

Fundamentos de Dinâmica Veicular

Capítulo 3

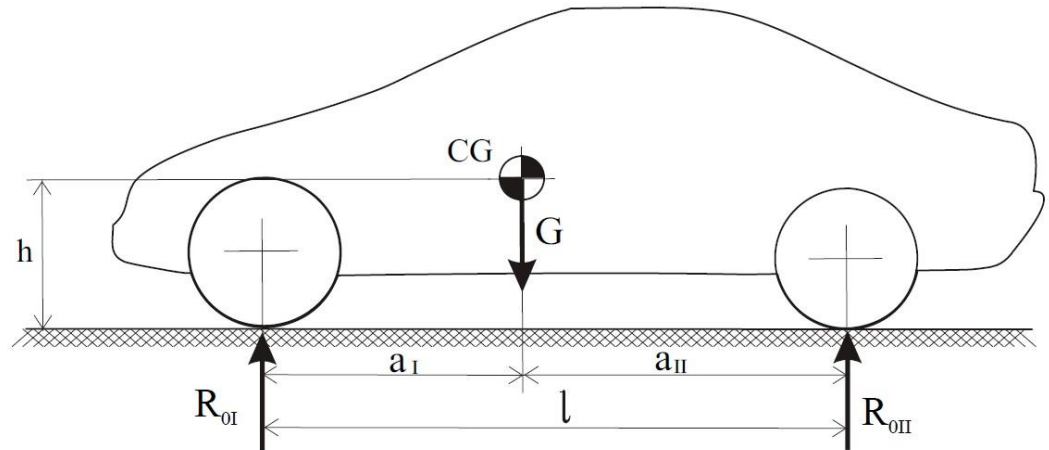
Transmissão de Força Pneu Pista

Parte I - Aceleração

Referência:

NICOLAZZI, Lauro Cesar. **Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas**. Publicação interna do GRANTE, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC. 2013

3.2 - Posição do centro de gravidade



$$G = R_{0I} + R_{0II}. \quad (3.1)$$

Definindo

$$x = R_{0II}/G \quad (3.2)$$

pode-se expressar as reações normais dos pneus ao solo como

$$R_{0I} = (1 - x) G, \quad (3.3)$$

$$R_{0II} = xG. \quad (3.4)$$

3.2 - Posição do centro de gravidade

Para se obter a posição do CG , toma-se o equilíbrio de momentos em relação ao eixo dianteiro do veículo esquematizado na Figura 3.1, o que resulta

$$G a_I = R_{0II} l. \quad (3.5)$$

Logo:

$$a_I = \frac{R_{0II} l}{G} \quad (3.6)$$

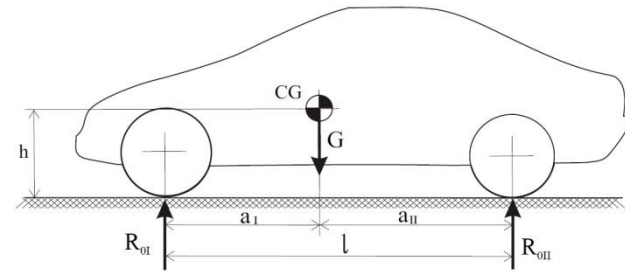


Figura 3.1: Posição longitudinal do CG .

ou ainda:

$$a_I = x l \quad (3.7)$$

De forma semelhante, para o eixo traseiro:

$$G a_{II} = R_{0I} l \quad (3.8)$$

ou ainda

$$a_{II} = (1 - x) l \quad (3.9)$$

sendo:

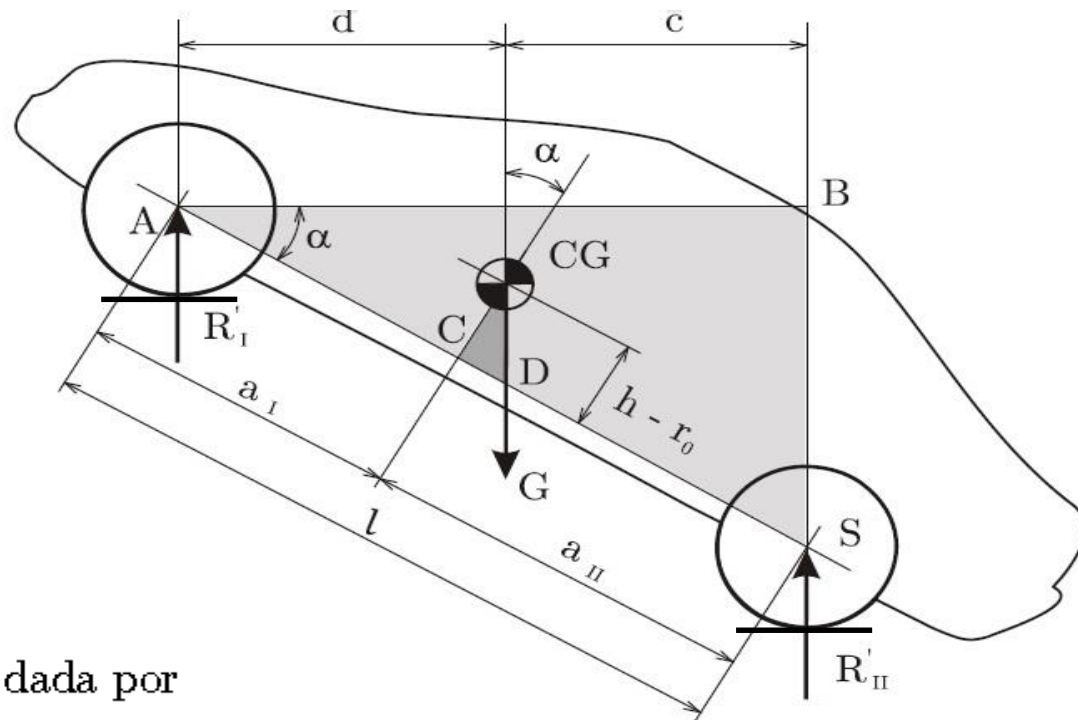
l - distância entre os eixos dianteiro e traseiro;

a_I - distância do CG ao eixo dianteiro;

24/08/2017

a_{II} - distância do CG ao eixo traseiro.

3.2 - Posição do centro de gravidade



A posição vertical do CG é dada por

$$(h - r_0) = l \cot \alpha [x' - x], \quad (3.17)$$

que pode ser reescrita como

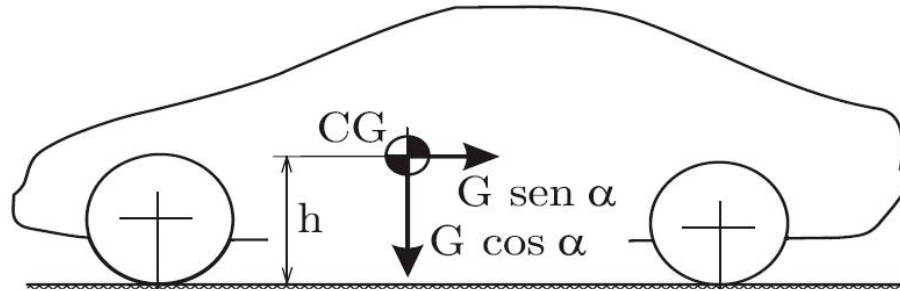
$$(h - r_0) = \frac{l}{G} \cot \alpha [R_{0I} - R'_I]. \quad (3.18)$$

sendo:

R_{0I} - é a reação do eixo dianteiro medida com o carro na horizontal;

R'_I - é a reação *vertical* do eixo dianteiro medida com o carro na rampa.

3.3 - Carga nos eixos de um veículo parado em active



O momento da força axial que age no centro de gravidade, em relação ao solo, é dado por:

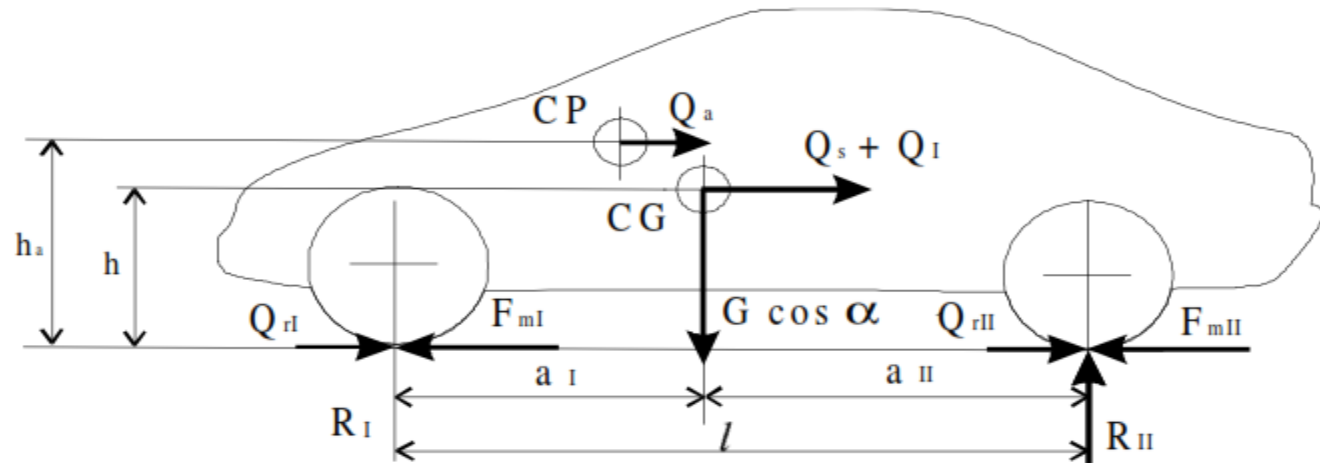
$$G h \text{ sen } \alpha$$

Esse momento se traduz em um acréscimo da reação no eixo traseiro e uma redução da reação no eixo dianteiro em relação ao veículo parado no plano. Assim, pode-se escrever que:

$$R_I = G \left[(1 - x) \cos \alpha - \frac{h}{l} \text{sen } \alpha \right] \quad (3.19)$$

$$R_{II} = G \left[x \cos \alpha + \frac{h}{l} \text{sen } \alpha \right] \quad (3.20)$$

3.4 - Carga nos eixos com o veículo em movimento



Do equilíbrio de forças na direção do movimento tem-se:

$$F_m = Q_S + Q_r + Q_I + Q_a \quad (3.21)$$

onde:

$F_m = F_{mI} + F_{mII}$ - força motriz;

Q_a - resistência aerodinâmica;

$Q_r = Q_{rI} + Q_{rII}$ - resistência de rolamento;

Q_I - resistência de inércia;

Q_S - resistência ao atrace;

F_{mI} , F_{mII} - força motriz nos eixos dianteiro e traseiro;

Q_{rI} , Q_{rII} - resistência ao rolamento dos eixos dianteiro e traseiro.

3.4 - Carga nos eixos com o veículo em movimento

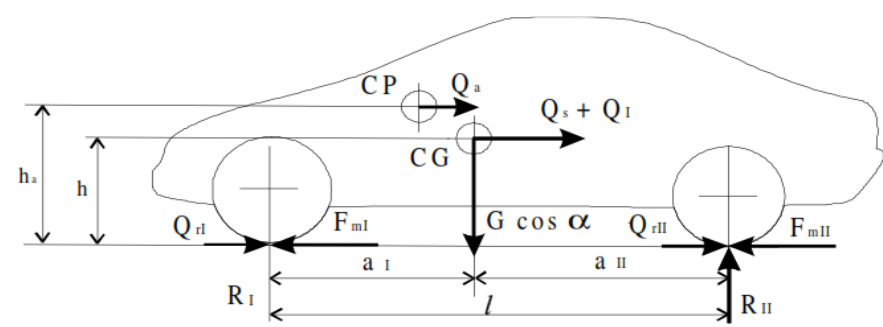


Figura 3.4: Modelo diagramático de um veículo em movimento.

As resistências ao movimento modificam as cargas nos eixos de um veículo como aquele representado na Figura 3.4. Assim, para quantificar a variação da carga normal ao solo aplicam-se as equações de equilíbrio, o que resulta em:

$$R_I l = a_{II} G \cos \alpha - [Q_a h_a + (Q_I + Q_S) h] \quad (3.22)$$

$$R_{II} l = Q_a h_a + (Q_I + Q_S) h + a_I G \cos \alpha \quad (3.23)$$

Admitindo a simplificação de que a resistência aerodinâmica esteja atuando sobre o centro de gravidade, as últimas duas expressões podem ser escritas como

$$R_I l = a_{II} G \cos \alpha - [Q_s + Q_I + Q_a] h, \quad (3.24)$$

$$R_{II} l = a_I G \cos \alpha + (Q_s + Q_I + Q_a) h. \quad (3.25)$$

3.4 - Carga nos eixos com o veículo em movimento

Por outro lado, da expressão (3.21) rearranjada tem-se:

$$Q_s + Q_a + Q_I = F_m - Q_r \quad (3.26)$$

Com isto, as equações (3.24) e (3.25) simplificam-se para:

$$R_I = (1 - x) G \cos \alpha - (F_m - Q_r) \frac{h}{l} \quad (3.27)$$

$$R_{II} = x G \cos \alpha + (F_m - Q_r) \frac{h}{l} \quad (3.28)$$

É importante salientar que nesta modelagem o efeito de forças aerodinâmicas verticais não foram consideradas, porém o seu efeito pode ser facilmente adicionado nas expressões anteriores.

3.5 - Força motriz máxima

Veículo com tração dianteira

Fazendo $F_{mII} = 0$ e grafando com μ o coeficiente de atrito entre o pneu e a pista, a máxima força tangencial possível de transmitir pelas rodas dianteiras será:

$$F_{mI}^{m\acute{a}x} = \mu R_I \quad (3.30)$$

ou

$$F_{mI}^{m\acute{a}x} = \mu \left[(1 - x) G \cos \alpha - \left(F_{mI}^{m\acute{a}x} - f G \cos \alpha \right) \frac{h}{l} \right] \quad (3.31)$$

com os devidos rearranjos, pode-se escrever que:

$$F_{mI}^{m\acute{a}x} = \mu G \cos \alpha \left[\frac{(1 - x) + f \left(\frac{h}{l} \right)}{1 + \mu \left(\frac{h}{l} \right)} \right] \quad (3.32)$$

sendo que na equação 3.27, a resistência de rolamento foi tomada como sendo:

$$Q_R = f G \cos \alpha \quad (3.33)$$

3.5 - Força motriz máxima

Veículo com tração traseira

Neste caso, usando a expressão para R_{II} , obtém-se

$$F_{mII}^{máx} = \mu R_{II} \quad (3.34)$$

ou

$$F_{mII}^{máx} = \mu \left[x G \cos \alpha + \left(F_{mII}^{máx} - f G \cos \alpha \right) \frac{h}{l} \right] \quad (3.35)$$

ou ainda

$$F_{mII}^{máx} = \mu G \cos \alpha \left[\frac{x - f \left(\frac{h}{l} \right)}{1 - \mu \left(\frac{h}{l} \right)} \right]. \quad (3.36)$$

3.5 - Força motriz máxima

Veículo com tração integral

Neste caso a força que os pneus exercem sobre o solo é a parcela do peso do veículo normal ao solo, sendo assim a força motriz dada por:

$$F_m^{m\acute{a}x} = \mu G \cos \alpha. \quad (3.37)$$

3.5.1 – Aclives máximos

Para determinar os valores máximos de aclives, considera-se que a velocidade do veículo seja constante e baixa, logo a força de inércia é nula e, por ser a velocidade baixa, a resistência aerodinâmica é muito pequena. A força motriz deve vencer apenas as resistências de rolamento e atractive. Assim

$$F_m = Q_r + Q_s \quad (3.38)$$

ou

$$F_m = G(\text{sen } \alpha + f \text{ cos } \alpha). \quad (3.39)$$

Dependendo do tipo de tração iguala-se esta força com a força máxima disponível, $F_m^{\text{máx}}$.

3.5.1 – Aclives máximos

Veículo com tração dianteira

$$\tan \alpha|_{m\acute{a}x} = \mu \left[\frac{(1 - x) + f \left(\frac{h}{l} \right)}{1 + \mu \left(\frac{h}{l} \right)} \right] - f \quad (3.40)$$

Veículo com tração traseira

$$\tan \alpha|_{m\acute{a}x} = \mu \left[\frac{x - f \left(\frac{h}{l} \right)}{1 - \mu \left(\frac{h}{l} \right)} \right] - f \quad (3.41)$$

Veículo com tração integral

$$\tan \alpha|_{m\acute{a}x} = \mu - f. \quad (3.42)$$

3.5.2 – Acelerações máximas

A experiência mostra que as acelerações máximas ocorrem somente com velocidades baixas e isto implica que:

$$Q_a = 0 \quad (3.43)$$

logo

$$F_m = Q_I + Q_r + Q_s \quad (3.44)$$

ou

$$F_m = m a + f G \cos \alpha + G \operatorname{sen} \alpha. \quad (3.45)$$

Esta força deve ser igualada com a força motriz máxima disponível, de forma a se obter a aceleração máxima que o veículo pode ter. Dependendo do tipo de tração tem-se:

3.5.2 – Acelerações máximas

Veículo com tração dianteira

$$a_{m\acute{a}x} = g \left[\frac{\mu (1 - x) - f}{\left(1 + \mu \left(\frac{h}{l}\right)\right)} \cos \alpha - \operatorname{sen} \alpha \right]. \quad (3.46)$$

Veículo com tração traseira

$$a_{m\acute{a}x} = g \left[\frac{\mu x - f}{\left(1 - \mu \left(\frac{h}{l}\right)\right)} \cos \alpha - \operatorname{sen} \alpha \right]. \quad (3.47)$$

Veículo com tração integral

$$a_{m\acute{a}x} = g [(\mu - f) \cos \alpha - \operatorname{sen} \alpha]. \quad (3.48)$$

Exemplo

Analisar a capacidade de transferir carga ao solo dos veículos com as características apresentadas na Tabela 3.1.

- Ângulo de aclave máximo e reações
 - veículo apontado para baixo da rampa
 - veículo apontado para cima da rampa
- Cálculo da força motriz máxima e reações normais com veículo se deslocando no plano
 - tração traseira
 - tração dianteira
 - tração integral
- Aclives e acelerações máximas
 - tração traseira
 - tração dianteira
 - tração integral

Exemplo

Tabela 3.1: Características do veículo.

Grandeza		Dimensão	Veículo1	Veículo2	Veículo3
Tração		–	<i>Traseira</i>	<i>Dianteira</i>	<i>Integral</i>
Distribuição de carga	x	–	0,50	0,50	0,50
Bitola dianteira	t_I	m	1,4	1,4	1,4
Bitola Traseira	t_{II}	m	1,5	1,5	1,5
Distância entre eixos	l	m	2,48	2,48	2,48
Altura do CG	h	m	0,66	0,66	0,66
Peso do veículo	G	N	16.503	16.503	16.503
Raio dinâmico do pneu	r_d	m	0,32	0,32	0,32
Escorregamento	e	–	0,02	0,02	0,02
Coef. atrito de rolamento	f	–	0,015	0,015	0,015
Coef. de atrito	μ	–	0,85	0,85	0,85