

A Influência da Suspensão na Transferência Lateral de Peso

Eng^o Ricardo de Andrade Cardoso

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos usando o programa LVDS “Light Vehicle Dynamics Simulation”, um programa de simulação dinâmica de veículos, no estudo da influência da altura do centro de rolamento da suspensão na transferência lateral de peso. Foi simulado um veículo de passageiros genérico fazendo uma manobra de curva de raio constante.

1 - INTRODUÇÃO

Os primeiros automóveis eram meras adaptações dos veículos comerciais de então. As “Carruagens sem cavalos”, porém, para atender a demanda do público por veículos mais confortáveis e mais rápidos, devido a melhoria das estradas e o aumento da potência dos motores, dependeu - se cada vez mais, dos sistemas de suspensão. Motor e caixa fornecem a força trativa, o chassi e a carroceria fornecem apoio e acomodação para os diversos componentes, cargas e passageiros; porém, os sistemas de suspensão devem agir como

os pés e pernas dos veículos, suportar o peso do veículo acima do chão, distribuir o peso seletivamente, desenvolver força trativa com o solo para permitir a locomoção, fazer ajustes contínuos de espaço entre o veículo e irregularidades do solo, controlar qualquer desvio do veículo do seu curso, fornecer meios para a mudança de curso e proteger o veículo e seu conteúdo de choques excessivos devido a irregularidades do solo. Assim, O Sistema de Suspensão é o principal elemento em determinar a mobilidade de um veículo e qualquer melhora ou aumento nesta mobilidade é o resultado de melhorias no sistema de suspensão.

2 - PROPRIEDADES DE RESPOSTA DA SUSPENSÃO

Em sua maneira mais simples, todos os veículos são formados por uma massa suspensa (chassis e carroceria) apoiado por um sistema de suspensão, ligado a massa não suspensa (eixos e rodas). O comportamento dinâmico deste sistema é o responsável pelo primeiro nível de isolamento das irregularidades da estrada. Um resumo deste comportamento pode ser representado na Figura abaixo:

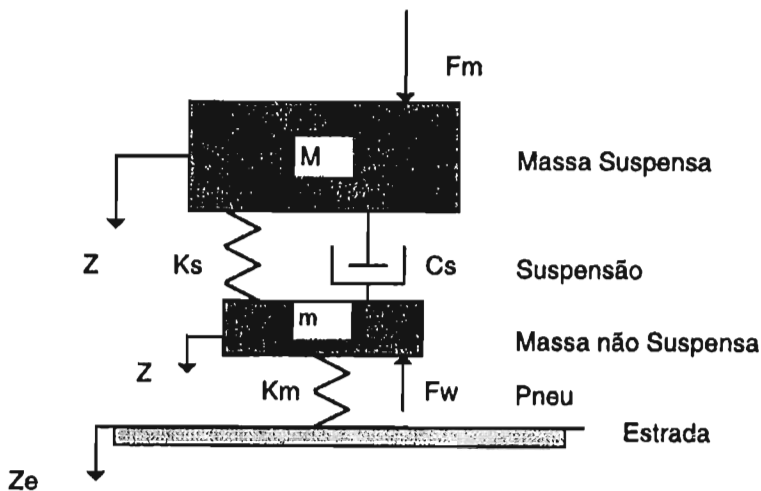


Figura 1 - Modelo de Suspensão

Este consiste de uma massa suspensa apoiada por um sistema de suspensão que por sua vez é ligada a massa não suspensa do eixo. A suspensão tem características de rigidez e amortecimento. O pneu é representado por uma mola simples, representando também o pequeno amortecimento inerente da natureza visco - elástica do mesmo.

A massa suspensa apoiada na suspensão e os pneus são capazes de movimento na direção vertical.

A rigidez real da suspensão e os pneus em série é igual a:

$$RS = \frac{k_s k_p}{k_s + k_p}$$

onde:

RS = Rigidez efetiva da suspensão e pneus.

k_s = Rigidez da suspensão

k_p = Rigidez do pneu

Z = Deslocamento vertical

Z_e = Elevação da estrada

C_s = Coeficiente de amortecimento da suspensão

3 - EIXO DE ROLAMENTO

Durante o deslocamento, a massa suspensa de um veículo irá girar (ou tenderá a girar) em relação a massa não suspensa, em torno de um eixo longitudinal, sob a ação de um momento. Este eixo é o eixo de rolamento (roll axis) do sistema de suspensão. Para veículos sobre rodas convencionais, cada suspensão possui centros de rolamento (roll center) separados, localizados no eixo de rolamento, para a suspensão dianteira e traseira. A localização de um centro de rolamento específico é determinado pela configuração e geometria do sistema de suspensão.

4 - MOMENTO DE ROLAMENTO

O comportamento de um veículo é um importante parâmetro de dirigibilidade, termo relacionado com a resposta fornecida pelo automóvel à entrada dos comandos realizados pelo motorista. Ao realizar uma curva, a ação da força centrífuga torna-se presente, agindo no centro de gravidade do veículo. Para balancear esta força, os pneus desenvolvem forças de resistência laterais e ângulos de deslizamento estão presentes em cada roda.

As condições que levam ao rolamento podem ser vistas, fazendo-se um balanço de forças e considerando-se o veículo rígido e a estrada sem inclinação, como mostrado no modelo simples da figura 2. Por veículo rígido entende-se que as deflexões dos pneus e da suspensão são desprezadas.

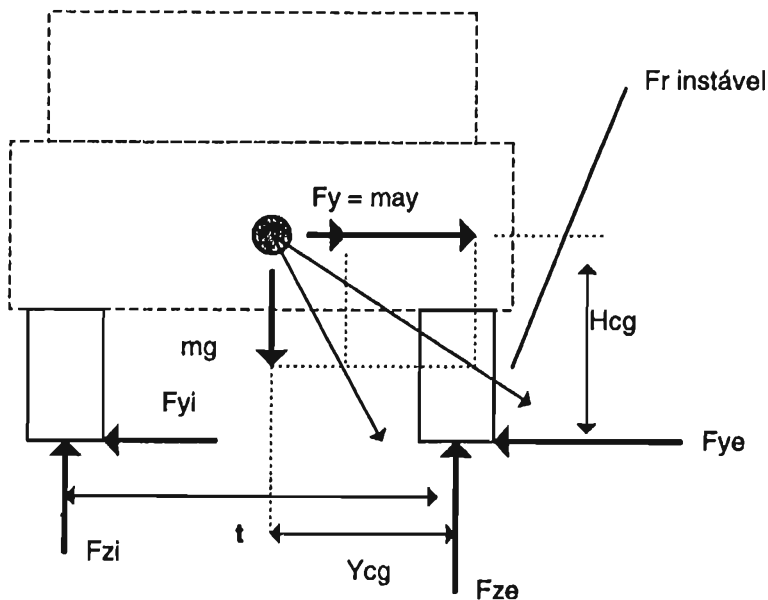


Figura 2 - Forças de Instabilidade ao Rolamento

onde:

m = massa do veículo

Fze = Carga na roda externa da curva.

Fzi = Carga na roda interna da curva

Fy = Força Lateral = $Fyi + Fye$

t = bitola

$$ay = \frac{Fy}{m} = \text{Aceleração Lateral}$$

A condição de instabilidade ao rolamento pode ser mostrada graficamente, quando a linha de ação da força resultante entre a força lateral e o peso se projeta para fora da bitola do veículo.

O momento de rolamento devido a aceleração lateral deve ser maior que o momento restaurador devido ao peso.

$$may \times Hcg > mg \times Ycg$$

portanto a aceleração lateral necessária para o tombamento é:

$$ay > gx \frac{Ycg}{Hcg}$$

sendo que y_{cg} é igual a $\frac{t}{2}$, temos que a aceleração lateral limite é dada por:

$$ay = \frac{t}{2Hcg}$$

Esta medida simples é usada como uma primeira estimativa da resistência ao rolamento apresentada por um veículo. Sendo necessário o conhecimento de dois parâmetros, a bitola (t) e a altura do C.G.

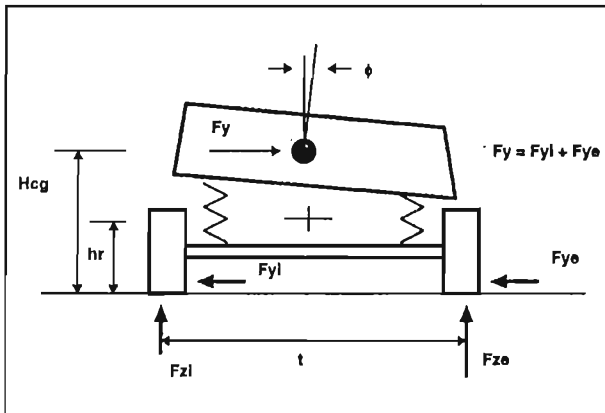


Figura 2a - Análise de forças para um veículo fazendo uma curva

Levando em conta as deflexões na suspensão e pneus (veículo não rígido) e escrevendo a segunda lei de Newton para os momentos no eixo, podemos determinar a relação entre as cargas nas rodas, força lateral e ângulo de rolamento como mostrado na figura 2a.

onde:

hr = altura do Centro de Rolamento

$K\phi$ = Rigidez ao rolamento da suspensão

ϕ = ângulo de rolamento da massa suspensa

4 - TRANSFERÊNCIA LATERAL DE PESO

Conforme a aceleração lateral aumenta, a carga normal nas rodas, do lado interno da curva, diminui, aumentando a carga nas rodas do lado externo. Esta mudança da carga, causada pela aceleração lateral nas curvas, é chamada de Transferência Lateral de Peso. Consequentemente, os pneus terão que assumir um maior ângulo de deslizamento para manter a força lateral necessária para fazer a curva, isto é importante porque as forças de resistência lateral geradas variam com a carga normal aplicada nos eixos e transferidas aos pneus.

A transferência lateral de peso ocorre em ambos os eixos do veículo de duas maneiras:

1) $2kf f/t$ Transferência lateral de peso devido ao rolamento. Depende da dinâmica do rolamento, e portanto, das manobras ocorridas durante a curva. É diretamente dependente da distribuição dos momentos nos eixos dianteiros e traseiros.

2) Transferência lateral de peso devido à altura do centro de rolamento. Este mecanismo provém das forças laterais impostas ao eixo, age instantaneamente e é dado por:

$$F_{ze} - F_{zi} = 2F_y \frac{hr}{t}$$

5 - PROGRAMA LVDS

A seguir são apresentados os dados de entrada utilizados para a simulação dinâmica de veículo de passageiros comum. Estes dados consistem de:

- Parâmetros do veículo.
- Manobra a ser simulada.

Parâmetros do Veículo:

Massa Total 1525 kg
 Massa suspensa do veículo 1250 kg
 Distância do C.G. ao eixo dianteiro 1.14 m
 Distância do C.G. ao eixo de rolamento 0.277 m (original)
 Distância do C.G. ao eixo de rolamento 0.423 m (modificado)
 Altura do C.G. 0.630 m
 Suspensão dianteira Macpherson
 Suspensão traseira Feixe de molas
 Distância entre eixos 2.48 m
 Bitola dianteira 1.387
 Bitola traseira 1.427

Condições da manobra simulada:

- ângulo das rodas 5°
- manobra : curva de raio constante
- freios : não utilizado
- velocidade inicial 25 m/s
- tempo de simulação 5s
- coeficiente de atrito pneu solo : 0.85

A primeira simulação foi para o veículo original com as coordenadas para o eixo de rolamento calculadas pelo programa e indicadas na figura 3. Para a segunda simulação foram mantidas as mesmas características do veículo, porém, alterou-se a altura do centro de rolamento da suspensão traseira de 0.566 para 0.250 m. Posicionando-se o eixo de rolamento mais baixo e paralelo ao chão.

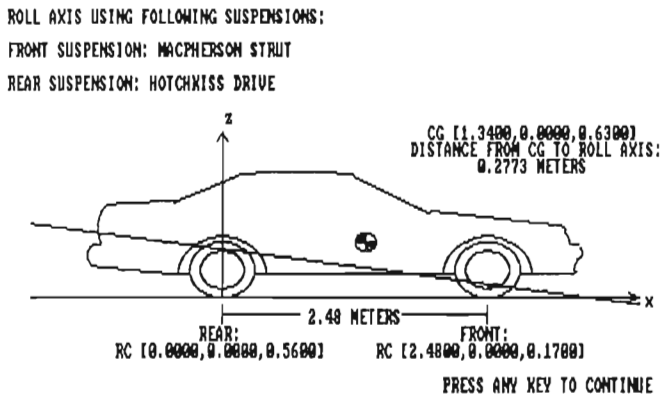
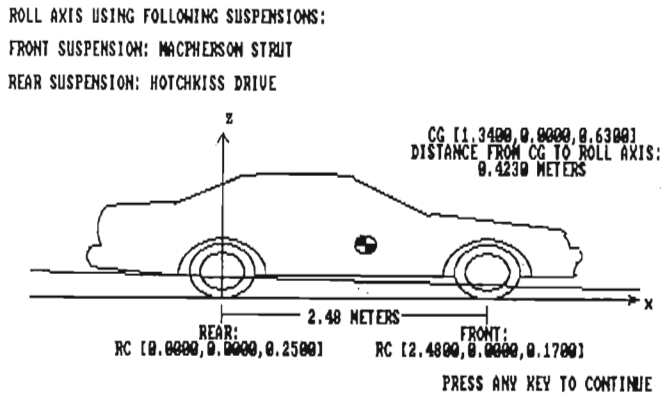


Figura 3 - eixos de rolamento calculados pelo programa

6 - RESULTADOS.

A redução de altura do centro de rolamento, para a suspensão traseira, de 0.5600 m para 0.2500 m, causou uma redução significativa na transferência lateral de peso ocorrida no eixo traseiro do veículo, isso levou os pneus a assumirem um menor ângulo de deslizamento, necessário para fazer a curva. O mesmo não ocorreu para o eixo dianteiro, como pode ser visto no gráfico abaixo, já que a suspensão dianteira não sofreu qualquer modificação. A força centrífuga, que tende a tombar o veículo, também diminuiu, como mostrado no gráfico de aceleração lateral em função do tempo.

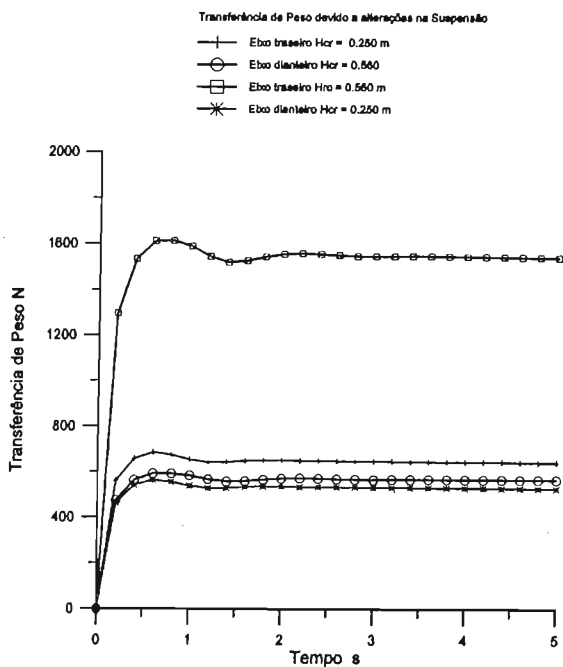


Figura 4 - Transferência Lateral de peso

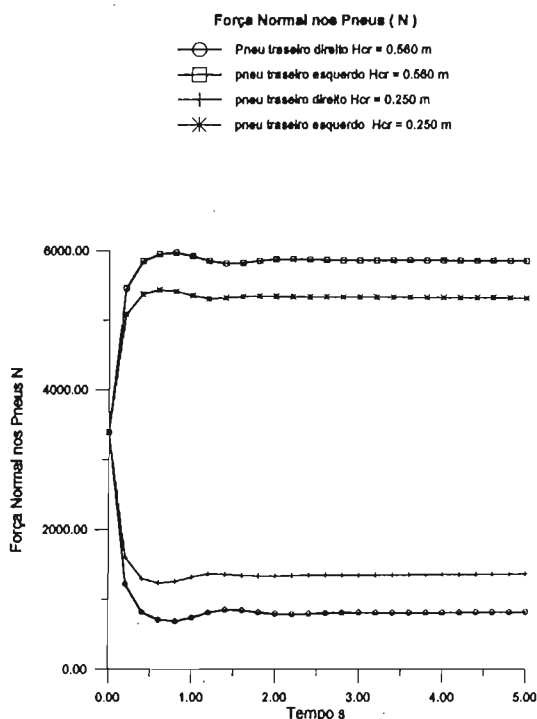


Figura 5 - Força normal nos pneus

7 - CONCLUSÕES

Devido ao eixo de rolamento estar mais paralelo ao chão ocorreu uma distribuição mais igualitária da distribuição de peso entre os eixos. Isto leva ao desenvolvimento de uma menor força de resistência lateral nos pneus, melhorando a estabilidade do veículo durante as curvas.

O programa LVDS, requer uma quantidade modesta de dados de entrada e de tempo de processamento, sendo uma ferramenta adequada para o estudo dos efeitos dinâmicos dos sistemas de suspensão e demais sistemas veiculares como direção freios e pneus.

Ângulo de Deslizamento dos Pneus

□ Pneu traseiro Hcr = 0.560 m
 * Pneu traseiro Hcr = 0.250 m

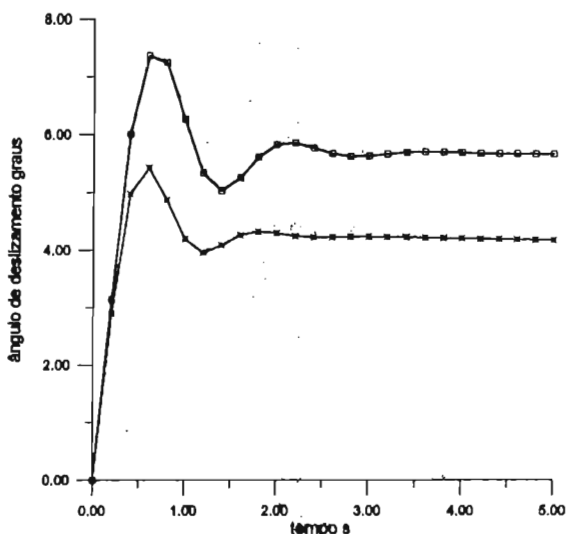


Figura 6 - Aceleração Lateral

REFERÊNCIAS

Gillespie, T.D

Fundamentals of Vehicles Dynamics

SAE, 1994

Reimpell, J & Stoll, H

The Automotive Chassis: Engineering Principles

SAE, 1996

Nalecz, A

LVDS Light Vehicle Dynamics Simulation

Vehicles Dynamics International, 1990

Bosch Automotive Handbook

1993, Third Edition

Barak, P

Magic Numbers in Design of Suspensions for Passenger Cars

SAE PAPER 911921