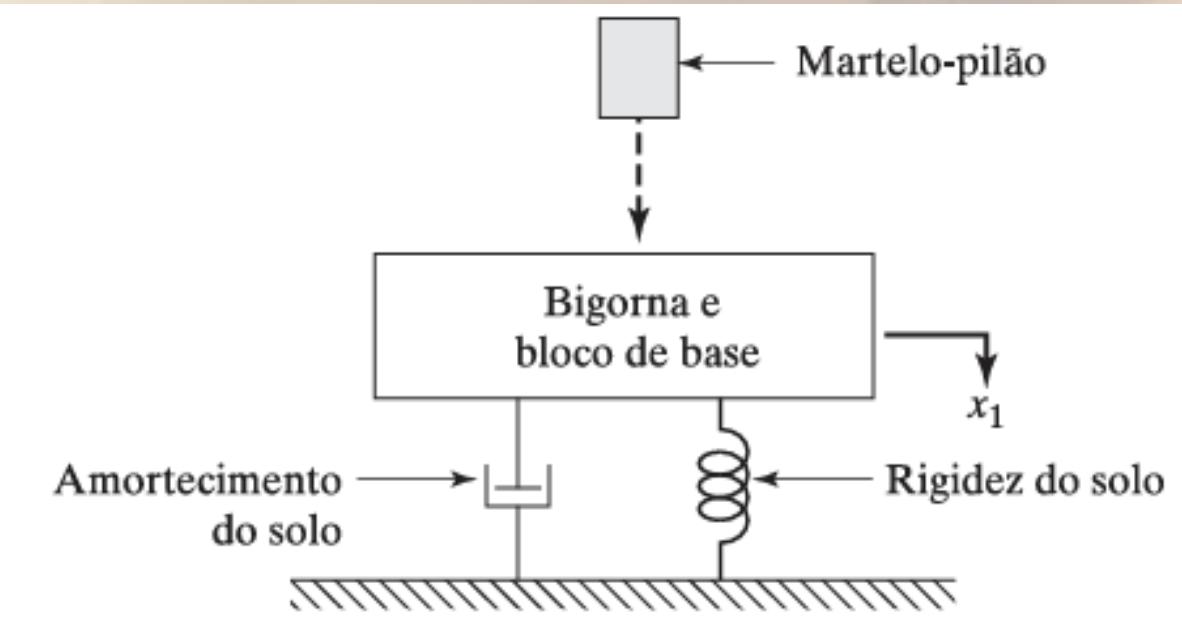
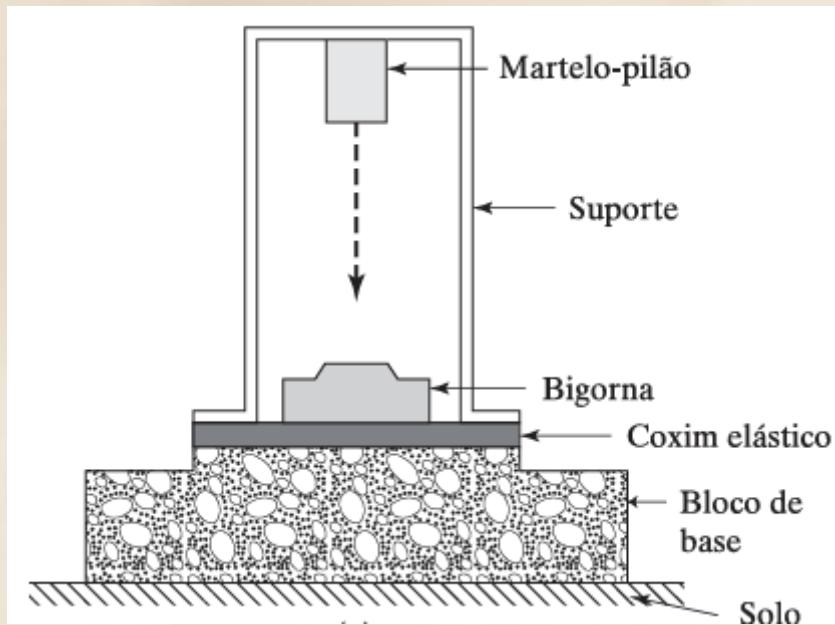




# Solução do Exemplo

Aula 2

- Para uma primeira aproximação, suporte, bigorna, coxim, bloco de base e solo são modelados como um sistema com um único grau de liberdade, como mostrado na figura.

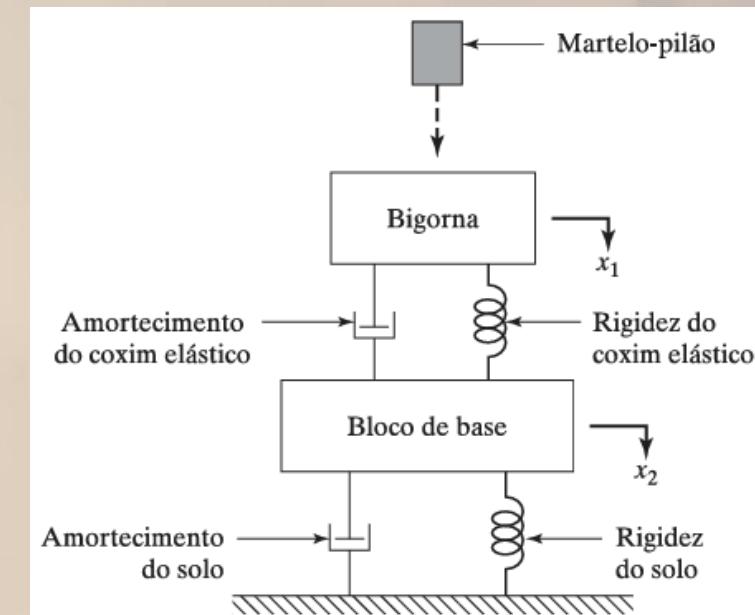
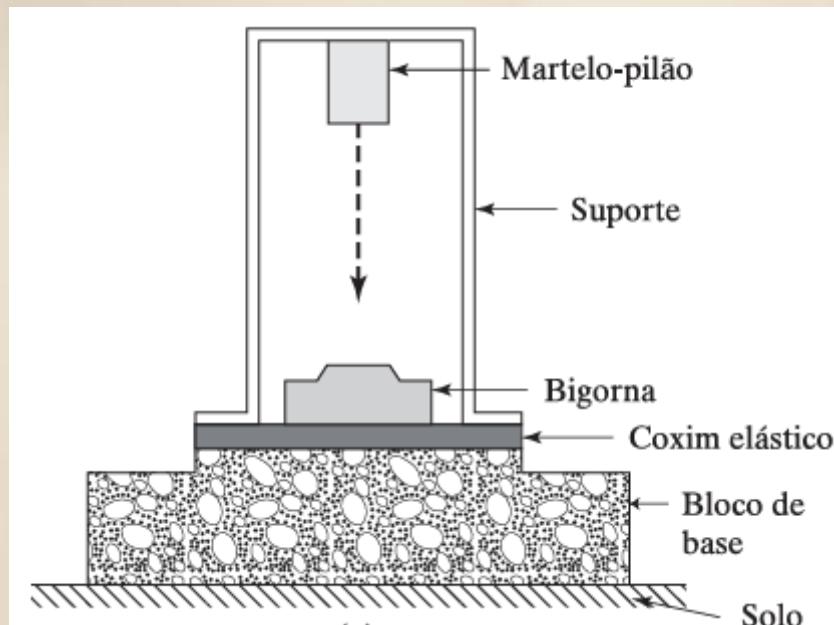




# Solução do Exemplo

Aula 2

- Para refinar a aproximação, os pesos do suporte e da bigorna e o peso do bloco de base são representados separadamente por um modelo com dois graus de liberdade, como mostrado na figura.

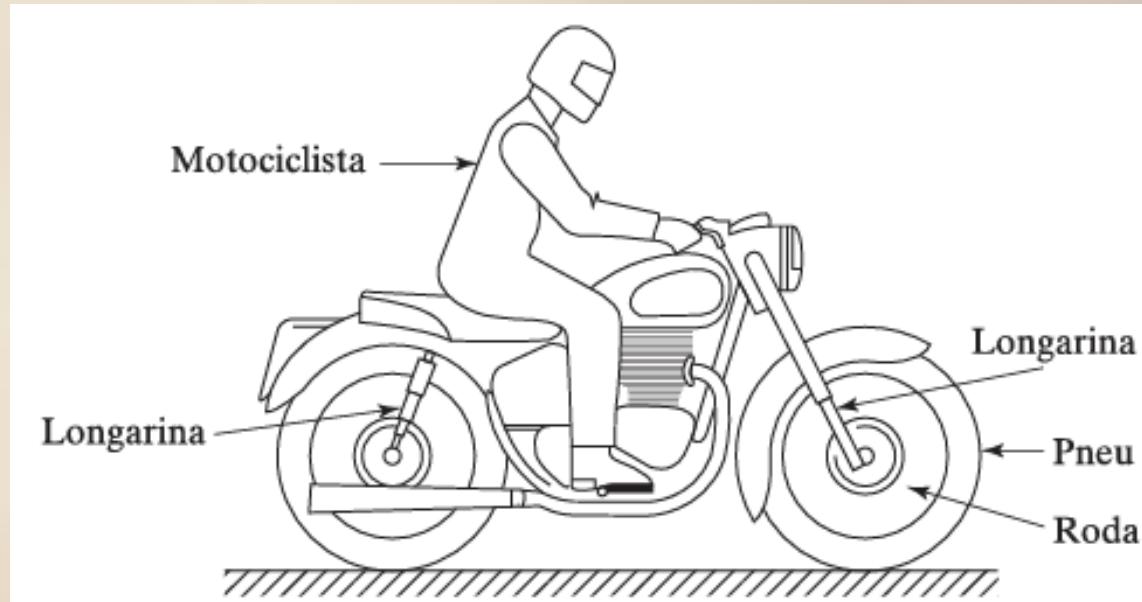




# Exemplo de Aplicação

Aula 2

- A figura mostra uma motocicleta com um motociclista. Desenvolva uma sequência de três modelos esquemáticos para do sistema para investigar vibrações no sentido vertical. Considere a elasticidade dos pneus, a elasticidade e o amortecimento das longarinas (no sentido vertical), as massas das rodas e a elasticidade, amortecimento e massa do motociclista.

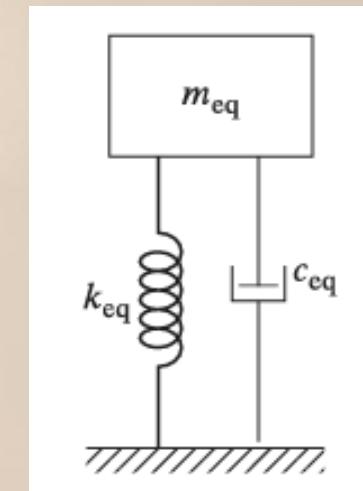
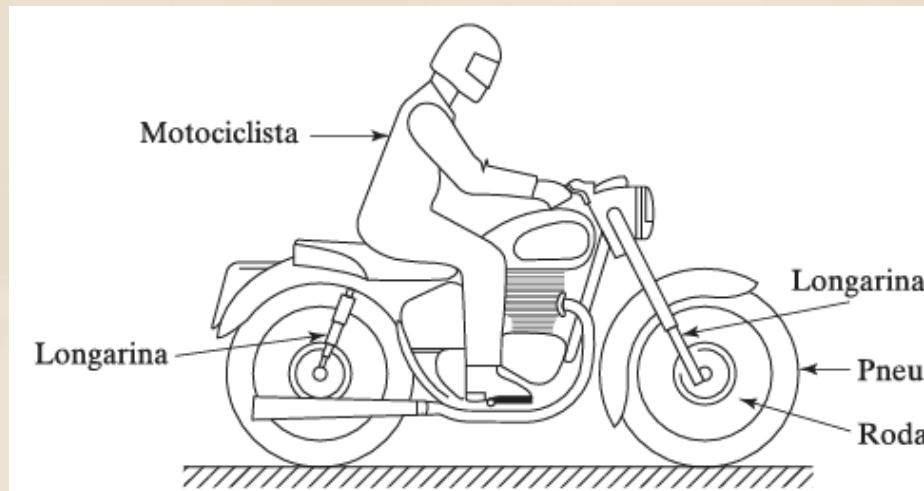




# Solução do Exemplo

Aula 2

- 💡 Começamos com o modelo mais simples e o refinamos gradativamente. Quando são usados os valores equivalentes de massa, rigidez e amortecimento do sistema obtemos um modelo de um único grau de liberdade como mostrado na figura. Nesse modelo, a rigidez equivalente ( $k_{eq}$ ) inclui a rigidez dos pneus, longarinas e motociclista. A constante de amortecimento equivalente ( $c_{eq}$ ) engloba o amortecimento das longarinas e do motociclista. A massa equivalente ( $m_{eq}$ ) abrange as massas das rodas, do corpo do veículo e do motociclista.



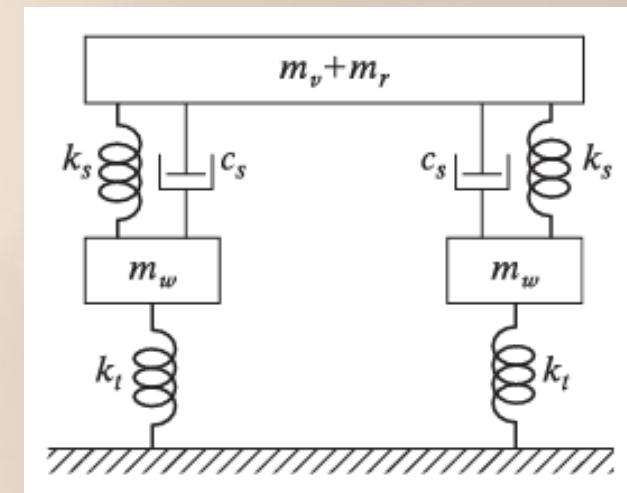
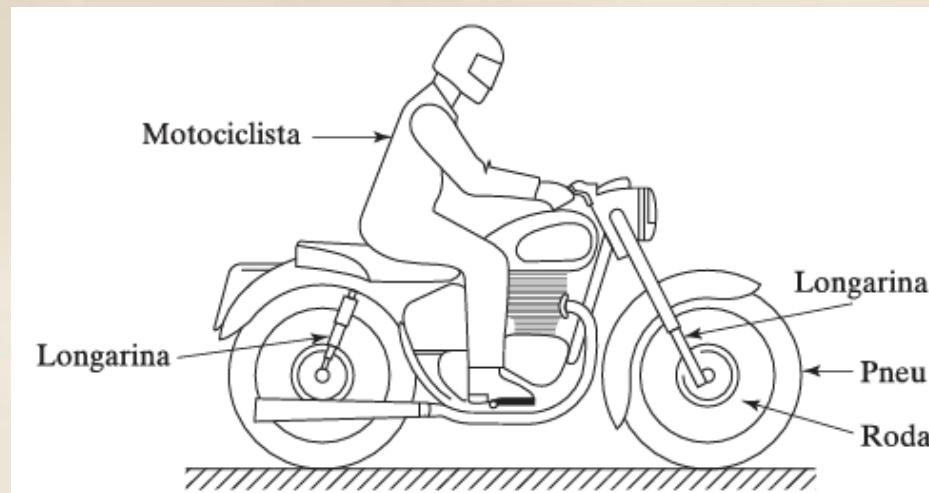
Índices	
$t$	: pneu
$w$	: roda
$s$	: longarina
$eq$	: equivalente



# Solução do Exemplo

Aula 2

- O modelo anterior pode ser refinado representando as massas das rodas, a elasticidade dos pneus e a elasticidade e amortecimento das longarinas em separado, como mostrado na figura. Nesse modelo, a massa do corpo do veículo ( $m_v$ ) e a massa do motociclista ( $m_r$ ) são mostradas como uma massa única,  $m_v + m_r$ .



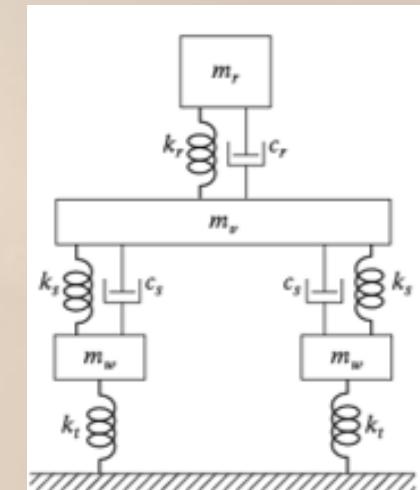
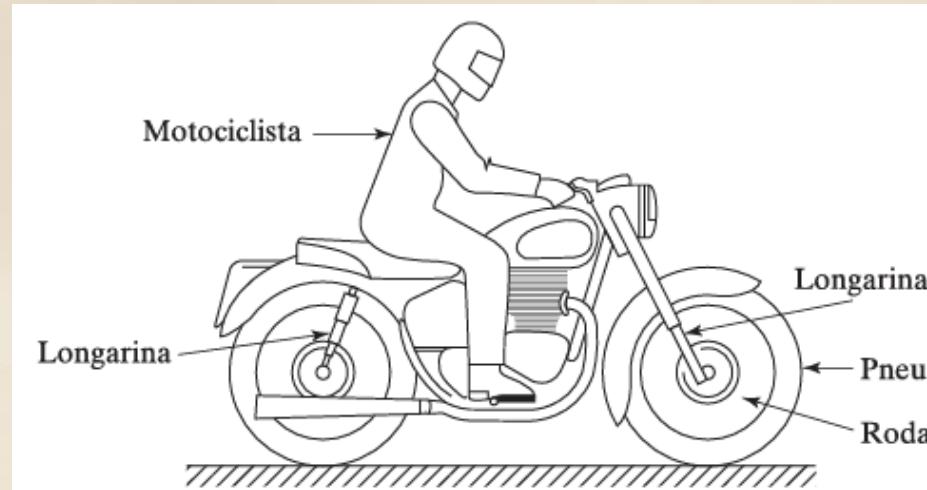
Índices	
$t$	: pneu
$w$	: roda
$s$	: longarina
$v$	: veículo
$r$	: motociclista
$eq$	: equivalente



# Solução do Exemplo

Aula 2

- No modelo anterior quando são consideradas a elasticidade (como a constante elástica  $k_r$ ) e o amortecimento (como constante de amortecimento  $c_r$ ) do motociclista, o modelo pode ser refinado novamente como mostrado na figura.



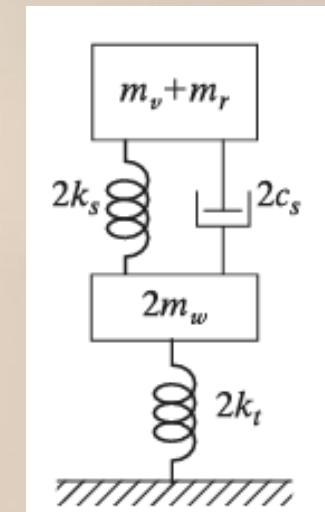
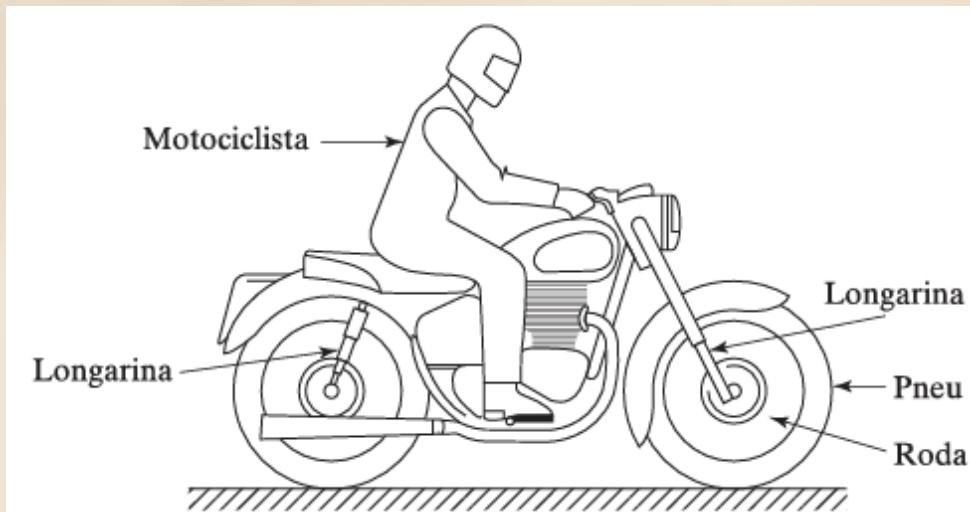
Índices  
 $t$ : pneu       $v$ : veículo  
 $w$ : roda       $r$ : motociclista  
 $s$ : longarina     $eq$ : equivalente



# Solução do Exemplo

Aula 2

- Observe que os modelos apresentados anteriormente não são únicos. Por exemplo, combinando as constantes elásticas de ambos os pneus, as massas de ambas as rodas e as constantes elásticas e de amortecimento de ambas as longarinas como quantidades únicas, obtém-se o modelo mostrado na figura.



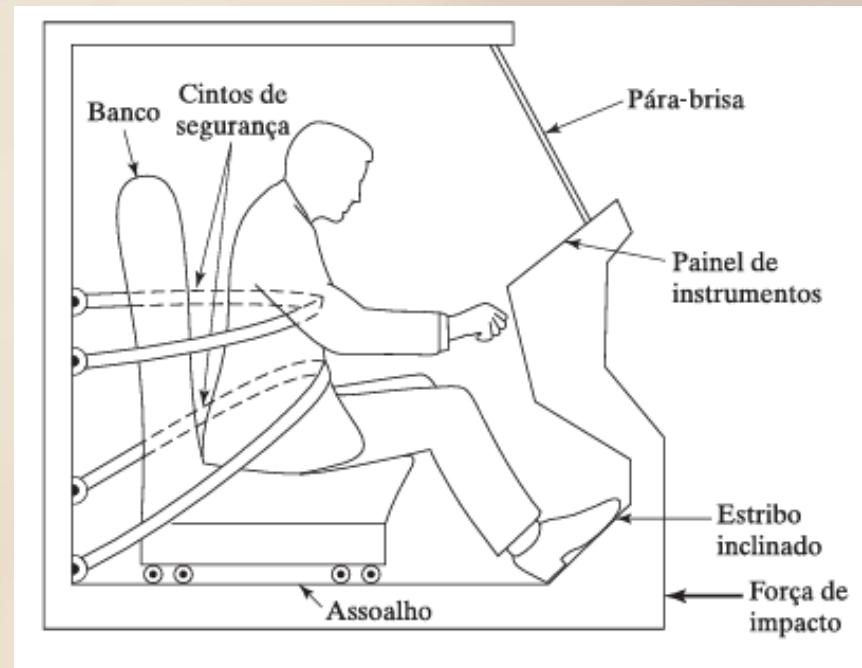
Índices	
$t$ : pneu	$v$ : veículo
$w$ : roda	$r$ : motociclista
$s$ : longarina	eq : equivalente



# Exercícios Propostos

Aula 2

1. A figura mostra um corpo humano e um sistema de cintos de segurança no momento da colisão de um veículo. Sugira um modelo esquemático simples considerando a elasticidade, massa e amortecimento do banco, do corpo humano e do sistema de cintos de segurança para uma análise de vibrações do sistema.

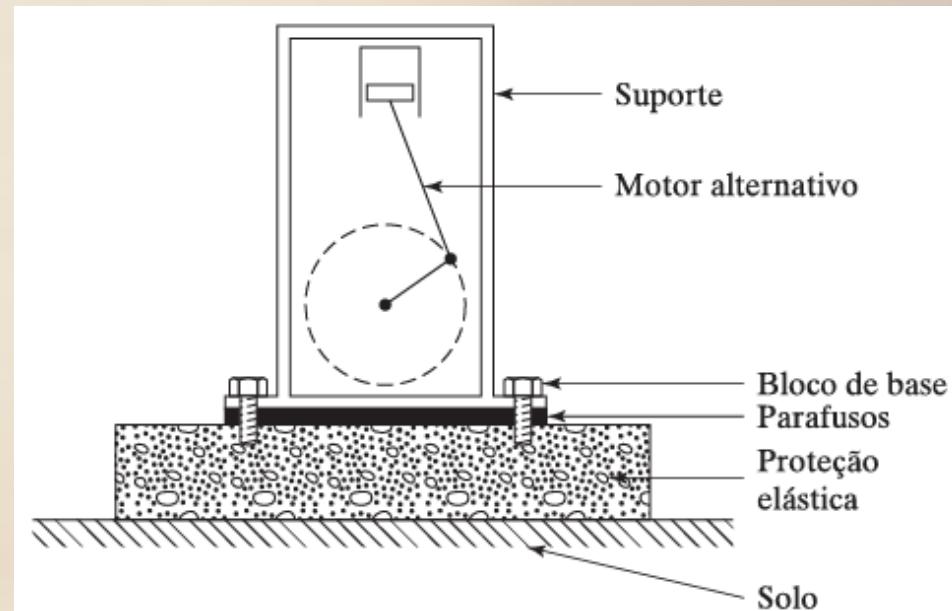




# Exercícios Propostos

Aula 2

2. Um motor alternativo está montado sobre uma base como mostrado na figura. As forças e momentos de desbalanceamentos desenvolvidos no motor são transmitidos ao suporte e à base. Uma proteção elástica é colocada entre o motor e o bloco da base para reduzir a transmissão da vibração. Desenvolva dois modelos esquemáticos do sistema usando um refinamento gradual do processo de modelagem.

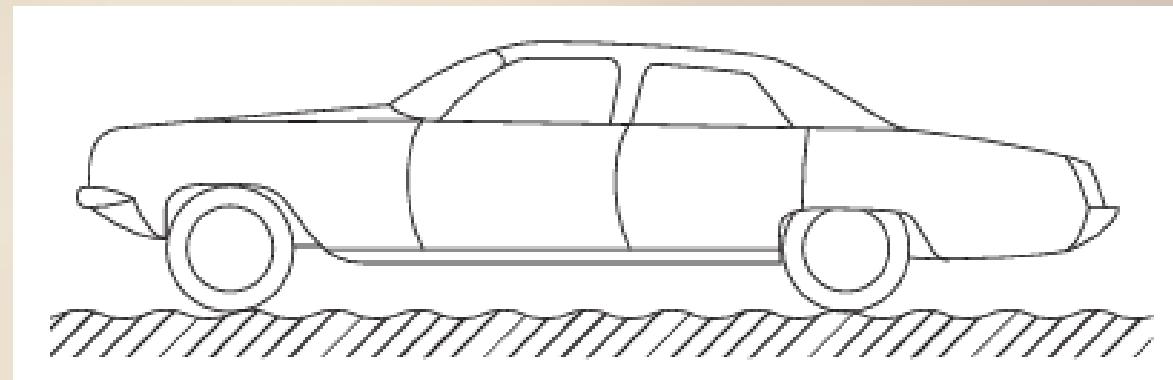




# Exercícios Propostos

Aula 2

3. Um automóvel que trafega por uma estrada em mau estado pode ser modelado considerando: (a) peso da carroceria, passageiros, bancos, rodas da frente e rodas traseiras; (b) elasticidade dos pneus (suspensão), molas principais e bancos; (c) amortecimento dos bancos, absorvedores de choque e pneus. Desenvolva os três modelos esquemáticos dessas situações utilizando um refinamento gradual no processo de modelagem.

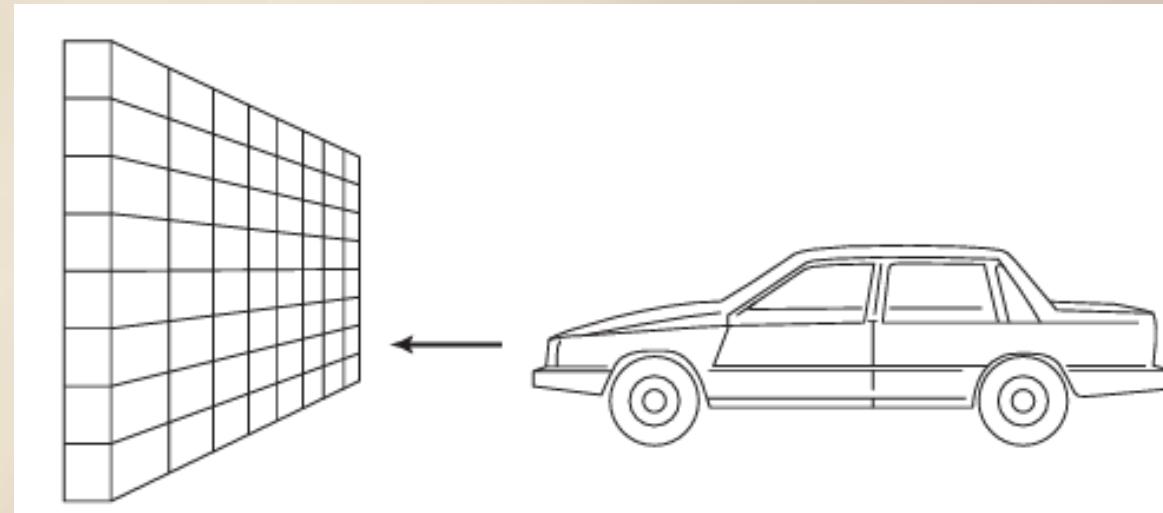




# Exercícios Propostos

Aula 2

4. As consequências de uma colisão frontal entre dois automóveis podem ser estudadas considerando o impacto do automóvel contra uma barreira (crash test) como mostra a figura. Construa um modelo esquemático considerando as massas da carroceria do automóvel, motor, transmissão e suspensão e a elasticidade dos para-choques, radiador, carroceria em chapas metálicas, sistema de transmissão e suportes do motor.

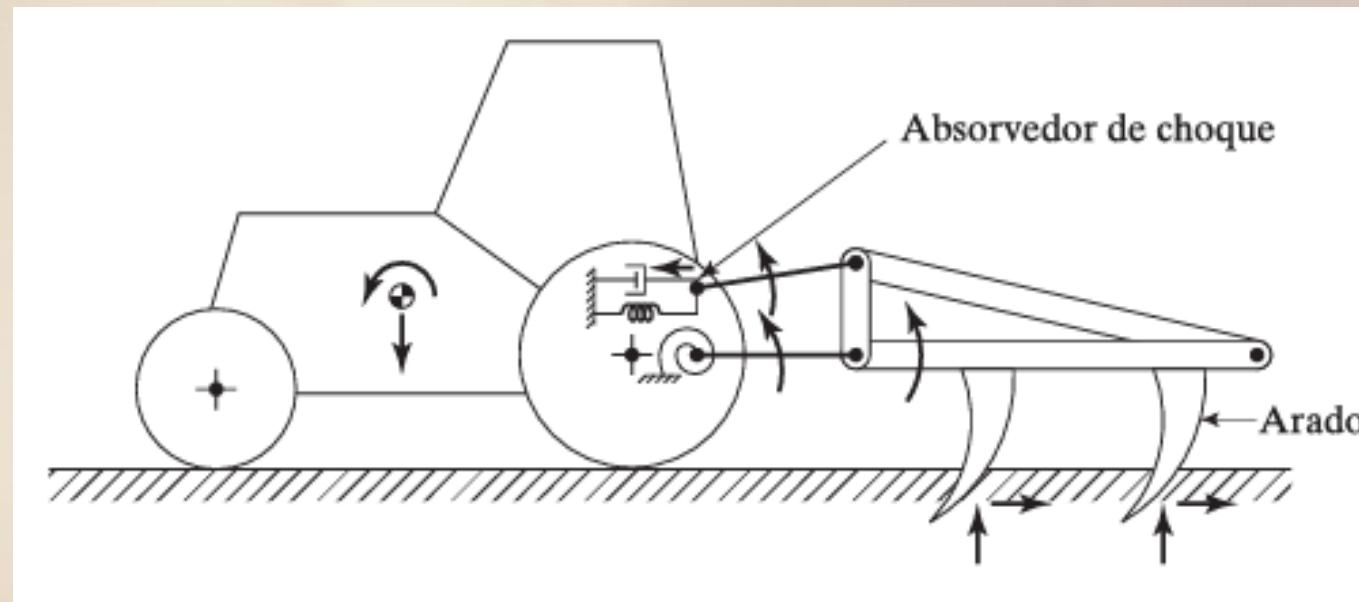




# Exercícios Propostos

Aula 2

5. Desenvolva um modelo esquemático para o trator e arado mostrados na figura. Considere na análise massa, elasticidade amortecimento dos pneus, absorvedores de choque e arado (lâminas).



# Obrigado Pela Atenção

Nos Encontramos na Próxima Aula

