

---

## Casuística

---

Todos os casos abordados neste capítulo são propostos para esclarecer de que maneira são calculadas as velocidades nas colisões entre dois veículos. Por se tratarem de eventos reais, as minúcias e detalhes dos cálculos não foram ocultados, pelo contrário, cada passo da resolução é mostrado.

Como a temática deste livro versa sobre análise das colisões com o objetivo de determinar a velocidade dos veículos envolvidos, vale ressaltar alguns tópicos já abordados.

A primeira observação pertinente diz respeito à velocidade quadrática, descrita na equação 1.11. Essa equação, como já demonstrado, é de fácil e excelente aplicação nos casos em que o veículo se desloca isolado, atingindo obstáculos imóveis no percurso, sendo possível, inclusive adicionar nos cálculos a velocidade de danos. Porém, a realidade apresenta ocorrências que em sua maioria são colisões entre dois, três e até mais veículos.

Para resolver a questão dos cálculos de velocidade nas colisões entre dois veículos existem duas abordagens, o método escalar, em que se aplica o Princípio da Conservação da Energia e outro, de natureza vetorial, em que se aplica o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento. Este livro, nesse aspecto, visa estudar os diversos casos abordados, com o objetivo primeiramente de reforçar e aplicar com efetividade os dois princípios, e de outra forma também fazer comparações entre os resultados de velocidade obtidos por um e por outro método.

Todos os casos estudados são de colisões reais, com o devido cuidado em preservar a identificação dos veículos, das vítimas e das pessoas envolvidas.

Como de praxe, a exemplo da primeira edição do Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito, os exercícios são resolvidos em passos, que evidentemente, se repetidos na aplicação em outros casos reais e similares, devem resultar em valores de velocidade aceitáveis.

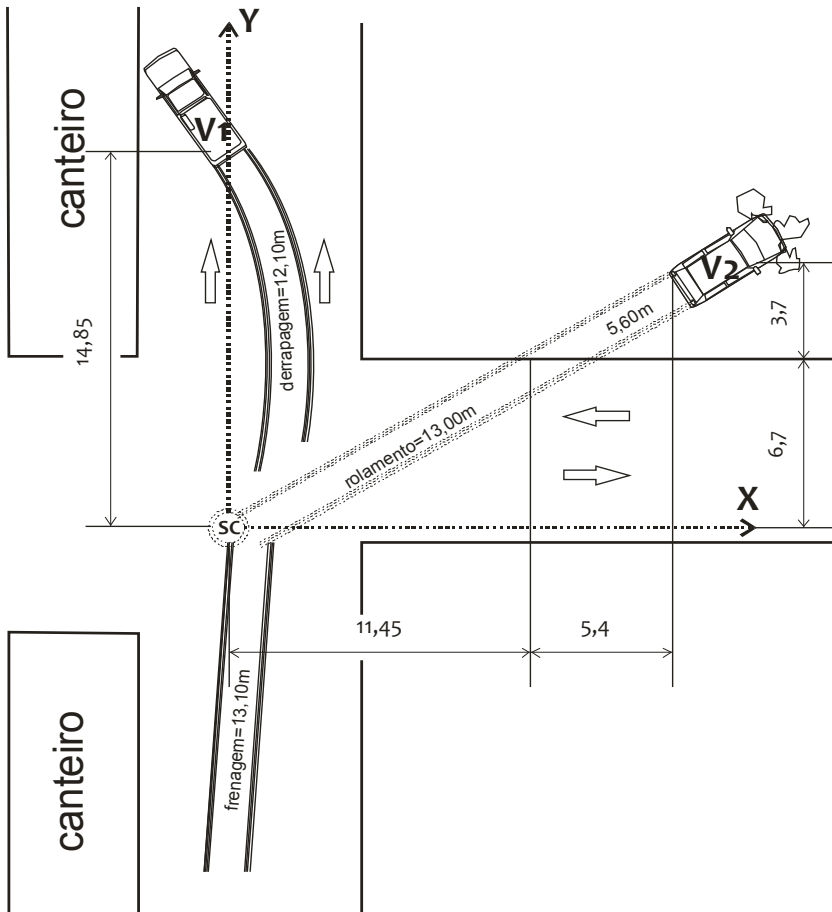
Cada caso abordado será resolvido pelos dois caminhos, sempre com uma discussão inicial sobre a situação do local, tendo ao final uma avaliação acerca dos resultados obtidos, verificando se há compatibilidade, se há possibilidade de adotar valor médio entre os dois métodos, se os valores obtidos são discrepantes ou se o levantamento e as estimativas de velocidade de danos no local apresentaram falhas, e de que forma esses lapsos contribuíram para distorcer os resultados obtidos.

Serão apresentados e resolvidos pelo menos dois casos de cada tipo de colisão perpendicular, oblíqua, traseira e frontal.

## Exercícios / Estudo de Casos

### 1. Hilux x Palio

Considere uma colisão em interceptação envolvendo a caminhonete V1-Hilux e o automóvel V2-Palio, que se deslocava no sentido do fluxo da via, enquanto V1-Hilux atravessava a pista no sentido da esquerda para a direita em relação ao veículo V2-Palio. O croqui simplificado abaixo representa todos os percursos dos dois veículos. No instante da colisão a parte anterior de V2-Palio atingiu a lateral direita de V1-Hilux. Conforme análise inicial, os danos na porção anterior de V2-Palio correspondem a velocidade de dano grave, e os danos na lateral direita de V1-Hilux foram dimensionados em 45 km/h.



Croqui 4.1

### Dados do caso

Veículo	Massa kg	Velocidade de dano	Coefficientes de atrito
V1-Hilux	1780	45 km/h	pneus x asfalto=0,6
V2-Palio	940	45 km/h	pneus x asfalto=0,8 pneus em rolamento=0,2

### I – Método – Princípio da Conservação da Energia

1º passo: Discussão analítica preparatória.

No caso em tela, em virtude do fato de o veículo V2-Palio ter atingido integralmente a lateral direita da caminhonete V1-Hilux, considera-se que toda energia por causa dos danos provocados nessa região de V1-Hilux, e todos os danos provocados na porção anterior de V2-Palio, devem ser atribuídos ao veículo V2-Palio.

2º passo: Determinação do ângulo de saída de V1-Hilux em relação ao eixo X.

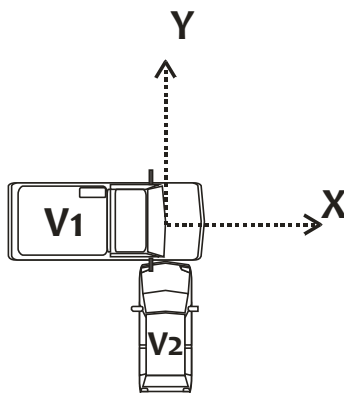
$$\theta_1 = 70^\circ - \text{linha tangente ao início da marca de derrapagem.}$$

3º passo: Determinação do ângulo de saída de V2-Palio em relação ao eixo X.

$$\theta_2 = \arctg\left(\frac{6,7+3,7}{11,45+5,4}\right) = 31,6^\circ$$

4º passo: Definição da direção de projeção dos movimentos: direção X para o veículo V1-Hilux e direção Y para o veículo V2-Palio, no momento imediatamente anterior à colisão.

instante da colisão



5º passo: Cálculo das energias na direção X e da velocidade do veículo que trafegava nessa direção.

### Direção X

- Energia do percurso da caminhonete V1-Hilux na direção X ( $k=0,6$ ;  $d=12,10$ m).

$$V = 15,946\sqrt{k \cdot d} = 15,946\sqrt{0,6 \cdot (12,10)} = 42,9 \text{ km/h} = 11,9 \text{ m/s}$$

$$V_x = V \cdot \cos\theta_1 = 11,9 \times \cos(70^\circ) = 4,0 \text{ m/s}$$

$$E1 = \frac{M1 \cdot V^2}{2}; E1 = \frac{(1780) \cdot (4,0)^2}{2}; E1 = 14240 \text{ J}$$

- Energia do percurso da V2-Palio da direção X ( $k=0,2$ ;  $d=13,0+5,60=18,6$ m)

$$V = 15,946\sqrt{k \cdot d} = 15,946\sqrt{0,2 \cdot (18,6)} = 30,7 \text{ km/h} = 8,5 \text{ m/s}$$

$$V_x = V \cdot \cos\theta_2 = 8,5 \times \cos(31,6^\circ) = 7,2 \text{ m/s}$$

$$E2 = \frac{M2 \cdot V^2}{2}; E2 = \frac{(940) \cdot (7,2)^2}{2}; E2 = 24364 \text{ J}$$

- A energia da direção X é toda atribuída ao veículo V1-Hilux

$$E(\text{Hilux}) = E1 + E2$$

$$E(\text{Hilux}) = 14240 + 24364$$

$$E(\text{Hilux}) = 38604 \text{ J}$$

- Velocidade do veículo V1=Hilux

$$E(\text{Hilux}) = 38604 \text{ J}$$

$$\frac{M1 \cdot V^2}{2} = 38604$$

$$\frac{1780 \cdot V^2}{2} = 38604$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 38604}{1780}}$$

$$V = 6,6 \text{ m/s} = 23,7 \text{ km/h}$$

6º passo: Cálculo das parcelas de energia na direção Y e da velocidade do veículo que trafegava nessa direção.

### Direção Y

- Energia de dano na parte na lateral direita da caminhonete V1-Hilux, considerando velocidade de dano  $V_d=45$  km/h (12,5m/s).

$$E1 = \frac{M1.V^2}{2}; E1 = \frac{(1780).(12,5)^2}{2}; E1 = 139062J$$

- Energia do percurso de V1-Hilux na direção Y ( $k=0,6$ ;  $d=12,10$ m)

$$V = 15,946\sqrt{k.d} = 15,946\sqrt{0,6.(12,10)} = 42,9 \text{ km/h} = 11,9 \text{ m/s}$$

$$V_y = V.\text{sen}\theta_1 = 11,9x\text{sen}(70^\circ) = 11,2 \text{ m/s}$$

$$E2 = \frac{M1.V^2}{2}; E2 = \frac{(1780).(11,2)^2}{2}; E2 = 111641 J$$

- Energia de dano na parte anterior do Palio, considerando velocidade de dano  $V_d=45$  km/h (12,5 m/s).

$$E3 = \frac{M2.V^2}{2}; E3 = \frac{(940).(12,5)^2}{2}; E3 = 73437 J$$

- Energia do percurso do Palio na direção Y ( $k=0,2$ ;  $d=13,0+5,6=18,60$ )

$$V = 15,946\sqrt{k.d} = 15,946\sqrt{0,2.(18,60)} = 30,7 \text{ km/h} = 8,5 \text{ m/s}$$

$$V_y = V.\text{sen}\theta_2 = 8,5x\text{sen}(31,6) = 4,45 \text{ m/s}$$

$$E4 = \frac{M2.V^2}{2}; E4 = \frac{(940).(4,45)^2}{2}; E4 = 9307J$$

- Energia da direção Y é toda atribuída ao veículo V2-Palio

$$E(\text{palio}) = E1 + E2 + E3 + E4$$

$$E(\text{palio}) = 139062 + 111641 + 73437 + 9307$$

$$E(\text{palio}) = 333447 J$$

- Velocidade do veículo V2-Palio

$$E(\text{palio}) = 333447 \text{ J}$$

$$\frac{M_2.V^2}{2} = 333447$$

$$\frac{940.V^2}{2} = 333447$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 333447}{940}}$$

$$V = 26,6 \text{ m/s} = 95,7 \text{ km/h}$$

- O veículo V2-Palio freou antes da colisão?

R.: Sim, por 13,10 metros.

- Calcular parcela de velocidade antes da colisão:

$$V = 15,946\sqrt{k \cdot d} = 15,946\sqrt{0,8 \times 13,10} = 51,6 \text{ km/h}$$

- Velocidade total de V2-Palio.

$$V = \sqrt{95,7^2 + 51,6^2}$$

$$V = 108,7 \text{ km/h}$$

7º passo: Tabela resumo das velocidades:

Dinâmica	V1-Hilux (km/h)	V2-Palio (km/h)
Antes da colisão	23,7	108,7
Instante da colisão	23,7	95,7

## II – Método – Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento

1º passo: Cálculo da velocidade de saída do veículo V1-Hilux (pós-colisão).

$$V_1 = 15,946\sqrt{k \cdot d} = 15,946\sqrt{0,6 \cdot (12,10)} = 42,9 \text{ km/h} = 11,9 \text{ m/s}$$

2º passo: Cálculo da Quantidade de Movimento Final de V1-Hilux.

$$Q_1 = M_1 \cdot V_1 = 1780 \times 11,9 = 21182 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

3º passo: Cálculo da velocidade de saída do veículo V2-Palio (pós-colisão).

$$V1 = 15,946\sqrt{k \cdot d} = 15,946\sqrt{0,2 \cdot (13,0 + 5,60)} = 30,7 \text{ km/h} = 8,5 \text{ m/s}$$

4º passo: Cálculo da Quantidade de Movimento final de V2-Palio.

$$Q_2 = M_2 \cdot V_2 = 940 \times 8,5 = 7990 \text{ kg.m/s}$$

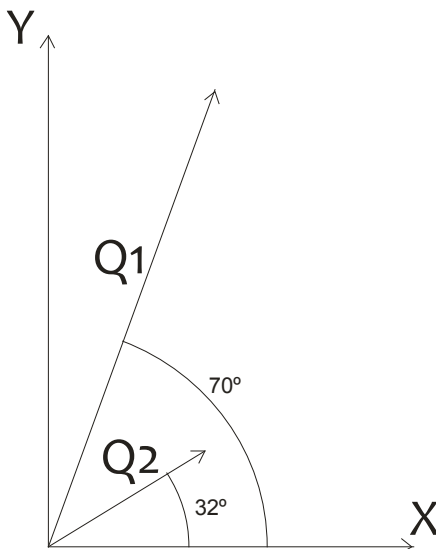
5º passo: Determinação do ângulo de saída de V1-Hilux em relação ao eixo X.

$$\theta_1 = 70^\circ - \text{linha tangente ao início da marca de derrapagem.}$$

6º passo: Determinação do ângulo de saída de V2-Palio em relação ao eixo X.

$$\theta_2 = \arctg\left(\frac{6,7+3,7}{11,45+5,4}\right) = 31,6^\circ$$

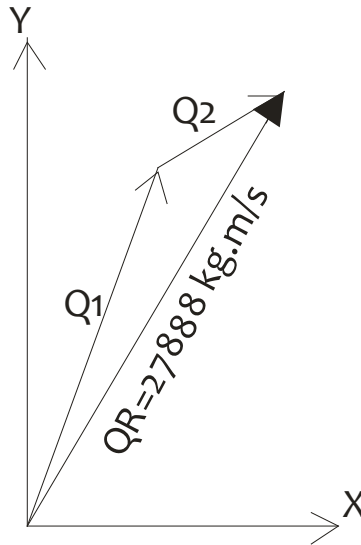
7º passo: Representação dos ângulos de saída dos vetores Quantidade de Movimento de cada veículo.



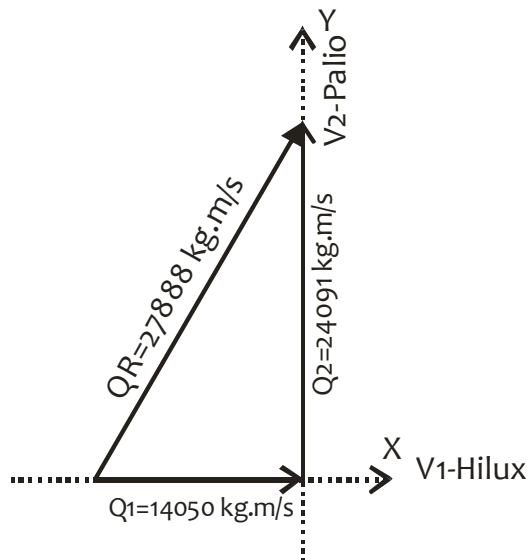
$$Q1 = 21182 \text{ kg.m/s}$$

$$Q2 = 7990 \text{ kg.m/s}$$

8º passo: Determinação do vetor Quantidade de Movimento Resultante.



9º passo: Determinação dos vetores Quantidade de Movimento Inicial,  $Q_{i1}$  e  $Q_{i2}$ . Esses valores são obtidos medindo-se os vetores  $Q_{i1}$  e  $Q_{i2}$  na direção de movimento respectiva de cada veículo. A direção X representa o veículo V1-Hilux imediatamente antes de entrar na colisão e a direção Y representa o veículo V2-Palio.



10º passo: Determinação da velocidade dos veículos V1 e V2 antes da colisão, sabendo-se que  $Q_{i1} = 14050 \text{ kg.m/s}$  e  $Q_{i2} = 24091 \text{ kg.m/s}$ .



$$V_1 = \frac{Q_{i_1}}{M_1} = \frac{14050}{1780} = 7,9 \text{ m/s} = 28,4 \text{ km/h}$$

$$V_2 = \frac{Q_{i_2}}{M_2} = \frac{24091}{940} = 25,6 \text{ m/s} = 92,1 \text{ km/h}$$

11º passo: O veículo V2-Palio freou antes da colisão?

R.: Sim, por 13,10 metros.

– Calcular parcela de velocidade antes da colisão:

$$V = 15,946\sqrt{k \cdot d} = 15,946\sqrt{0,8 \times 13,10} = 51,6 \text{ km/h}$$

– Velocidade total de V2-Palio.

$$V = \sqrt{92,1^2 + 51,6^2}$$

$$V = 105,5 \text{ km/h}$$

13º passo: Tabela resumo das velocidades:

Dinâmica	V1-Hilux (km/h)	V2-Palio (km/h)
Antes da colisão	28,4	105,5
Instante da colisão	28,4	92,1

### III – Discussão Final Sobre os Resultados Obtidos pelos Dois Métodos

Pelos dois métodos, PCE – Princípio da Conservação da Energia e PCQM – Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento, é possível averiguar que as velocidades calculadas para os veículos V1-Hilux e V2-Palio têm margem, diferença de no máximo 4,7 km/h. Vide a tabela abaixo com o quadro comparativo.

Veículo	Trecho	PCE (km/h)	PCQM (km/h)	Diferença(km/h)
V1-Hilux	Antes de colidir	23,7	28,4	4,7
	Instante da colisão	23,7	28,4	4,7
V2-Palio	Antes de colidir	108,7	105,5	3,2
	Instante da colisão	95,7	92,1	3,6