

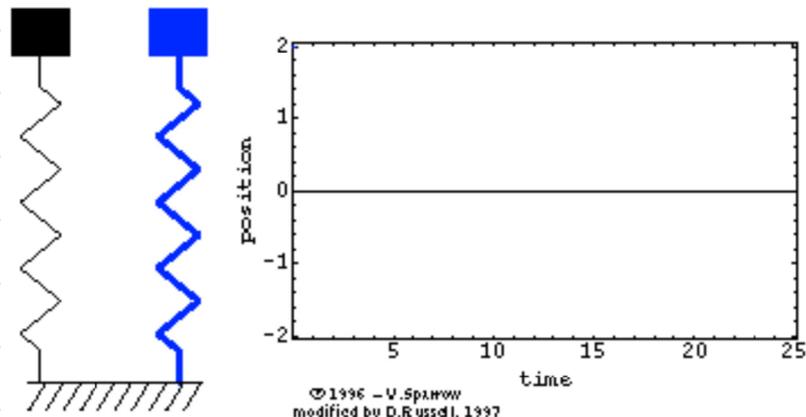


# Molas



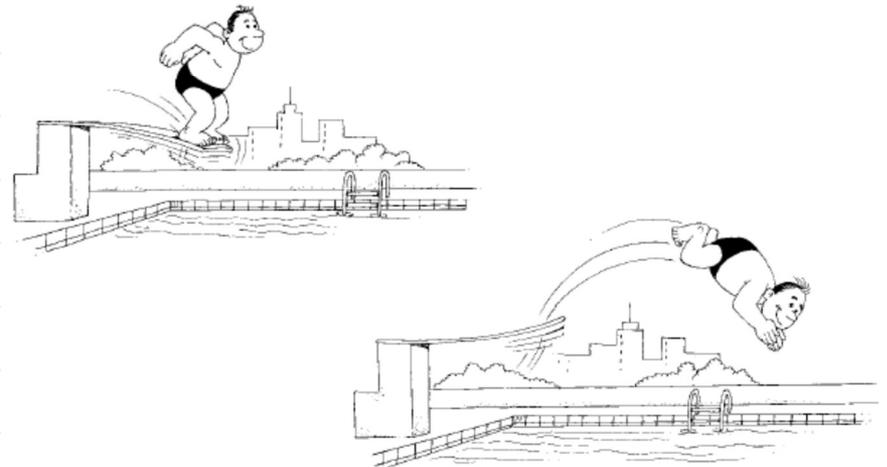
# O que é uma mola???

◆ **Molas** são membros mecânicos projetados para responder à uma carga externa aplicada com relativamente grande quantidade de deflexão elástica, sem ocorrência de deformações plásticas. Isto é, o componente citado deverá voltar a sua forma inicial, sem que ocorra nenhuma deformação permanente.



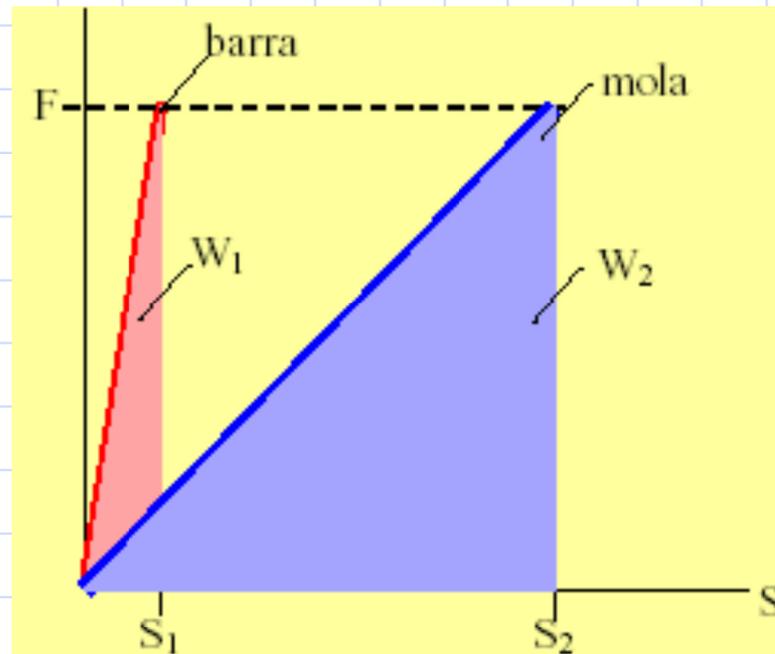
◆ **Todos os corpos** constituídos por materiais elásticos funcionam como molas, deformando-se sob a ação de uma carga (armazenando energia potencial).

Uma mola, possivelmente, terá deformação permanente, após longo tempo de uso ou se estiver mal dimensionada.



# Elementos elásticos: principais características

- ◆ Quando se deseja máxima eficiência dos elementos elásticos, ou seja, por exemplo, máximo trabalho para mínima massa, deve-se, para uma dada força, proporcionar maior deflexão do elemento.



$$W_1 = \frac{1}{2} S_1 \cdot F$$

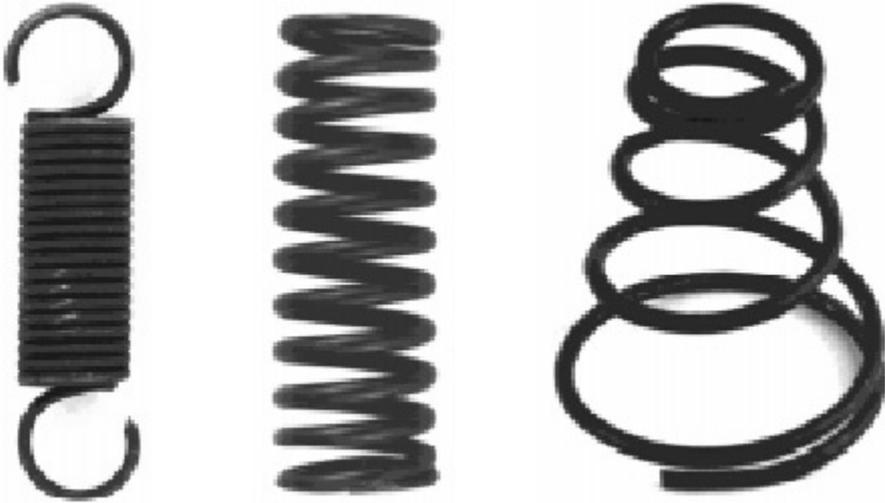
$$W_2 = \frac{1}{2} S_2 \cdot F$$

$$S_2 > S_1 \quad \rightarrow \quad W_2 > W_1$$

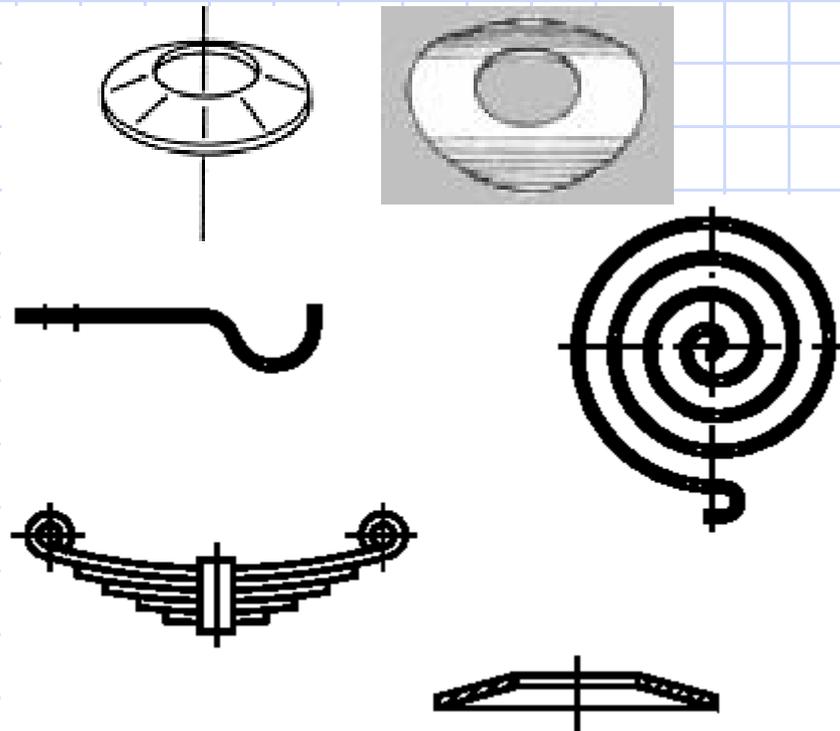
# Quais os tipos de mola?

- ◆ Os diversos tipos de molas podem ser classificados quanto à sua forma geométrica ou segundo o modo como resistem aos esforços.
  - Quanto à forma geométrica, as molas podem ser helicoidais (forma de hélice) ou planas.
  - Quanto ao esforço que suportam, as molas podem ser de tração, de compressão, de flexão ou de torção.

# Quanto à forma...



Molas helicoidais

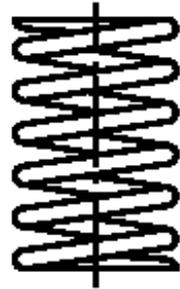
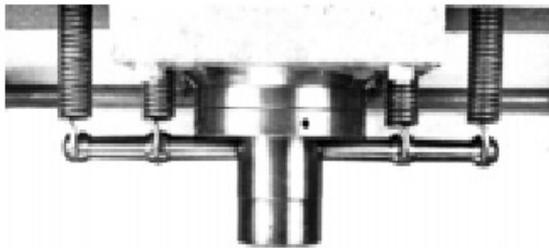


Molas planas

# Quanto aos esforços que resistem...



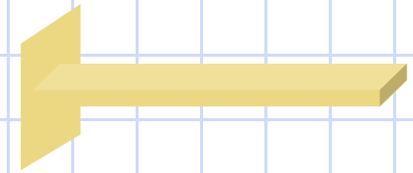
Molas de tração



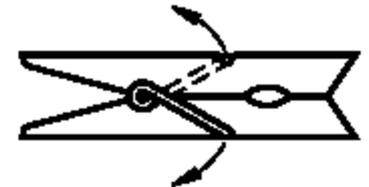
Molas de compressão

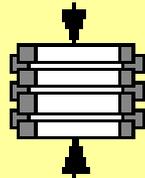
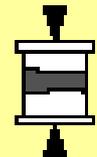
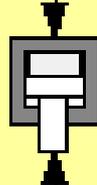
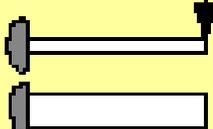
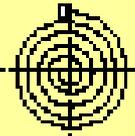
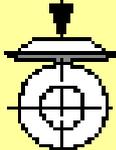
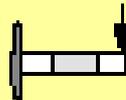
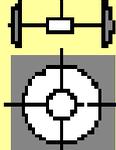
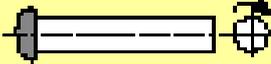
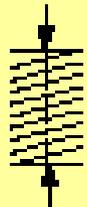
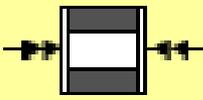
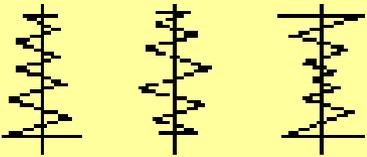


Molas de flexão



Molas de torção



Solicitação	Molas					
	Molas de corpos sólidos				Molas	
	Molas metálicas			Molas não metálicas	de Fluido	de Gás
Tração Compressão	Molas planas de tração 		Mola anular 		Mola de borracha 	só de compressão 
Flexão	Molas de Flexão Plana	Molas de Flexão Helicoidal	Molas de Flexão em formas de Disco	Mola Plana de flexão de plástico	Molas especiais	
	Mola laminar 	Espiral  Torção 	Mola prato 		Mola de membrana 	Tira bi-metalica  Disco bi-metalico 
Torção	Barra de Torção 	Mola helicoidal de compressão 	Mola helicoidal de tração 	Mola de torção em forma de disco 	Molas em forma de cone, de barril e parabólica 	

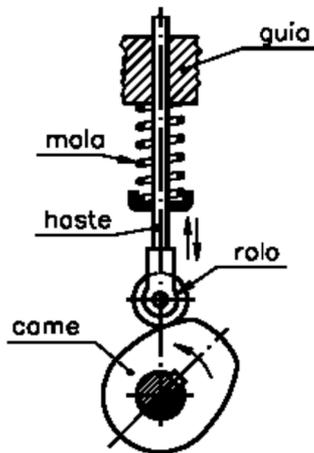
# Onde são usadas as molas?

As molas ou uniões elásticas são usadas para amortecer choques, reduzir ou absorver vibrações e para tornar possível o retorno de um componente mecânico à sua posição primitiva.

Alguns exemplos:

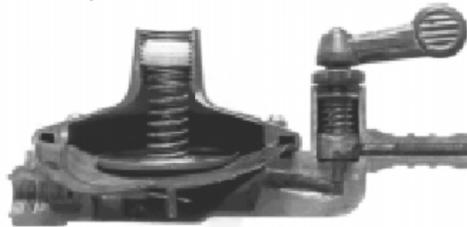
## PRESERVAÇÃO DE JUNTAS OU CONTATOS

preservar peças articuladas, alavancas de contato, vedações, etc... que estejam em movimento.



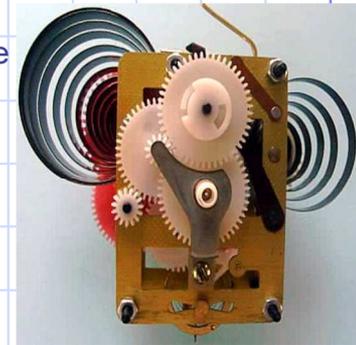
## LIMITADOR DE VAZÃO

regulam a vazão de água em válvulas e registros e a vazão de gás em bujões ou outros recipientes.

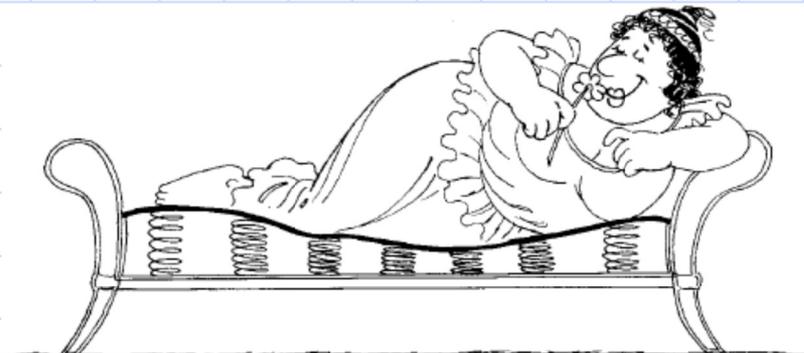


## ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

acionar mecanismos de relógios, de brinquedos, de retrocesso das válvulas de descarga e aparelhos de controle.



## DISTRIBUIÇÃO DE CARGA



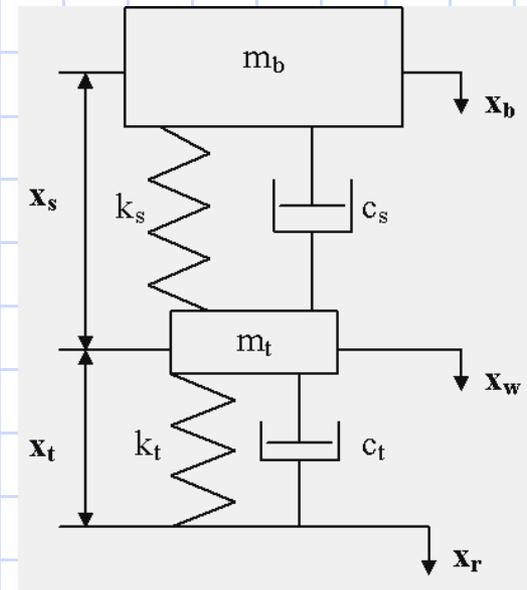
As molas distribuem cargas em estofamentos de poltronas, colchões e veículos em que, por meio de molas, a carga pode ser distribuída pelas rodas.

## AMORTECIMENTO DE CHOQUES

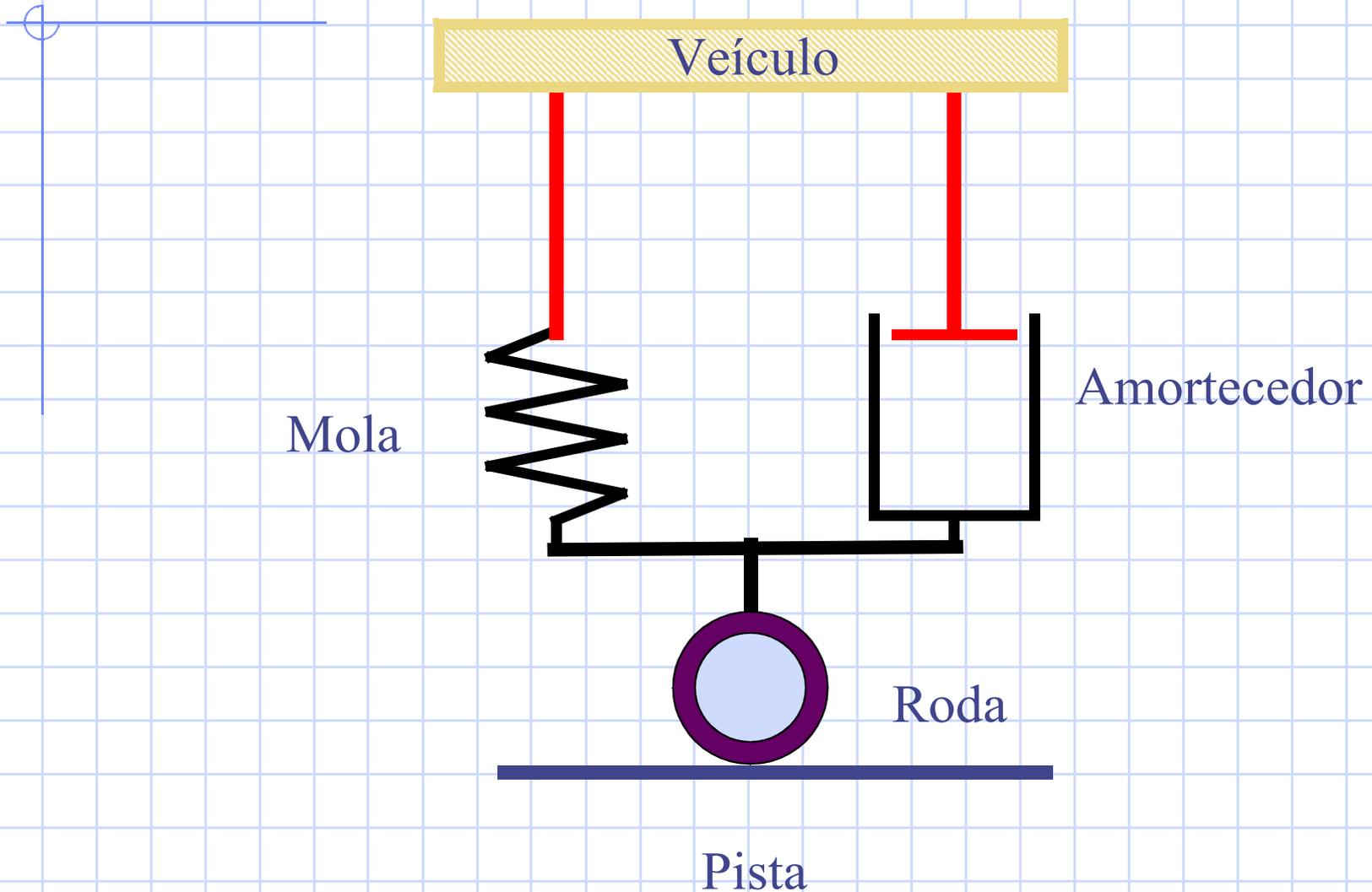


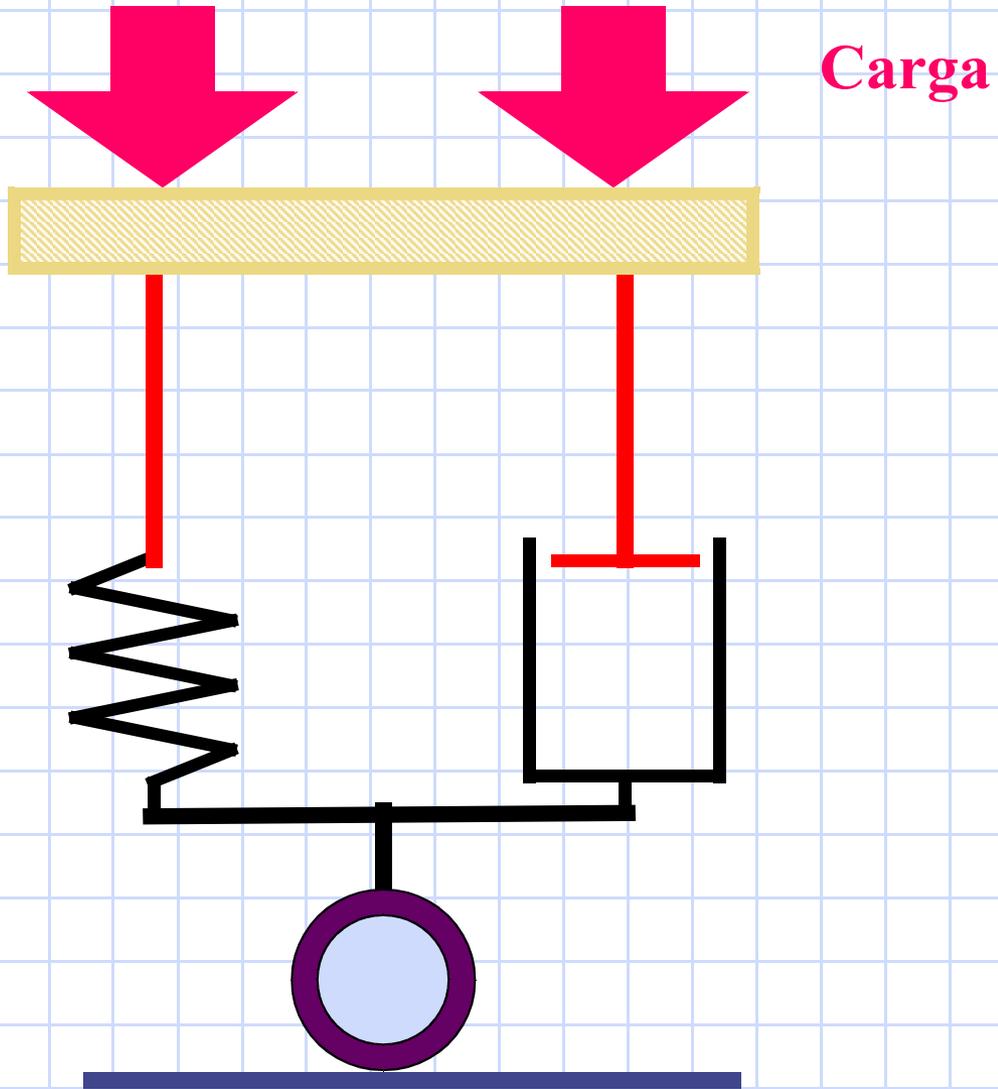
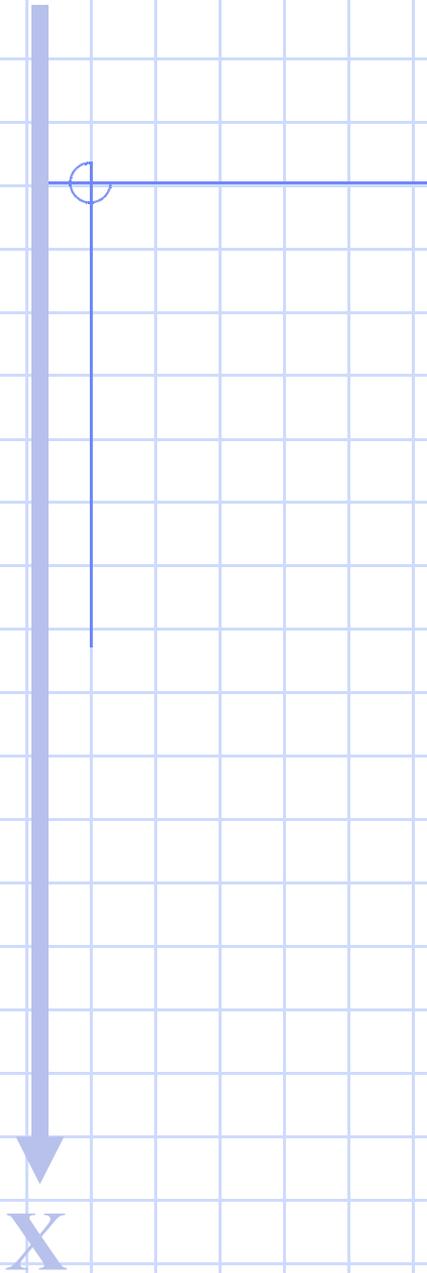
As molas amortecem choques em suspensão e pára-choques de veículos, em acoplamento de eixos e na proteção de instrumentos delicados ou

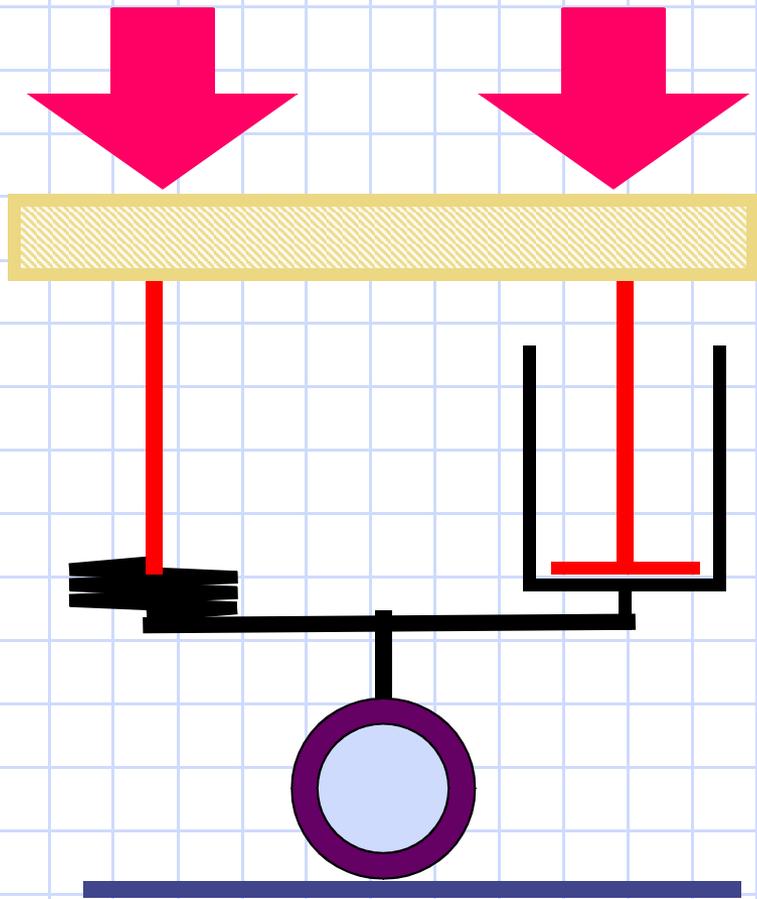
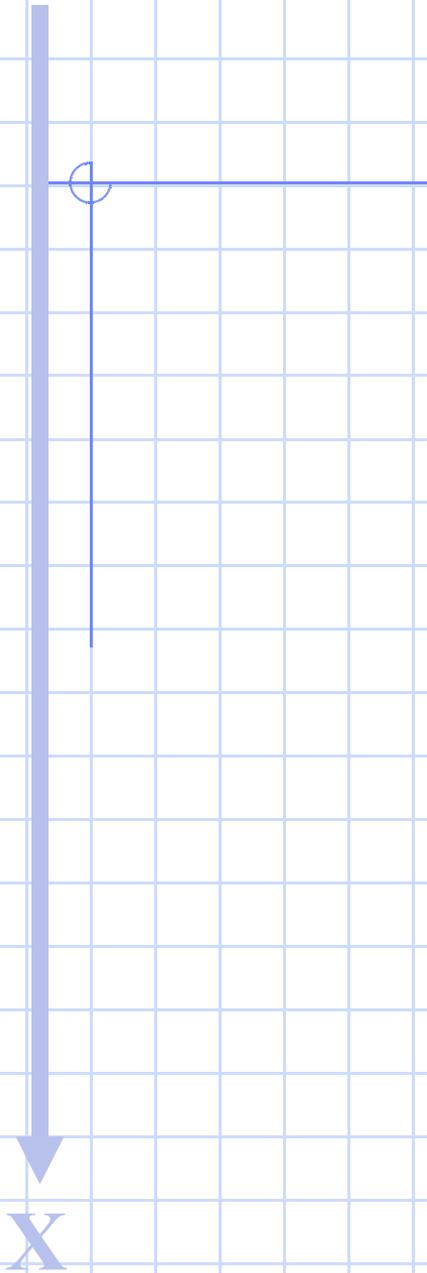
# Suspensão Veicular

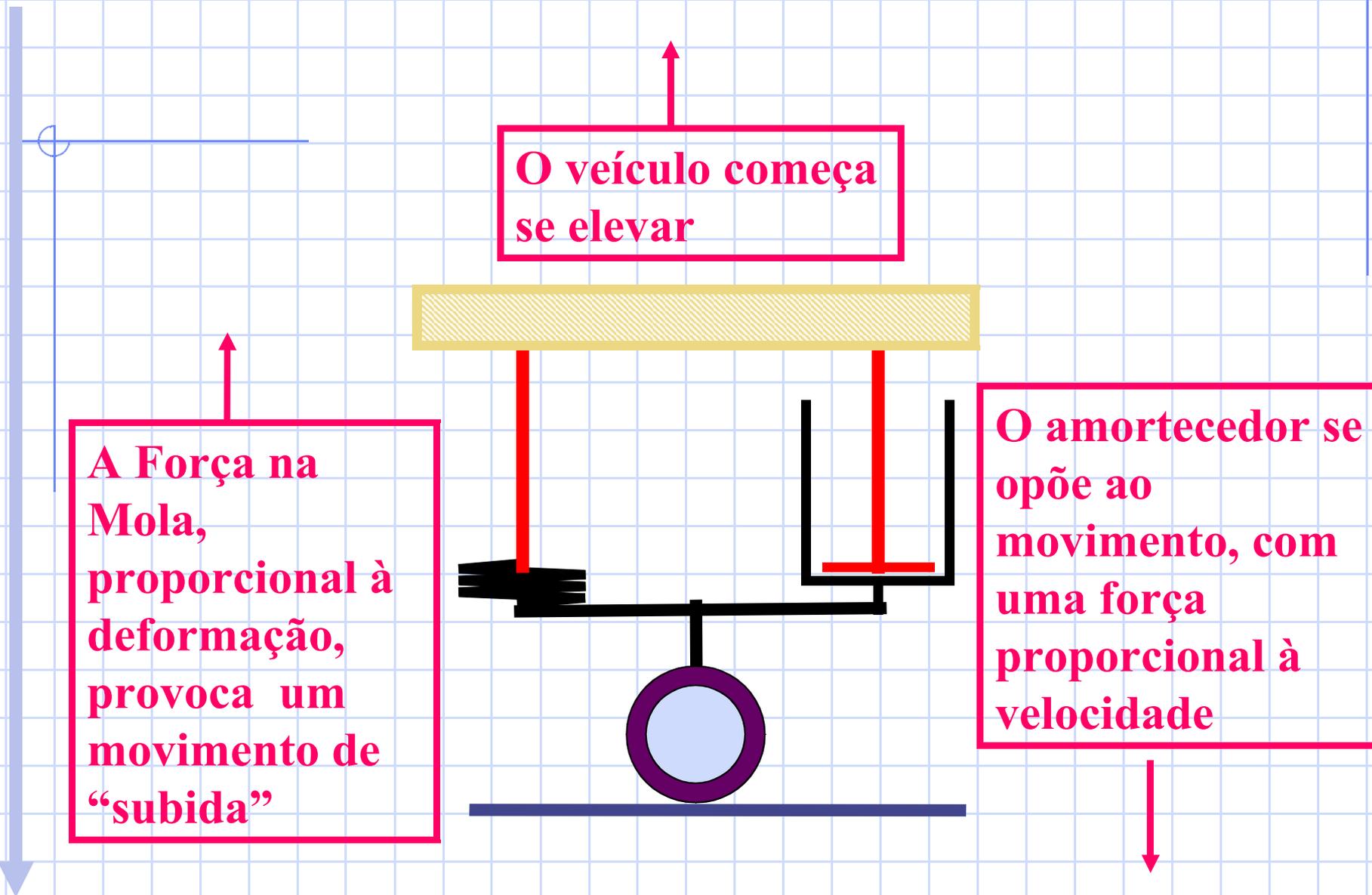


# Modelo de uma Suspensão Veicular





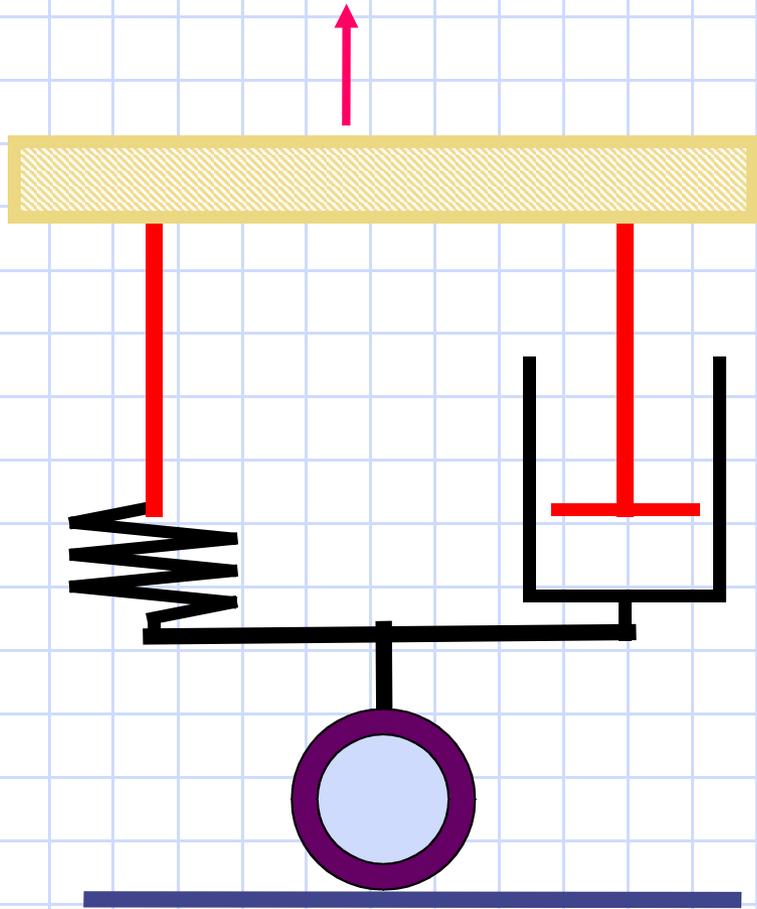
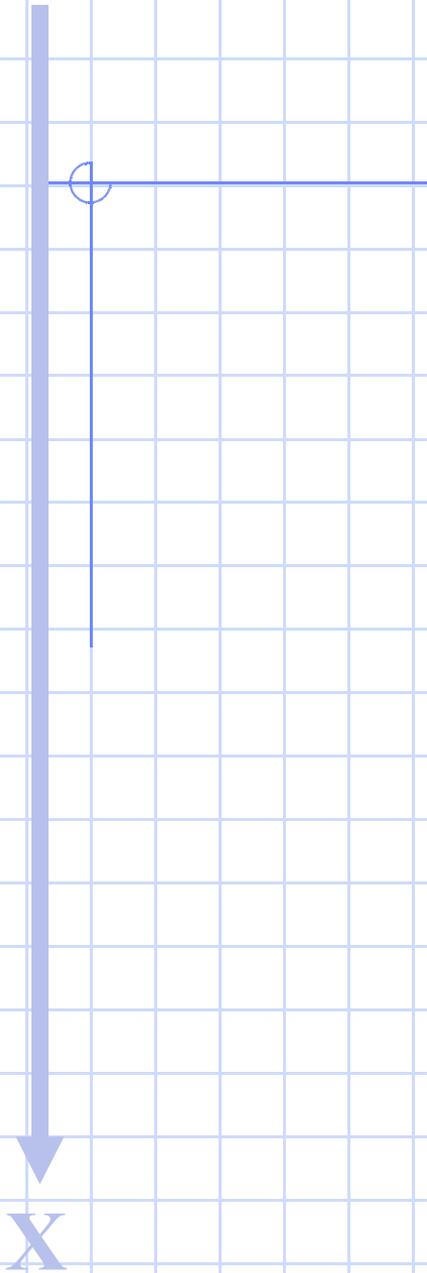


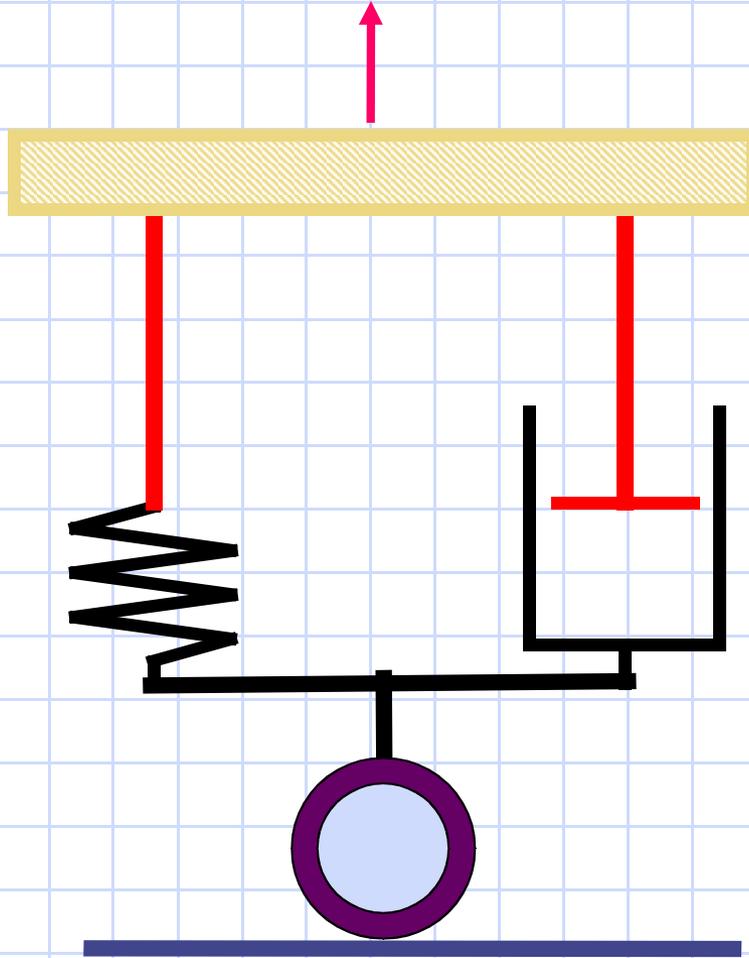
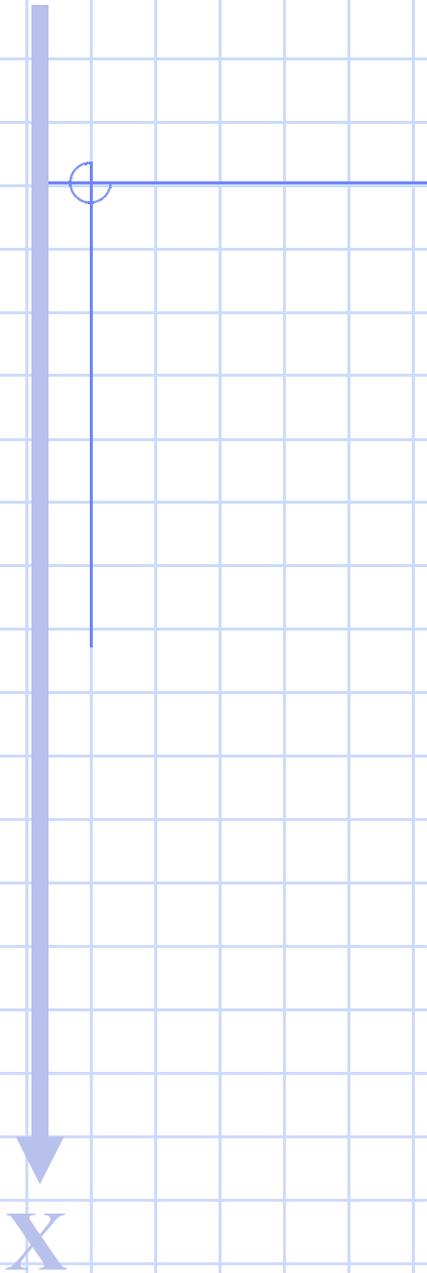


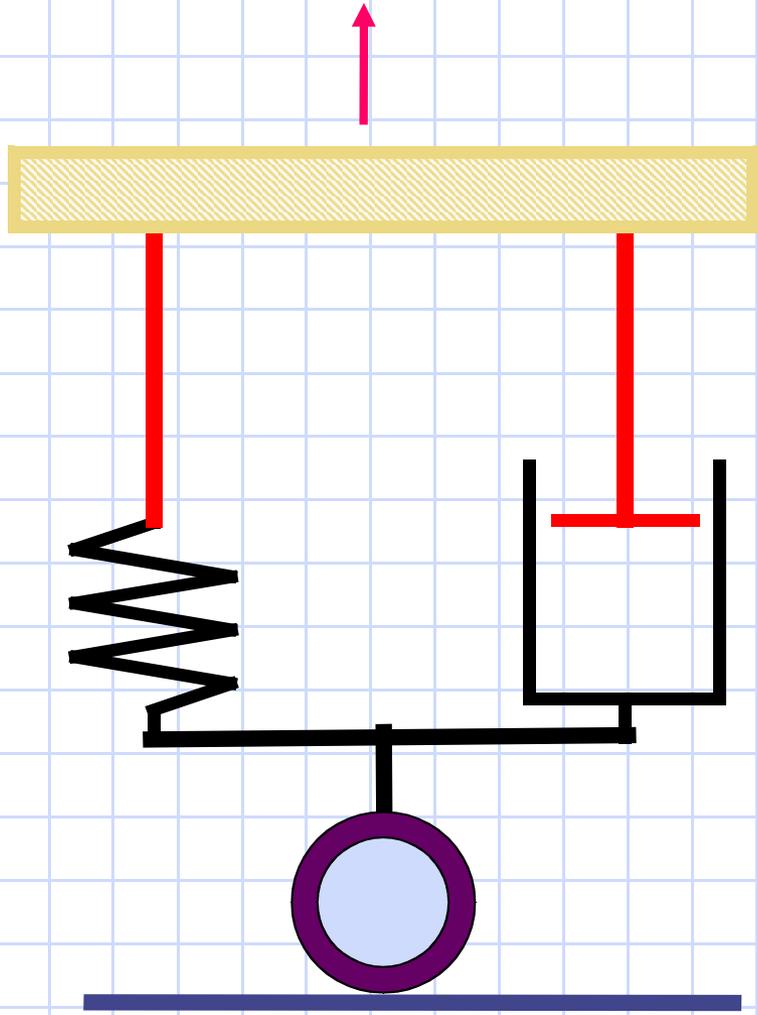
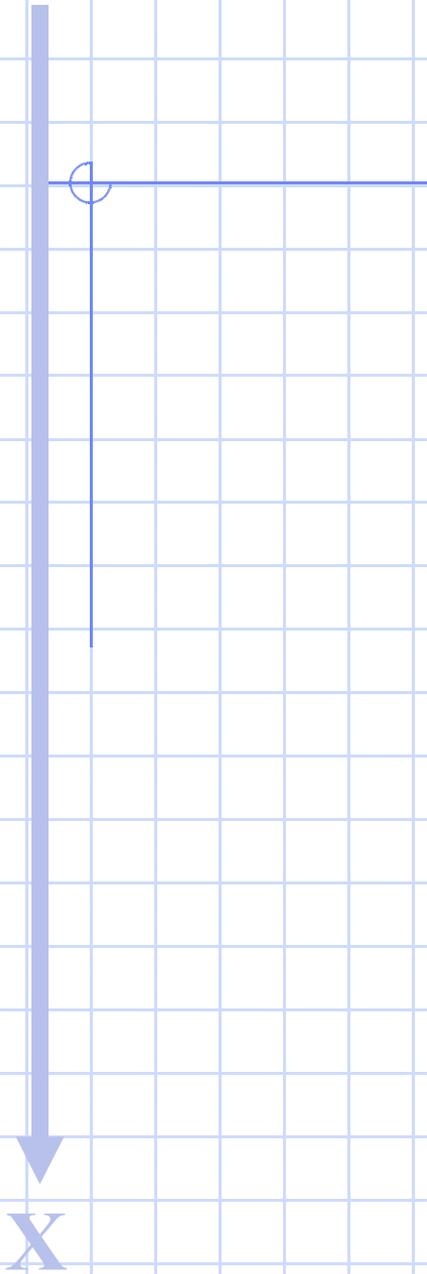
O veículo começa  
se elevar

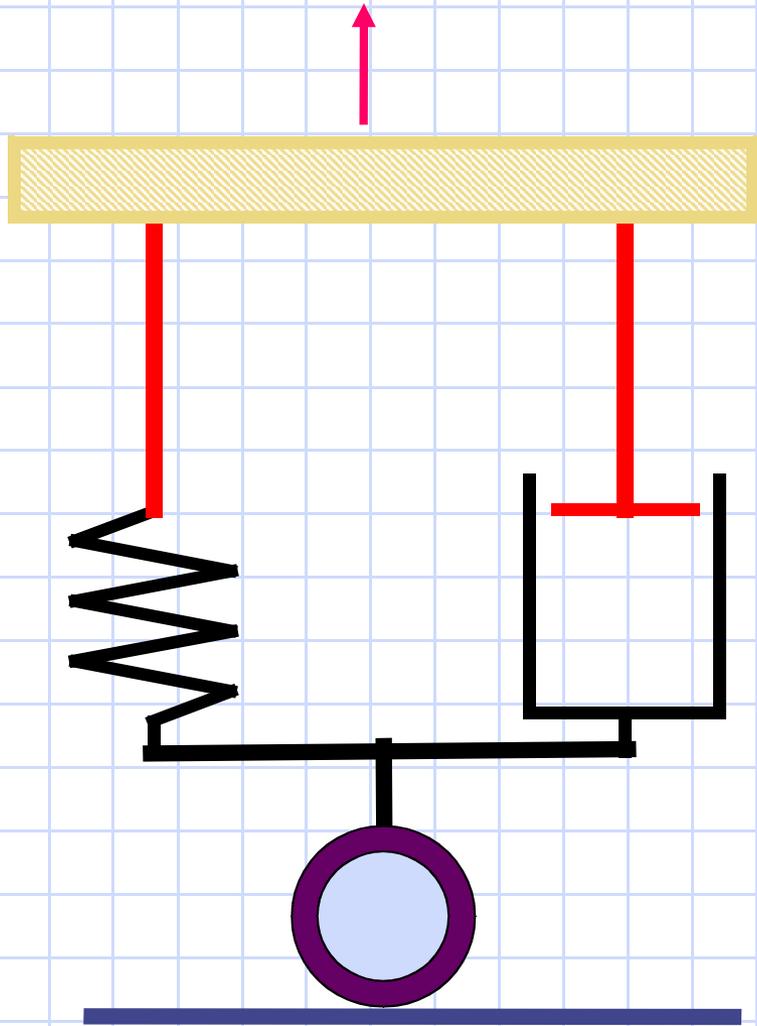
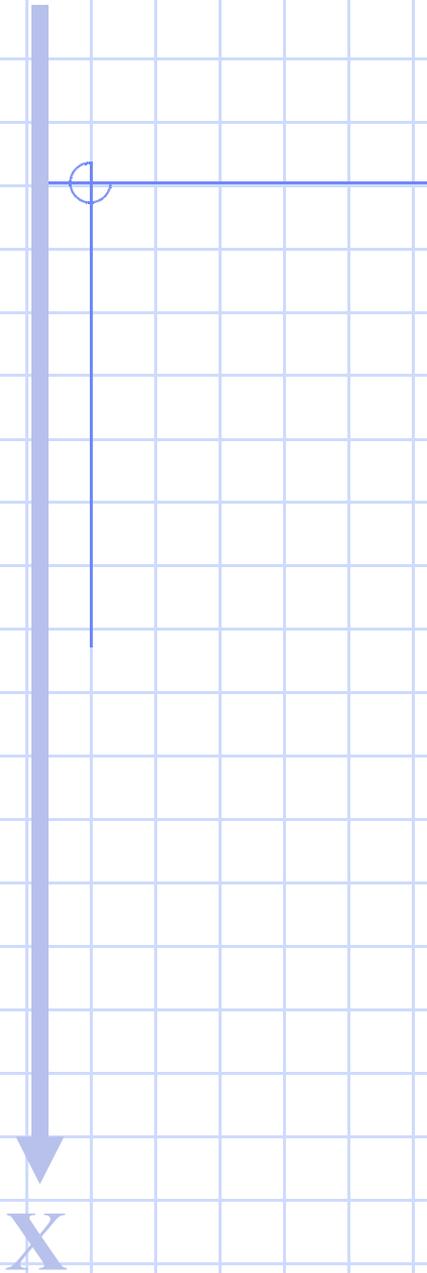
A Força na  
Mola,  
proporcional à  
deformação,  
provoca um  
movimento de  
“subida”

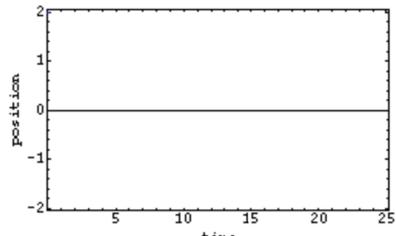
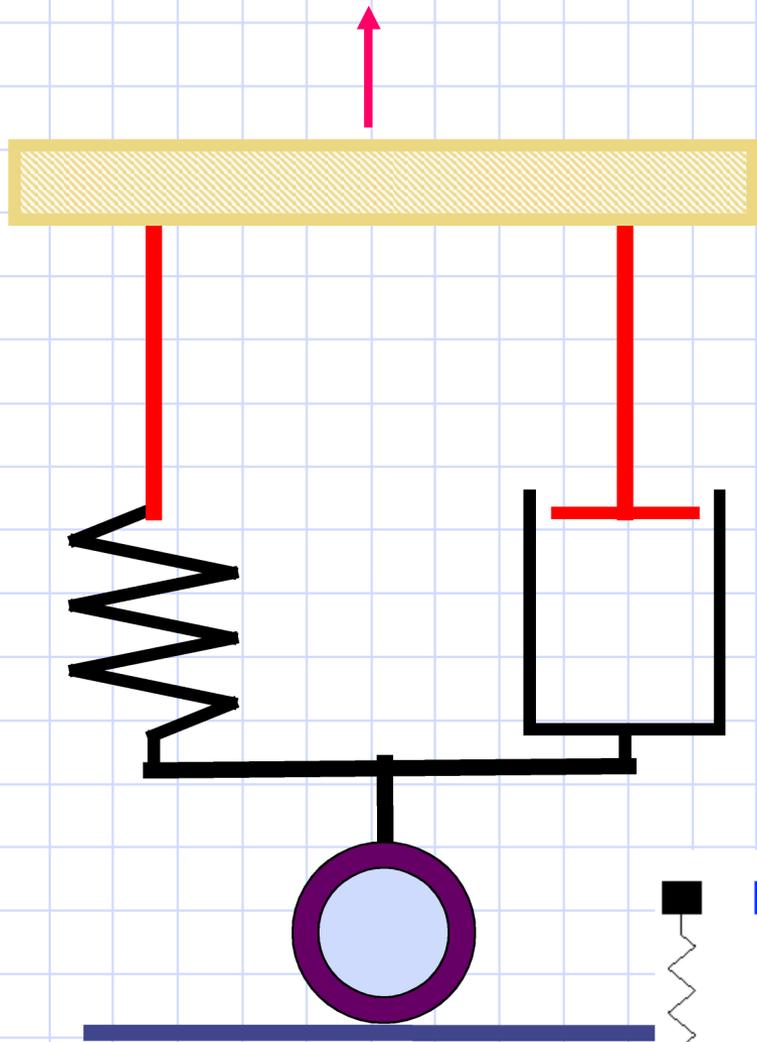
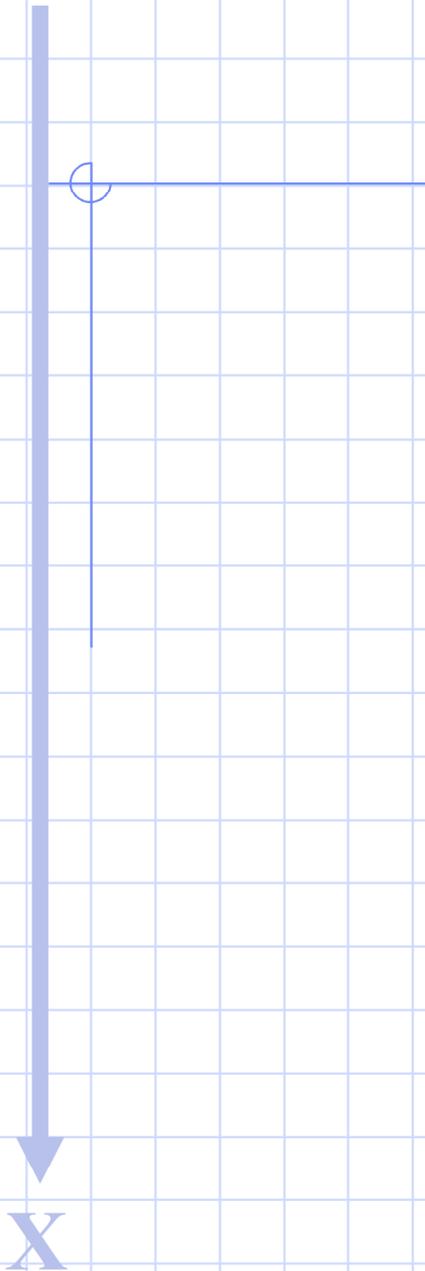
O amortecedor se  
opõe ao  
movimento, com  
uma força  
proporcional à  
velocidade





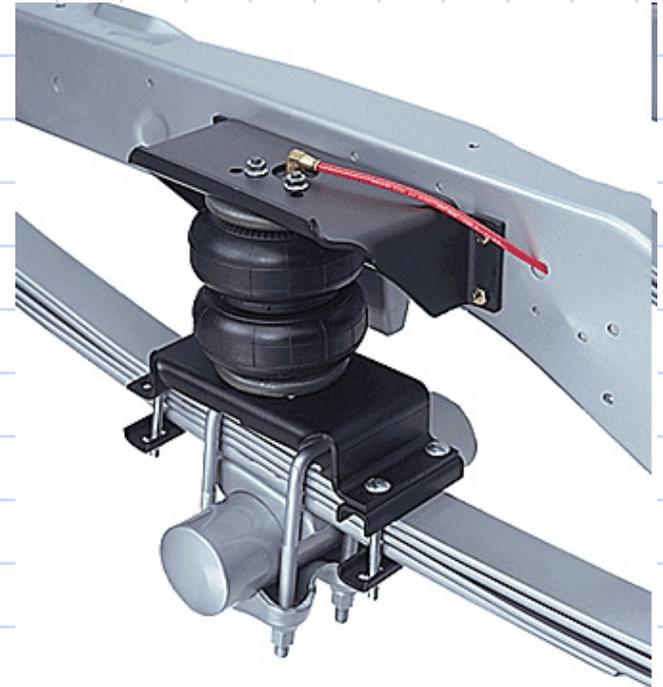
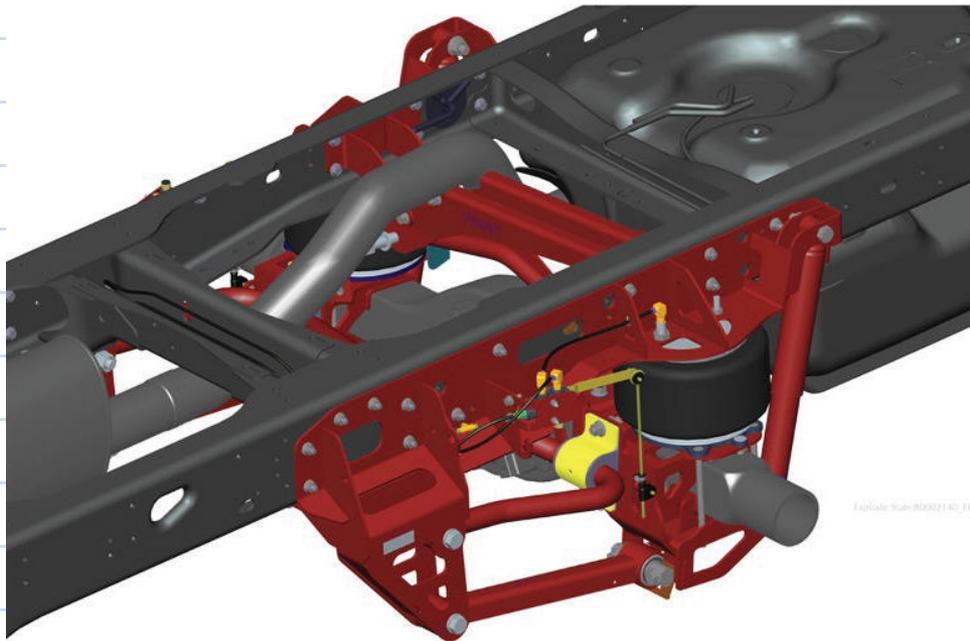
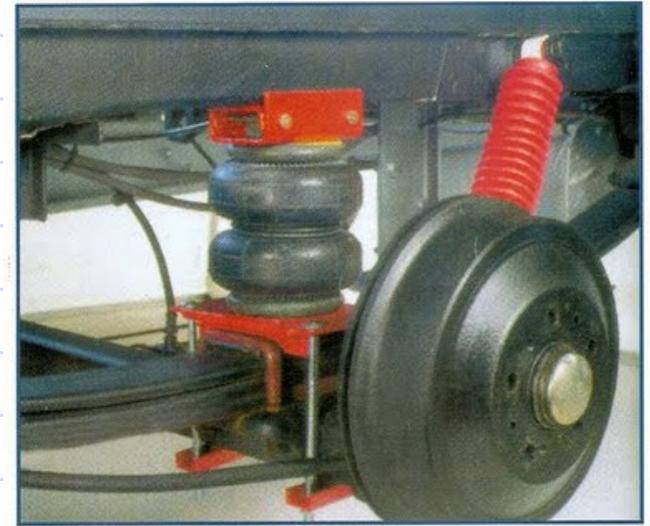






© 1996 - V. Sparrow  
modified by D.R.ussel, 1997

# Suspensão pneumática e mista



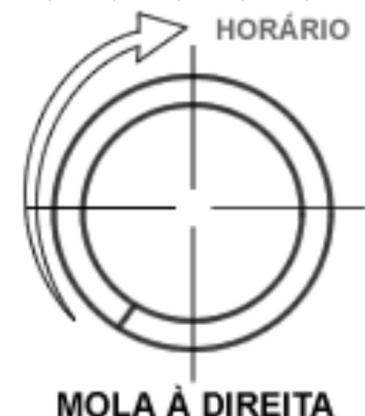
# Suspensão pneumática e mista



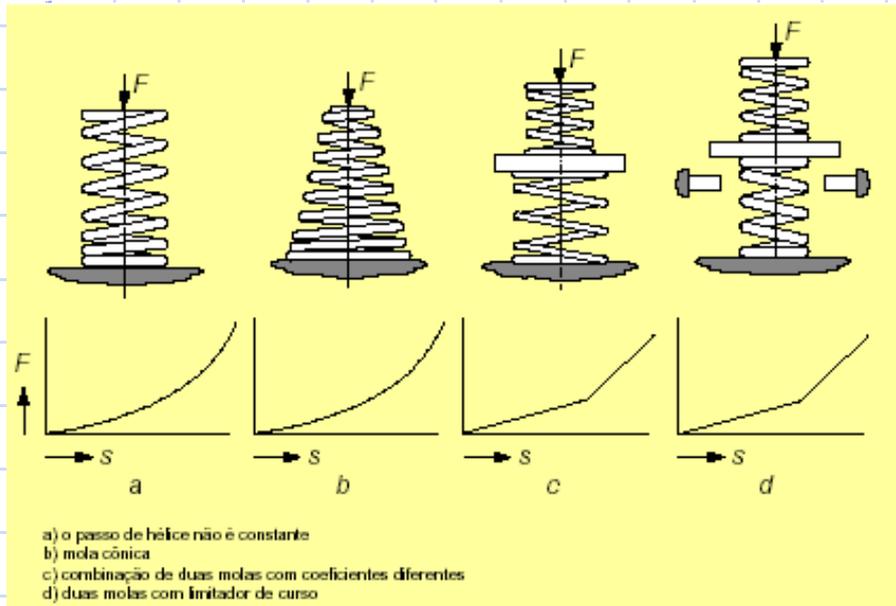
# Sentido de enrolamento de uma mola

Há duas formas de verificar o sentido de enrolamento de uma mola.

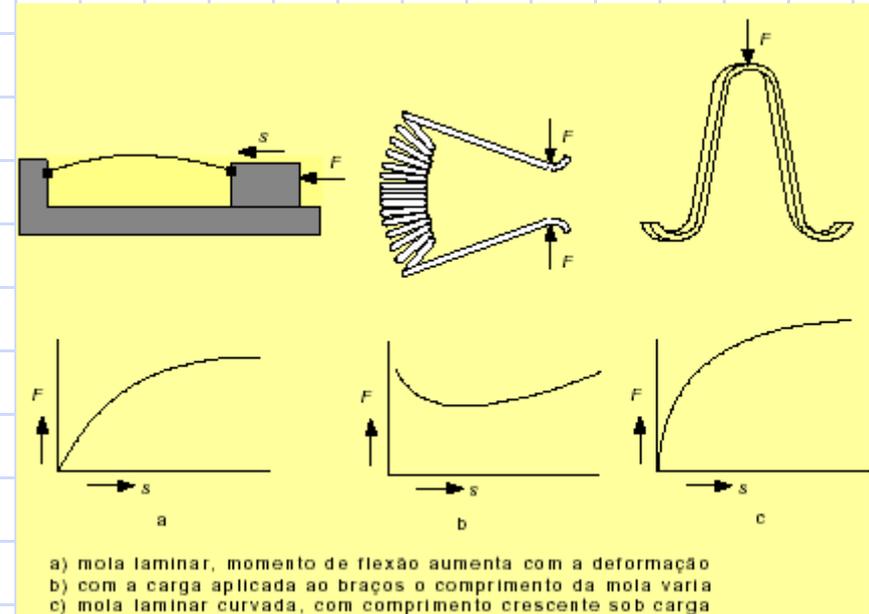
- Com as mãos, esquerda e direita, devem coincidir com o sentido de enrolamento da mola.
- Verifica-se o sentido de enrolamento conforme o sentido de desenvolvimento da espira.



# Molas progressivas



## Molas não lineares



# Molas de Flexão

Tensões em flexão:

$$\sigma_f = M_f / W$$

$W = J/y = bh^2/6$ , onde:

$M_f$  = Momento Fletor

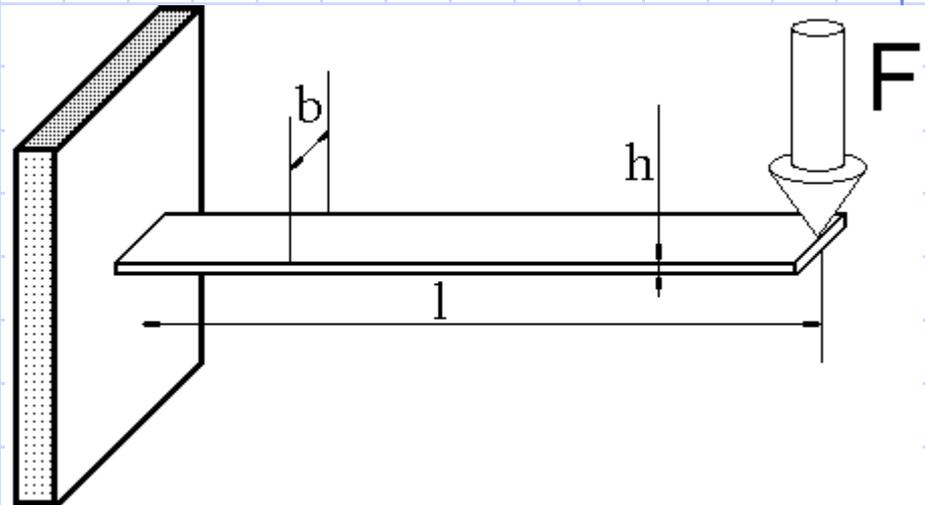
$W$  = módulo de resistência

$J$  = momento de inércia da secção

$y$  = distância da linha neutra

$$\sigma_f = 6 \cdot (F \cdot l) / bh^2$$

$\sigma_f$  = f(comprimento)



# Molas de Flexão

Condição para minimizar a massa:

-  $\sigma_f$  constante em toda a mola

Em uma seção X temos:

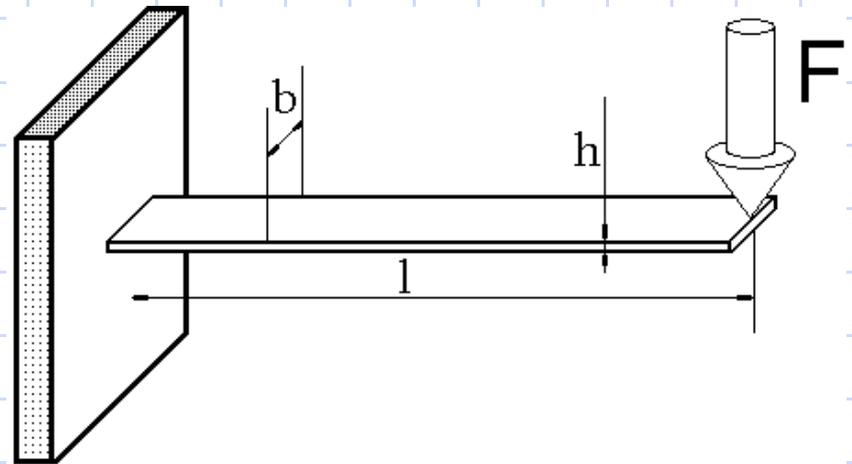
$$\sigma_f = [6 \cdot (F \cdot l_x) / b_x h_x^2] = K$$

$$\text{Logo } [l_x / b_x h_x^2] = K$$

Alterar a geometria : b ou h ?

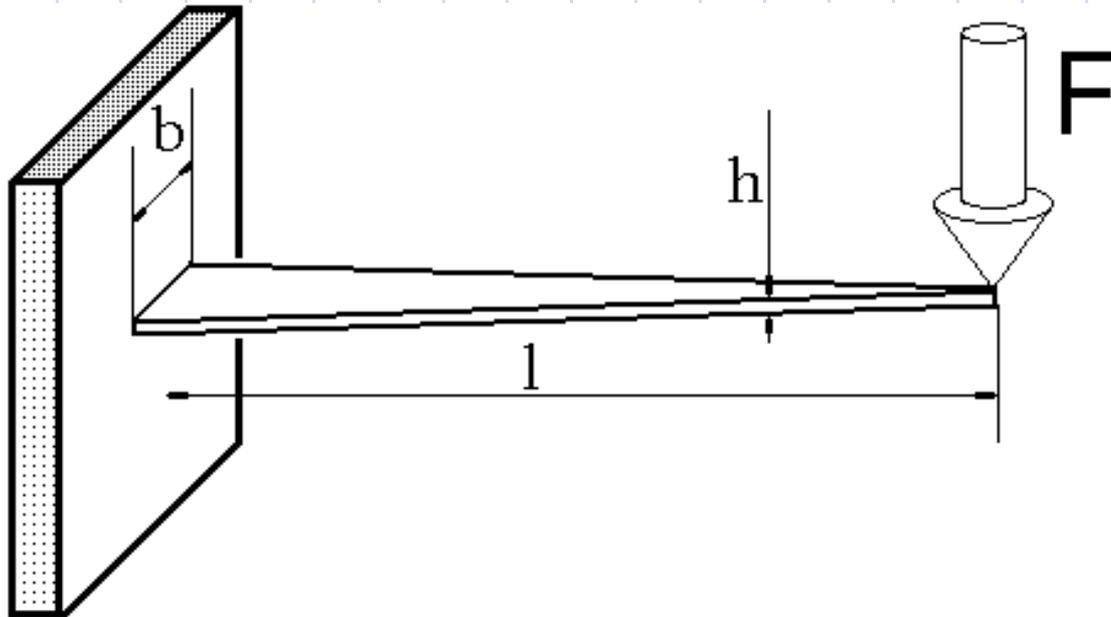
Supondo  $h_x = \text{cte} = h \Rightarrow$

$$b_x = b \cdot l_x / l$$



# Molas de Flexão

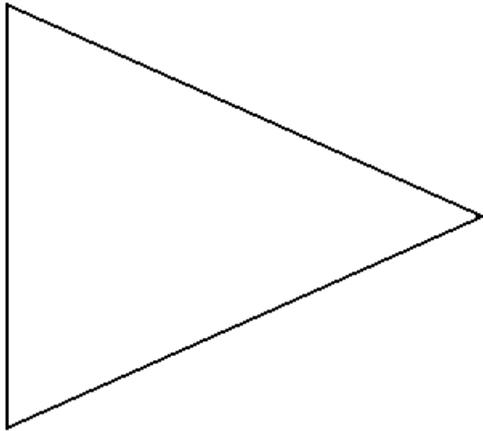
Configuração para  $\sigma_f = \text{cte} \Rightarrow$  mínima massa



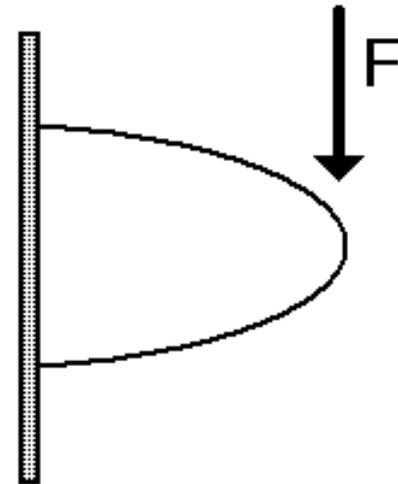
# Molas de Flexão

Molas de Flexão de Tensão Constante

Espessura  $h = \text{cte}$



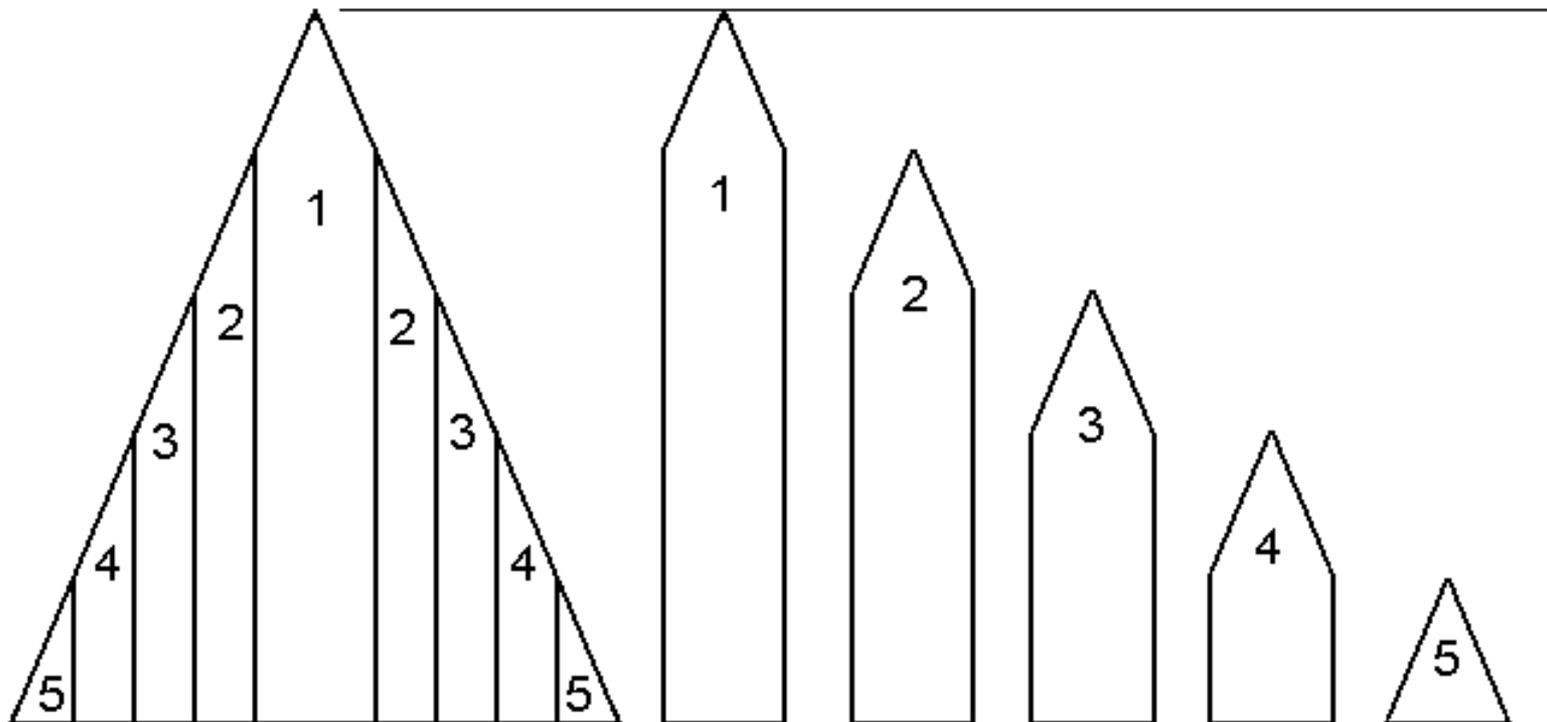
Largura  $b = \text{cte}$



# Molas de Flexão

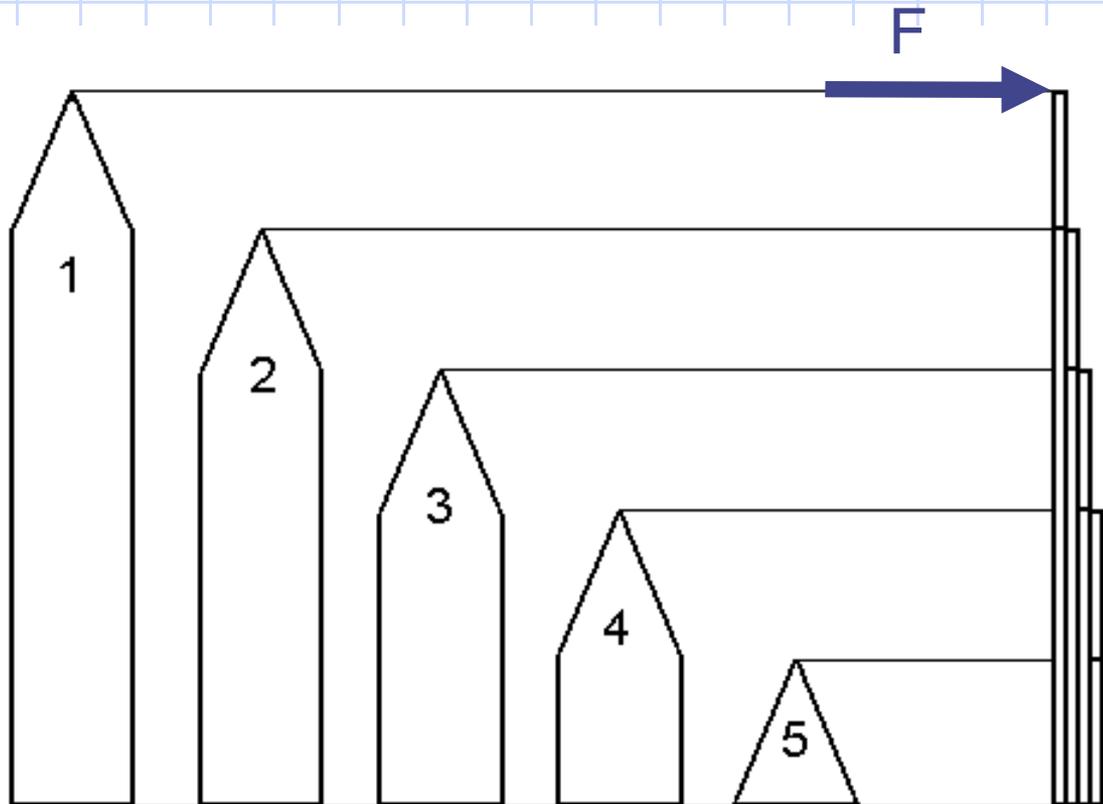
Molas de Flexão de Tensão Constante

Espessura  $h = \text{cte}$



# Molas de Flexão

Molas de Flexão de Tensão Constante – FEIXE DE MOLAS



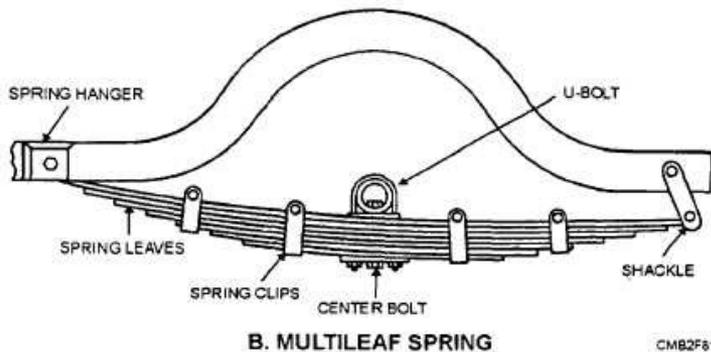
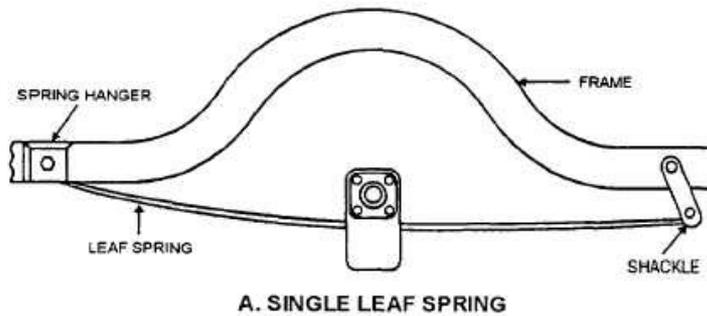
# Molas de Flexão

Molas de Flexão de Tensão Constante – FEIXE DE MOLAS



# Molas de Flexão

## Molas de Flexão de Tensão Constante – FEIXE DE MOLAS



Constante Elástica:

Deslocamento:

$$d = (6.F.l^3)/(E.b.h^3)$$

$$k = F/d = (E.b.h^3)/(6.l^3)$$

# Molas de Flexão



# Mola de compressão (torção)

$D_e$ : diâmetro externo

$D_i$ : diâmetro interno

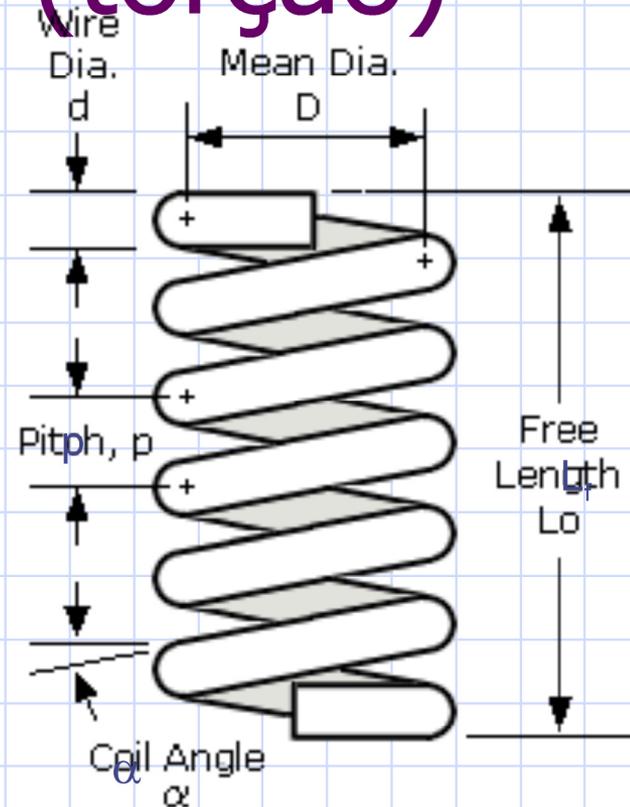
$L_f$ : comprimento da mola

$d$ : diâmetro da seção do arame;

$p$ : passo da mola;

$n$ : número de espiras.

$$D = D_i + d/2$$



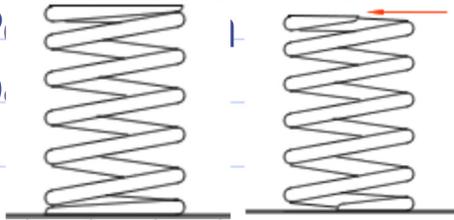
**Passo** é a distância entre os centros de duas espiras consecutivas. A distância entre as espiras é medida paralelamente ao eixo da mola.

# Como se conta o número de espiras

Fonte: <http://www.webmolas.com.br/faq/faq.asp>

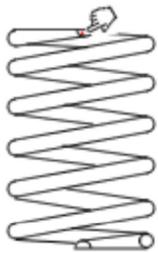


P  
p

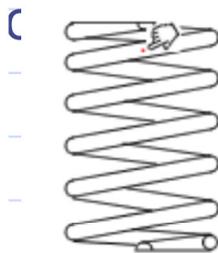


vertical, com o começo da espira virado

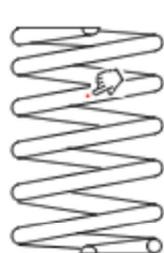
Aqui começa a mola...



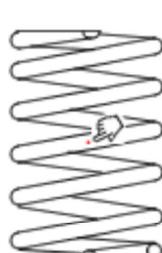
Esta é a primeira espira.



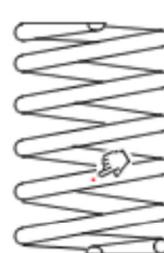
E esta é a segunda...



... a terceira espira...



... a quarta...



... a quinta...

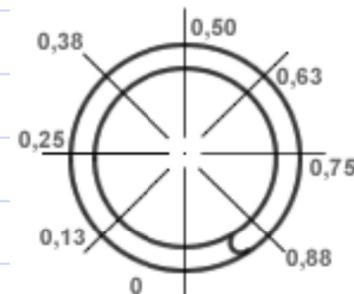
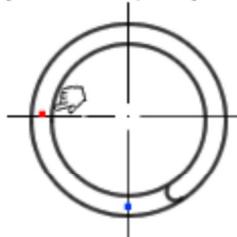


... e finalmente a sexta e última espira.



Conte as frações de espira

Imaginando-se que a última espira termine na marca azul. Aqui teríamos 0,25 espira.



# Comprimento e deflexão de molas

- ◆  $L_f$ : **comprimento livre** - comprimento global da mola na condição descarregada
- ◆  $L_a$ : **comprimento montado** - comprimento da mola depois de instalada à deflexão inicial  $\delta_0$  (pré carga)
- ◆  $\delta_{\text{trab}}$ : **deflexão de trabalho** – deflexão da mola em trabalho (carga de trabalho)
- ◆  $L_m$ : **comprimento mínimo de trabalho** - é a menor dimensão da mola quando em serviço (carga máxima)
- ◆  $L_s$ : **comprimento fechado ou altura sólida** - seu comprimento quando todas as espiras se tocarem.
- ◆  $\delta_{\text{int}}$ : **limite de interferência** – diferença entre comprimento mínimo de trabalho e altura fechada, expresso como uma porcentagem da deflexão de trabalho. Recomendado: 10-15% como valor mínimo de interferência.

# Requisitos básicos de um projeto de molas

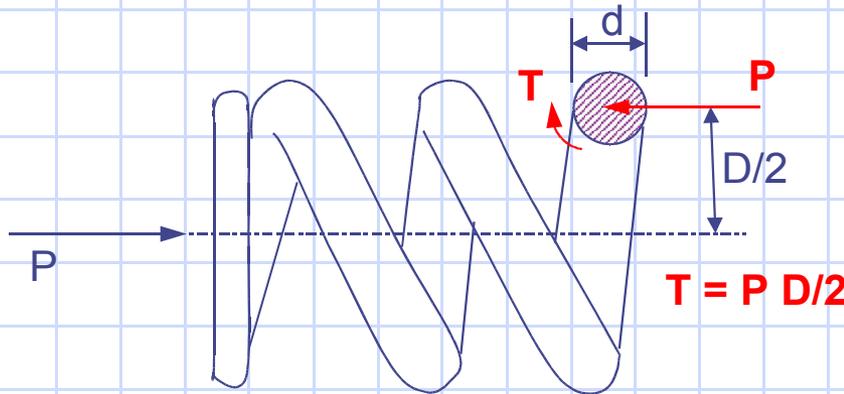
- ◆ Satisfazer a função de maneira econômica
- ◆ Alta confiabilidade
- ◆ Sempre que possível, baixo peso, volume e comprimento
- ◆ Nível de tensão deve estar abaixo do limite de escoamento do material
- ◆ Sob ação da carga máxima, a mola não deve ser comprimida até o estado sólido:  $F_{\text{sólido}} = 1,1F_{\text{max}}$
- ◆ Deve sempre ser mantida uma folga, da ordem de 10% do diâmetro externo da mola, entre a mola e a parede que a guia
- ◆ Sob ação de carregamento dinâmico, a frequência natural da mola não deve coincidir com a frequência natural do carregamento.

# Critérios de falha

- ◆ Escoamento: nível de tensão deve estar abaixo do limite de escoamento do material.
- ◆ Fadiga: tensão média sempre diferente de zero (pré carga) e quase nunca são usadas em carregamento reverso.
- ◆ Flambagem: molas em compressão atuam como colunas e o caso de instabilidade deve ser considerado
- ◆ Freqüência natural: a mola, como todo elemento estrutural que trabalha dinamicamente, deve ter freqüência natural diferente da freqüência de serviço.

# Tensões

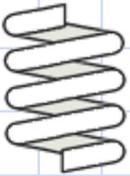
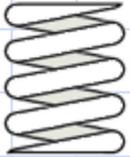
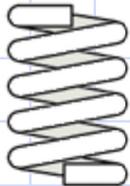
As tensões são de cisalhamento: composição das tensões de cisalhamento devido à torção e ao cisalhamento puro.



$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$

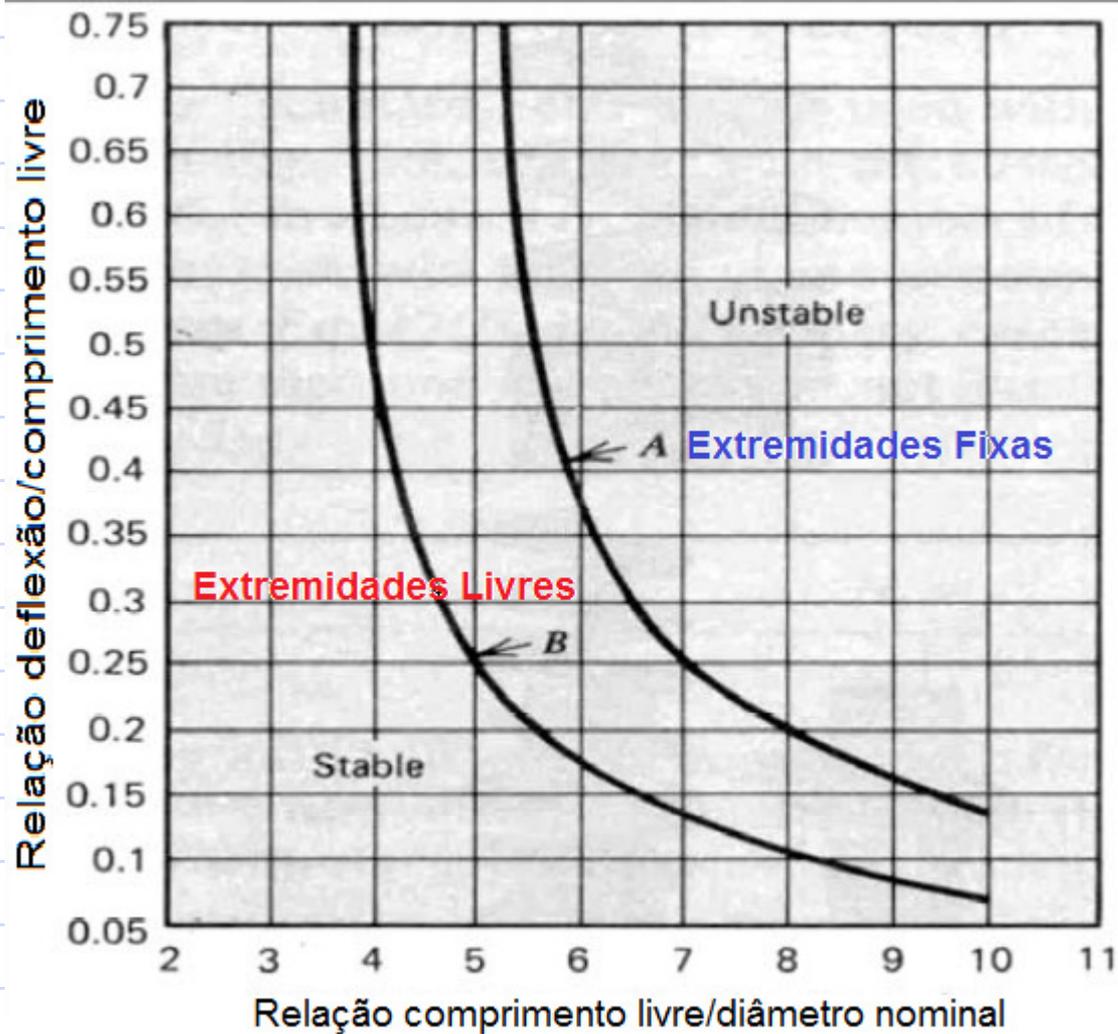
$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$



Termo	Tipo de extremidade			
	Simples	Esmerilhada	Conformada	Esmerilhada e conformada
				
Espiras da extremidade	0	1	2	2
Espiras ativas, $n_a$	$n_t$	$n_t - 1$	$n_t - 2$	$n_t - 2$
Comprimento livre, $L_f$	$n_a p + d$	$p(n_a + 1)$	$n_a p + 3d$	$n_a p + 2d$
Comprimento fechado, $L_s$	$(n_a + 1)d$	$(n_a + 1)d$	$(n_a + 3)d$	$(n_a + 2)d$
Passo, $p$	$(L_o - d)/n_a$	$L_o/(n_a + 1)$	$(L_o - 3d)/n_a$	$(L_o - 2d)/n_a$

$n_t$ : número total de espiras

# Flambagem



# Freqüência natural

$$f_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{kg}{W_a}}$$

$k$ : constante da mola

$g$ : constante gravitacional

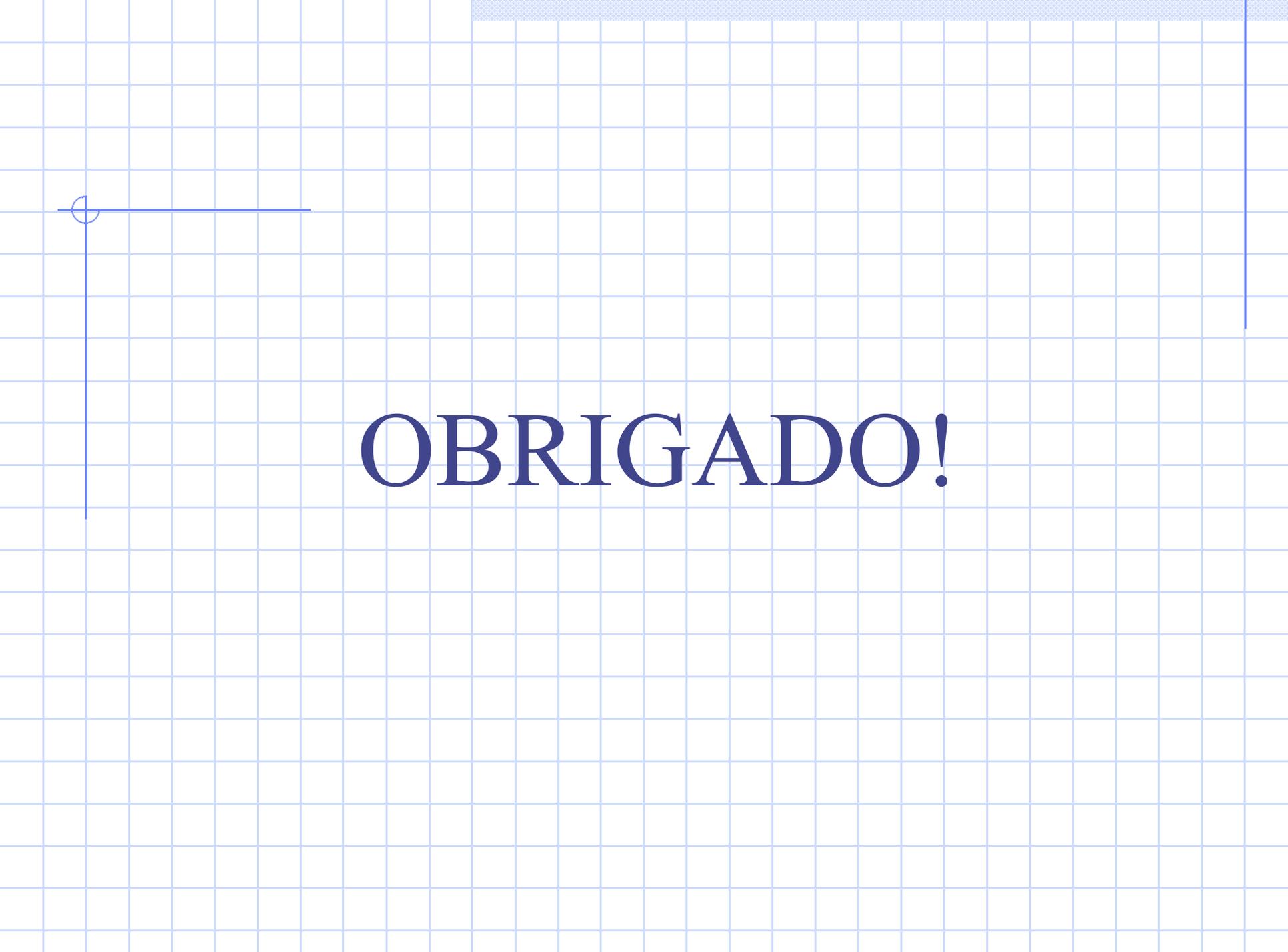
$$W_a = \frac{\pi^2 d^2 D n_a \gamma}{4}$$

peso das espiras ativas da mola

$\gamma$  é a densidade do material

# Projeto

- ◆ Usualmente, o projeto de molas inicia-se por:
- ◆ definição do diâmetro do arame
- ◆ do diâmetro da mola
- ◆ o número de espiras, que tem como restrição o valor exigido para a constante elástica  $k$  da mola.
- ◆ por último, define-se o comprimento livre da mola e verifica-se a possibilidade da ocorrência de flambagem e vibração.

The image features a light blue grid background. In the top-left corner, there is a decorative element consisting of a horizontal line and a vertical line meeting at a small circle. A vertical line also runs along the right edge of the page. The word "OBRIGADO!" is centered in a dark blue, serif font.

**OBRIGADO!**