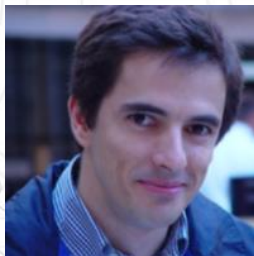


## MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

### Integradora II

Elaborado por Paulo Flores, Filipe Marques, Nuno Dourado e Rui Pereira - 2016



Universidade do Minho  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus de Azurém  
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220  
Fax: +351 253 516 007  
E-mail: [pflores@dem.uminho.pt](mailto:pflores@dem.uminho.pt)  
URL: [www.dem.uminho.pt](http://www.dem.uminho.pt)



Universidade do Minho  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus de Azurém  
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220  
Fax: +351 253 516 007  
E-mail: [fmarques@dem.uminho.pt](mailto:fmarques@dem.uminho.pt)  
URL: [www.dem.uminho.pt](http://www.dem.uminho.pt)



Universidade do Minho  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus de Azurém  
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220  
Fax: +351 253 516 007  
E-mail: [nunodourado@dem.uminho.pt](mailto:nunodourado@dem.uminho.pt)  
URL: [www.dem.uminho.pt](http://www.dem.uminho.pt)



Universidade do Minho  
Departamento de Matemática e Aplicações  
Campus de Azurém  
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 436  
Fax: +351 253 510 401  
E-mail: [rmp@math.uminho.pt](mailto:rmp@math.uminho.pt)  
URL: [www.math.uminho.pt](http://www.math.uminho.pt)

# T.05 – SOBRE O DESEMPENHO DO CARRO

- 1. Introdução**
- 2. Elaboração dos Diagramas do Corpo Livre**
- 3. Caracterização das Forças Envolvidas**
- 4. Procedimento para Efetuar a Análise Dinâmica**
- 5. Revisão de Conhecimentos**
- 6. Consultas Recomendadas**

## 1. Introdução

Neste documento são apresentados os principais **ingredientes relativos à análise do desempenho do carro** descrito anteriormente.

Para o efeito, são elaborados os **diagramas do corpo livre** dos principais elementos que constituem o carro, ou seja, do **chassis**, das **rodas traseiras** e da **roda dianteira**.

De seguida, são identificadas e **caraterizadas as principais forças e momentos** que atuam nos diversos elementos que compõem o carro.

Neste processo são apresentados os principais **valores relativos aos coeficientes** necessários para caraterizar as forças em jogo.

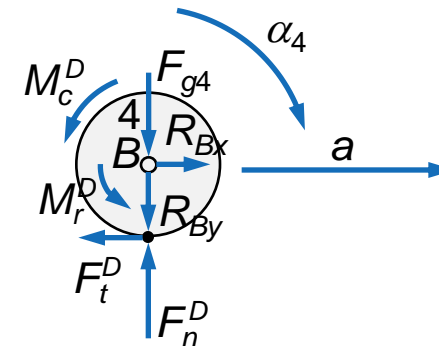
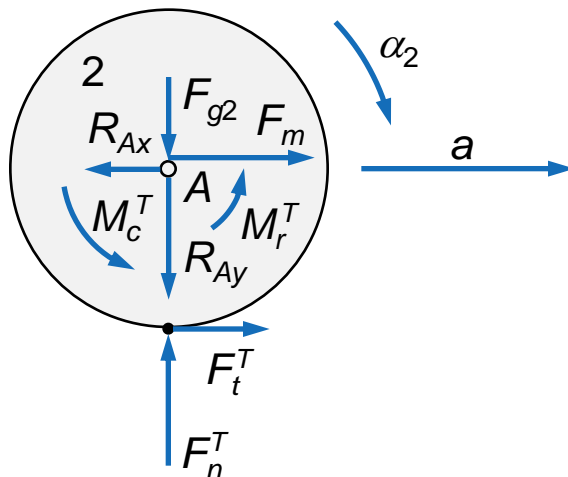
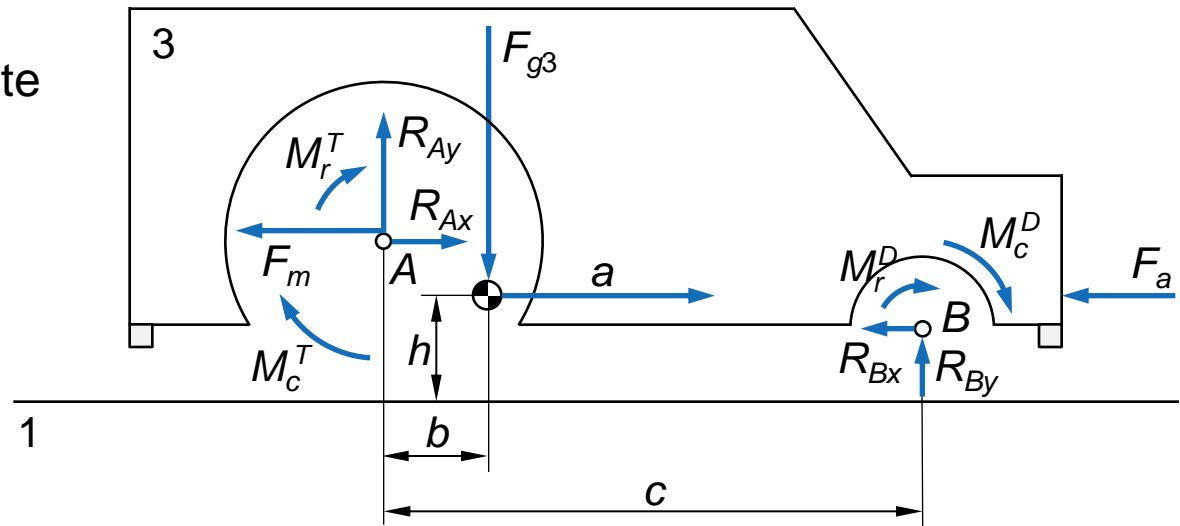
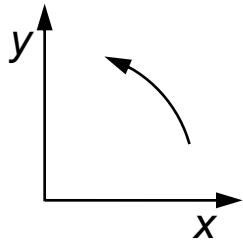
Deve, desde já, chamar-se a atenção para a necessidade de aferir, verificar e **quantificar corretamente os valores dos coeficientes e parâmetros** utilizados nos projetos em consideração.

É, pois, importante estudar o desempenho do carro, tendo em vista a identificação das **variáveis dominantes e secundárias**.

## 2. Elaboração dos Diagramas do Corpo Livre

Apresentam-se de seguida os **diagramas do corpo livre** do chassis, das rodas traseiras e a roda dianteira.

Nesta fase é muito importante a definição do **sistema de coordenadas** a adotar.



### 2. Elaboração dos Diagramas do Corpo Livre

As **forças e os momentos** representados nos diagramas do corpo livre anteriormente elaborados têm os seguintes significados

$F_{g2}$  – Peso das rodas traseiras (inclui as duas rodas, eixos, etc.)

$F_{g3}$  – Peso do chassis (inclui mola, etc.)

$F_{g4}$  – Peso da roda dianteira

$F_t^T$  – Força de tração (força de atrito de deslizamento)

$F_t^D$  – Força de atrito na roda dianteira

$R_{Ax}$  – Reação horizontal no apoio *A*

$R_{Ay}$  – Reação vertical no apoio *A*

$R_{Bx}$  – Reação horizontal no apoio *B*

$R_{By}$  – Reação vertical no apoio *B*

### 2. Elaboração dos Diagramas do Corpo Livre

$M_r^T$  – Momento de atrito de rolamento nas rodas traseiras

$M_r^D$  – Momento de atrito de rolamento na roda dianteira

$M_c^T$  – Momento de atrito nas chumaceiras (apoios) dos eixos traseiros

$M_c^D$  – Momento de atrito na chumaceira (apoio) do eixo dianteiro

$F_n^T$  – Reação normal nas rodas traseiras

$F_n^D$  – Reação normal na roda dianteira

$F_a$  – Força de arrasto devido ao ar

$F_m$  – Força da mola

$a$  – Aceleração linear do carro

$\alpha_2$  – Aceleração angular das rodas traseiras

$\alpha_4$  – Aceleração angular da roda dianteira

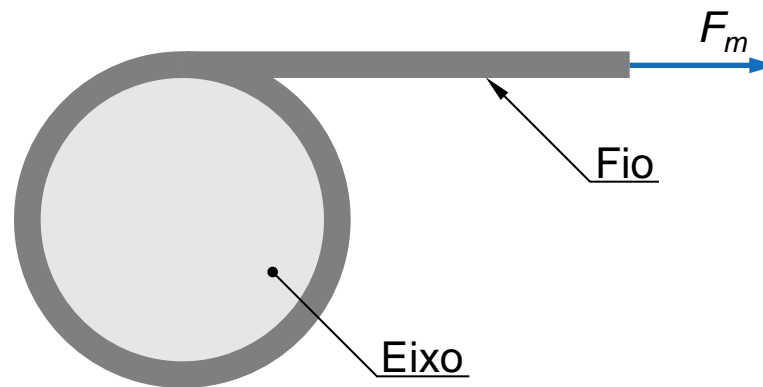
## 2. Elaboração dos Diagramas do Corpo Livre

Deve chamar-se a atenção que neste modelo de carro não se consideram as forças de sustentação, nem as forças laterais devido ao movimento carro-ar.

Neste modelo, a mola está paralela ao plano horizontal, desenvolvendo, por isso, apenas força na direção segundo o eixo  $x$ .

Deve chamar-se ainda a atenção para a correta localização das forças que atuam nos diversos elementos.

No cálculo do braço do momento da força da mola não se considera a espessura do fio.



### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

A **força de arrasto** ( $F_a$ ) frontal devido à resistência do ar que é exercida sobre o carro pode ser determinada do seguinte modo

$$F_a = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_D$$



em que  $\rho$  é a **massa específica** do ar [ $\sim 1,16 \text{ kg/m}^3$ ],  $v$  representa a **velocidade instantânea** relativa entre o carro e o ar [ $\text{m/s}$ ],  $A$  denota a **área projetada** segundo a direção do movimento do carro [ $\text{m}^2$ ] e  $C_D$  é o **coeficiente de forma** do carro, também denominado coeficiente de resistência aerodinâmica.

O coeficiente de forma é um parâmetro adimensional que pode ser determinado numérica ou experimentalmente (utilizando túneis de vento).

A título de exemplo, apresentam-se de seguida valores médios do coeficiente de forma para diferentes veículos:



Camião (0,9)



Ford T (0,8)

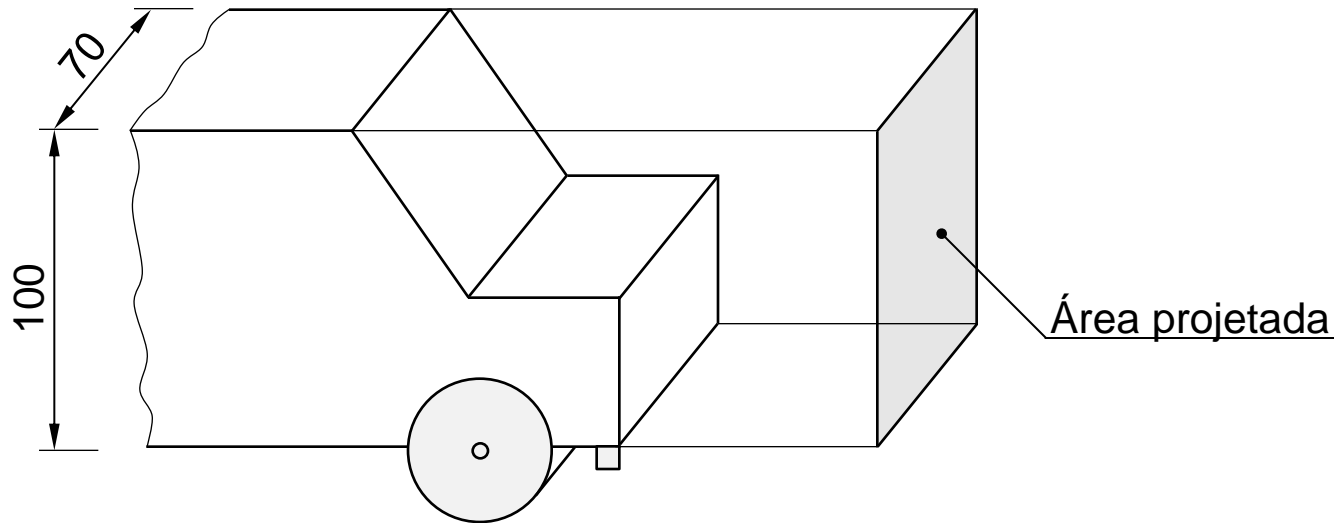


Toyota Prius (0,26)



### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Admitindo que o carro aqui analisado tem a seguinte forma



então, a área projetada é igual a  $A = 100 \times 10^{-3} \times 70 \times 10^{-3} = 0,007 \text{ m}^2$ .

Em geral, o efeito da resistência do ar no desempenho dinâmico do carro é relativamente pequeno, mas não deve, por isso, ser negligenciado.

Finalmente, admite-se que a força de arrasto frontal originada pela resistência do ar atua no centro de gravidade do carro, tal como se representou anteriormente.

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

As **molas helicoidais de tração** desenvolvem forças cuja intensidade é dada pelo lei de Hooke, ou seja

$$F_m = k\delta \quad (2)$$

em que  **$k$**  representa a rigidez da mola, expressa em [N/m] e  **$\delta$**  é a deformação da mola, expressa em [m].

A equação (2) é válida para o **domínio elástico**, ou seja, na zona fora do domínio plástico dos materiais.



Mola de tração



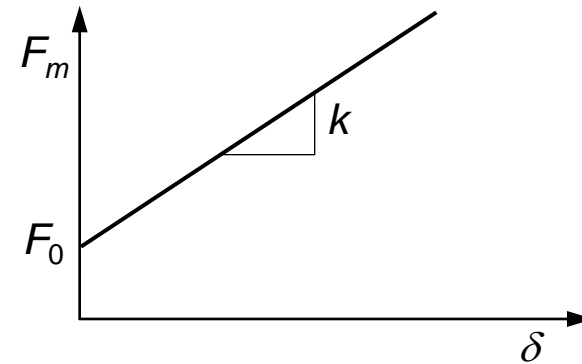
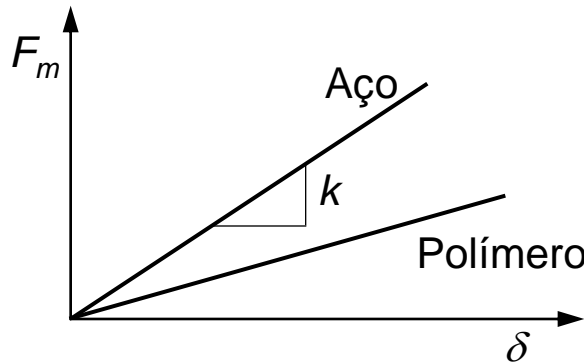
Mola de compressão



Mola de torção

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

De um modo geral, as molas helicoidais de tração têm um **comportamento linear**, isto é, a relação entre a força desenvolvida pela mola e a deformação é do tipo linear, tal como expressa a equação (2) e se representa nas figuras seguintes.



O **declive das retas representa a rigidez** ou constante de mola. Quanto maior for o declive maior é a rigidez mola.

Quando nas molas existe uma **pré-tensão** (força inicial), a força total desenvolvida na mola é dada pela seguinte expressão

$$F_m = F_0 + k\delta \quad (3)$$

em que  $F_0$  representa a pré-tensão da mola.

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Nos casos em que existe uma pré-tensão, existe sempre força a atuar na mola, mesmo quando a deformação da mola é nula.

A figura seguinte mostra as principais características geométricas de uma mola helicoidal de tração, em que:

$L_0$  – Comprimento total da mola

$L$  – Comprimento de enrolamento, *i.e.*, comprimento da mola sem carga

$D_e$  – Diâmetro exterior da mola

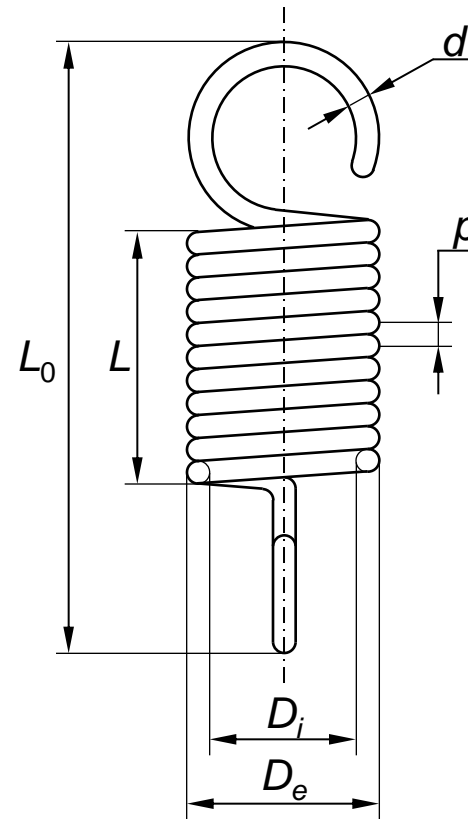
$D_i$  – Diâmetro interior da mola

$d$  – Diâmetro do arame

$p$  – Passo da mola

$N$  – Número de espiras

$C$  – Índice de mola



### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

O **índice de mola** é da pelo quociente entre o diâmetro médio da mola ( $D$ ) e o diâmetro do arame ( $d$ ), ou seja

$$C = \frac{D}{d} \quad (4)$$

Geralmente, o índice de mola varia entre 6 e 12.

Tal como se referiu anteriormente, a **rigidez de uma mola helicoidal** pode ser determinada numérica ou experimentalmente. Alternativamente, a constante de mola pode ser **calculada analiticamente** de acordo com a seguinte expressão

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N} \quad (5)$$

em que  $d$  é o diâmetro do arame [m],  $G$  é o módulo de elasticidade transversal do material da mola [Pa],  $D$  é o diâmetro médio da mola [m] e  $N$  representa o número total de espiras da mola.

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

A rigidez de uma mola é bastante sensível a pequenas variações na medição do diâmetro do arame e do diâmetro da mola.

O módulo de elasticidade transversal do aço comumente utilizado em molas helicoidais é da ordem dos 75-80 GPa.

Uma análise similar pode ser apresentada para **molas de torção**, em que o momento desenvolvido pela mola é dado por

$$M_m = k_T \theta \quad (6)$$

em que  $k_T$  é a rigidez torsional da mola [Nm/rad] e  $\theta$  é a deformação angular da mola [rad].

De modo análogo, a constante da mola pode ser obtida recorrendo a métodos analíticos, numéricos ou experimentais.

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

As **forças de atrito** são forças de natureza dissipativa que se **opõem ao movimento relativo** de duas superfícies em contacto.

Na presente análise apenas se estuda o **atrito seco**, isto é, aquele em que não existe lubrificação das superfícies.

De um modo simples, pode distinguir-se o **atrito de deslizamento** ou de escorregamento do **atrito de rolamento**.

O primeiro está associado ao escorregamento (ou tendência para escorregar) de duas superfícies com grande área de contacto.

O segundo caso refere-se ao rolar de um corpo sobre outro em que o contacto é, teoricamente, pontual.

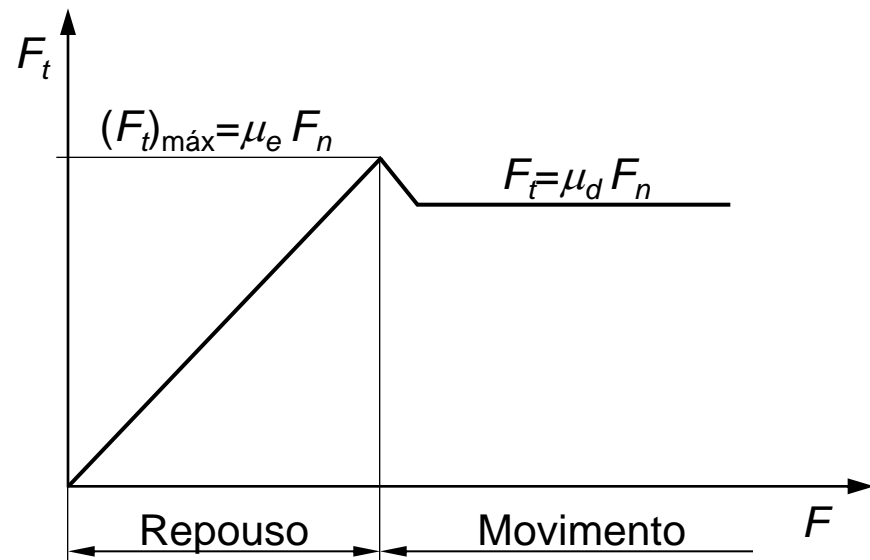
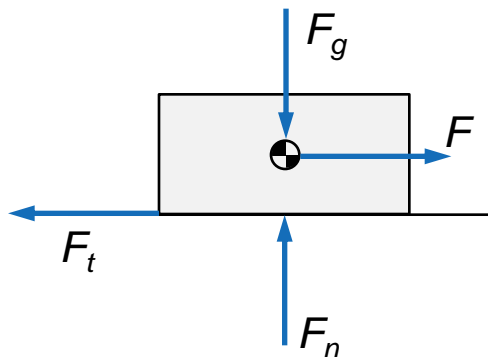
Tal como o próprio nome sugere, o **atrito de deslizamento** ocorre quando duas superfícies deslizam uma em relação à outra (**situação dinâmica**), ou quando se tenta iniciar esse deslizamento (**situação estática**).

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Numa situação estática, como, por exemplo, um bloco estacionado sobre um plano horizontal, a **força de atrito seco ou de Coulomb** impede que o movimento se inicie quando é aplicada uma força exterior.

Isto é, aplicando uma força  $F$  de intensidade variável e crescente, verifica-se que na dita situação estática, o módulo da força de atrito é igual à força aplicada  $F$ , mas atua em sentido contrário.

Estas duas forças, portanto, anulam-se, fazendo com que não haja movimento e o bloco permanece em repouso.





### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Durante o período de repouso verifica-se que

$$F_t = F \quad (7)$$

A força de atrito é máxima no fim do período de repouso, isto é, quando se está na eminência de se iniciar o movimento. Esta força de atrito máxima é dada por

$$(F_t)_{\text{máx}} = \mu_e F_n \quad (8)$$

em que  $\mu_e$  é o coeficiente de atrito estático e  $F_n$  é a força de reação normal no plano sobre o bloco.

Esta lei pode ser verificada experimentalmente e concretiza a definição da lei de atrito de Coulomb.

Continuando a aumentar a força motriz  $F$  verifica-se que a força de atrito diminui após o início do movimento, e mantém-se constante, cujo valor é igual a

$$F_t = \mu_d F_n \quad (9)$$

onde  $\mu_d$  representa o coeficiente de atrito dinâmico.

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Observa-se, pois, que

$$\mu_e > \mu_d \quad (10)$$

Na verdade, é mais fácil manter o movimento do que iniciar esse mesmo movimento. Os valores dos coeficientes de atrito estático e dinâmico são sempre relativos ao par de materiais em contacto.

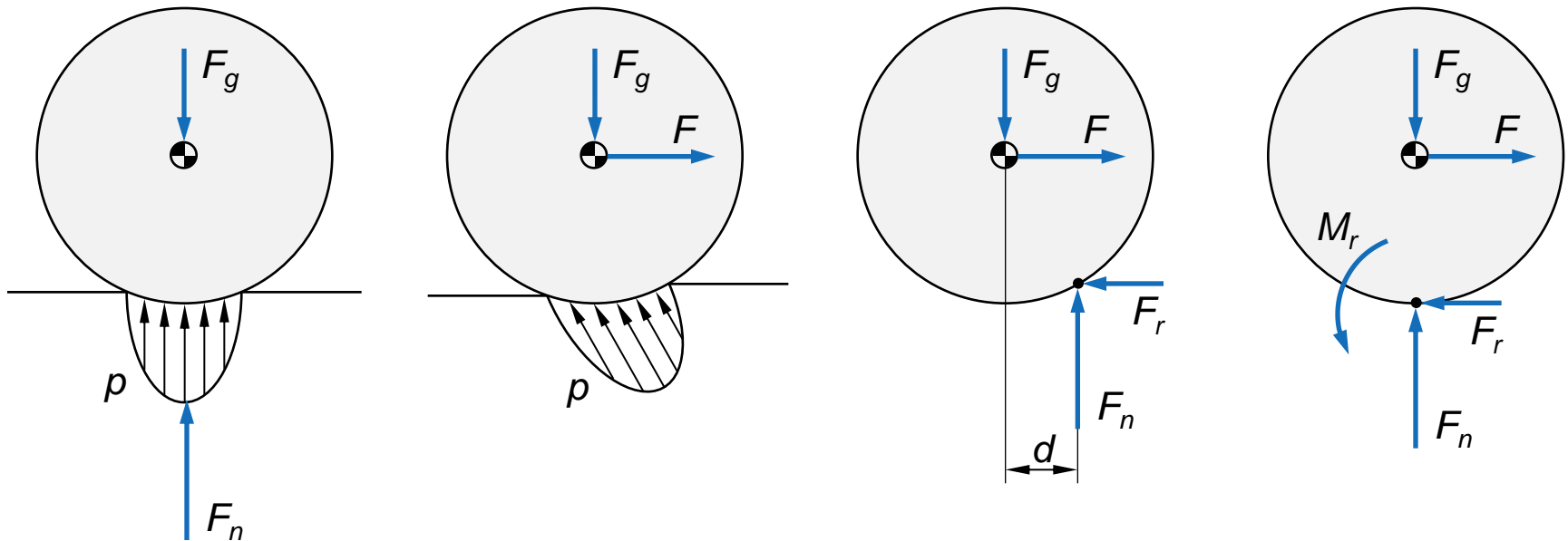
O **coeficiente de atrito depende de inúmeros fatores**, tais como, os materiais envolvidos, o acabamento superficial, a temperatura em jogo, a velocidade de deslizamento, etc.

A título de exemplo apresentam-se de seguida alguns valores para o coeficiente de atrito de deslizamento de vários pares de materiais.

Par de materiais	$\mu_e$	$\mu_d$
Borracha/cimento	1,0	0,7
Aço/aço	0,6	0,4
Aço/bronze	0,5	0,4

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Por seu lado, como o próprio nome indica, o **atrito de rolamento** acontece quando há movimento de rolamento entre dois corpos, tal como no caso de um disco sobre um plano horizontal.



Com efeito, numa situação estática, a pressão de contacto origina uma força normal que é perpendicular ao solo e está alinhada com a força da gravidade.

Quando é aplicada uma força motriz  $F$  no disco, a distribuição da pressão de contacto acompanha a deformação disco-plano, deslocando o ponto de aplicação da força de reação normal de uma distância  $d$ .

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Com efeito, observa-se a existência de um momento de atrito de rolamento, *i.e.*,

$$M_r = F_n d \quad (11)$$

Aumentando a força exterior aplicada, aumenta-se também a distância  $e$ , concomitantemente, o momento de atrito de rolamento.

Assim, no limite verifica-se que

$$(M_r)_{\text{máx}} = F_n d_{\text{máx}} \quad (12)$$

acima do qual se inicia o rolamento disco-solo.

Atendendo à definição de coeficiente de atrito de rolamento tem-se que

$$\mu_r = \frac{d_{\text{máx}}}{R} \quad (13)$$

donde decorre que

$$(M_r)_{\text{máx}} = \mu_r F_n R \quad (14)$$

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Com efeito, observa-se o seguinte equilíbrio de momentos

$$F_r R = (M_r)_{\text{máx}} = \mu_r F_n R \quad (15)$$

ou seja

$$F_r = \mu_r F_n \quad (16)$$

em que  $F_r$  denota a força de atrito de rolamento,  $\mu_r$  é o coeficiente de atrito de rolamento e  $F_n$  é a força de reação normal.

Pode, pois, afirmar-se que o atrito de rolamento é como que um momento que se opõe ao movimento de rotação.

Esta resistência está associada à deformação dos corpos em jogo, transformando um contacto pontual num contacto superficial.

É por demais evidente que o atrito de rolamento é inferior ao atrito de deslizamento.

## 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Em geral, a resistência ao **rolamento** é cerca de **duas ordens de grandeza** inferior ao atrito de **deslizamento** seco.

Apresentam-se de seguida exemplos de **valores médios do coeficiente de atrito de rolamento** para diferentes pares de materiais.

Par de materiais	$\mu_r$
Pneu/asfalto	0,020
Pneu bicicleta/cimento	0,003
Pneu bicicleta/madeira	0,001

Em teoria, o atrito não depende da área de contacto. Assim, pneus mais largos simplesmente distribuem o peso do carro por uma maior área, reduzindo o aquecimento e o desgaste.

Aumentando o número de rodas (pneus) não se aumenta o atrito, mas sim distribui-se melhor o peso e reduz-se a pressão por pneu.

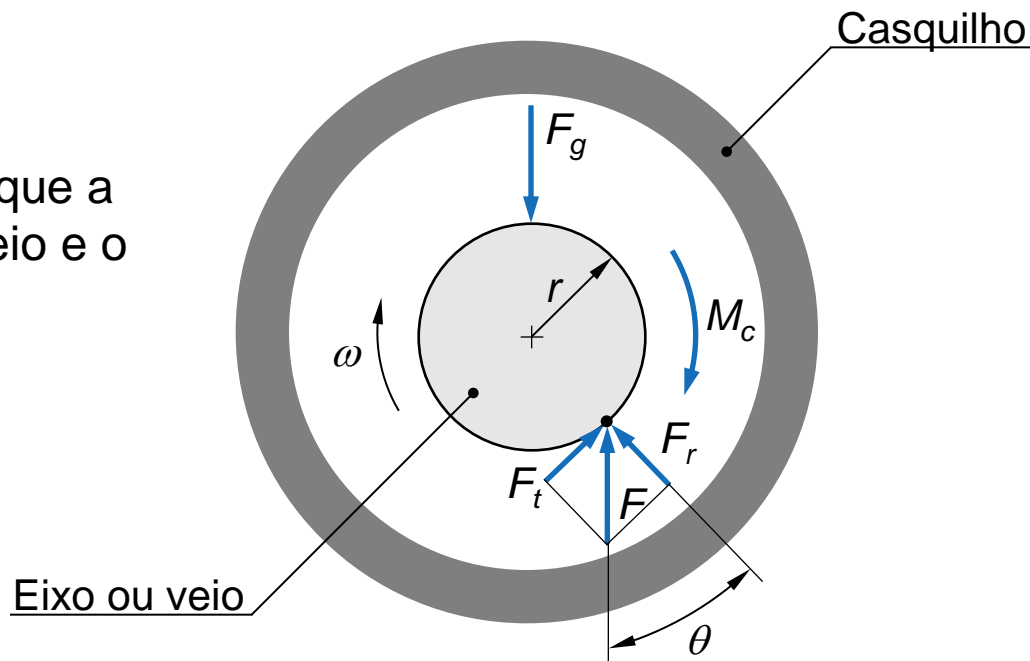
### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

O **atrito em chumaceiras secas** faz com que exista um momento resistente relativo entre o veio (eixo ou moente) e o casquilho.

Nestes casos, o **momento necessário para vencer o atrito** entre as superfícies do veio e do casquilho, e assim proporcionar funcionamento da chumaceira, pode ser calculado do seguinte modo

$$M_c = F_t r = F r \operatorname{sen} \theta \quad (17)$$

Deve notar-se que a folga entre o veio e o casquilho está ampliada para facilitar a representação.



### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Para ângulos  $\theta$  pequenos pode considerar-se a seguinte simplificação

$$\text{sen } \theta \approx \text{tg } \theta = \mu_c \quad (18)$$

facto que decorre da própria definição de coeficiente de atrito.

Assim, tem-se que o momento de atrito numa chumaceira é dado por

$$M_c = \mu_c F r \quad (19)$$

em que  $F$  é a força de reação na chumaceira,  $r$  é o raio do eixo e  $\mu_c$  representa o coeficiente de atrito de deslizamento (ou escorregamento) da chumaceira.

A força de reação total da chumaceira pode ser calculada do seguinte modo

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_r^2} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (20)$$



## 3. Caracterização das Forças Envolvidas

Da análise da equação (19) observa-se que para diminuir o atrito numa chumaceira deve reduzir-se a força de reação, o raio do eixo ou o coeficiente de atrito da chumaceira.

Donde se pode inferir que em chumaceiras (sem rolamentos) o eixo deve ter o menor diâmetro possível.

Apresentam-se, a título de curiosidade, alguns valores para o coeficiente de atrito para chumaceiras secas.

Tipo de chumaceira	$\mu_c$
Polímero-polímero (deslizamento)	0,25
Polímero-polímero (rolamento)	0,10
Aço-bronze (rolamento)	0,15
Aço-polímero (rolamento)	0,20

Deve notar-se que os valores dos coeficientes de atrito dependem significativamente das condições de funcionamento, e.g., carga e velocidade.

### 3. Caracterização das Forças Envolvidas

O atrito em chumaceiras pode ser reduzido utilizando **rolamentos**, os quais apresentam valores de coeficiente de atrito relativamente baixos, tal como se exemplifica na tabela seguinte.

Tipo de chumaceira	$\mu_c$
Rolamentos radiais de esferas	0,0015
Rolamentos de rolos cilíndricos	0,0013
Rolamentos de agulhas	0,0025

Na verdade, no caso dos rolamentos, o momento de atrito é dado por

$$M_c = \mu_c F r \quad (21)$$

em que  $r$  é o raio interior do rolamento,  $\mu_c$  é o coeficiente de atrito da chumaceira e  $F$  é a força aplicada no rolamento, isto é

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_r^2} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (22)$$

### 4. Procedimento para Efetuar a Análise Dinâmica

A análise dinâmica do carro diz respeito fundamentalmente ao estudo das características do movimento do carro, em termos de **deslocamento, velocidade e aceleração**, bem como das diversas **forças e momentos** (motores e dissipativos) que afetam o movimento.

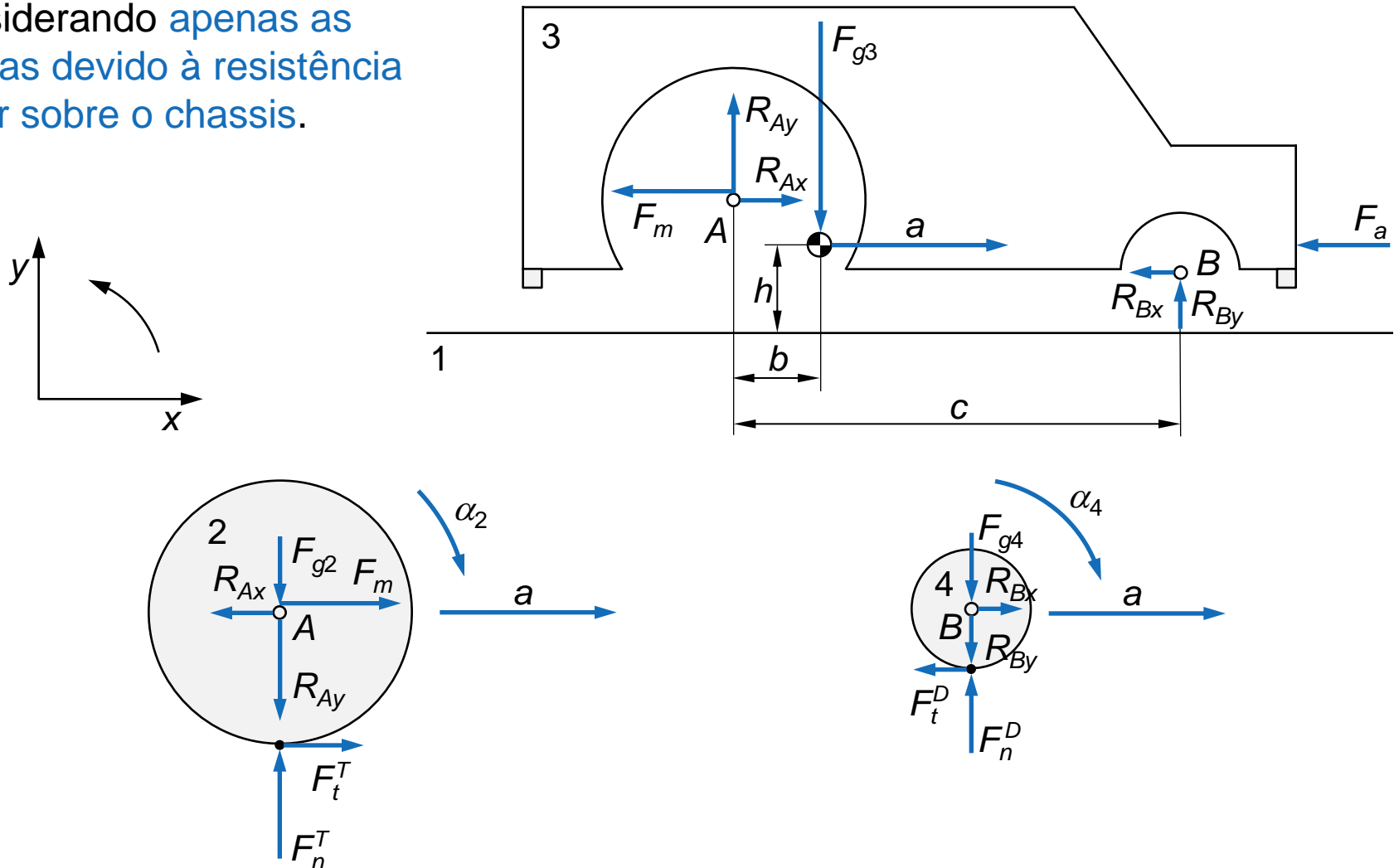
Com efeito, o procedimento relativo ao estudo do desempenho dinâmico do carro consiste, em primeiro lugar, em **determinar a aceleração** produzida pelo carro e, posteriormente, obter, por **integração numérica**, as correspondentes **velocidades e posições**.

No presente texto **apenas se consideram as perdas devido ao efeito aerodinâmico** do ar. Nesta fase, não são consideradas as perdas de atrito nos eixos, nem devido ao rolamento das rodas.

Deve lembrar-se que as rodas (traseiras e dianteira) devem descrever um movimento de **rolamento puro**.

## 4. Procedimento para Efetuar a Análise Dinâmica

Apresentam-se de seguida os diagramas do corpo livre do chassis, das rodas traseiras e a roda dianteira, considerando apenas as perdas devido à resistência do ar sobre o chassis.



## 4. Procedimento para Efetuar a Análise Dinâmica

Aplicando a [segunda lei de Newton](#) para o movimento de translação horizontal das rodas traseiras, materializadas no diagrama do corpo livre anteriormente elaborado, resulta que

$$\sum F_{2x} = m_2 a \Rightarrow F_m - R_{Ax} + F_t^T = m_2 a \quad (23)$$

Aplicando agora a [segunda lei de Newton](#) para o movimento de rotação das rodas traseiras, resulta que

$$\sum M_{2CG} = -I_{2CG} \alpha_2 \Rightarrow F_t^T R_2 - F_m r_2 = -I_{2CG} \alpha_2 \quad (24)$$

Por outro lado, do movimento puro de rotação das rodas traseiras tem-se que

$$a = \alpha_2 R_2 \quad (25)$$

Combinando as equações (24) e (25) resulta que

$$F_t^T = F_m \frac{r_2}{R_2} - I_{2CG} \frac{a}{R_2^2} \quad (26)$$

## 4. Procedimento para Efetuar a Análise Dinâmica

Substituindo agora a equação (26) na equação (23) resulta que

$$R_{Ax} = F_m + F_m \frac{r_2}{R_2} - I_{2CG} \frac{a}{R_2^2} - m_2 a \quad (27)$$

Aplicando a [segunda lei de Newton](#) para o movimento de translação horizontal da roda dianteira, vem que

$$\sum F_{4x} = m_4 a \Rightarrow R_{Bx} - F_t^D = m_4 a \quad (28)$$

Aplicando agora a [segunda lei de Newton](#) para o movimento de rotação da roda dianteira, resulta que

$$\sum M_{4CG} = -I_{4CG} \alpha_4 \Rightarrow -F_t^D R_4 = -I_{4CG} \alpha_4 \quad (29)$$

Por outro lado, do movimento puro de rotação da roda dianteira tem-se que

$$a = \alpha_4 R_4 \quad (30)$$

## 4. Procedimento para Efetuar a Análise Dinâmica

Combinando as equações (29) e (30) resulta que

$$F_t^D = I_{4CG} \frac{a}{R_4^2} \quad (31)$$

Substituindo agora a equação (31) na equação (28) resulta que

$$R_{Bx} = m_4 a + I_{4CG} \frac{a}{R_4^2} \quad (32)$$

Aplicando agora a [segunda lei de Newton](#) para o movimento de translação do chassis, resulta que

$$\sum F_{3x} = m_3 a \Rightarrow R_{Ax} - F_m - R_{Bx} - F_a = m_3 a \quad (33)$$

Finalmente, introduzindo agora as equações (27) e (32) na equação (33) vem que

$$a = \frac{F_m (r_2 / R_2) - F_a}{m_2 + m_3 + m_4 + I_{2CG} / R_2^2 + I_{4CG} / R_4^2} \quad (34)$$

### 4. Procedimento para Efetuar a Análise Dinâmica

Da equação (34) observa-se que a **aceleração do carro depende** fundamentalmente da ação da mola (força motriz) e dos efeitos contrários ao movimento tais como a resistência do ar.

Deve chamar-se a atenção novamente que na presente análise não se consideraram os efeitos devido ao atrito de rolamento nas rodas e ao atrito nas chumaceiras.

A aceleração é ainda inversamente proporcional à inércia (translacional e rotacional) do chassis e das rodas. Daqui se pode inferir que quanto menor for a inércia, maior será aceleração do carro.

A aceleração do carro não depende explicitamente do coeficiente de atrito, apenas depende da inércia e da força motriz (força da mola). Isto acontece pelo facto da força tangencial ser uma incógnita de tal modo que garanta o rolamento puro das rodas.

A presente análise é válida desde que se garanta que os coeficientes de atrito das rodas são inferiores ao coeficiente de atrito estático e que a reação normal seja positiva.



### 4. Procedimento para Efetuar a Análise Dinâmica

Para efetuar a análise do movimento do carro deve proceder-se do seguinte modo

1. Definir as condições iniciais:  $x_0$ ,  $v_0$ ,  $t_0$ ,  $t_{\text{final}}$  e  $\Delta t$
2. Determinar as ações (forças e momentos) que atuam no carro
3. Calcular a aceleração do carro utilizando a equação (34)
4. Calcular a velocidade do carro, integrando numericamente a aceleração, *i.e.*

$$v_{t+\Delta t} = v_t + a\Delta t \quad (35)$$

5. Calcular a posição do carro, integrando numericamente a velocidade, *i.e.*

$$x_{t+\Delta t} = x_t + v\Delta t \quad (36)$$

6. Atualizar as variáveis de estado, voltar ao passo 2 e prosseguir a análise do movimento do carro até se atingir o tempo final de simulação ( $t_{\text{final}}$ ), ou seja

$$t = t + \Delta t \quad (37)$$

## 4. Procedimento para Efetuar a Análise Dinâmica

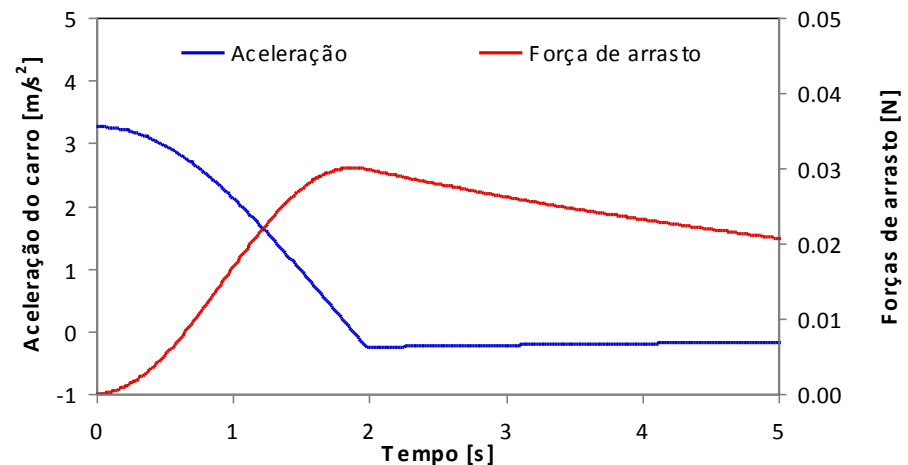
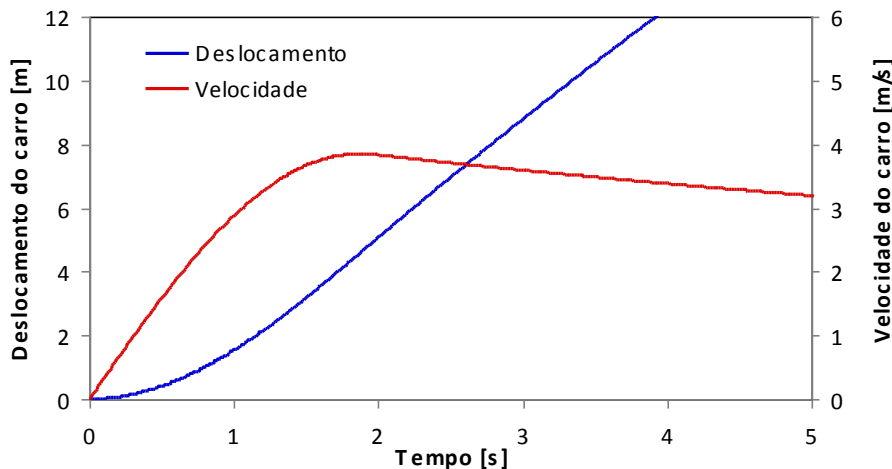
As figuras seguintes ilustram o desempenho do carro no que diz respeito a deslocamento, velocidade, aceleração e força de arrasto.

Para além dos dados anteriormente apresentados, consideram-se ainda os seguintes elementos no cálculo da força de arrasto:

$$\rho_{ar} = 1,16 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,007 \text{ m}^2$$

$$C_D = 0,5$$



### 5. Revisão de Conhecimentos

Apresentam-se de seguida algumas questões que merecem uma reflexão mais profunda no decorrer da realização do projeto do carro.

Qual a influência da vantagem mecânica no desempenho do carro?

Qual a influência da inércia translacional do chassis no desempenho do carro?

Qual a influência da inércia rotacional das rodas no desempenho do carro?

Qual das forças resistentes tem maior influência no desempenho do carro?

Qual a influência da posição do centro de massa no desempenho do carro?

Qual a influência da distância entre eixos no desempenho do carro?

Qual a influência da dimensão das rodas no desempenho do carro?

Qual a influência do número de rodas no desempenho do carro?

Qual a influência da largura das rodas no desempenho do carro?



### 6. Consultas Recomendadas

Antunes, F. (2012) *Mecânica Aplicada - Uma abordagem prática*. Lidel.

Flores, P. (2012) *Análise Cinemática e Dinâmica de Mecanismos - Exercícios resolvidos e propostos*. Publindústria, Porto.

Martin, J.K., Dixon, J.C. (2001) Three seconds in two days: a theoretical and practical model for teaching basic dynamics analysis. *Journal of Multi-body Dynamics*, 214(4) 195-208.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Drag\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_equation)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Coil\\_spring](https://en.wikipedia.org/wiki/Coil_spring)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Rolling\\_resistance](https://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_resistance)

<http://www.tribology-abc.com/abc/cof.htm>

[http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_frict.htm](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm)