

3

Veículos Terrestres

Por se tratar de uma das primeiras dissertações do Programa de metrologia com aplicação à área veicular, optou-se pela inclusão neste capítulo de conceitos básicos que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Segundo Wong [3], **veículos terrestres** são todos aqueles que trafegam em vias terrestres, podendo ser guiados (trafegam sobre uma trajetória fixa como, por exemplo, uma estrada de ferro) ou não guiados (podendo se locomover em diferentes direções de acordo com a vontade do seu condutor).

Segundo o *Automotive Handbook* [4], as **características dos veículos terrestres** são definidas de acordo com os termos definidos abaixo, sendo que cada um está relacionado a uma das dinâmicas ao longo dos eixos de referência:

- **Desempenho:** capacidade do veículo de acelerar e desacelerar, sendo relacionado com a dinâmica longitudinal (eixo x);
- **Dirigibilidade:** é a resposta do veículo aos comandos aplicados pelo condutor no volante e a sua estabilidade em relação às excitações externas, sendo relacionada com a dinâmica lateral (eixo y);
- **Conforto:** são as respostas do veículo às vibrações provocadas pelo terreno sobre o qual trafega, sendo relacionado com a dinâmica vertical (eixo z).

Neste trabalho serão aplicados dois métodos para fazer a validação do equipamento descrito que utilizam como variáveis de entrada os sinais adquiridos através de ensaios experimentais nos veículos. Estes sinais são os que atuam diretamente na dinâmica veicular. Por esta razão será explicada um pouco melhor a dinâmica veicular e sua nomenclatura típica.

Segundo Gillespie [5], a **dinâmica veicular** refere-se ao movimento dos veículos, às forças atuantes sobre eles e suas respostas à estas forças. Pode-se entendê-la através de dois meios: o empírico (baseado em ensaios experimentais) e o analítico (baseado na modelagem matemática da dinâmica de interesse). Pode-

se dizer que o comportamento de qualquer veículo terrestre é o resultado das interações entre o condutor, o veículo e o meio ao seu redor.

Para que se compreenda melhor tais forças e movimentos resultantes, as normas fazem uso de um sistema de coordenadas fixo ao centro de gravidade do veículo. As normas aplicáveis são a SAE J670 (padrão adotado pelos americanos), ISO 4130 e DIN 70000 (padrão adotado pelos europeus). As normas ISO 4130 e DIN 70000, embora utilizem o mesmo sistema de coordenadas, se diferenciam da norma SAE J670 pelo fato de o eixo vertical z estar apontado para cima. A **Figura 1** mostra o sistema de coordenadas americano, que é o sistema utilizado neste trabalho e a **Figura 2** mostra o sistema de coordenadas europeu.

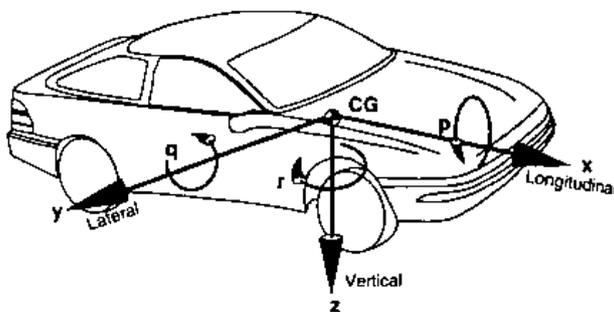


Figura 1 - Sistema de coordenadas recomendado pela norma SAE J670 (Padrão Americano)

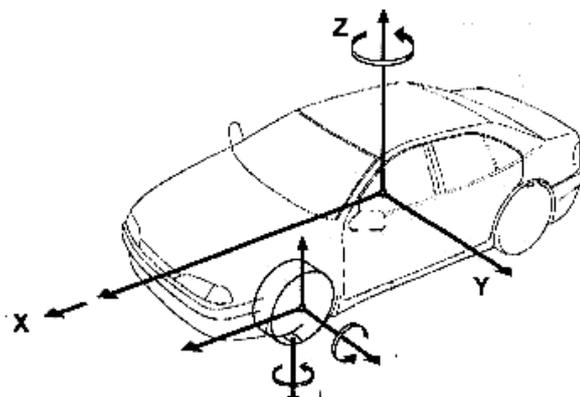


Figura 2 - Sistema de coordenadas recomendado pelas normas ISO 4130 e DIN 70000 (Padrão Europeu).

O sistema de coordenadas utilizado nesta dissertação é o sistema chamado RPY (*Roll – Pitch – Yaw*), que é o mesmo do padrão americano. Neste sistema os eixos são fixos no veículo, constituindo uma estrutura chamada de plataforma. Na

Tabela 1 as nomenclaturas dos movimentos e ângulos referentes a cada eixo coordenado estão descritas.

Tabela 1 – Nomenclatura em Relação aos Eixos Coordenados.

Eixos	X (Roll)	Y (Pitch)	Z (Yaw)
Nome do movimento	Rolagem	Arfagem	Guinada
Ângulo	φ	θ	ψ
Velocidade angular	ω_x	ω_y	ω_z

Segundo Wong [3] e de acordo com o sistema de coordenadas mostrado acima, pode-se modelar o veículo como sendo um corpo rígido (como no modelo de uma carga pontual) com seis graus de liberdade dados pela translação ao longo dos eixos x, y e z e a rotação ao redor destes mesmos três eixos.

3.1. Dinâmica longitudinal

A dinâmica longitudinal está relacionada com o comportamento do veículo terrestre em aceleração (tração) e frenagem (desaceleração). As acelerações (positiva ou tração e negativa ou frenagem) medidas ao longo do eixo longitudinal x (**Figura 1** e **Figura 2**) caracterizam a dinâmica do veículo, que também influenciam a velocidade angular de arfagem (rotação em torno do eixo y).

No que se refere ao problema de tração, pode-se dizer que existem dois fatores limitantes do desempenho do veículo, que são a força de tração máxima que o contato entre o pneu e o solo pode suportar (dependente das características de aderência) e o torque máximo que o motor pode gerar, sendo que o menor valor destes dois irá determinar o potencial de desempenho do veículo.

O motor deve ter potência suficiente para vencer as resistências internas da transmissão, a resistência ao rolamento dos pneus e a resistência aerodinâmica, quando o veículo estiver em velocidade máxima. As resistências citadas são denominadas de forças resistentes ao deslocamento.

A força de tração é a força que as rodas efetivamente transmitem ao solo para que o veículo possa se movimentar. Ela é gerada pelo motor, que pode ser

elétrico ou de combustão interna. Na realidade o motor não gera força e sim torque e a força de tração surge porque as rodas recebem o torque do motor, que produz um binário (força de reação), cujo módulo do vetor torque é o valor da força de tração vezes o raio efetivo da roda no contato com o solo.

Ainda segundo Wong [3], a característica ideal de um motor relaciona-se à quantidade constante de potência fornecida, qualquer que seja a rotação. Com isso o torque fornecido variaria inversamente com a rotação do motor, de modo que em baixas rotações, situação em que o veículo necessita de maior torque (como iniciando o seu movimento ou na subida de um aclive), o motor teria condições de suprir essa exigência. Já em rotações elevadas, como em altas velocidades, o torque fornecido é menor.

Já o problema de desaceleração está relacionado com o sistema de freios. Todos os veículos terrestres contam com um dispositivo de frenagem capaz de absorver a energia do movimento, ou energia cinética, que o automóvel tenha no instante que se inicia a desaceleração, de modo a reduzir a velocidade do veículo ou pará-lo.

Os dispositivos de frenagem normalmente empregados efetuam a absorção da energia cinética, recorrendo ao atrito entre materiais de fricção especiais sobre as superfícies de tambores ou discos solidários às rodas. O atrito absorve a energia cinética transformando-a em calor que é dissipado no ambiente.

3.2. Dinâmica lateral

A aceleração lateral (ao longo do eixo y) e a velocidade angular de guinada (*yaw* – ω_z - rotação em relação ao eixo z) caracterizam a dinâmica lateral. Também há influência da dinâmica lateral na velocidade angular de rolagem (*roll* – ω_x - rotação em torno do eixo x).

A dinâmica lateral está relacionada com o comportamento do veículo em curvas. Segundo Genta [6], duas funções básicas podem ser identificadas em todos os tipos de veículos: propulsão e controle de trajetória. Dentro desta segunda função todos os veículos podem ser divididos em duas categorias:

- Veículos guiados cinematicamente, onde a trajetória é fixada por restrições cinemáticas (trens);

- Veículos pilotados, onde a trajetória é determinada pelo sistema de direção, controlado pelo motorista. Este sistema converte o movimento de rotação aplicado ao volante, em movimento de esterçamento das rodas, provocando o surgimento de forças e momentos, que são capazes de alterar a trajetória do veículo (automóveis em geral).

Um automóvel converte o movimento de rotação aplicado ao volante em movimento de esterçamento das rodas, de forma que o veículo possa seguir a trajetória comandada.

3.3. Dinâmica vertical

A dinâmica vertical está diretamente relacionada ao sistema de suspensão, que é sua peça fundamental, o qual consiste em um conjunto de elementos que servem de união entre as rodas e a própria estrutura do automóvel (carroceria e chassi). Ela é caracterizada pela aceleração vertical (a_z) e pelas velocidades angulares de rolagem (ω_x) e arfagem (ω_y).

Como a superfície do terreno por onde trafega nem sempre é perfeitamente plana e regular, todo veículo deve ser projetado de forma que suas quatro rodas possam se adaptar à estrada mesmo que esta apresente certas irregularidades.

Além disso, é necessário também que durante o deslocamento do veículo as rodas sejam capazes de oscilar elasticamente e absorver as irregularidades do terreno, a fim de evitar que as vibrações correspondentes sejam transmitidas à estrutura do veículo e conseqüentemente aos passageiros e/ou cargas. Dessa forma promove-se um aumento do conforto interno do veículo e da segurança.

Para conseguir esses objetivos essenciais, a união das rodas ao conjunto da carroceria e chassi do veículo não é rígida, sendo feita por meio de dispositivos mecânicos de diversas concepções que permitem a oscilação das rodas ao rodar sobre as irregularidades do terreno e por sua vez, a absorção e o amortecimento das oscilações.

3.4. Quadro resumo das dinâmicas

A Tabela 2 resume as principais características e variações associadas a dinâmica veicular.

Tabela 2 – Quadro Resumo das Dinâmicas

NATUREZA DA SOLICITAÇÃO	SOLICITAÇÃO SOBRE O VEÍCULO	DINÂMICAS DO VEÍCULO	REAÇÃO DO VEÍCULO
INTERNA (PILOTO)	ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO	LONGITUDINAL	a_x (+ tração e - frenagem)
		LATERAL	-
		VERTICAL	ω_y
INTERNA (PILOTO)	REALIZAÇÃO DE CURVAS (Velocidade Constante)	LONGITUDINAL	-
		LATERAL	ω_z, a_y (+ esquerda e - direita)
		VERTICAL	ω_x
EXTERNA	OSCILAÇÕES PROVOCADAS PELO TERRENO	LONGITUDINAL	-
		LATERAL	-
		VERTICAL	a_z, ω_y, ω_x
EXTERNA	CARREGAMENTOS AERODINÂMICO (Sustentação) e/ou GRAVITACIONAL	LONGITUDINAL	-
		LATERAL	-
		VERTICAL	a_z