

dito, a obtenção destas equações é uma tarefa complexa e para uma melhor compreensão, deve-se realizar a leitura das referências indicadas em [58], [59] e [60].

McHenry ^{[59][60]} informa que os resultados obtidos por estas equações poderão afastar-se da realidade em casos com *rollout*, ou seja, quando o veículo continua o movimento de translação com as rodas livres após o final do movimento de rototranslação, e quando não se puder estabelecer uma relação linear entre as variações da velocidade do centro de gravidade e velocidade angular do veículo em relação ao tempo de desaceleração.

Uma das grandes vantagens desta metodologia é o fato de que, assim como na metodologia proposta por Bigg ^[54], não se necessita determinar os ângulos médios de derrapagem do veículo. Entretanto, é necessário determinar o ângulo de rotação total e o deslocamento do centro de gravidade do veículo ao longo do movimento de rototranslação.

A presente metodologia considera os efeitos de uma energia cinética translacional significativa antes do movimento de rototranslação e uma energia cinética rotacional significativa após o MRT, caso ocorram.

Exemplo 2.11: A aplicação da metodologia proposta por Marquard ^[58] será explicada através dos recálculos do **exemplo 2.7**, em que há movimento de rototranslação por esterçamento com as rodas bloqueadas. Utilizaremos os seguintes valores de entrada das variáveis:

- Ângulo de rotação do veículo: $\theta = 139,5^\circ \cong 2,43 \text{ rad}$;
- Distância entre eixos do veículo: $wb = 2,51 \text{ m}$;
- Deslocamento do centro de gravidade do veículo: $d = 43,20 \text{ m}$;
- Raio de giração ⁱⁱ do veículo com relação ao eixo vertical de guinada Z : $k^2 = 1,3218 \text{ m}^2$;
- Coeficiente de atrito disponível entre as rodas do veículo e a superfície de tráfego: $\mu = 0,75$;
- *Lockup fator*: $0 \leq \Theta \leq 1$, sendo $\Theta = 0$ para rodas livres, e $\Theta = 1$ para rodas bloqueadas;
- Aceleração da gravidade: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Solução ^{jj}

1) Para as rodas do veículo bloqueadas, ou seja, com $\Theta = 1$:

a) Cálculo do *path ratio* (PR):

ⁱⁱ Lembrando que $I = m k^2$. Para o veículo analisado, $I_z = 1546,569 \text{ kg m}^2$ e $m = 1170 \text{ kg}$.

^{jj} Atente-se para o fato que utilizaremos planilhas eletrônicas para o desenvolvimento dos cálculos, ou seja, considerando casas pós vírgula que estão implícitas.

$$PR = \frac{\theta \, w b}{2d} \quad (2.73)$$

$$PR = \frac{(2,43 \, rad) (2,51 \, m)}{2 (43,20 \, m)} = 0,0706$$

b) Cálculo da taxa η_{ROT}^{kk} :

Como $PR < 1,50$ então $\eta_{ROT} = 0,78 \, PR - 0,16 \, PR^2$:

$$\eta_{ROT} = 0,78 (0,0706) - 0,16 (0,0706)^2 = 0,0543$$

c) Cálculo da taxa η_{TRA}^{ll} :

Como $PR < 1,50$ então $\eta_{TRA} = 1,00 - 0,10 \, PR - 0,28 \, PR^2$:

$$\eta_{TRA} = 1,00 - 0,10 (0,0706) - 0,28 (0,0706)^2 = 0,9732$$

d) Cálculo da VEEC rotacional do veículo em torno do eixo vertical $Z - VEEC_{ROT} \, (rad/s)$:

$$VEEC_{ROT} = \sqrt{\theta \left(\frac{\eta_{ROT} \, w b \, \mu \, g}{I/m} \right)} \quad (2.71)$$

Neste movimento desacelerado de rototranslação, ocorrido devido ao esterçamento do volante do veículo, a velocidade angular não tem um valor máximo no início do movimento de rototranslação. Dessa maneira, a **equação 2.71** não deve ser aplicada.

e) Cálculo da VEEC translacional do centro de gravidade do veículo – $VEEC_{TRA} \, (m/s)$:

$$VEEC_{TRA} = \sqrt{2g \, \eta_{TRA} \, \mu \, d \, \Theta} \quad (2.72)$$

^{kk} $\eta_{ROT} = f_{ROT}/\mu$

^{ll} $\eta_{TRA} = f_e/\mu$

$$VEEC_{TRA} = \sqrt{2(9,8 \text{ m/s}^2) (0,9732)(0,75)(43,20 \text{ m}) (1)} = 24,86 \text{ m/s} \cong 89 \text{ km/h}$$

2) Para as rodas do veículo livres, ou seja, com $\theta = 0$: conforme explicado anteriormente, a metodologia de Marquard não se aplica para caso de rototranslação resultantes de esterçamento do volante em que o veículo se desloca com as rodas livres. Para isso recomendamos o uso das metodologias propostas por Daily e Fricke.

Na **tabela 2.12** é mostrada a comparação dos resultados dos valores das VEECs translacionais relativas aos **exemplos 2.7** e **2.10**, obtidos pelas metodologias propostas por Daily, Fricke e Marquard, respectivamente.

Situação das rodas	Método de Daily	Método de Fricke	Método de Marquard
Rodas livres	56 km/h	55 km/h	Não se aplica
Rodas bloqueadas	90 km/h	90 km/h	89 km/h

Tabela 2.12 Comparação dos resultados dos valores das VEECs translacionais relativas dos exemplos.

Os resultados obtidos estão coerentes com as metodologias apresentadas, indicando que para a situação de rototranslação com as rodas bloqueadas a energia cinética rotacional e, logo, a velocidade angular, não eram significativas.

Exemplo 2.12: Neste exemplo, o objetivo é comparar os resultados obtidos para a VEEC translacional e rotacional de um veículo após um evento de colisão não-central, obtidos a partir de uma simulação computacional realizada no software Virtual Crash ^{mm}, com aqueles obtidos pelas metodologias propostas por Daily, por Fricke e por Marquard.

Resumidamente, nesta colisão não-central, o veículo 1 trafegava com uma velocidade de 90 km/h no momento da colisão. O veículo 2 estava imobilizado no momento da colisão e considera-se que as quatro rodas estavam bloqueadas. O veículo 1 atinge com a região frontal o setor lateral esquerdo, terço posterior, do veículo 2. A **figura 2.51** mostra a configuração do evento de colisão estudado.

Após a colisão, o veículo 1 desacelera com um MRUV e uma taxa de 4 m/s^2 . Sabemos que o veículo 2 adquire um movimento de rototranslação após a colisão, rotacionando ao total $\theta = 362^\circ \cong 6,3181 \text{ rad}$ em torno do eixo vertical Z e seu centro de gravidade translada $d_{cg} =$

^{mm} **Virtual Crash Accident Reconstruction Software**, informações disponíveis em www.vcrashusa.com.