

# TM053

## Fundamentos de Dinâmica Veicular



### Capítulo 1

### Características dos Pneus

Referência:

Nicolazzi, Lauro Cesar. **Uma introdução à modelagem quase-estática de automóveis.**

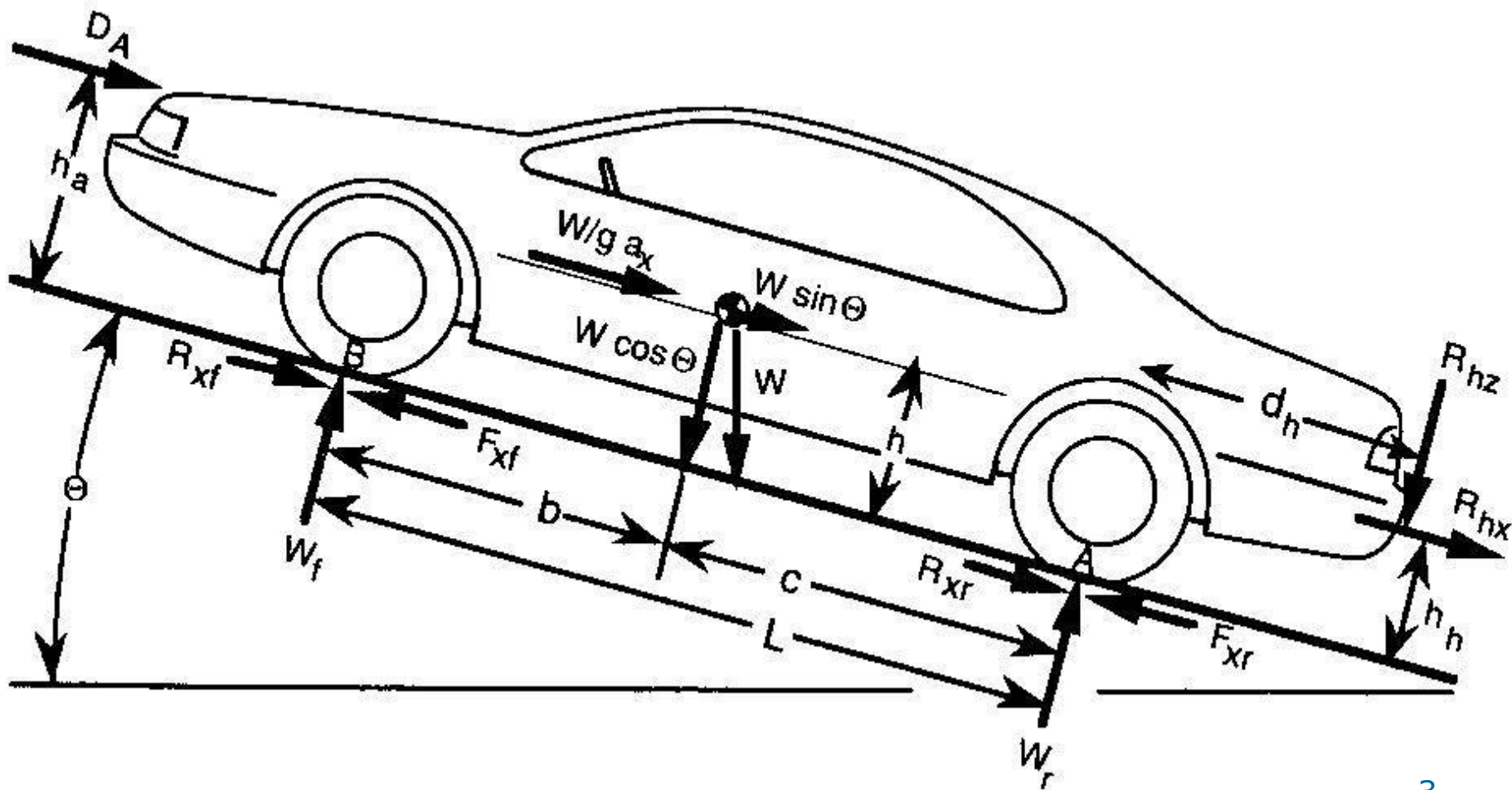
Publicação interna do GRANTE, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC.

2012

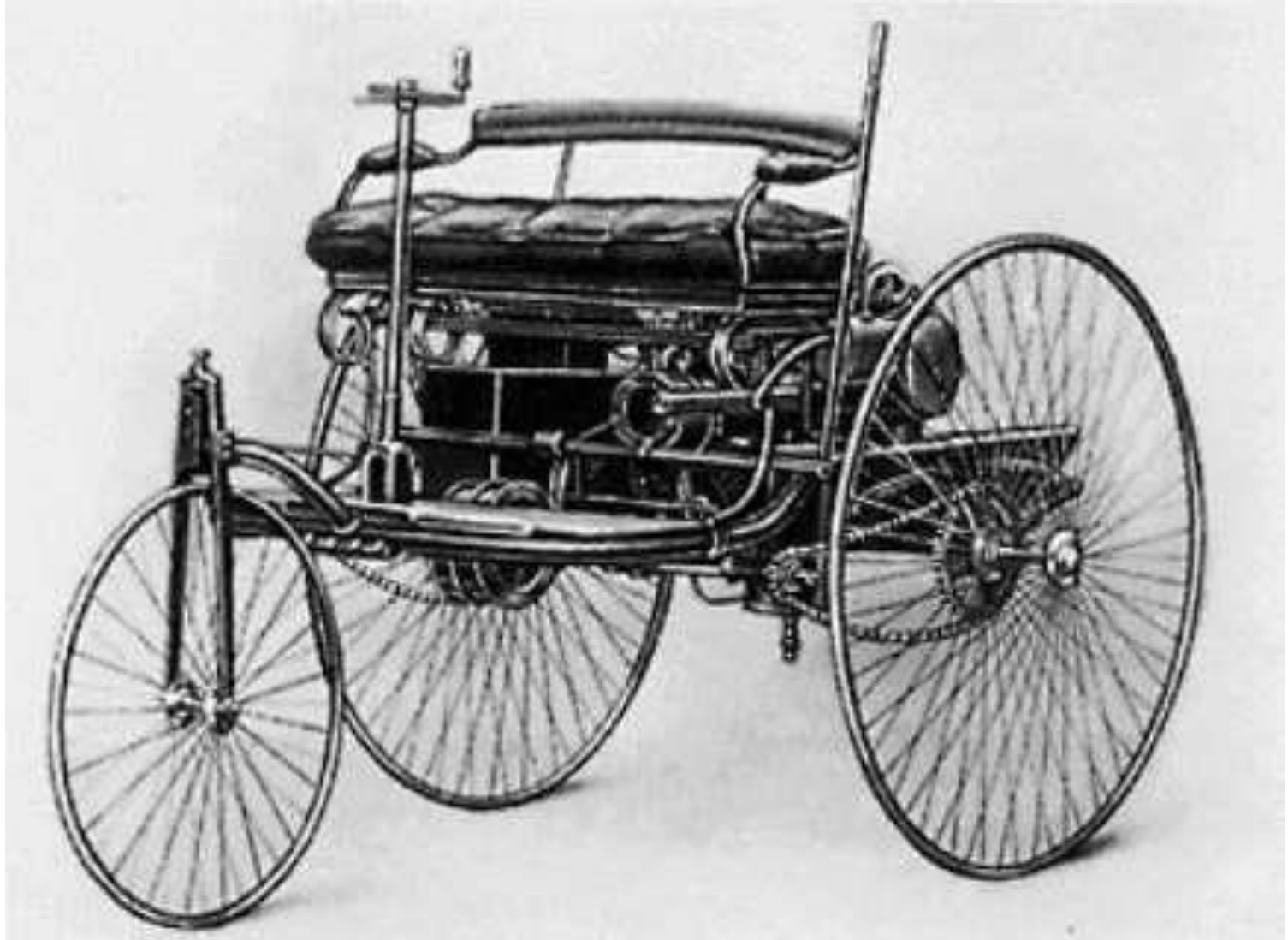
# Nesta aula

- Construção
- Designação
- Mecanismo da geração de força
- Propriedades trativas
- Fórmula de Pacejka
- Palestra: Seleção de Pneu

# Cargas sobre o veículo

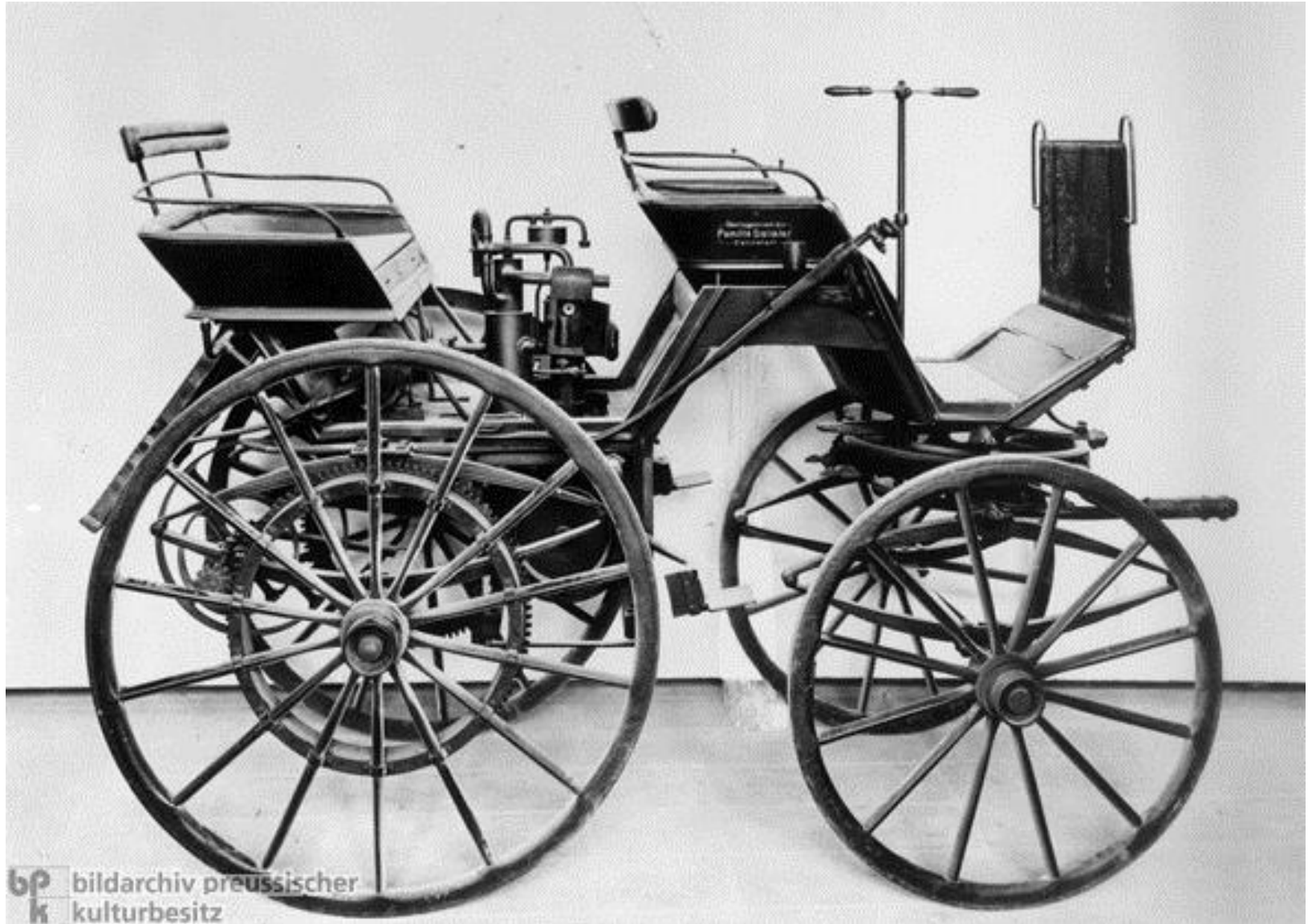


# Triciclo de Karl Benz, 1886





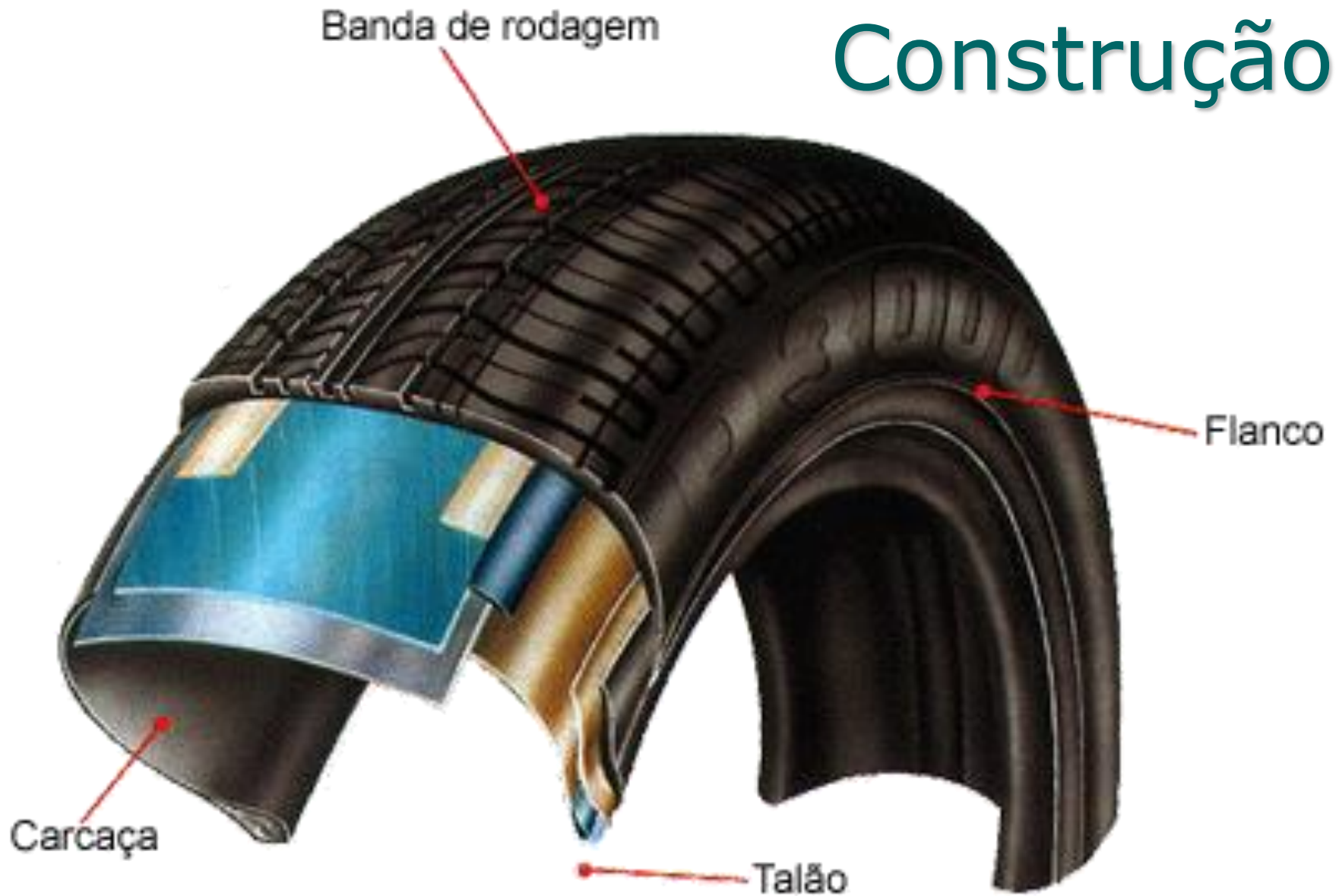
# Quadriciclo de Gottlieb Daimler, 1886



# Tipos



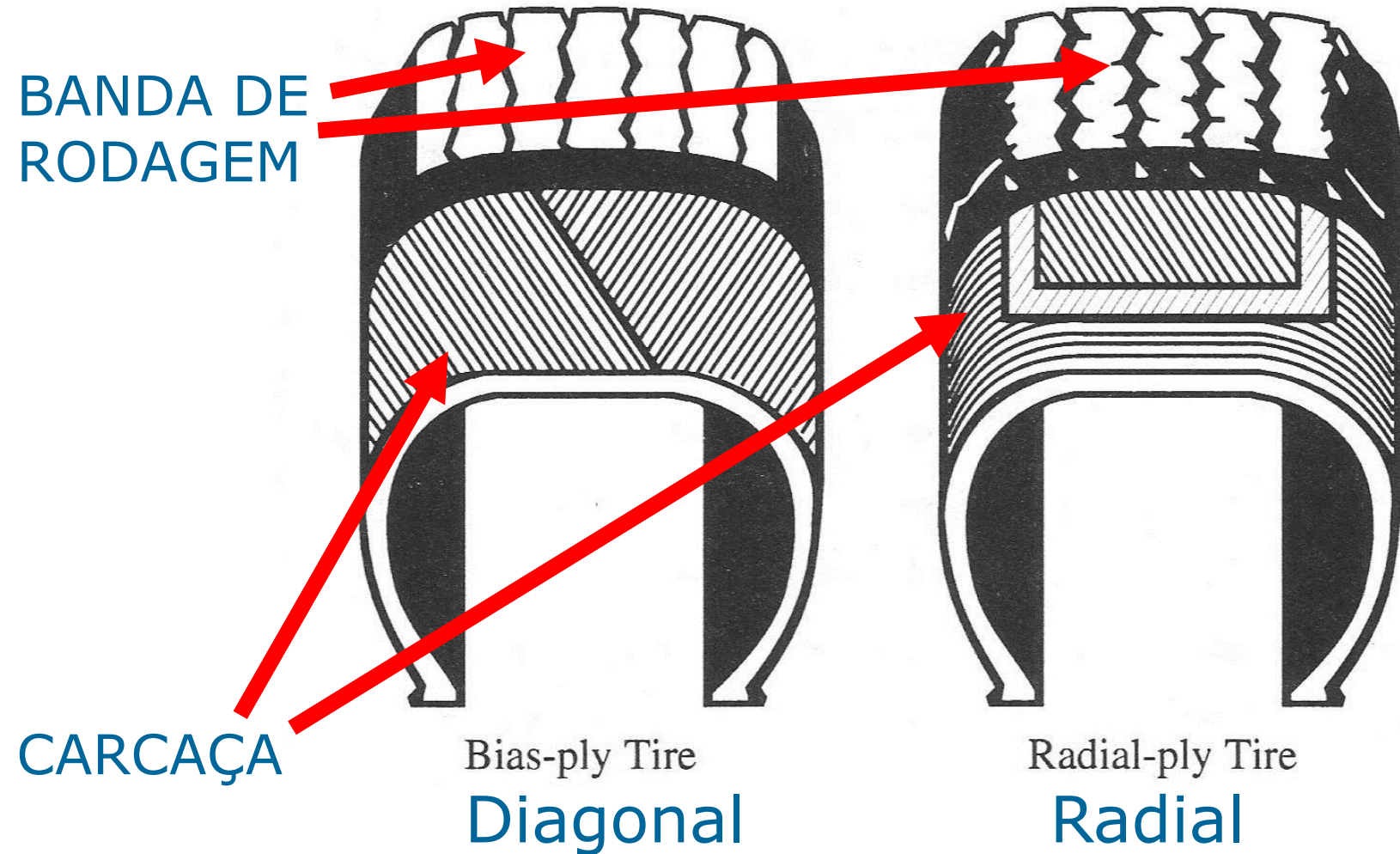
# Construção



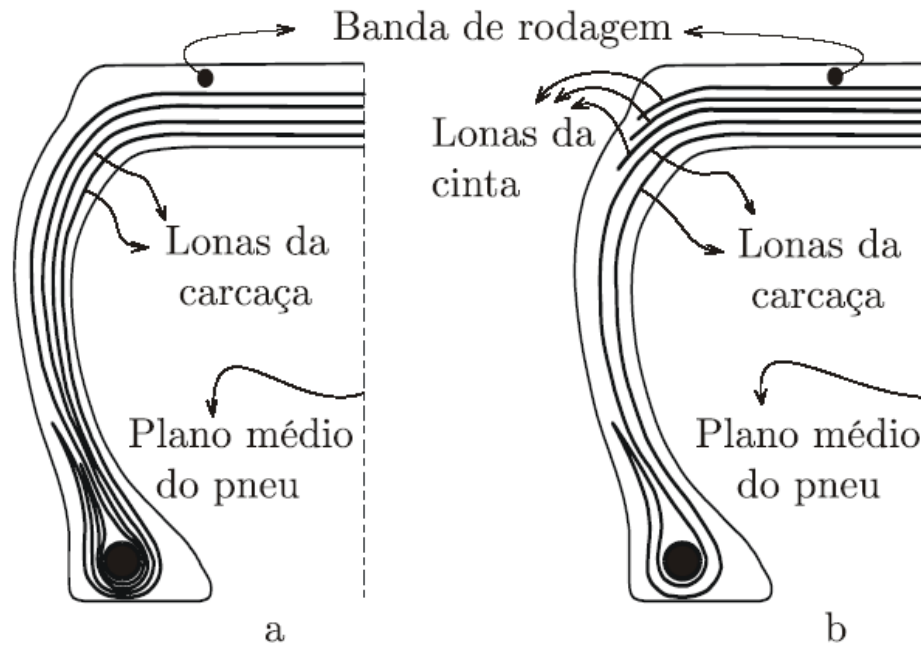
PNEU FABRICAÇÃO



# Construção

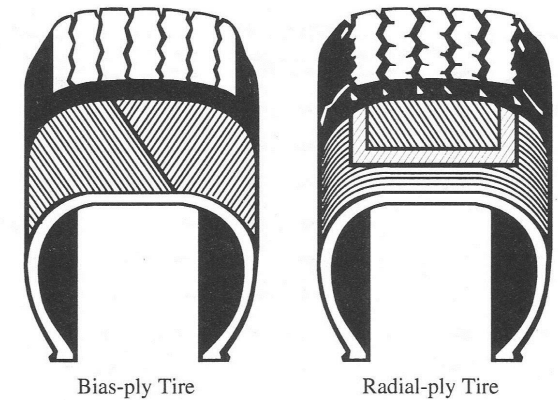


# Construção



Diagonal

Radial



## 1. Carcaça

- Função estrutural
- Lonas impregnadas com borracha
- Cinta (radial): rigidez na direção tangencial

## 2. Banda de rodagem

- Transmissão das forças do pneu para o solo
- Drenagem (aquaplanagem)

# Fabricantes

**Alliance  
Apollo  
Belshina  
Birla  
BF Goodrich  
Bridgestone  
Camac  
Continental  
Cooper  
DRC  
Dunlop Tyres**

**Federal  
Firestone  
Goodyear  
Hankook  
Hoosier  
Levorin  
Kumho  
Maggion  
Metzeler  
Michelin  
Nexen**

**Nokian  
Pirelli  
Rinaldi  
Silverstone  
Pneus  
Sumitomo  
Toyo  
Trelleborg  
Triangle  
Uniroyal  
Yokohama**

# Tipos de carcaça

Tabela 1.1: Tipos de carcaça para vários fabricantes de pneus.

Fabricante e tipo	Tamanho	Lonas da Cinta	Lonas da Carcaça
Continental TS 771	165 SR 13	2 de rayon e 2 de aço	2 de rayon
Dunlop SP Sport	165 HR-13	6 de rayon	2 de rayon
Goodyear G800	165 SR-13	6 de rayon	2 de rayon
Goodyear Polyester GT	6,60-15	2 de aço e 2 de polyester	2 de polyester
Michelin XAS	165 HR-13	2 de aço 2 de rayon	2 de rayon
Michelin XWX	215/70-VR-15	2 de de aço e 2 nylon	1 nylon
Pirelli CF 67	165-SR 13	7 de rayon	2 de rayon
Pirelli HS CN12	215/70-VR 15	2 de nylon e 5 de rayon	2 de rayon
Firestone Steel Belt	175R-13	1 de rayon e 2 de aço	1 lona rayon
Firestone Steel radial	GR 70-15	2 de aço 2 de polyester	2 de polyester



# Características dos pneus radiais

## 1. Vantagens

- Maior durabilidade
- Menor resistência ao rolamento
- Maior conforto em altas velocidades
- Melhor absorção de forças laterais
- Maior estabilidade direcional
- Menor sensibilidade à aquaplanagem

## 2. Desvantagens

- Menos confortável em baixas velocidades
- Maior custo

# Contato do pneu com a pista

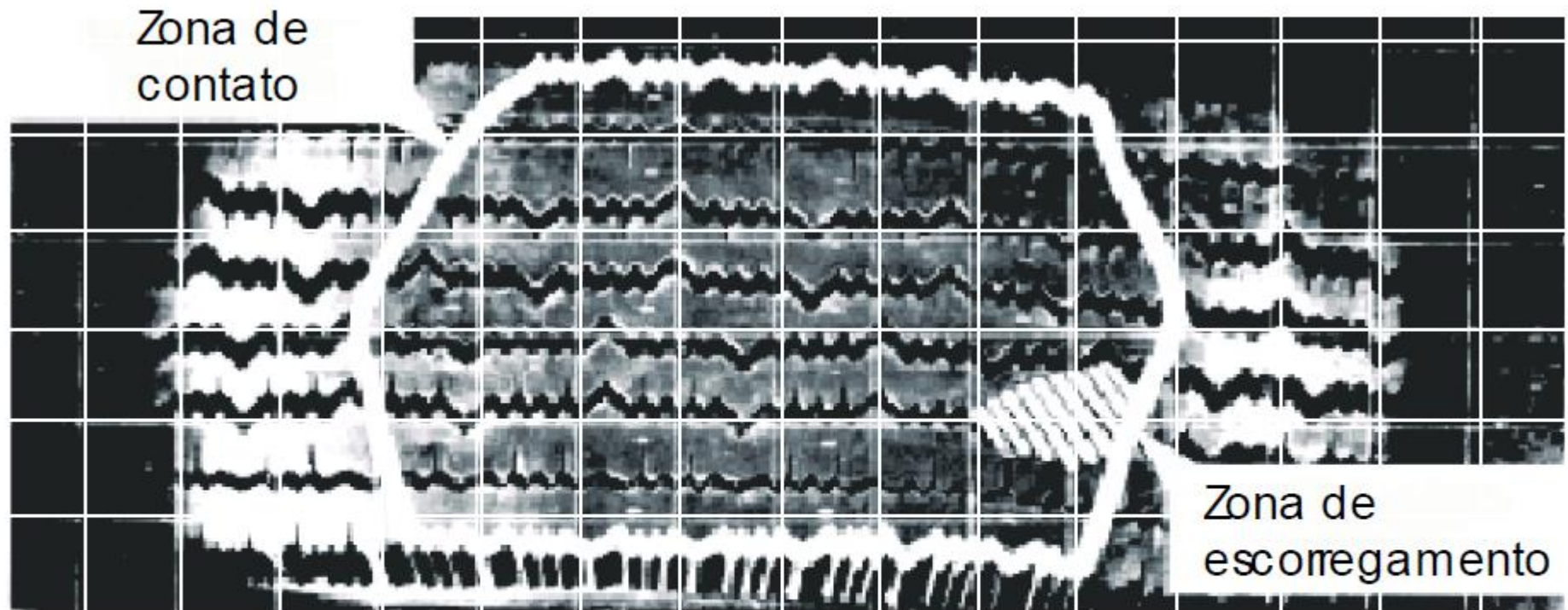


Figura 1.5: Efeito da contração do pneu na região de atrito. 13

# Comportamento da rigidez com a velocidade

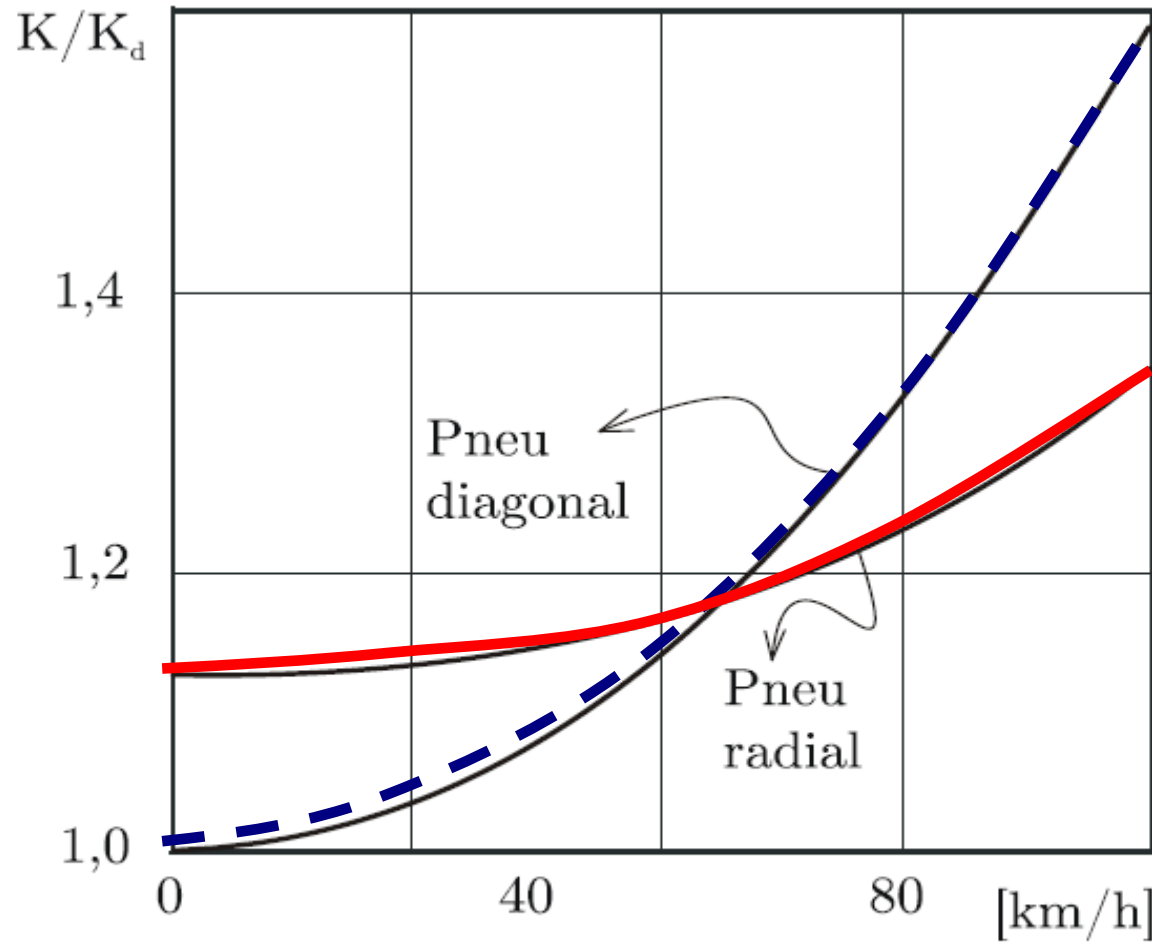
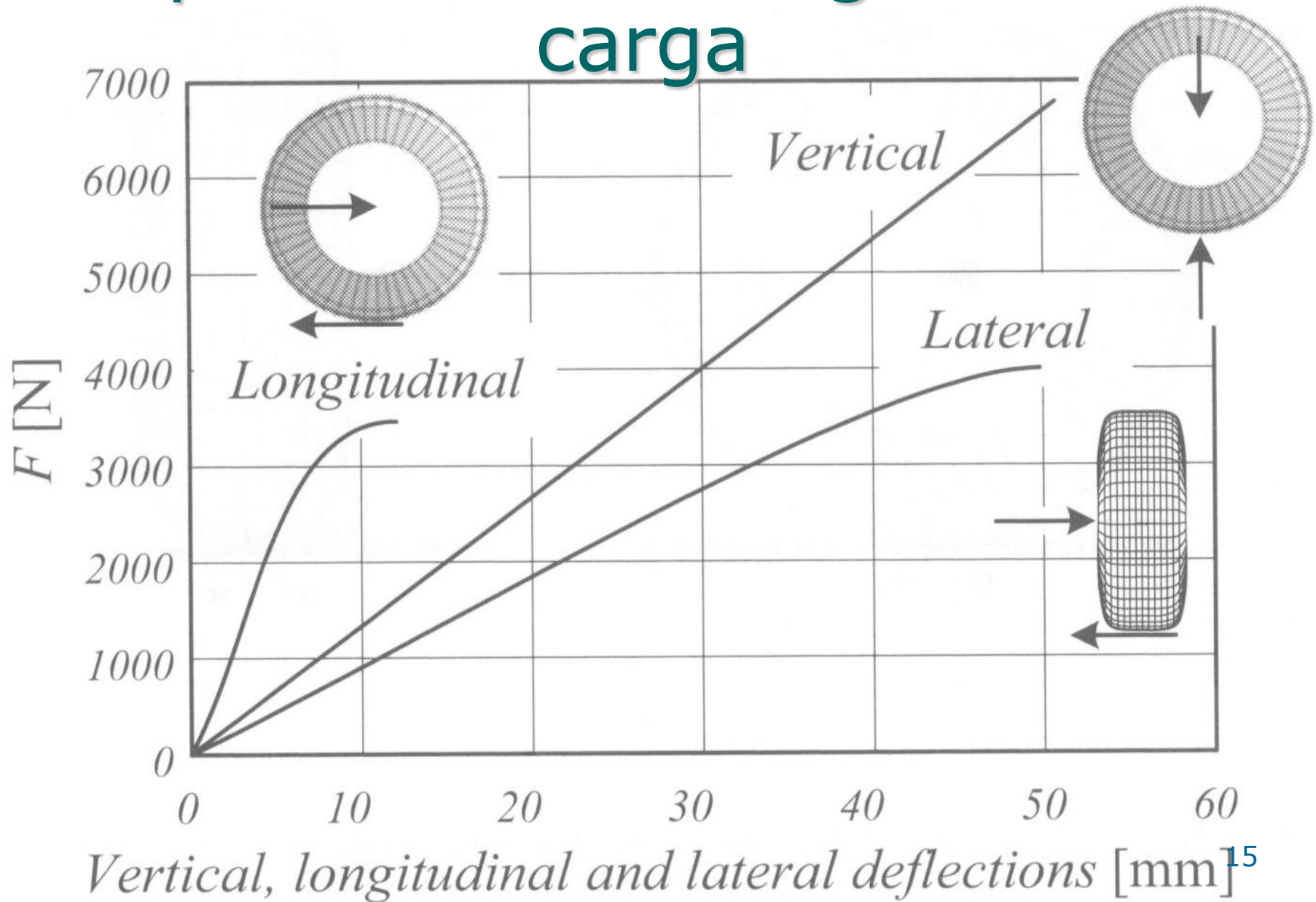


Figura 1.6: Comportamento da rigidez do pneu com a velocidade, para carcaças diagonal e radial.

# Comportamento da rigidez com a carga



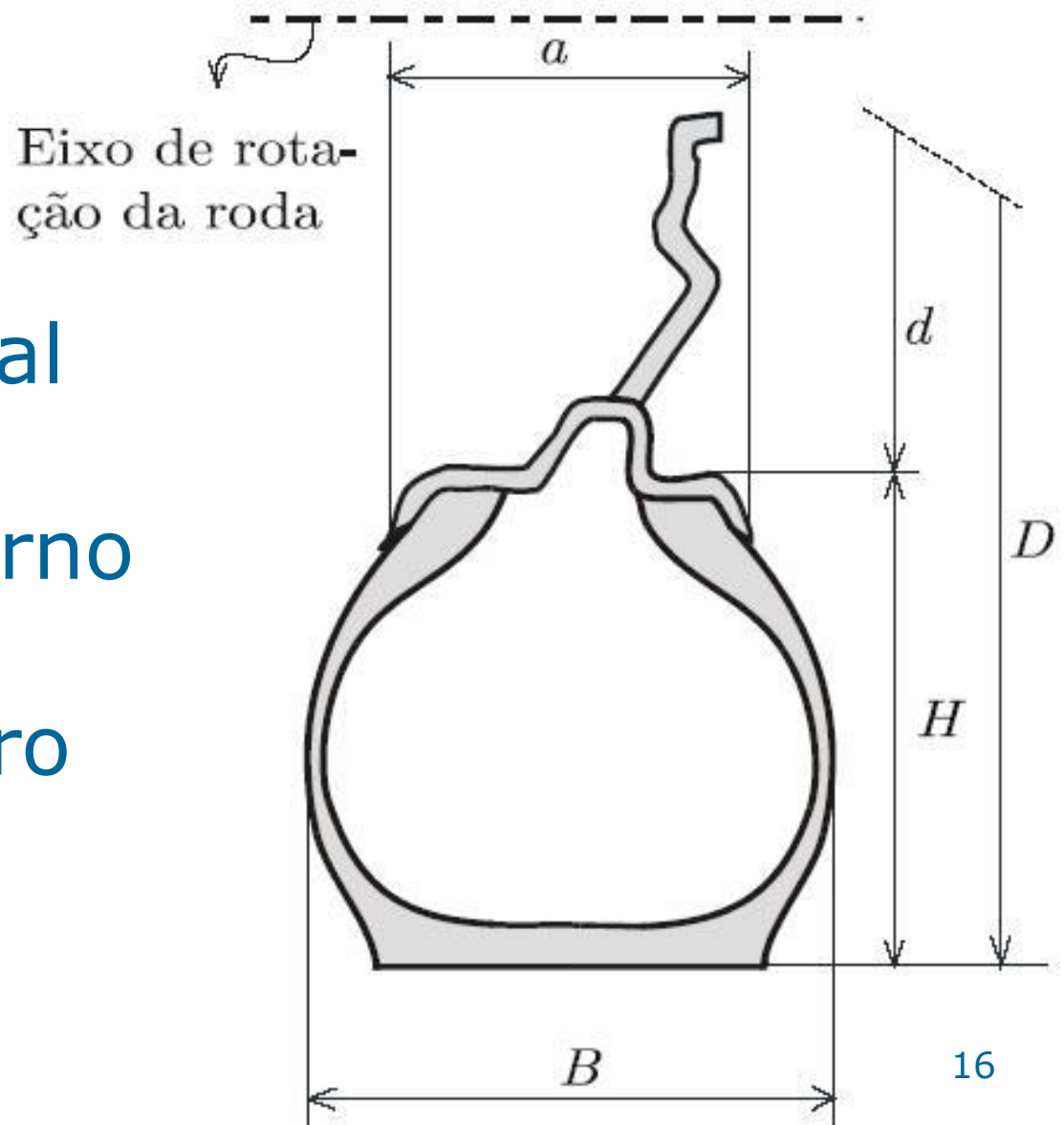
# Dimensões características

B-largura nominal

D-diâmetro externo

d-diâmetro do aro

H-altura



# Designação do pneu

1. Tamanho: B,d

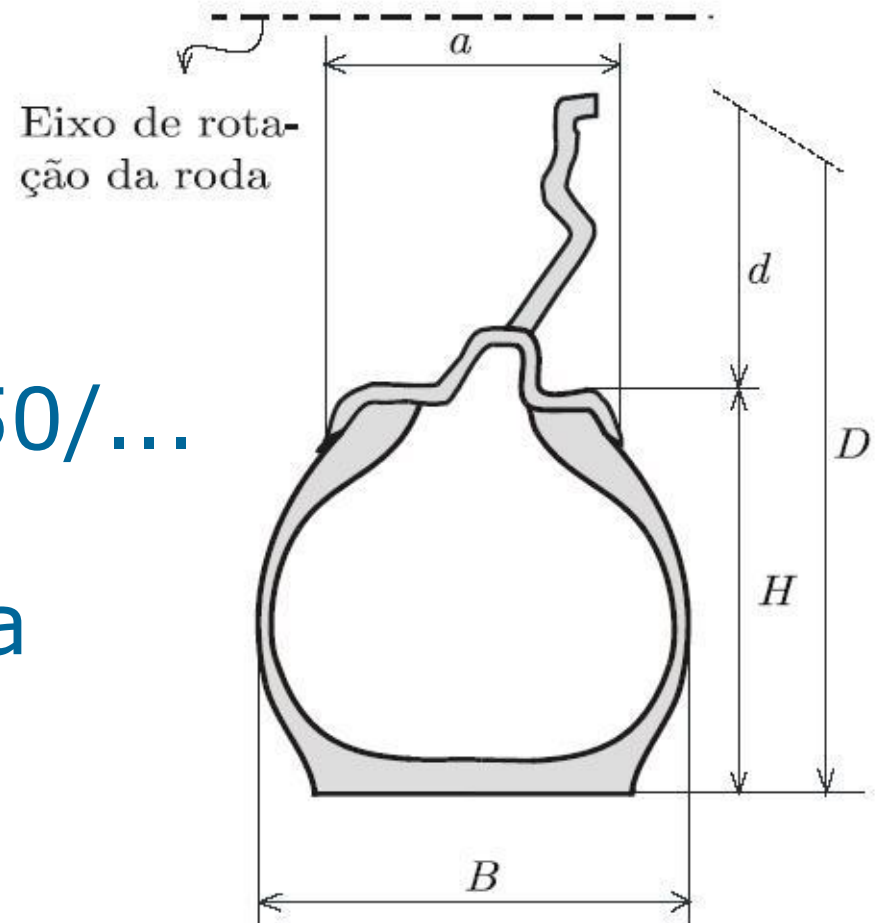
2. Série (perfil): H/B

- 80/70/65/60/55/50/...

3. Capacidade de carga

4. Velocidade limite

5. Tipo de carcaça





# Capacidade de carga

Índice de Carga	Peso em Kg	Índice de Carga	Peso em Kg	Índice de Carga	Peso em Kg	Índice de Carga	Peso em Kg
20	80	55	218	79	437	101	825
22	85	58	236	80	450	102	850
24	85	59	243	81	462	103	875
26	90	60	250	82	475	104	900
28	100	61	257	83	487	105	925
30	106	62	265	84	500	106	950
31	109	62	272	85	515	107	975
33	115	64	280	86	530	108	1.000
35	121	65	290	87	545	109	1.030
37	128	66	300	88	560	110	1.060
40	136	67	307	89	580	111	1.090
41	145	68	315	90	600	112	1.120
42	150	69	325	91	615	113	1.150
44	160	70	335	92	630	114	1.180
46	170	71	345	93	650	115	1.215
47	175	72	355	94	670	116	1.250
48	180	73	365	95	690	117	1.285
50	190	74	375	96	710	118	1.320
51	195	75	387	97	730	119	1.360
52	200	76	400	98	750	120	1.400
53	206	77	412	99	775	121	1.450
54	212	78	425	100	800	122	1.500



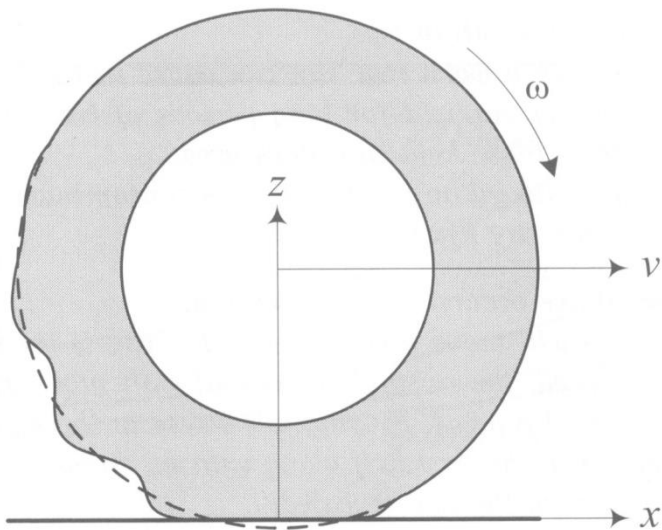
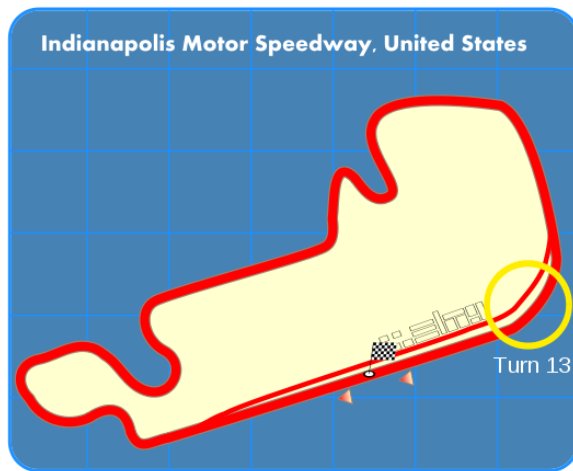
# Velocidade limite

Índice de velocidade	Velocidade (km/h)
F	80
G	90
J	100
K	110
L	120
M	130
N	140
P	150
Q	160
R	170
S	180
T	190
H	210
V	240
W	270
Y	300

Índice de carga	Carga (kg)
50	190
51	195
88	560
89	580
112	1120
113	1150
145	2900
149	3250
157	4125

# Velocidade limite

## Caso Indy-2005



Grande Prêmio dos Estados Unidos de 2005 (Fórmula 1)





**195** / **55** **R** **16** **87** **V**



Largura do pneu em milímetros.



Relação entre altura (H) e largura (S) da seção.

Indica estrutura radial



Diâmetro interno do pneu (aro) em polegadas. .

Índice de carga

Índice de velocidade

# Sistema milímetros/percentagem-polegadas

**196/55 R16 87 V**

Largura B = 196mm

Diâmetro do aro d = 16"

Relação H/B = 0.55

Diâmetro externo

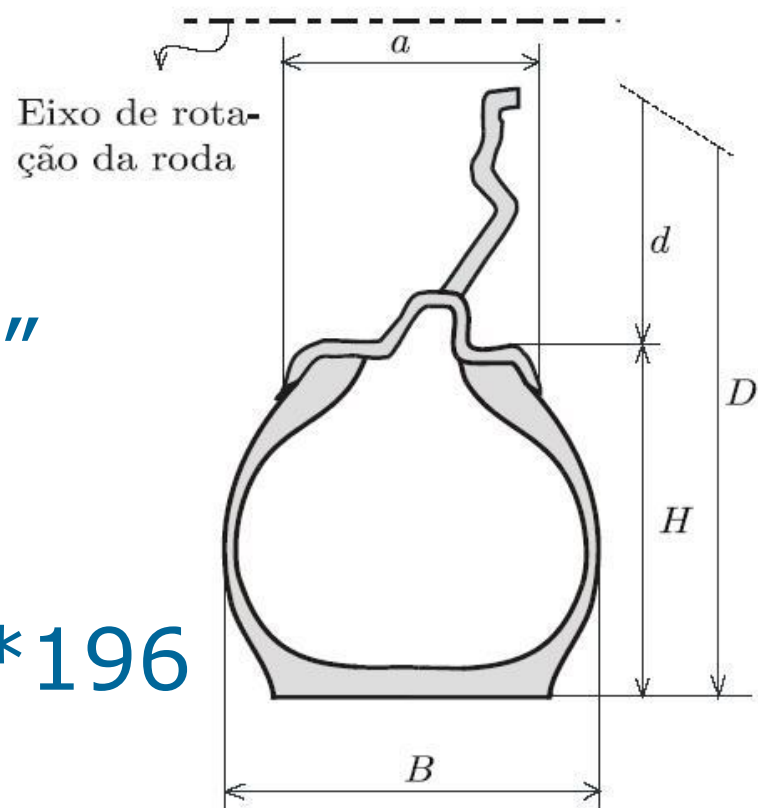
$$D = 16 * 25,4 + 2 * 0,55 * 196$$

$$D = 622 \text{ mm}$$

Tipo de carcaça = Radial

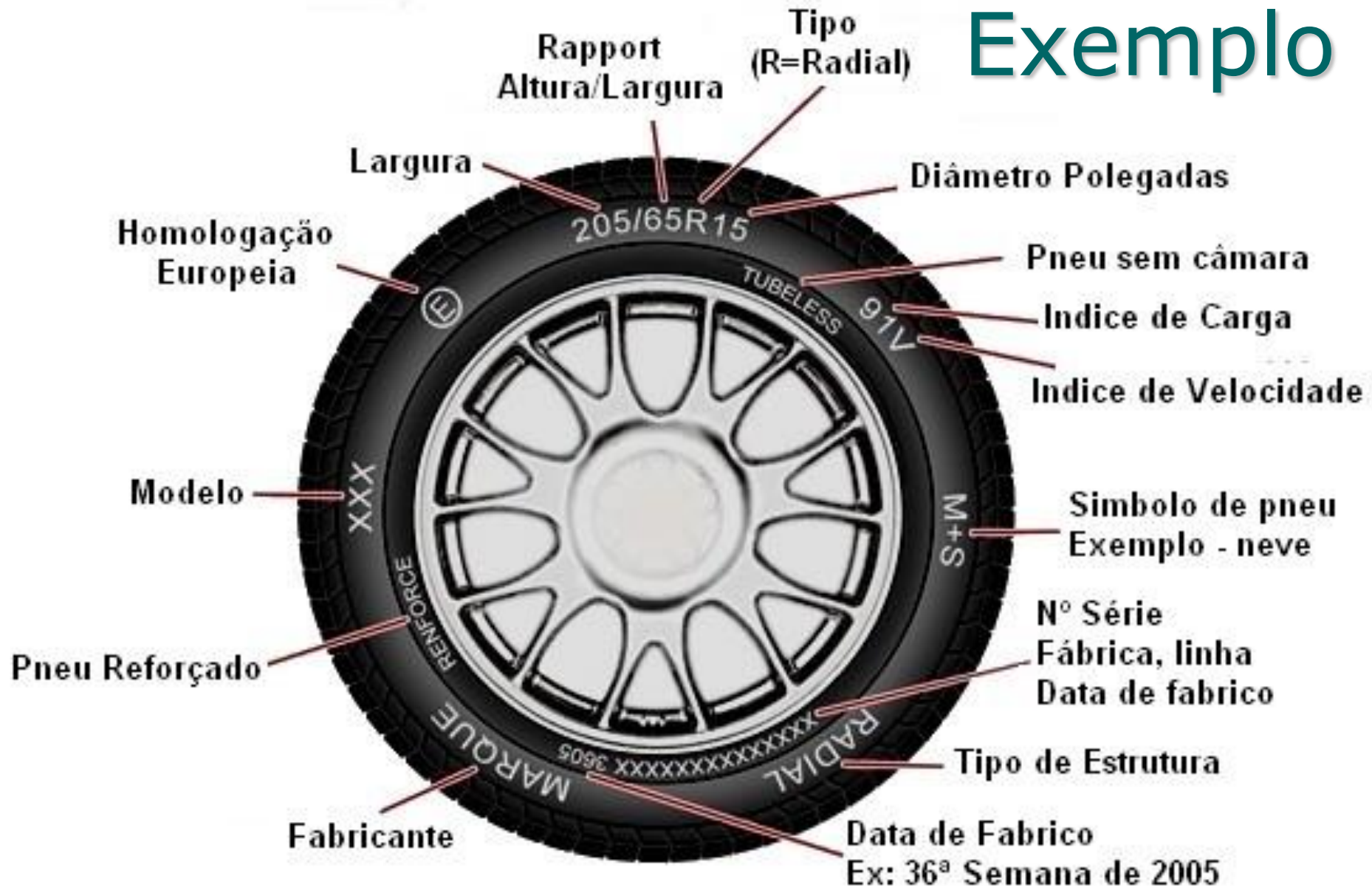
Capacidade de carga = 545 kgf

Velocidade limite = 240 km/h





# Exemplo



# Roda = pneu + aro

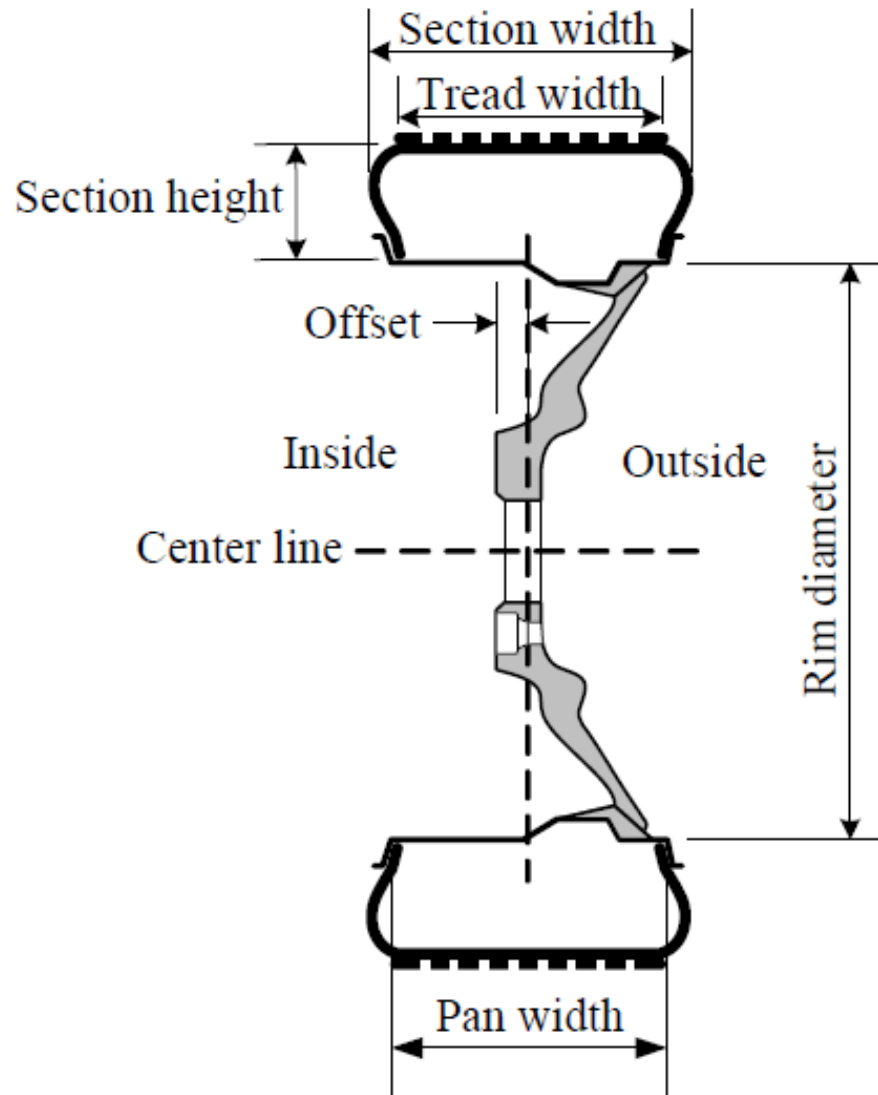
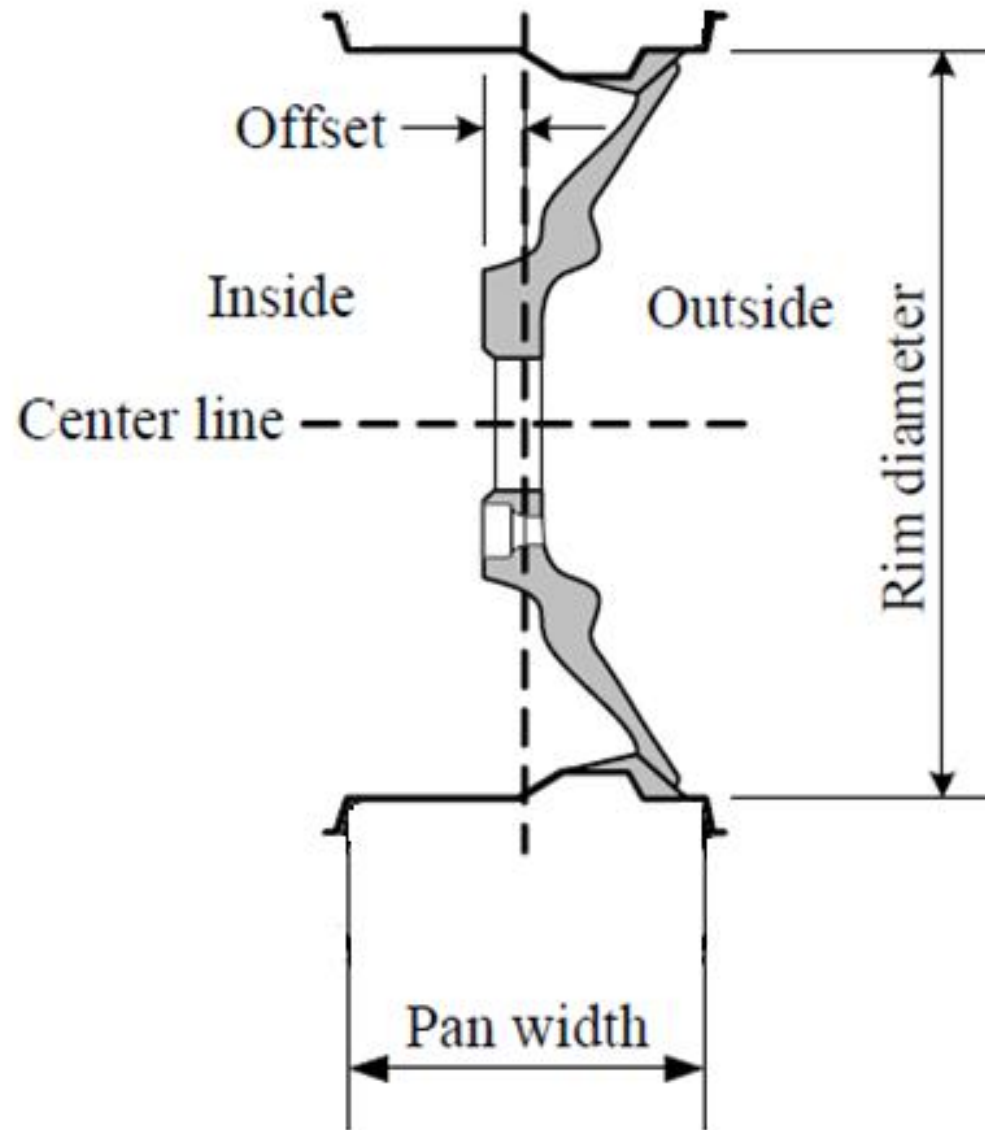


FIGURE 1.15. Illustration of a wheel and its dimensions.

aro = flange+ seção central





# Flange

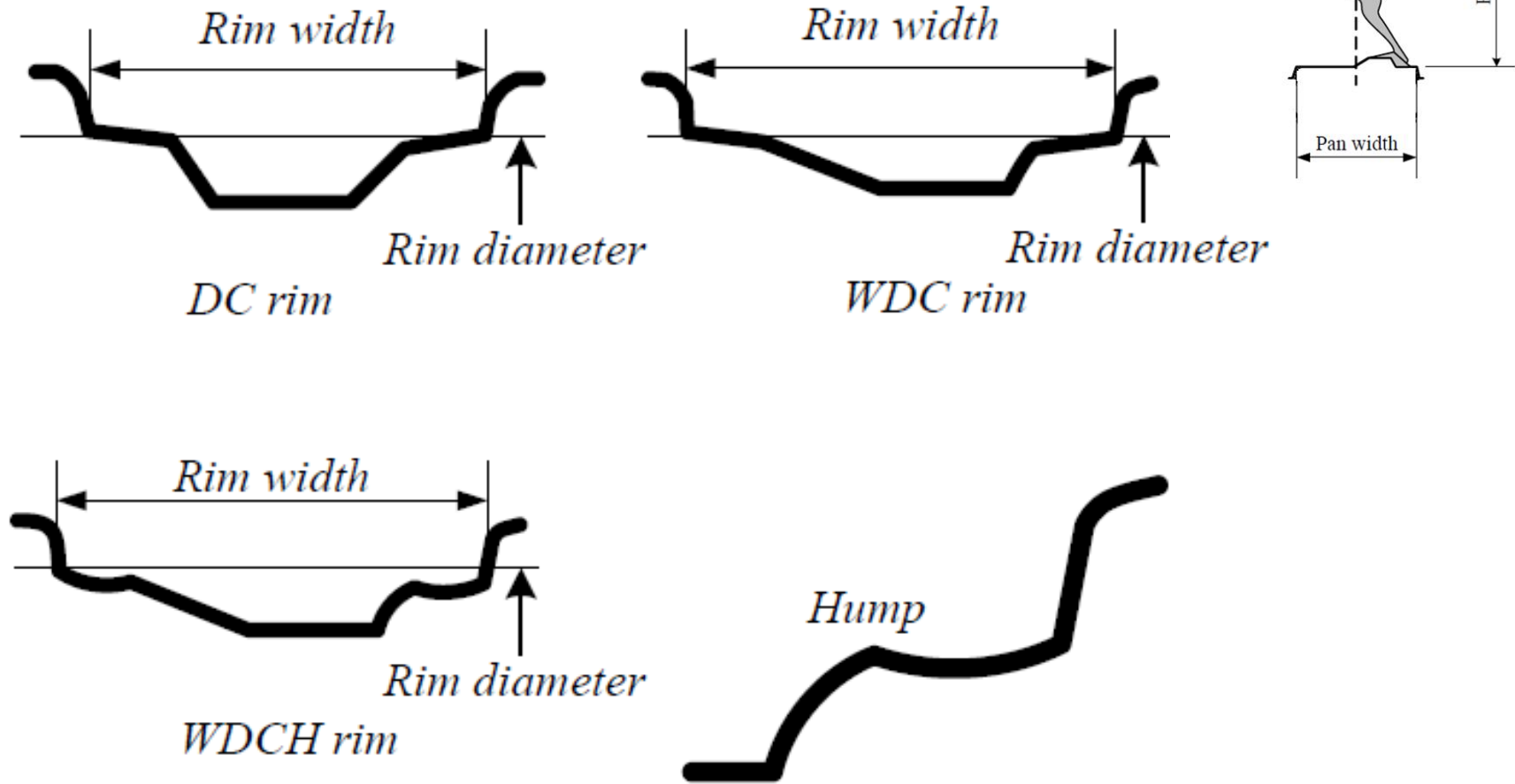
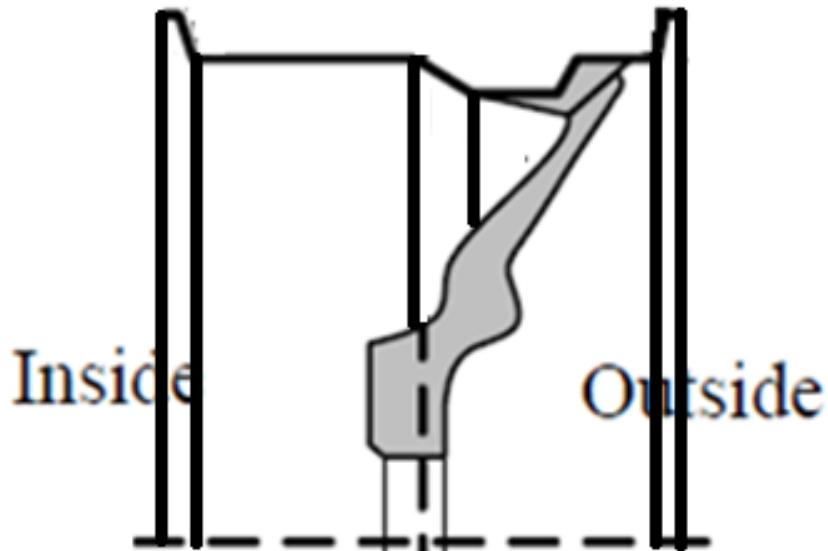
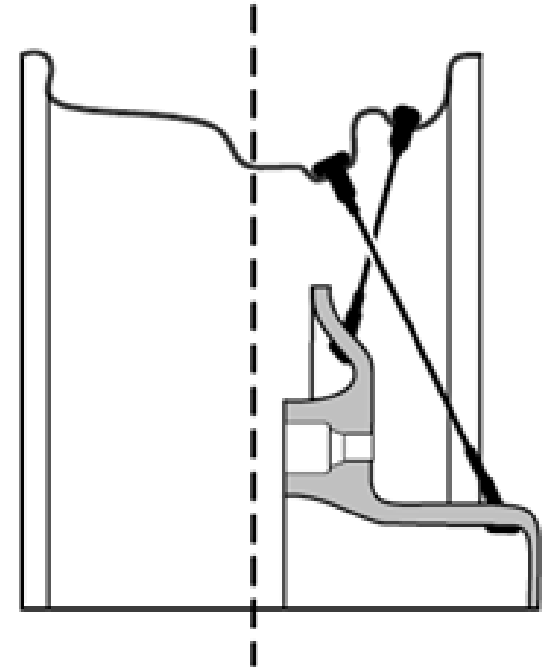


FIGURE 1.16. Illustration of DC, WDC, and WDCH rims and their geometry.

# Seção central



Cheia



Raiada

# Especificação do aro

**7 1/2 – JJ × 15 55 5 – 114.3**

7 1/2	Rim width [in]
JJ	Flange shape code
15	Rim diameter [in]
55	Offset [mm]
5	Number of bolts
114.3	Pitch circle diameter

FIGURE 1.17. A sample rim number.

# Roda montada no eixo

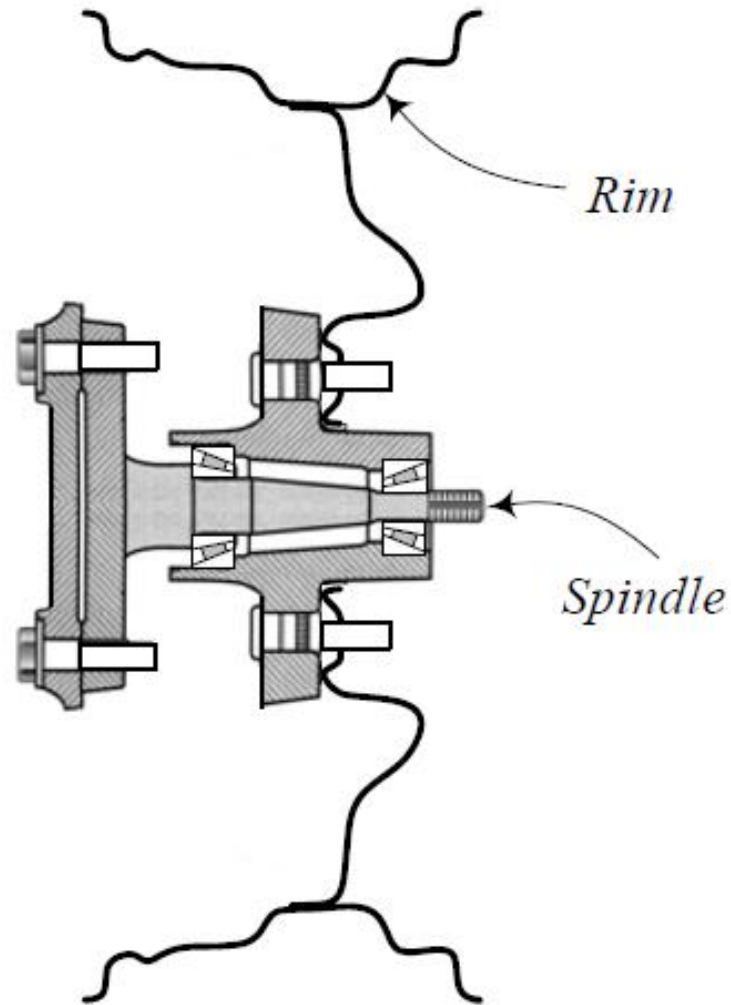


FIGURE 1.18. Illustration of a wheel attached to the spindle axle.

# Materiais utilizados nos aros

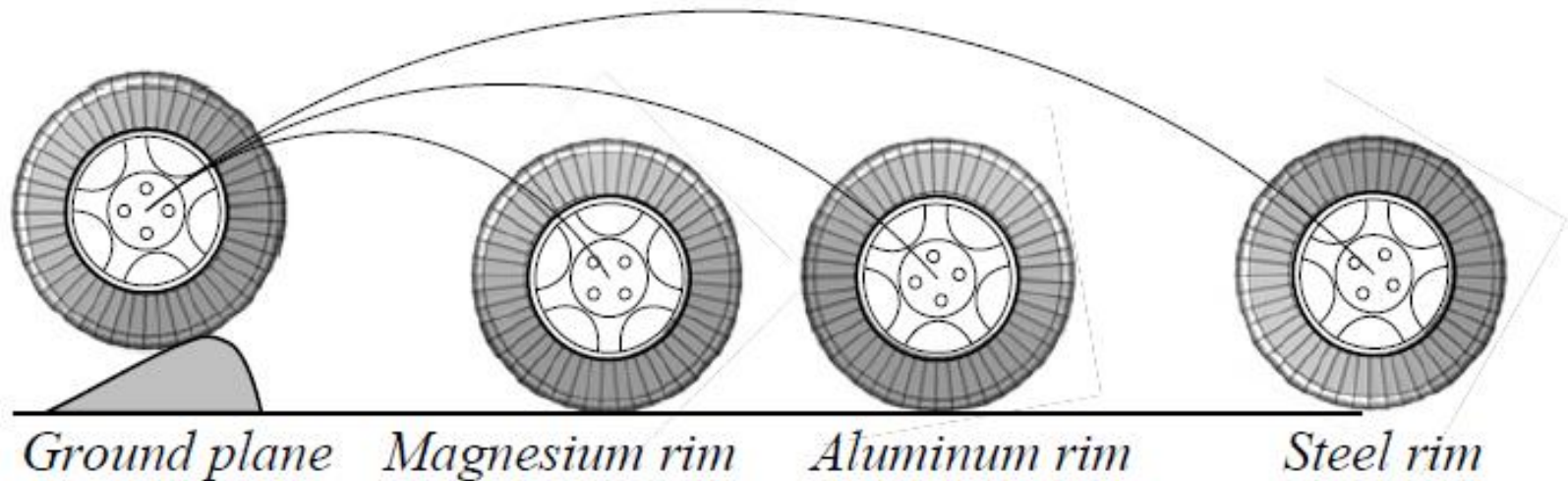
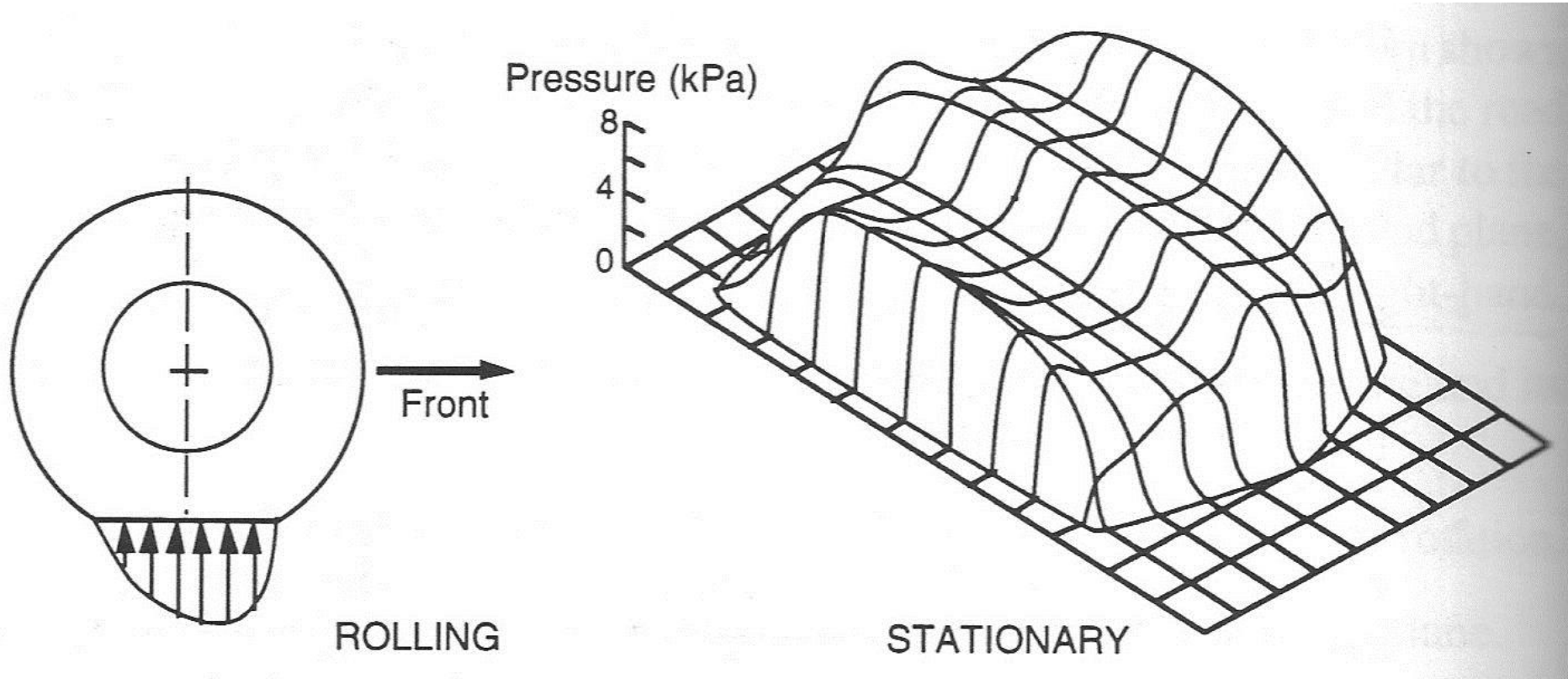
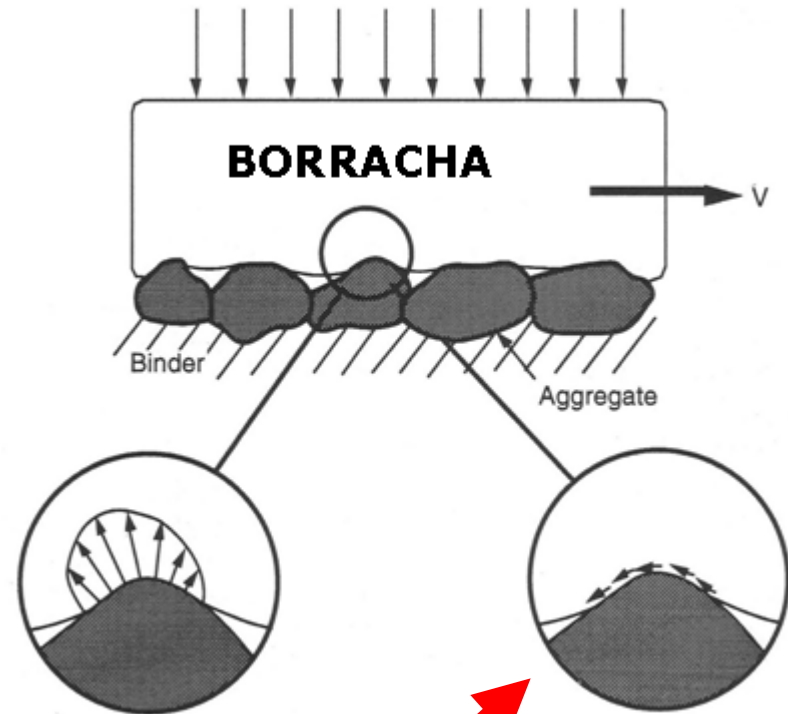


FIGURE 1.20. The difference between aluminum, magnesium, and steel rims in regaining road contact after a jump.

# Mecanismo de geração de força



# Mecanismo de geração de força



Atrito por **HISTERESE**

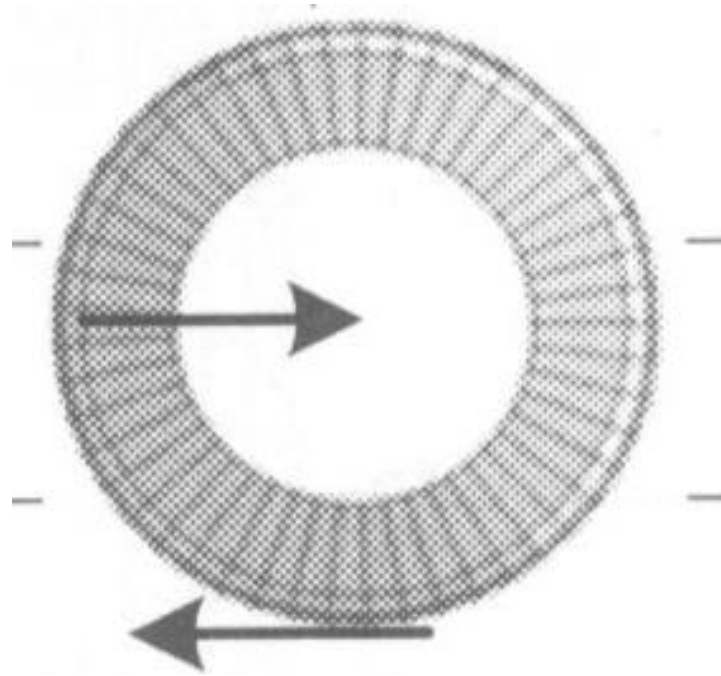
- Deformação da borracha
- Menos sensível à água

Atrito por **ADESÃO**

- Contato intermolecular
- Sensível à água

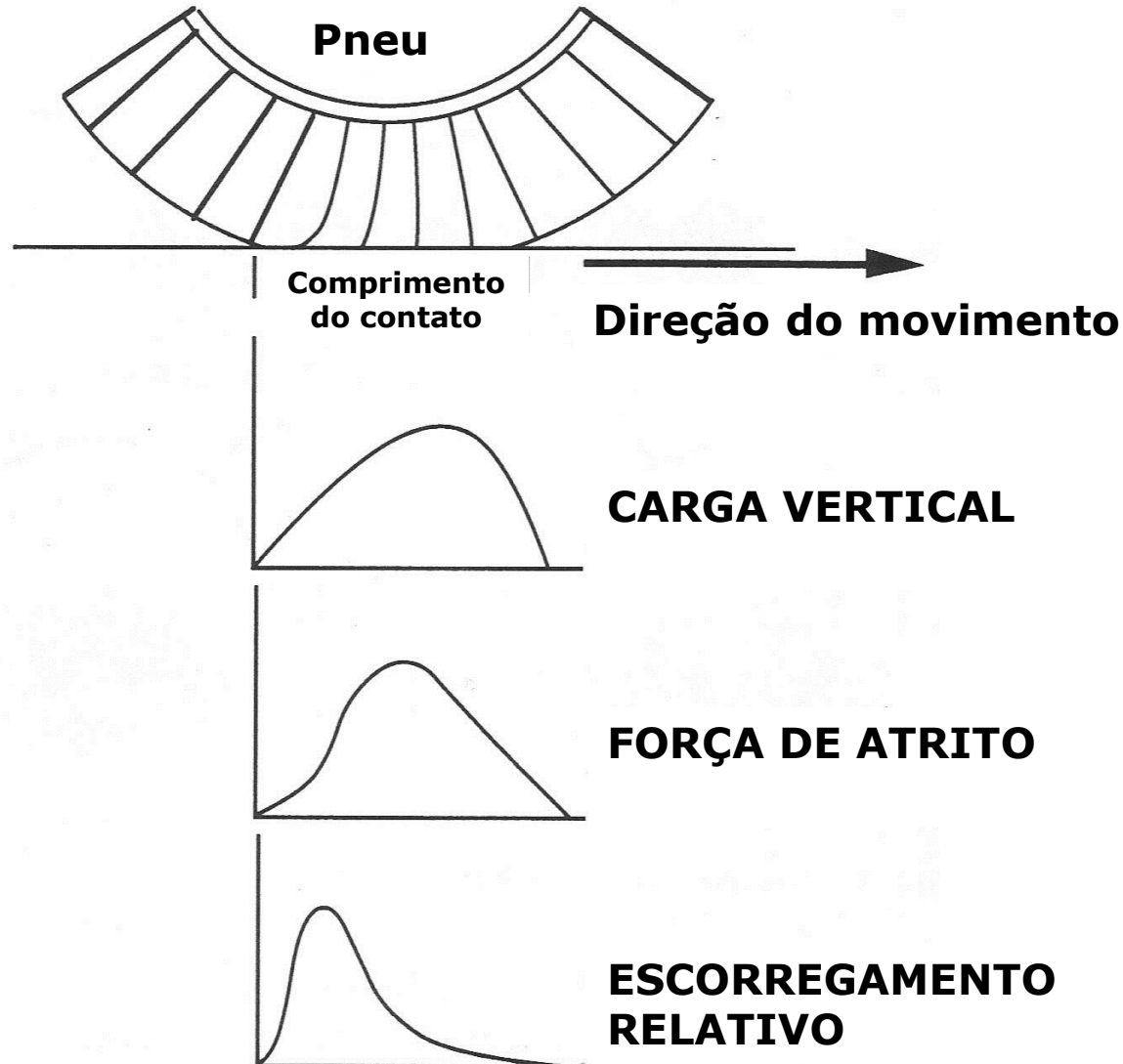


# Mecanismo de geração de força



Força longitudinal

# Força Longitudinal ( $F_x$ )



# Escorregamento

$$e = \frac{\omega \cdot r - v}{\omega \cdot r}$$

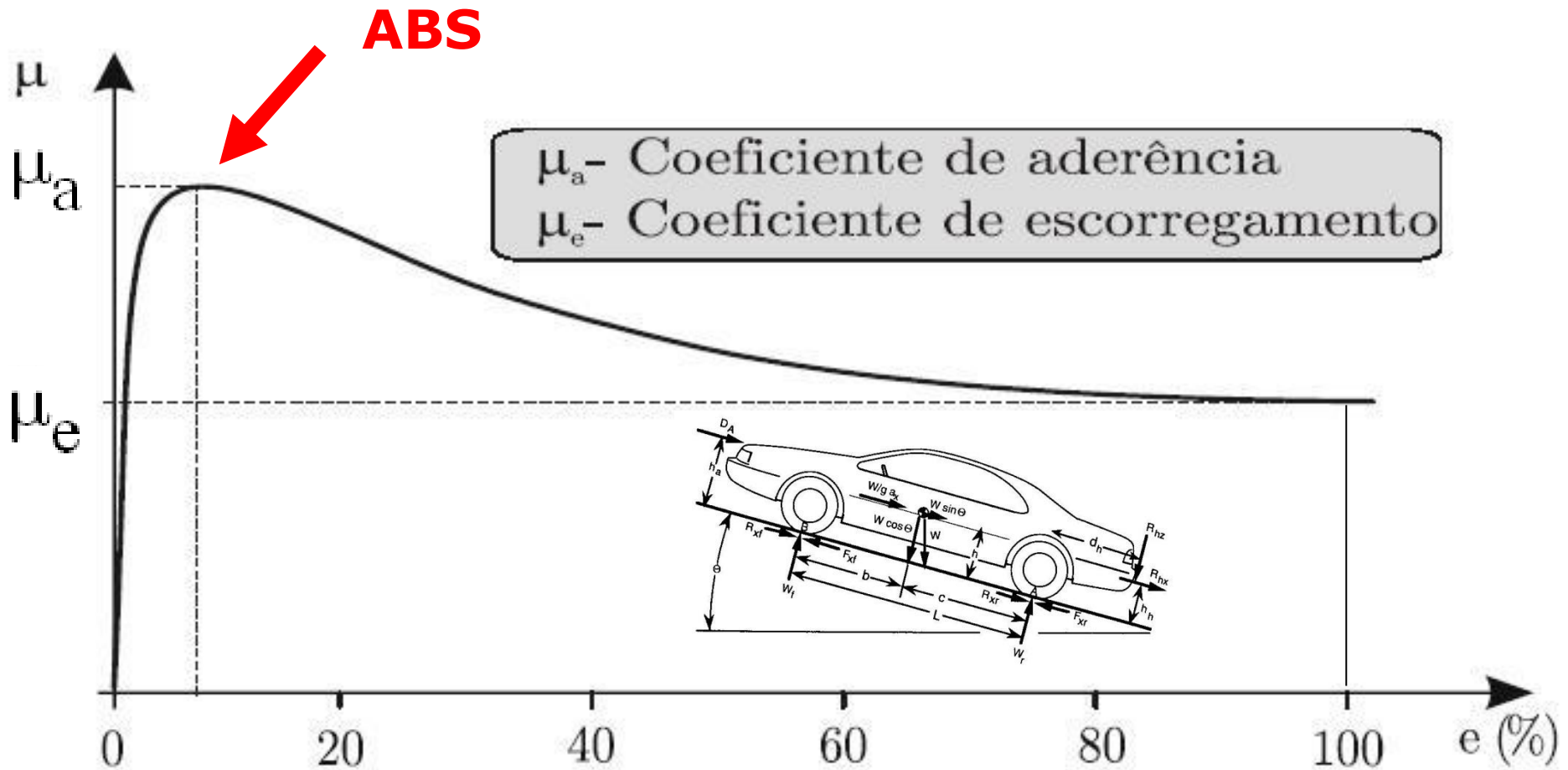
ACELERAÇÃO

$$e = \frac{v - \omega \cdot r}{v}$$

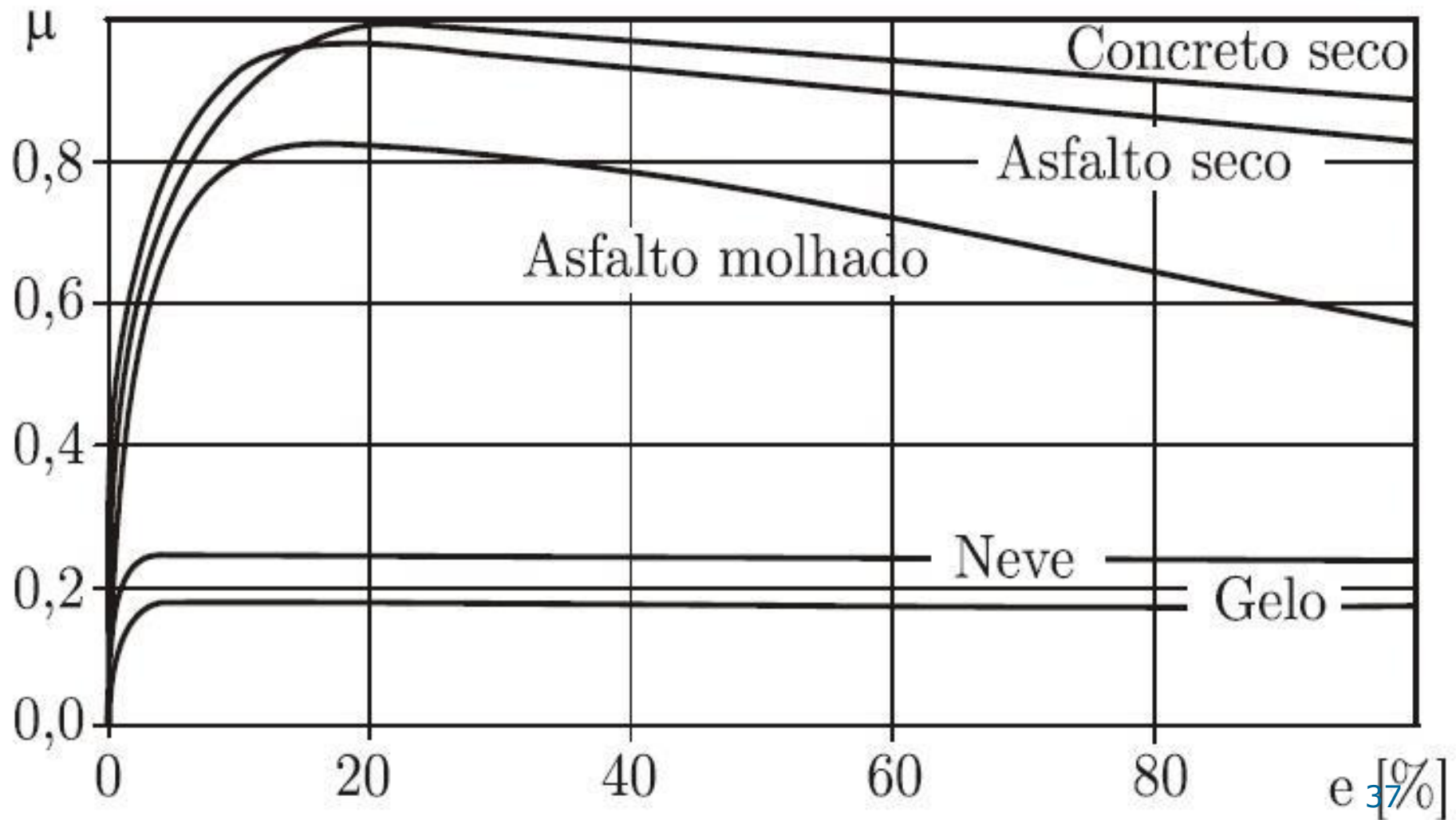
FRENAGEM

e	=>	escorregamento
$\omega$	=>	velocidade angular da roda
r	=>	raio efetivo (dinâmico) do pneu
v	=>	velocidade do veículo

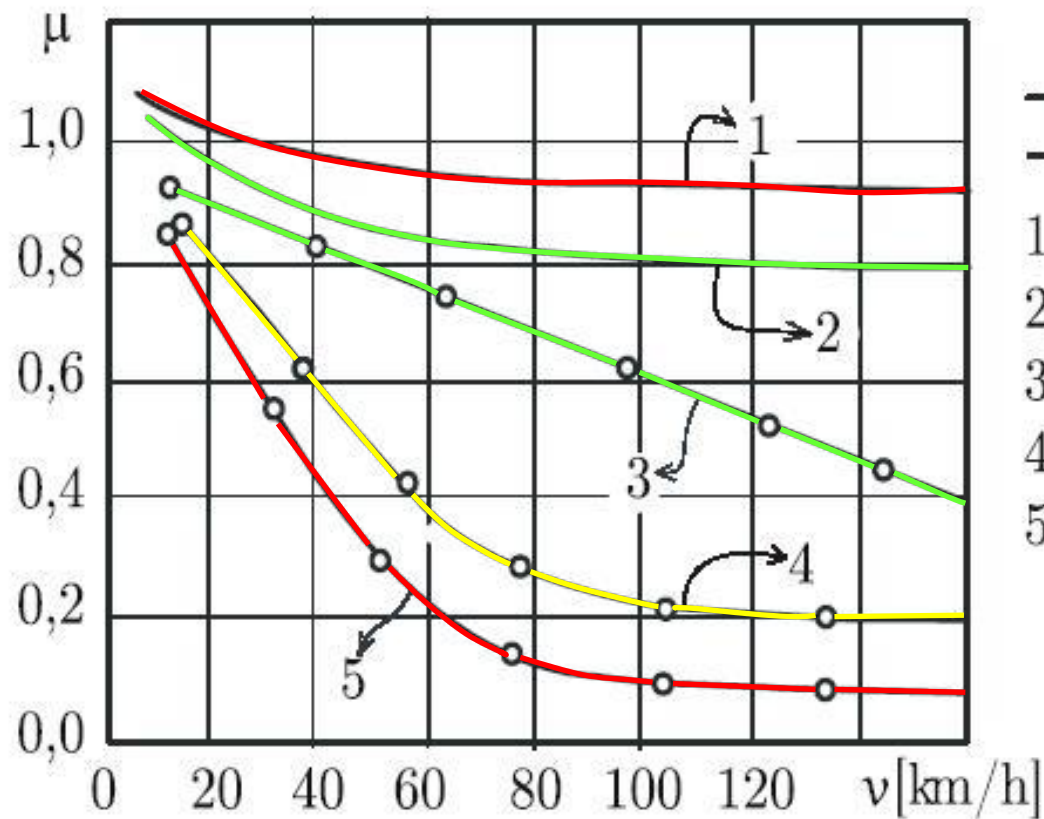
# Variação do coeficiente de atrito com o escorregamento



# Coeficiente de atrito para alguns tipos de pista



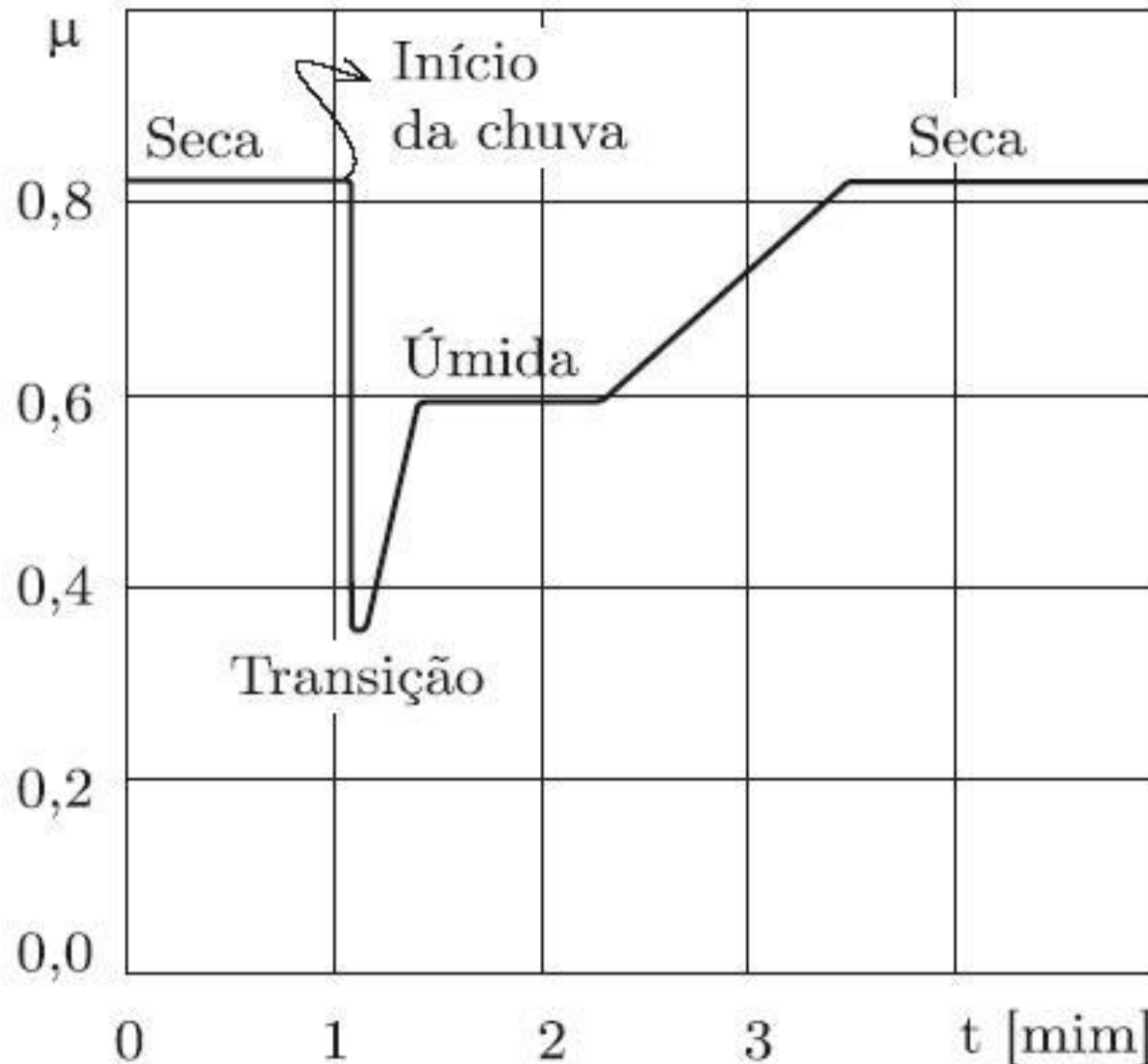
# Coeficiente de atrito



- Pista seca
- Pista molhada
- 1 - Pneu liso
- 2 - Pneu novo (8 mm de ranhura)
- 3 - Pneu novo (8 mm de ranhura)
- 4 - Pneu com 2 mm de ranhura
- 5 - Pneu liso



# Variação da aderência durante uma chuva fraca

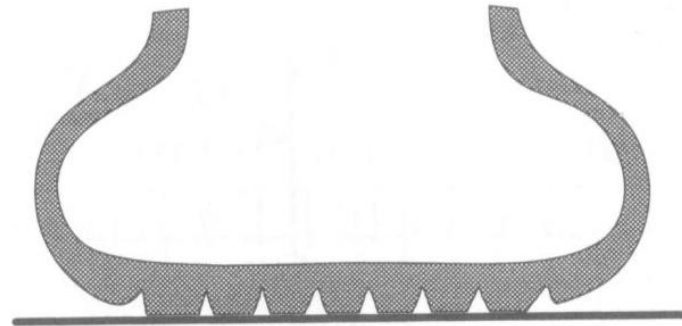


# Variáveis que afetam o coeficiente de atrito

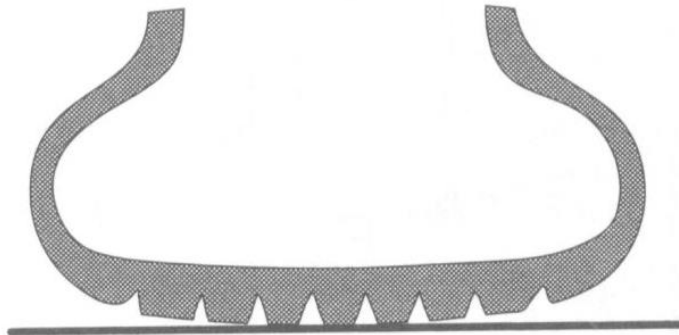
- Carga normal no pneu
  - Diminui com o aumento da carga
- Pressão
  - Aumenta com a pressão
- Superfície da pista
  - ASTM Standard Method E-274
  - Reboque com uma das rodas travadas ("*skid tester*")
  - Skid number 81 = coef. de atrito 0,81
- Velocidade
  - Diminui com a velocidade
  - Em pistas molhadas => aquaplanagem

# Variáveis que afetam o coeficiente de atrito

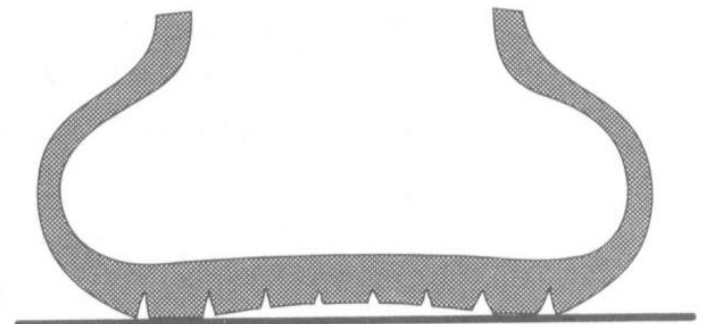
Pressão do pneu



*Proper Inflation*



*Over Inflation*

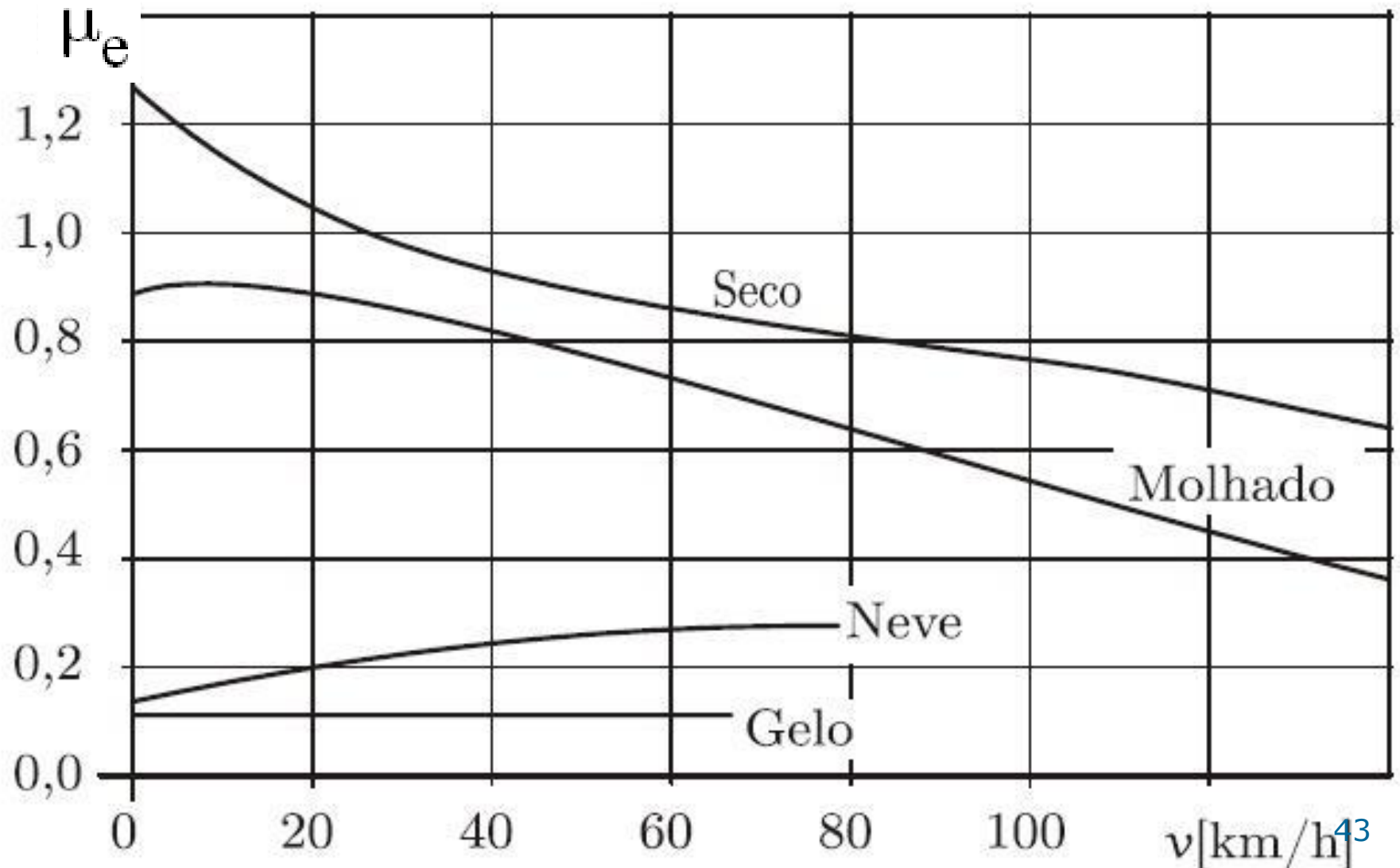


*Under Inflation*

# Variáveis que afetam o coeficiente de atrito

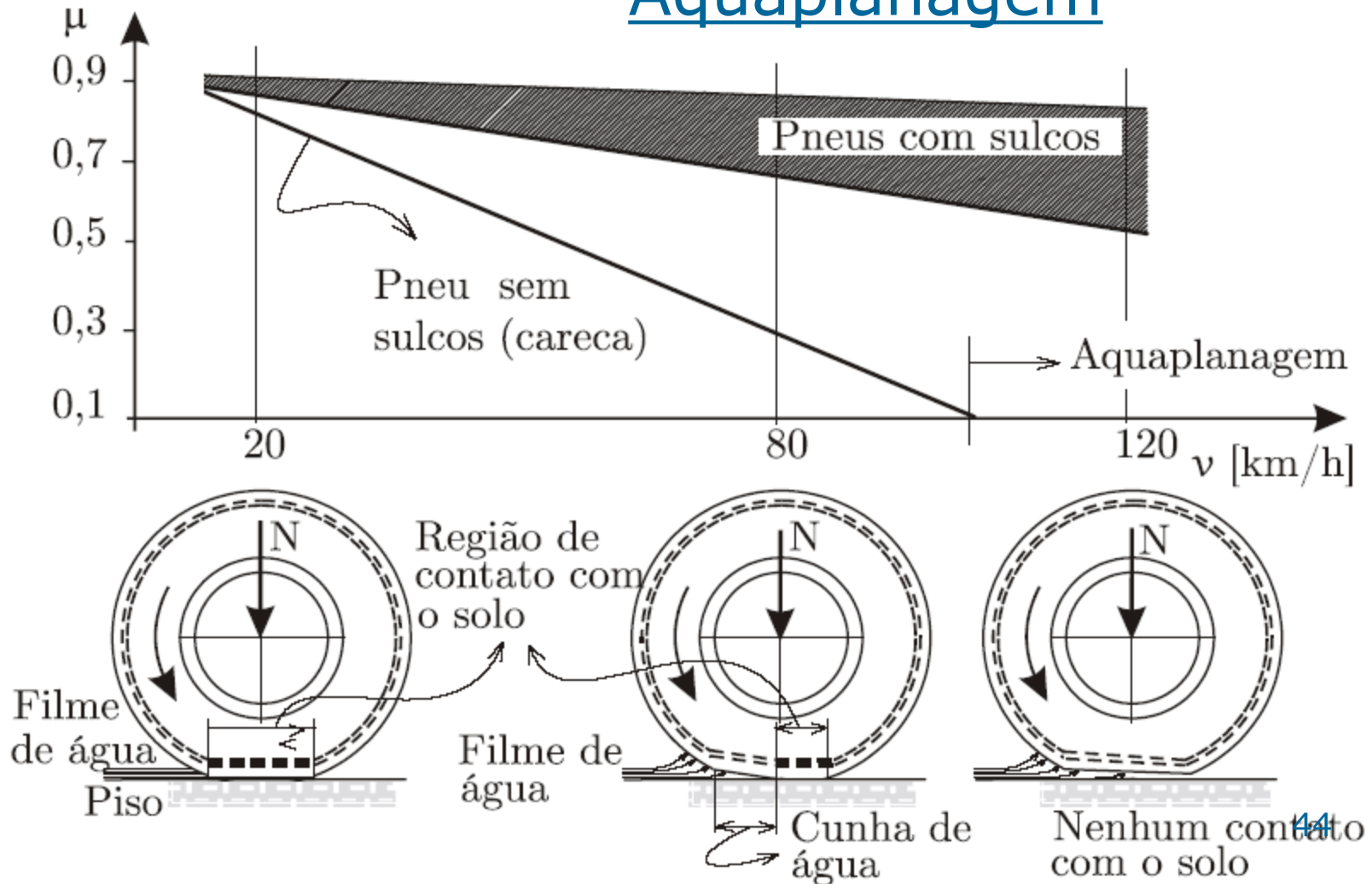
Pressão do pneu

# Coeficiente de escorregamento em diferentes velocidades



# Variáveis que afetam o coeficiente de atrito

## Aquaplanagem





# Variáveis que afetam o coeficiente de atrito



Aquaplanagem



# Variáveis que afetam o coeficiente de atrito

Aquaplanagem



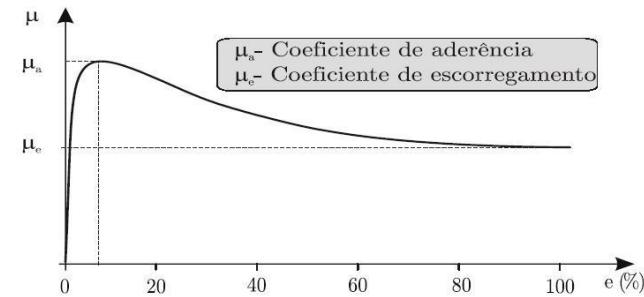
# Substituição de pneus usados

Desgaste

Teste a par pneus novos qual eixo.wmv

<http://www.youtube.com/watch?v=Eqcpgek1VSH8&NR=1>

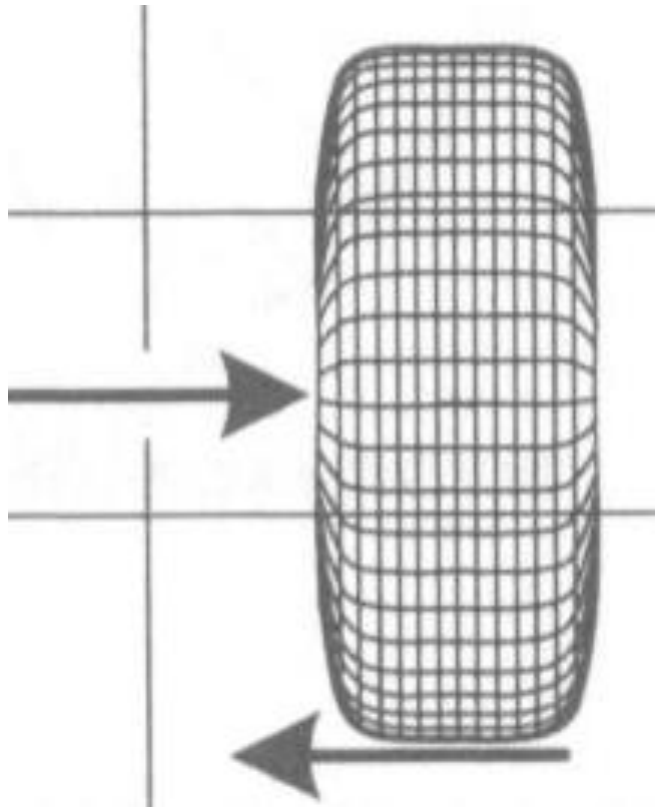
# Relevância sobre o desempenho do veículo



- Desempenho de frenagem
  - Distância de parada.
  - Coeficiente de aderência ( $\mu_a$ ).
  - Dificuldade de se manter o coeficiente de aderência devido à transferência de carga.
  - O travamento das rodas é inevitável ( $\mu_e$ ).
  - Uso de sistemas assistidos (ABS).
  - Limitação em rampas
- Desempenho em tração
  - Limite de rampa.
  - Habilidade do motorista em não deixar patinar.
  - Necessidade do controle de tração.



# Mecanismo de geração de força



Força lateral (S)

# Comportamento lateral

Geração das forças laterais:

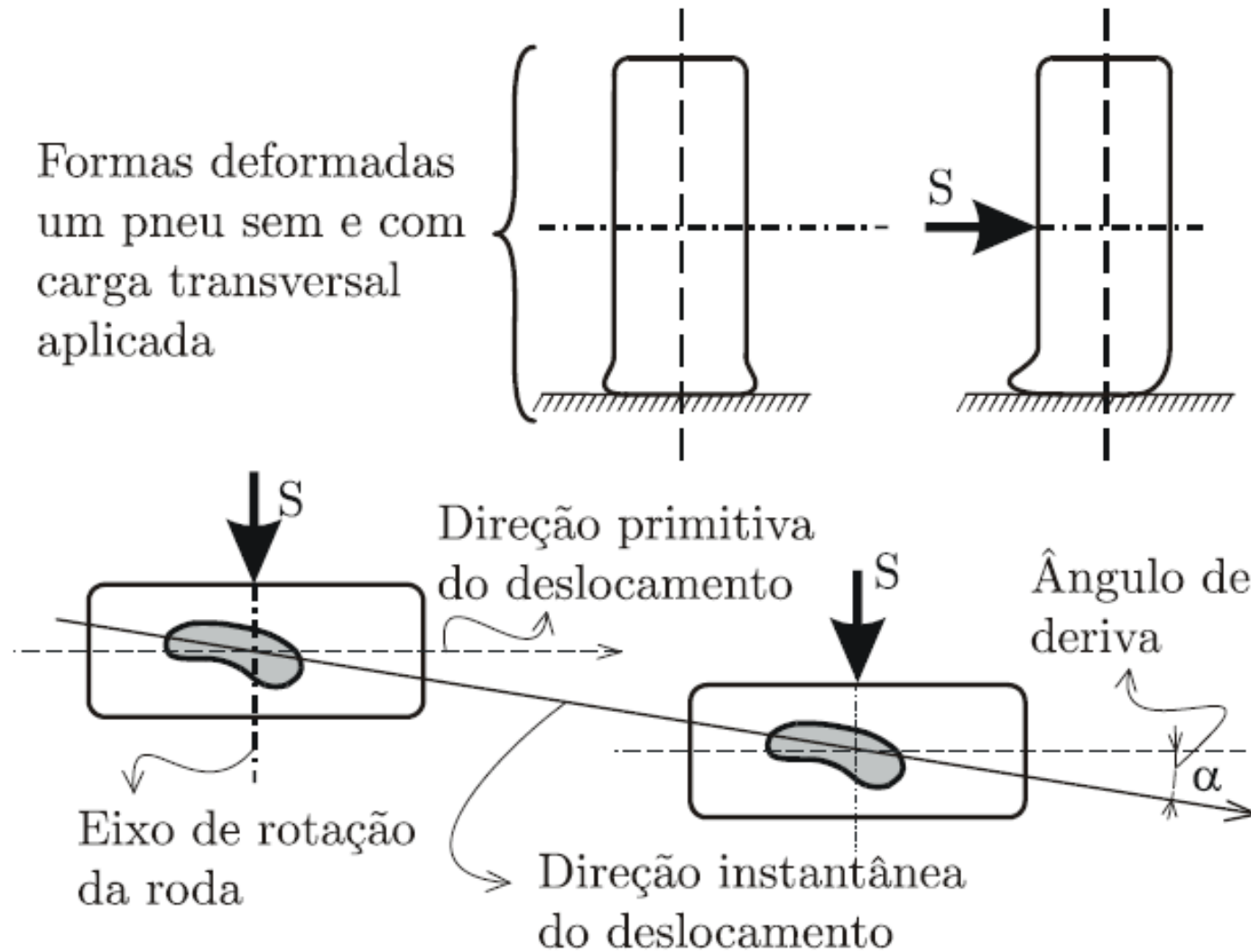
- Controlar a direção do veículo.
- Gerar aceleração lateral em curvas ou mudança de pista.
- Restringir forças externas (rajadas de vento, inclinação lateral da pista).

Obtenção:

- Deslizamento lateral do pneu (deriva).
- Inclinação lateral do pneu (cambagem).



# Deslizamento lateral (*deriva*)



Slip Angle

Figura 1.19: Deriva de um pneu.

# Deslizamento lateral (deriva)

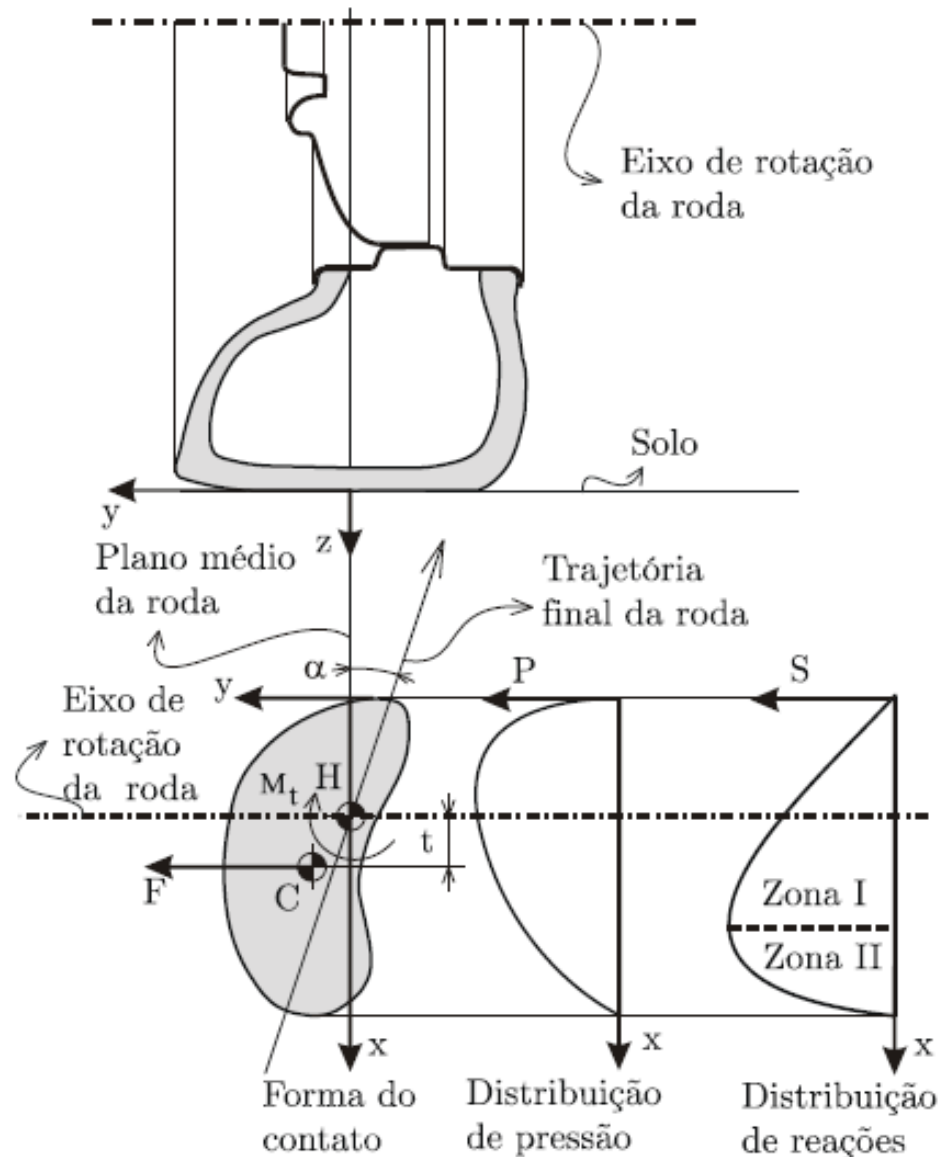


Figura 1.20: Distribuição de pressão na região de contato pneu/solo.

# Momento de auto alinhamento

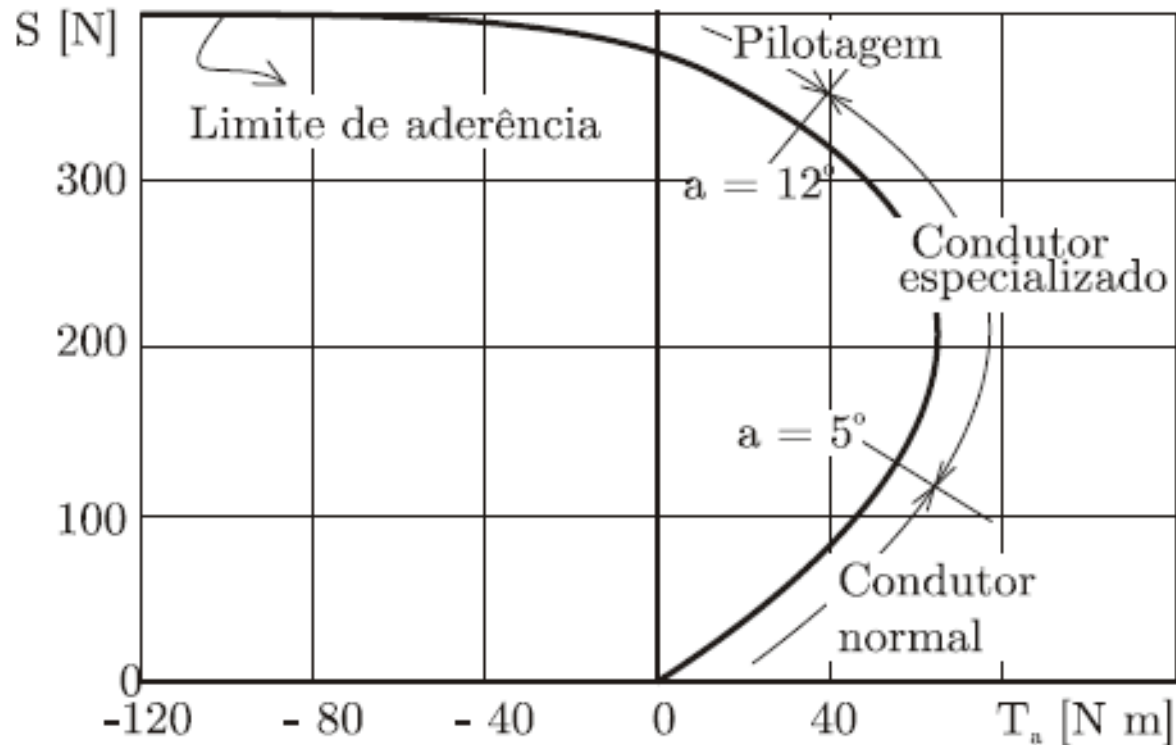


Figura 1.21: Comportamento da força de atrito em curva com o momento de auto alinhamento do pneu.

# Força Lateral (S)

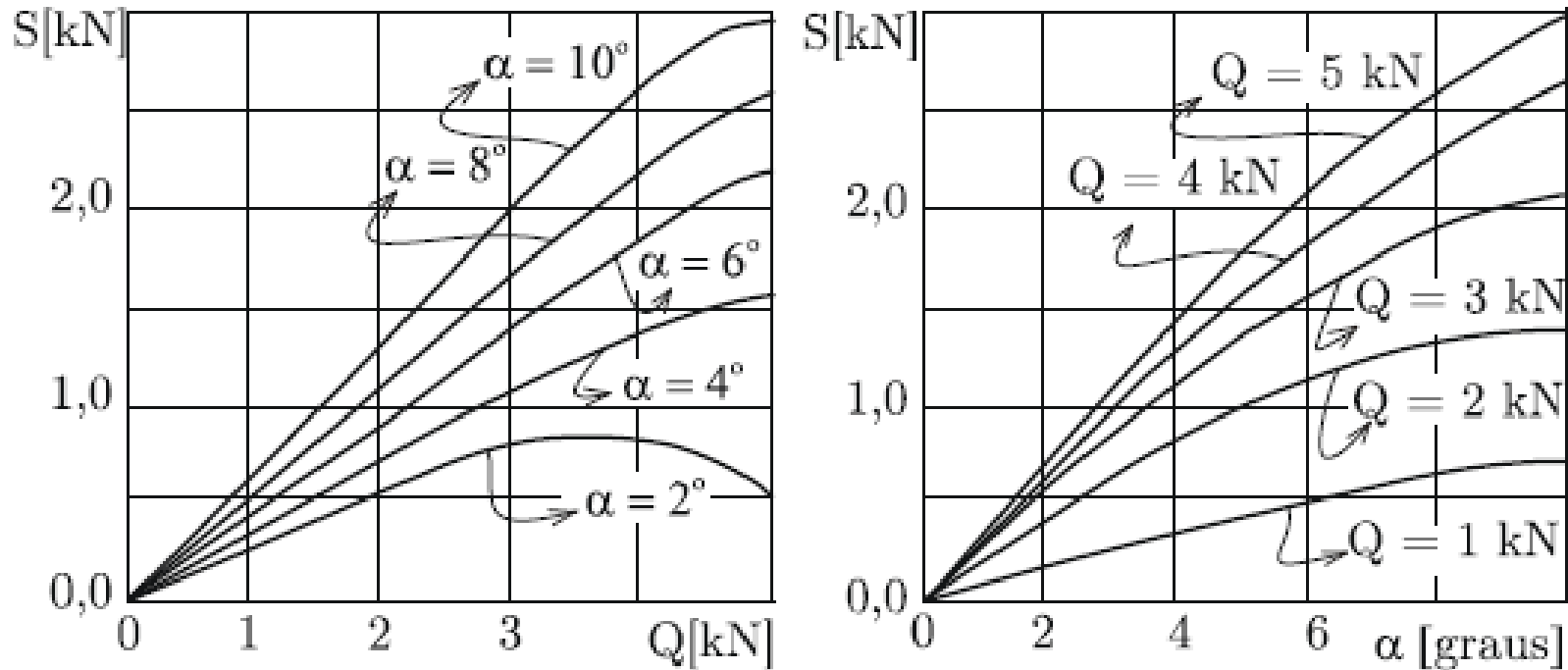


Figura 1.24: Diagramas de comportamento dos pneus em termos de  $Q$ ,  $S$  e  $\alpha$ .

$Q$  – força vertical sobre a roda

$S$  – força lateral

$\alpha$  - ângulo de deriva

# Força Lateral (S)

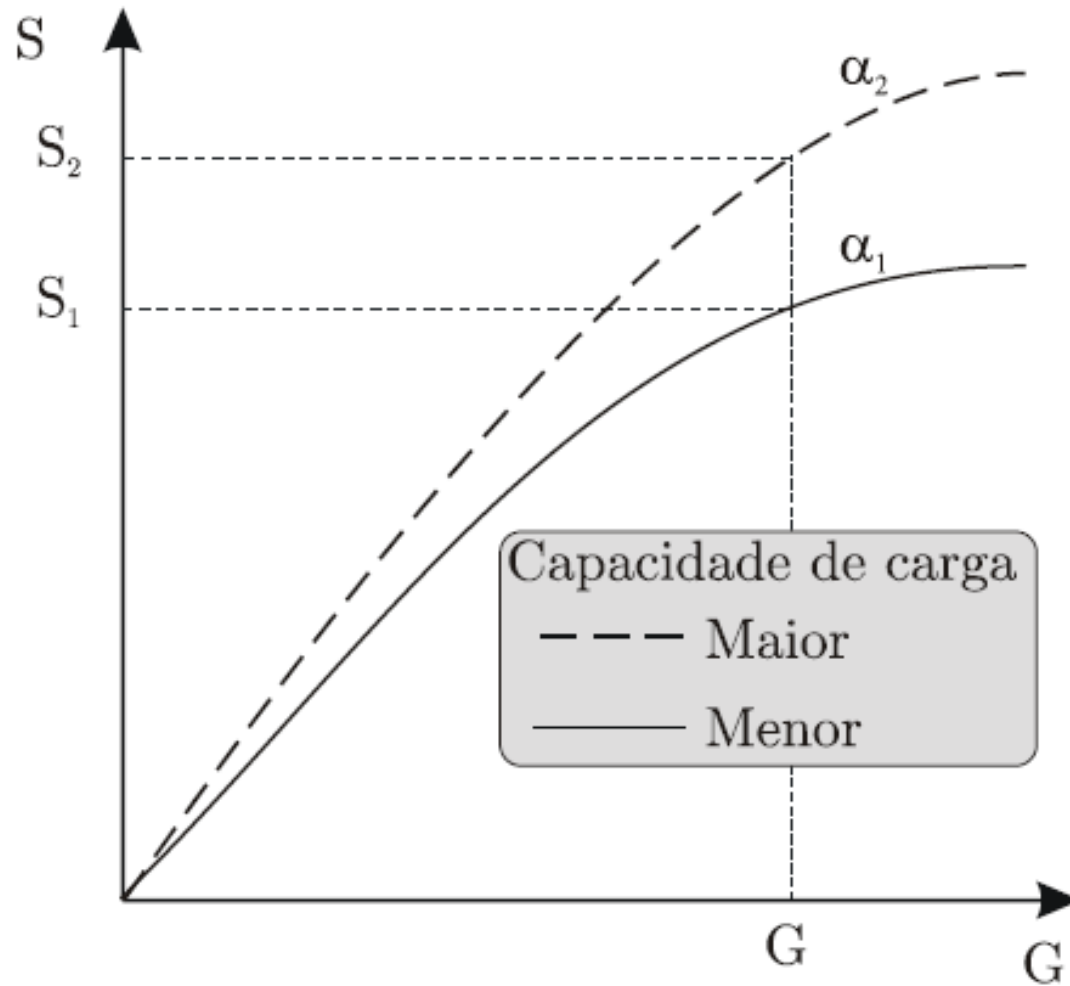


Figura 1.26: Pneus com capacidades de carga diferentes, com mesma deriva.

# Força Lateral (S)

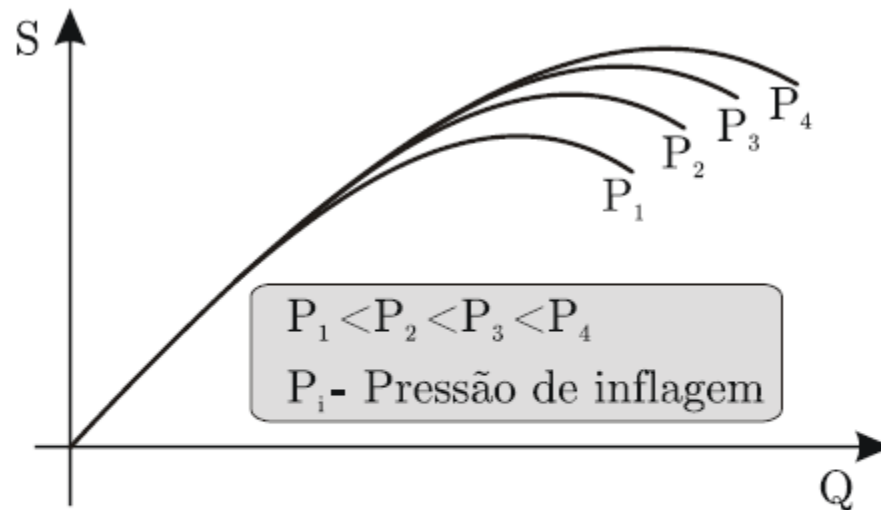


Figura 1.27: Característica  $S = f(Q)$  com diferentes pressões do pneu e igual ângulo de deriva.



# Força Lateral (S)

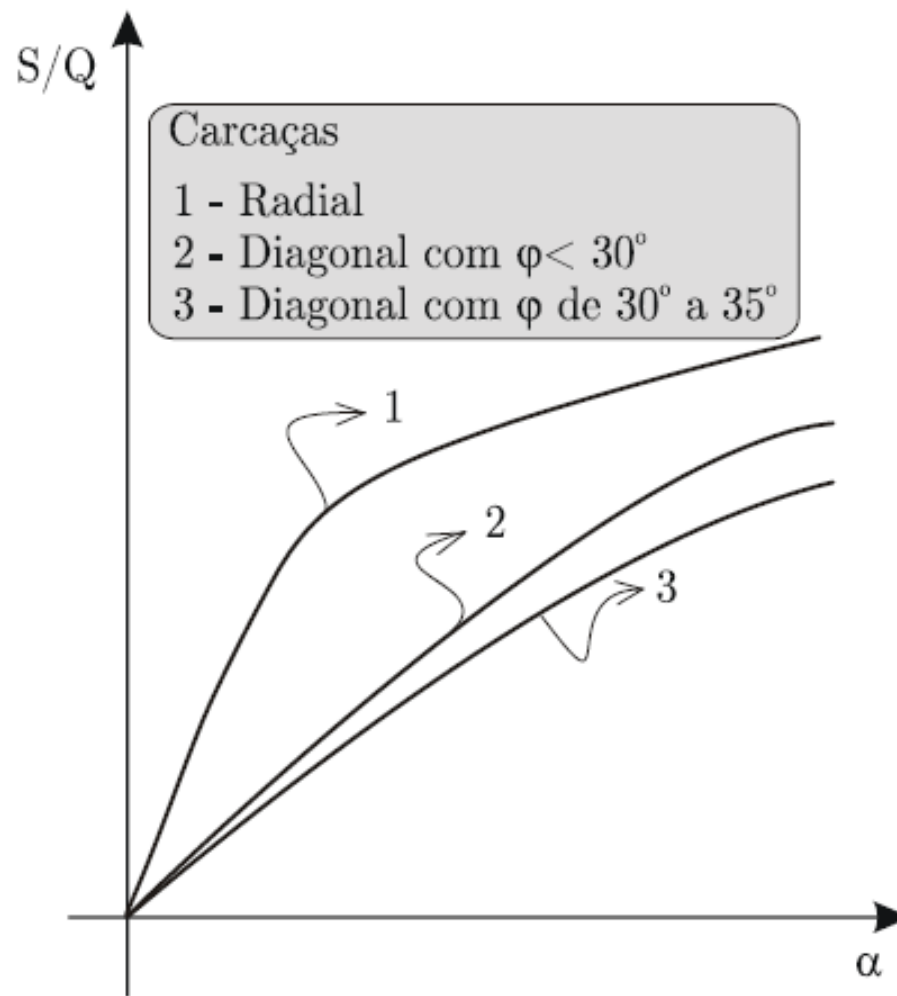


Figura 1.28: Influência do tipo de construção do pneu na absorção de forças laterais.

# Força Lateral (S)

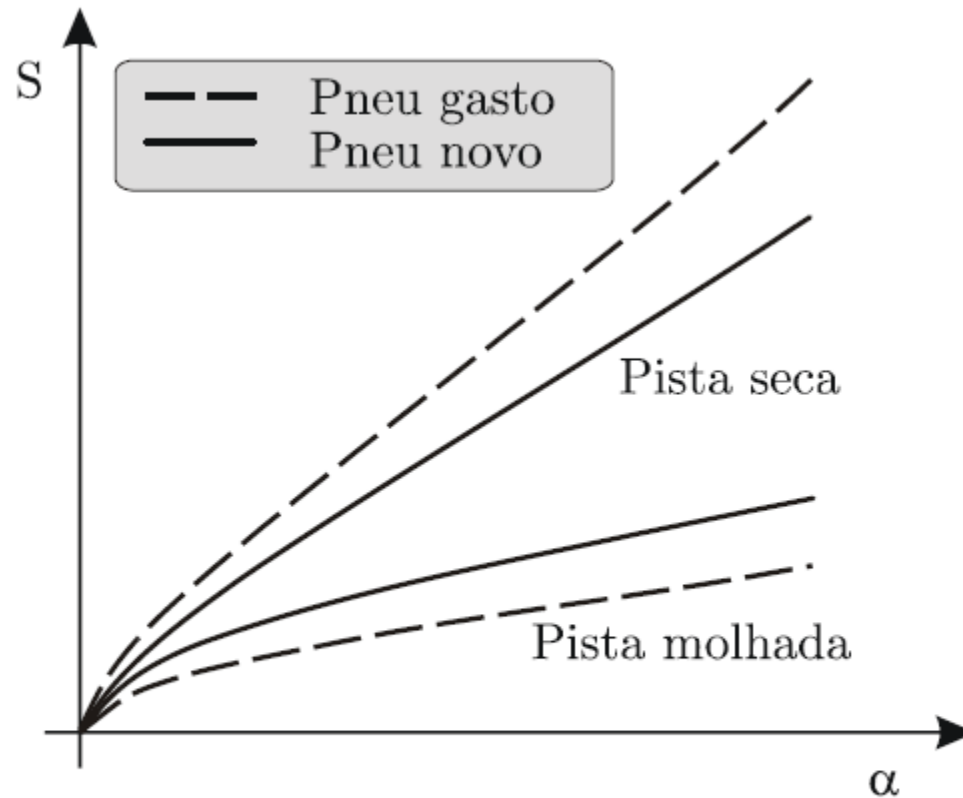
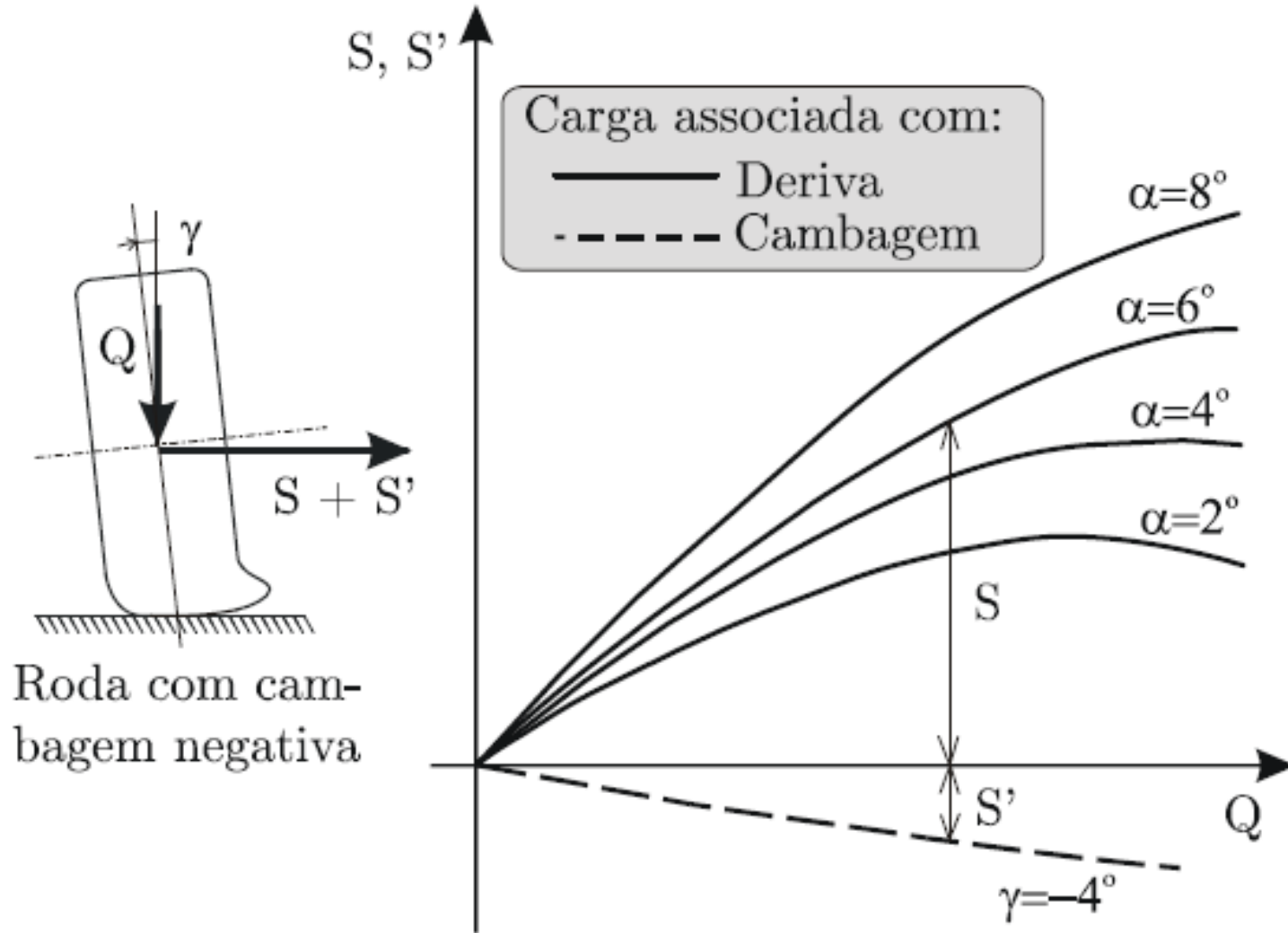
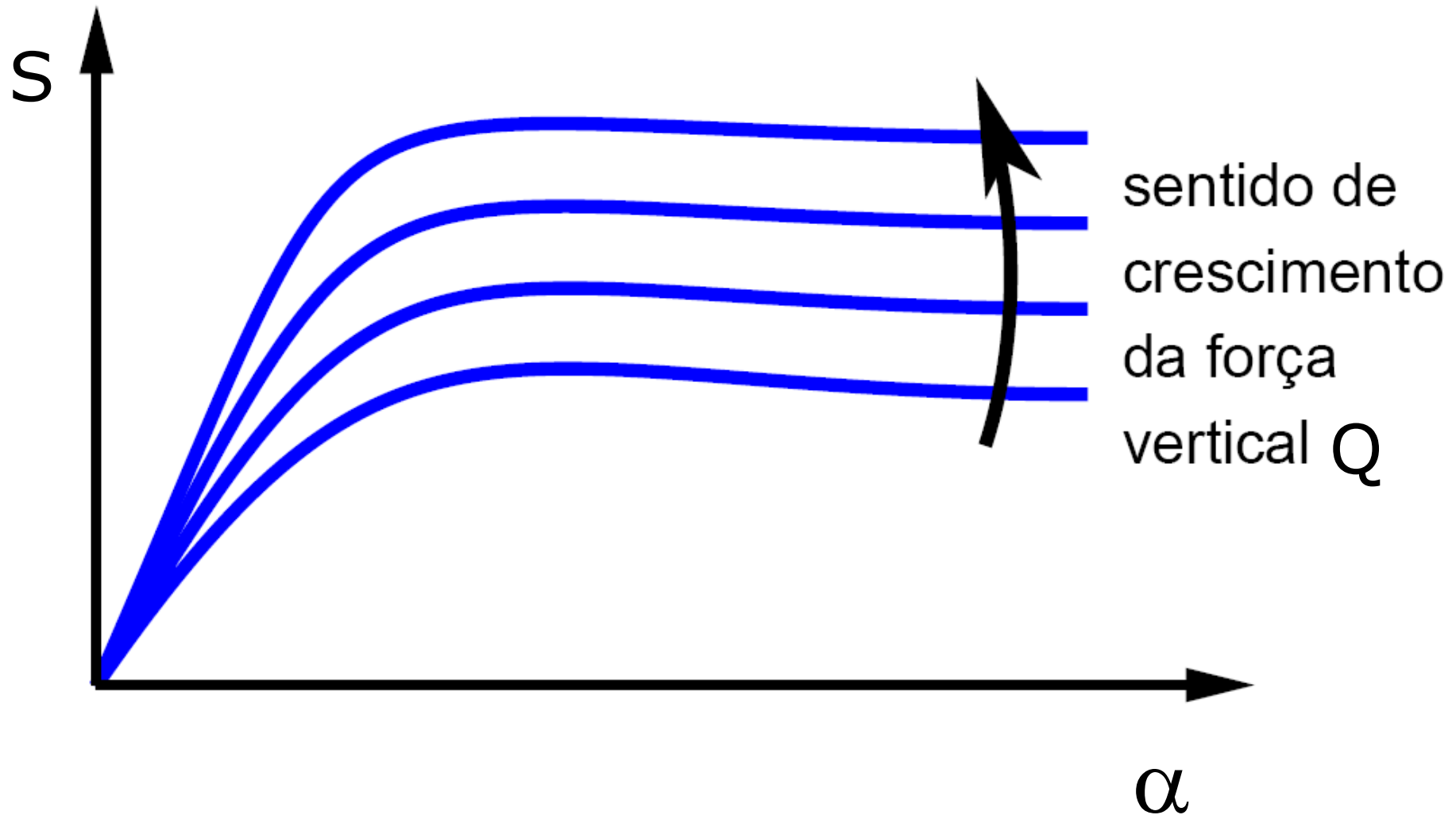


Figura 1.29: Comportamento de um pneu, sob ação de cargas transversais, para vários estados da banda de rodagem.

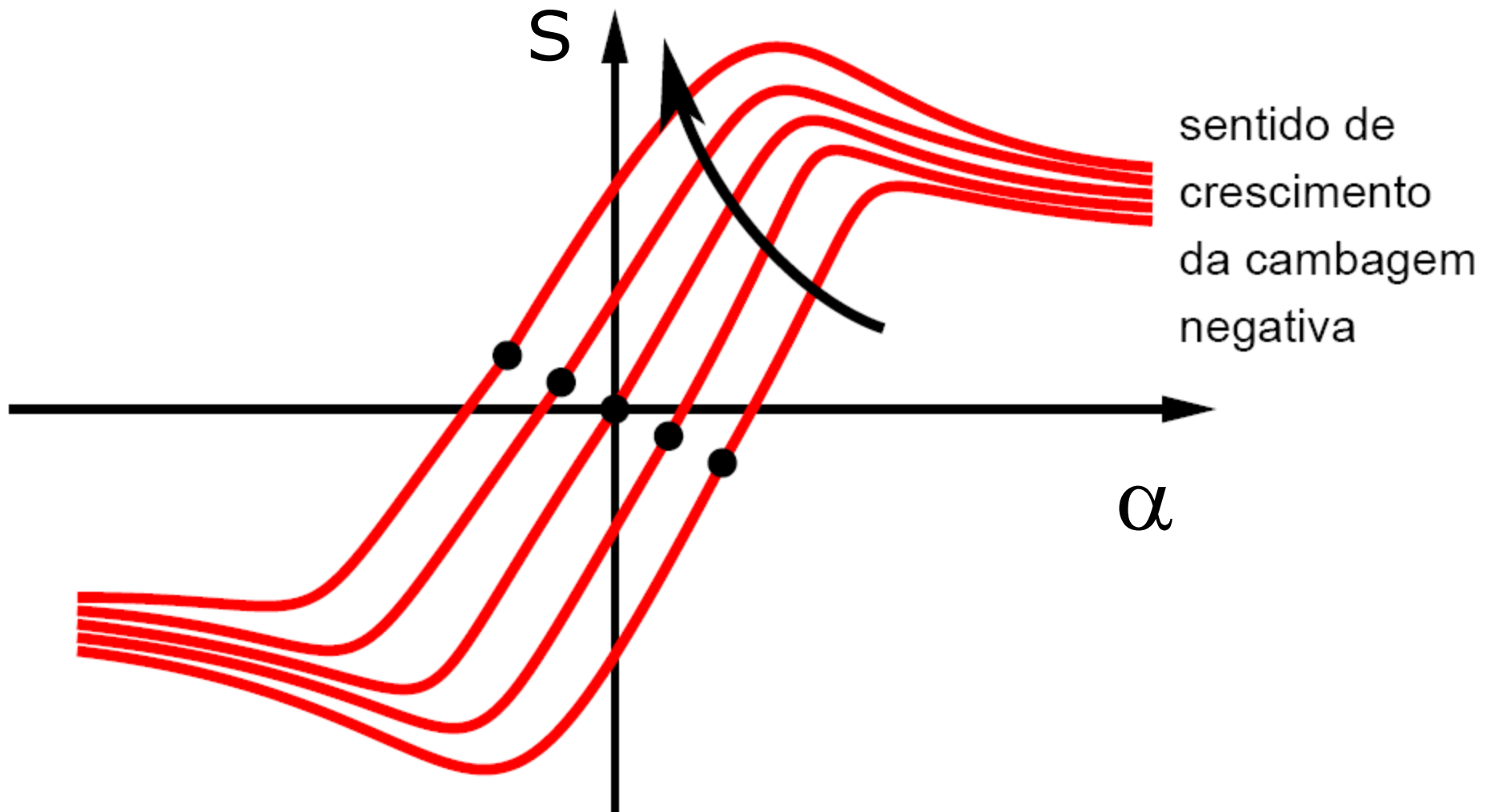
# Força Lateral (S)



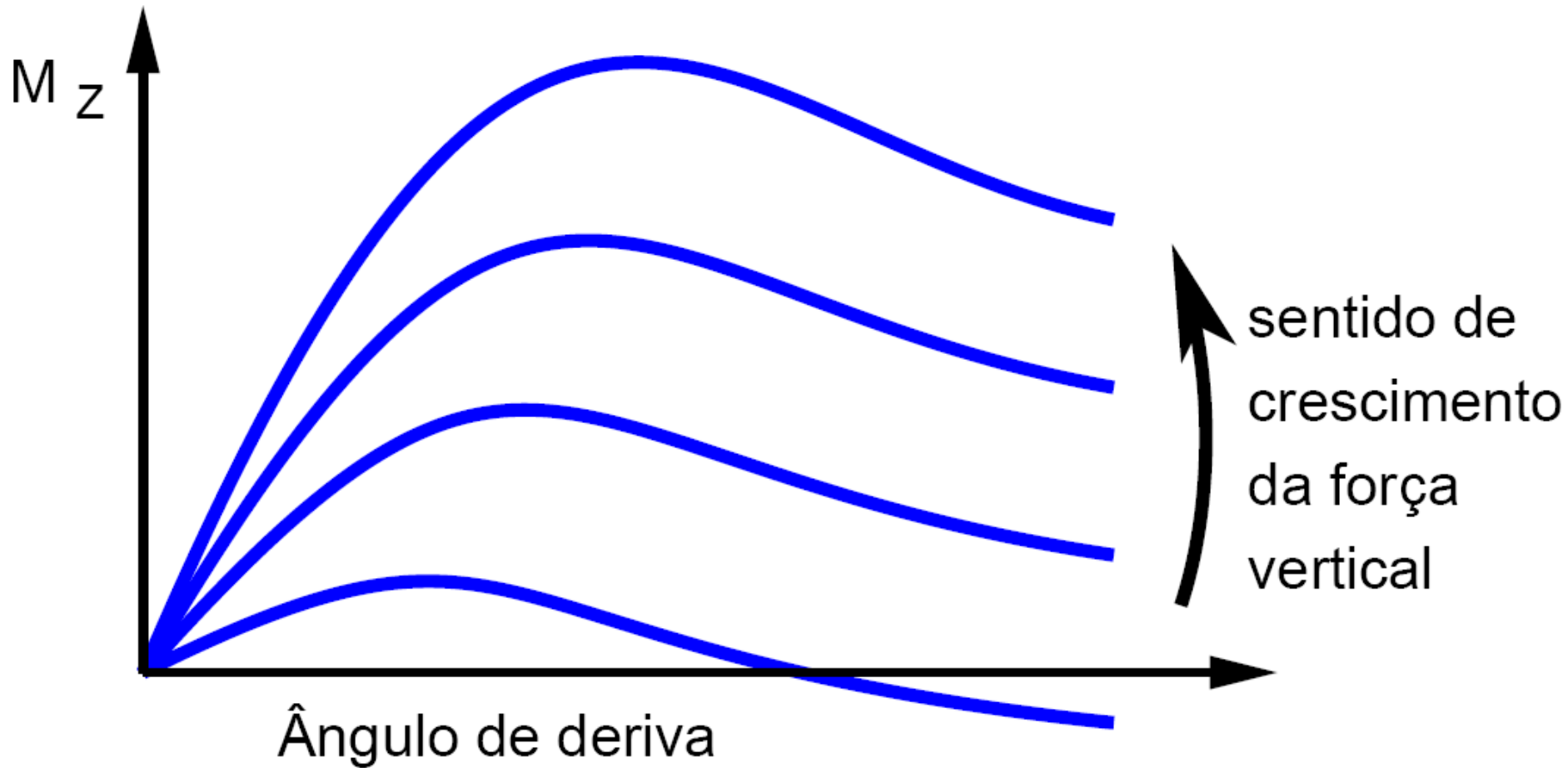
# Influência da força normal



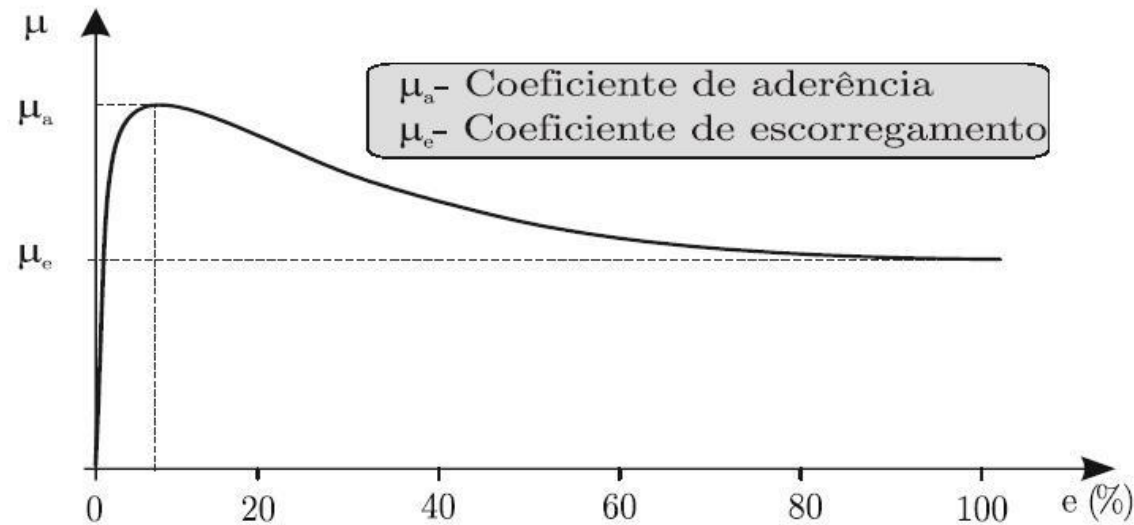
# Influência da cambagem



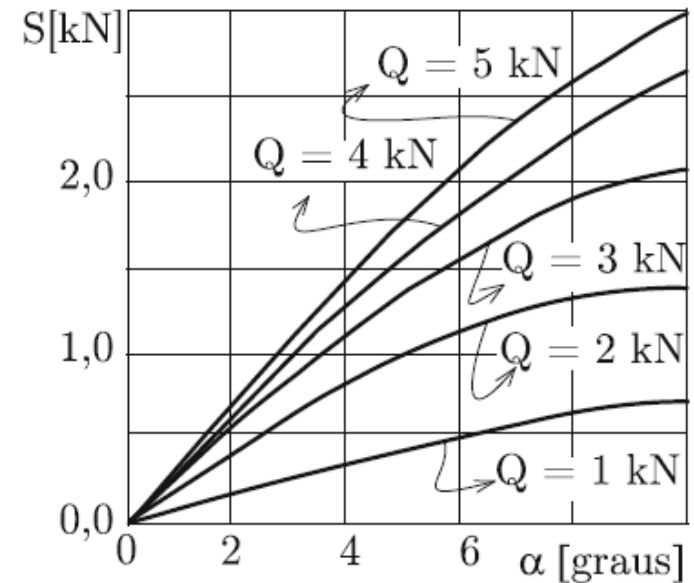
# Influência da força normal no momento de auto alinhamento



# Formatos típicos das curvas



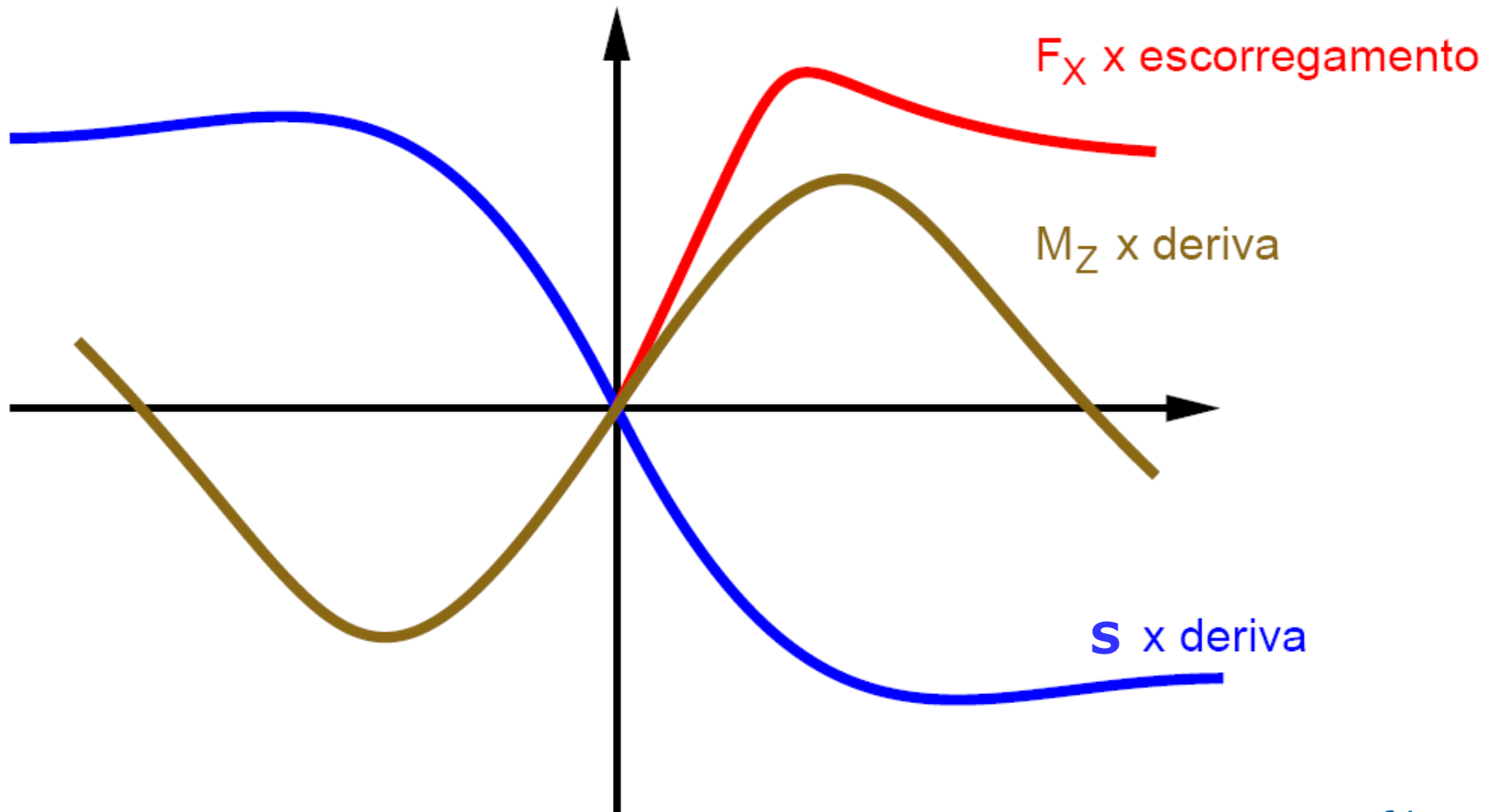
Longitudinal



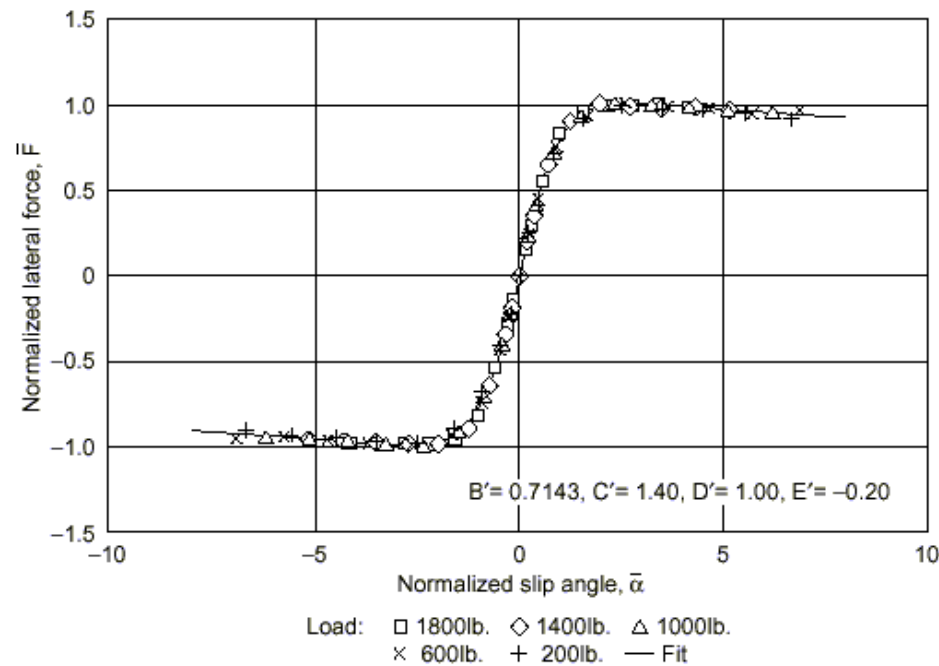
Lateral



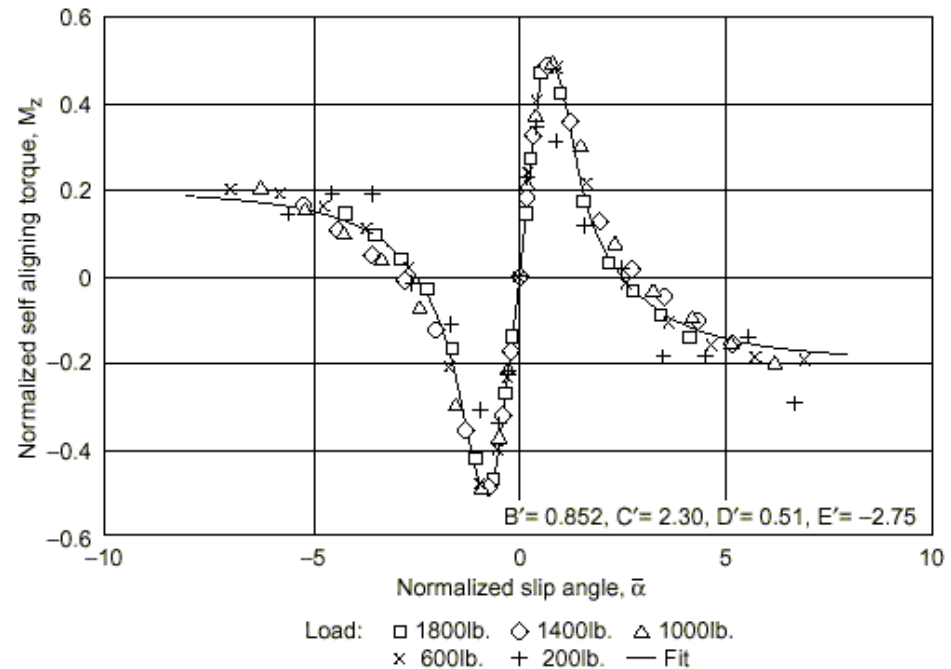
# Formatos típicos das curvas



# Obtenção experimental



Força lateral



Momento auto-alinhante

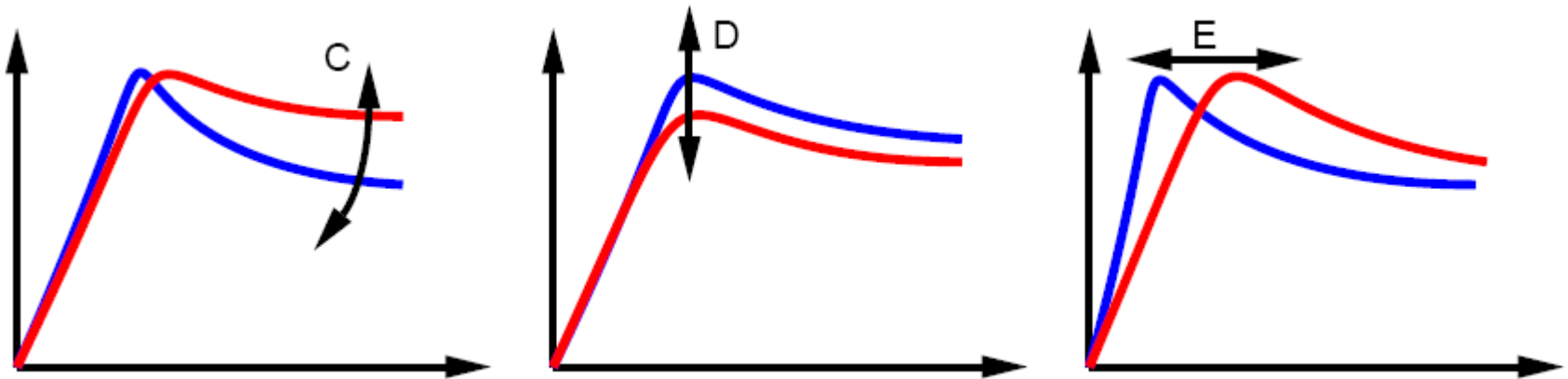
SLIP ANGLE

Tire Force Test

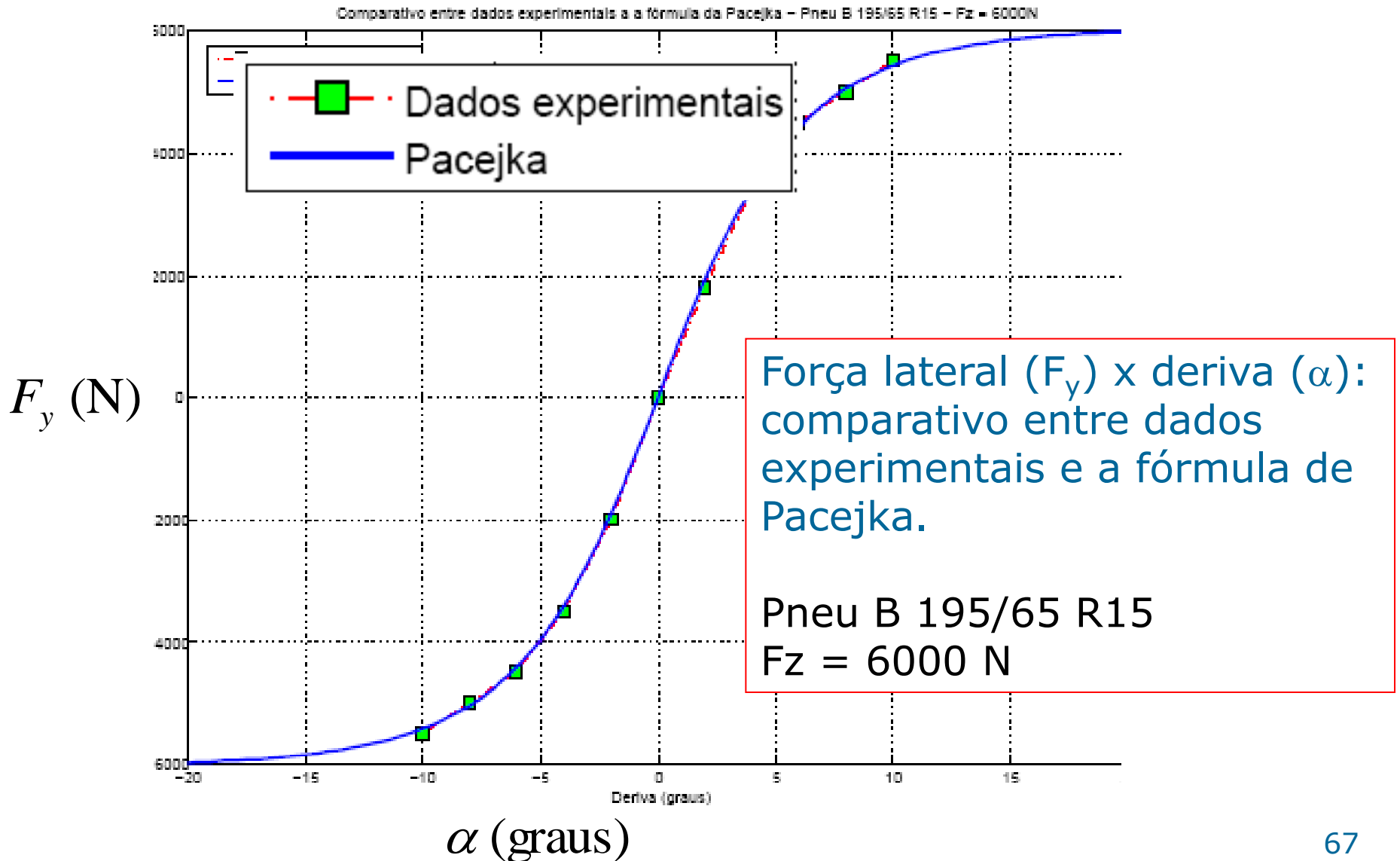
# Fórmula de Pacejka

- Expressão matemática diferenciável.
- Baseada em dados experimentais.

$$Y = D \cdot \sin \left\{ C \cdot \arctan \left[ B \cdot (X + S_H) - E \cdot (B \cdot (X + S_H) - \arctan(B \cdot (X + S_H))) \right] \right\} + S_V$$



# Fórmula de Pacejka



# Referência bibliográfica

Nicolazzi, Lauro C., Rosa, E. e Leal, L.C.M.. UMA INTRODUÇÃO À MODELAGEM QUASE-ESTÁTICA DE VEÍCULOS AUTOMOTORES DE RODAS. Florianópolis: Publicação interna do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, 2001

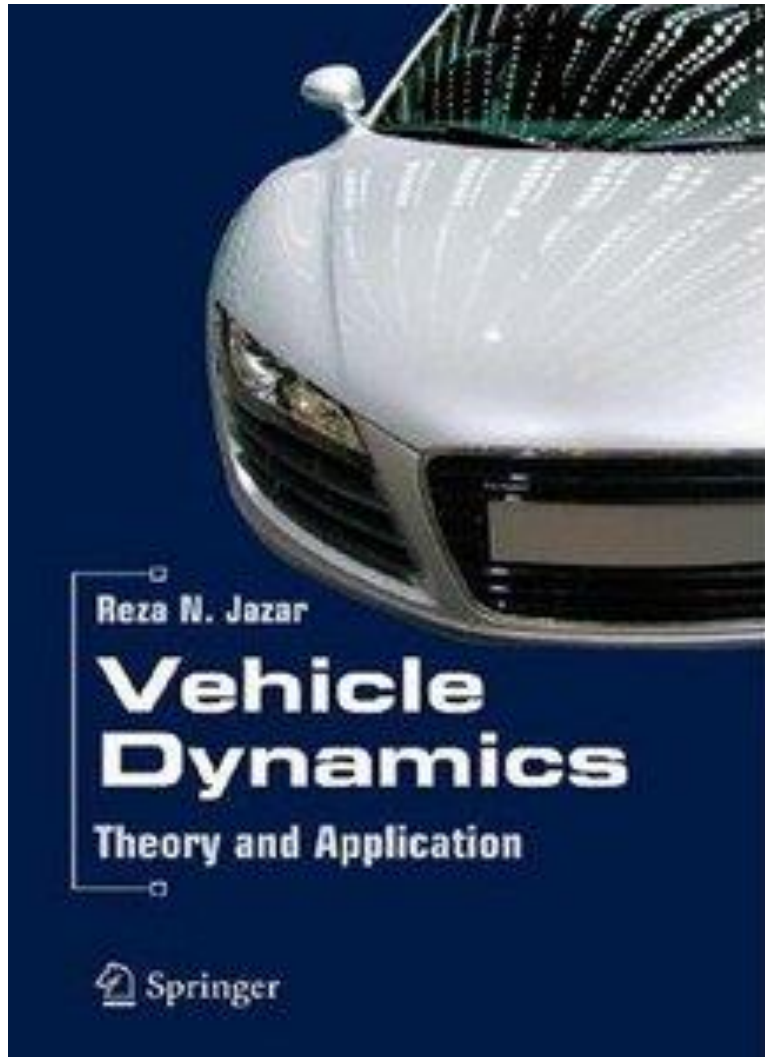
Gillespie, Thomas D.. FUNDAMENTALS OF VEHICLE DYNAMICS. Warrendale: SAE, 1992.

Jazar, Reza N.. VEHICLE DYNAMICS: Theory and application. Berlin: Springer, 2008.

BND Techsource. Tire Data Calculator.

[http://bndtechsource.ucoz.com/index/tire\\_data\\_calculator/0-20](http://bndtechsource.ucoz.com/index/tire_data_calculator/0-20).

# Referência bibliográfica



Jazar, Reza N..  
**VEHICLE DYNAMICS:**  
Theory and  
application  
Berlin: Springer,  
2008