



ANJO S-TRACK
SISTEMA DE PREVENÇÃO DE TOMBAMENTOS
ROTOGRAMA INTELIGENTE



CÁLCULOS BÁSICOS PARA EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE -ÁREA DE VARREDURA ("off-tracking")

1

ANJO S-TRACK
SISTEMA DE PREVENÇÃO DE TOMBAMENTOS
ROTOGRAMA INTELIGENTE



CÁLCULOS BÁSICOS: ÁREA DE VARREDURA

Instrutor: Eng. Rubem Penteado de Melo,

2

Critério de desempenho: *Off tracking*



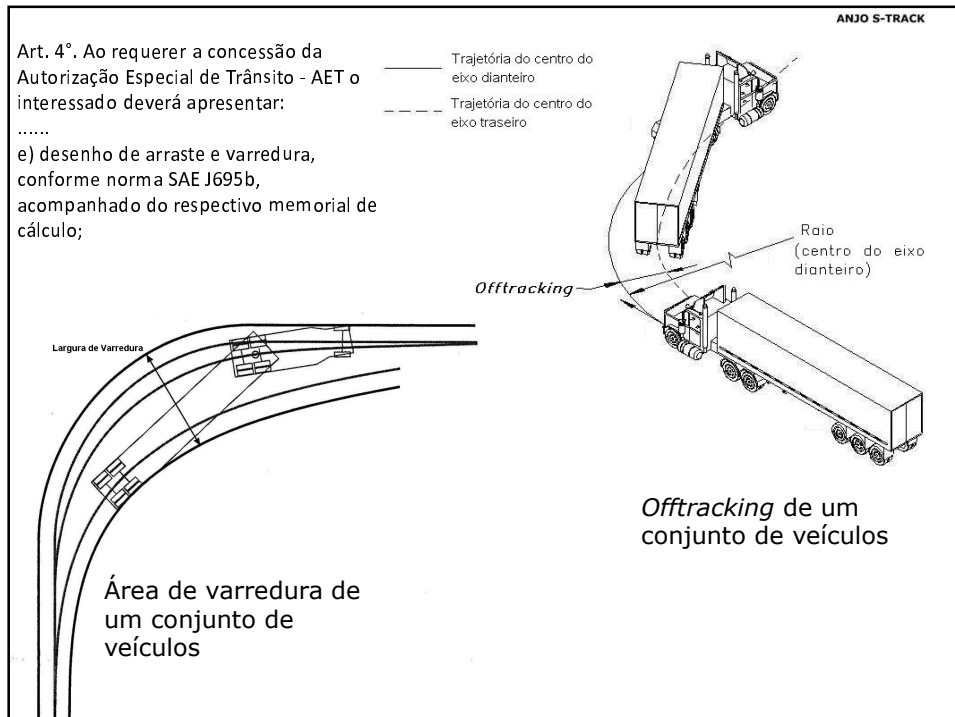
Uma composição ferroviária trafega sobre trilhos e, portanto as rodas traseiras seguem precisamente a trajetória das rodas dianteiras. Com veículos que não estão guiados por trilhos, como bicicletas, automóveis e caminhões, as rodas traseiras não seguem a mesma trajetória das rodas dianteiras. Esse fenômeno pelo qual as rodas traseiras tem uma trajetória distinta das rodas dianteiras durante uma curva é conhecido como "Offtracking". Existem dois tipos de *offtracking*: em baixa velocidade e em alta velocidade.

No **offtracking em baixa velocidade** (*low-speed offtracking*), os pesos, a distribuição da carga, as características da suspensão e outras características dinâmicas do veículo ou conjunto de veículos são consideradas irrelevantes. Já no **offtracking em alta velocidade** (*high-speed offtracking*) esses fatores são considerados na determinação da trajetória.

Embora pouco significativo em automóveis, o *offtracking* em baixa velocidade é um importante critério de avaliação de desempenho para veículos de carga e suas combinações, como fator fundamental para o projeto geométrico de rodovias, especialmente das intersecções, rotatórias, alças de acesso de viadutos, etc.

Tecnicamente, *offtracking* é definido como a diferença radial entre a trajetória do centro do eixo dianteiro e a trajetória do centro do eixo traseiro, conforme ilustrado na Figura:

3



4

TABLE 1 — INTERIOR DIMENSIONS OF ILLUSTRATIVE VEHICLES AND MAXIMUM OFF TRACKING VALUES FROM FIGURE 7 OR TABLE 2

(1) Illustrative Vehicles	(2) Measurement	Wheelbase*		(5) Wheel- base Squares ft ² (m ²)	(6) Sum of Squares of Wheel- base ft ² (m ²)	Maximum Off Tracking—ft(m) If Radius of Curve is:				
		(3) ft-in	(4) Decimal ft (m)			(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
						50 ft (15.24) (m)	75 ft (22.86) (m)	120 ft (36.58) (m)	165 ft (50.29) (m)	250 ft (76.20) (m)
OAL = 55 ft (16.76m) 	AB	17-0	17.00 (5.18)	289.00 (26.85)	1260 (117.05)	16.6 (5.06)	9.5 (2.90)	5.5 (1.68)	3.9 (1.19)	2.6 (0.79)
	BC	31-2	31.17 (9.50)	971.26 (90.24)						
	CD	17-0	17.00 (5.18)	289.00 (26.85)						
OAL = 65 ft (19.81m) 	AB	10-0	10.00 (3.05)	100.00 (9.29)	999 (92.81)	12.6 (3.84)	7.4 (2.26)	4.4 (1.34)	3.1 (0.95)	2.0 (0.61)
	BC	20-2	20.17 (6.15)	406.71 (37.78)						
	CD	2-6	-2.50 (-0.76)	-0.62 (-0.58)						
	DE	6-0	6.00 (1.83)	36.00 (3.34)						
	EF	21-6	21.50 (6.55)	462.25 (42.94)						
	FG	2-6	-2.50 (-0.76)	-0.62 (-0.58)						
OAL = 95 ft (28.96m) 	AB	10-0	10.00 (3.05)	100.00 (9.29)	1491 (138.51)	21.5 (6.55)	11.6 (3.54)	6.7 (2.04)	4.8 (1.46)	3.1 (0.95)
	BC	20-2	20.17 (6.15)	406.71 (37.78)						
	CD	2-6	-2.50 (-0.76)	-0.62 (-0.58)						
	DE	6-0	6.00 (1.83)	36.00 (3.34)						
	EF	21-6	21.50 (6.55)	462.25 (42.94)						
	FG	2-6	-2.50 (-0.76)	-0.62 (-0.58)						
OAL = 100 ft (30.48m) 	AB	17-9	17.75 (5.41)	315.06 (29.27)	2468 (229.28)	19.2 (5.85)	11.1 (3.38)	7.8 (2.38)	5.0 (1.52)	
	BC	33-3	33.50 (10.14)	1105.56 (102.71)						
	CD	4-0	-4.00 (-1.22)	-16.00 (-1.49)						
	DE	7-1	7.08 (2.16)	50.17 (4.66)						
	EF	31-10	31.83 (9.70)	1013.54 (94.14)						

* Wheelbase, rear axle to pinhole hook, or pinhole hook to front axle or bogie.
 † denotes pinhole hook.
 ‡ This value is beyond Fig. 7 and Table 2. Off track of over 60 ft could be expected, indicating the vehicle is pivoting around the rear axle group rather than making a free rolling turn.

5

TABLE 2 — MAXIMUM OFF TRACKING DISTANCES FOR SUMS OF THE SQUARES OF WHEELBASE

Σ (L) ²	RADIUS OF CURVE—ft(m)					
	50 (15.24)	90 (27.43)	120 (36.58)	165 (50.29)	200 (60.96)	250 (76.20)
	OFF TRACKING—ft(m)					
500 (46.45)	5.80 (1.77)	2.94 (0.90)	2.18 (0.66)	1.56 (0.48)	1.28 (0.39)	1.02 (0.31)
550 (51.10)	6.43 (1.96)	3.26 (0.99)	2.40 (0.73)	1.72 (0.52)	1.41 (0.43)	1.12 (0.34)
600 (55.74)	7.06 (2.15)	3.56 (1.09)	2.62 (0.80)	1.87 (0.57)	1.54 (0.47)	1.22 (0.37)
650 (60.39)	7.71 (2.33)	3.87 (1.18)	2.84 (0.87)	2.03 (0.62)	1.76 (0.54)	1.32 (0.40)
700 (65.03)	8.37 (2.55)	4.17 (1.27)	3.06 (0.93)	2.19 (0.67)	1.79 (0.55)	1.42 (0.43)
750 (69.68)	9.04 (2.76)	4.48 (1.37)	3.28 (1.00)	2.35 (0.72)	1.95 (0.59)	1.52 (0.46)
800 (74.32)	9.72 (2.96)	4.78 (1.46)	3.50 (1.07)	2.50 (0.76)	2.08 (0.63)	1.63 (0.50)
850 (78.97)	10.42 (3.18)	5.09 (1.55)	3.72 (1.13)	2.66 (0.81)	2.21 (0.67)	1.73 (0.53)
900 (83.61)	11.13 (3.39)	5.40 (1.65)	3.95 (1.20)	2.82 (0.86)	2.34 (0.71)	1.82 (0.56)
950 (88.26)	11.85 (3.61)	5.71 (1.74)	4.17 (1.27)	2.98 (0.91)	2.46 (0.75)	1.93 (0.59)
1000 (92.90)	12.59 (3.84)	6.03 (1.84)	4.39 (1.34)	3.14 (0.96)	2.57 (0.78)	2.04 (0.62)
1050 (97.55)	13.35 (4.07)	6.34 (1.93)	4.62 (1.41)	3.30 (1.01)	2.70 (0.82)	2.14 (0.65)
1100 (102.19)	14.13 (4.31)	6.65 (2.03)	4.84 (1.48)	3.45 (1.05)	2.83 (0.86)	2.25 (0.69)
1150 (106.84)	14.92 (4.55)	6.97 (2.12)	5.07 (1.55)	3.61 (1.10)	2.96 (0.90)	2.35 (0.72)
1200 (111.48)	15.74 (4.80)	7.29 (2.22)	5.29 (1.61)	3.77 (1.15)	3.09 (0.94)	2.45 (0.75)
1250 (116.13)	16.57 (5.05)	7.60 (2.32)	5.52 (1.68)	3.93 (1.20)	3.22 (0.98)	2.55 (0.78)
1300 (120.77)	17.44 (5.32)	7.92 (2.41)	5.75 (1.75)	4.09 (1.25)	3.34 (1.02)	2.66 (0.81)
1350 (125.42)	18.32 (5.58)	8.24 (2.51)	5.97 (1.82)	4.25 (1.30)	3.47 (1.06)	2.76 (0.84)
1400 (130.06)	19.24 (5.86)	8.57 (2.61)	6.20 (1.89)	4.41 (1.34)	3.60 (1.10)	2.86 (0.87)
1450 (134.71)	20.19 (6.15)	8.89 (2.71)	6.34 (1.93)	4.57 (1.39)	3.73 (1.14)	2.97 (0.91)
1500 (139.35)	21.18 (6.46)	9.21 (2.81)	6.66 (2.03)	4.73 (1.44)	3.86 (1.18)	3.07 (0.94)
1550 (144.00)	22.21 (6.77)	9.54 (2.91)	6.89 (2.10)	4.89 (1.49)	3.99 (1.22)	3.17 (0.97)
1600 (148.64)	23.28 (7.10)	9.87 (3.01)	7.11 (2.17)	5.05 (1.54)	4.13 (1.26)	3.27 (1.00)
1650 (153.29)	24.41 (7.44)	10.20 (3.11)	7.34 (2.24)	5.21 (1.59)	4.26 (1.30)	3.38 (1.03)
1700 (157.93)	25.60 (7.80)	10.52 (3.21)	7.57 (2.31)	5.37 (1.64)	4.39 (1.34)	3.48 (1.06)
1750 (162.58)	26.87 (8.19)	10.86 (3.31)	7.81 (2.38)	5.53 (1.69)	4.52 (1.38)	3.58 (1.09)
1800 (167.22)	28.22 (8.60)	11.19 (3.41)	8.04 (2.45)	5.69 (1.73)	4.65 (1.42)	3.69 (1.13)
1850 (171.87)	29.69 (9.05)	11.53 (3.51)	8.27 (2.52)	5.85 (1.78)	4.78 (1.46)	3.79 (1.16)
1900 (176.51)	31.30 (9.54)	11.86 (3.62)	8.50 (2.59)	6.01 (1.83)	4.91 (1.50)	3.89 (1.19)
1950 (181.16)	33.12 (10.10)	12.20 (3.72)	8.73 (2.66)	6.17 (1.88)	5.04 (1.54)	4.00 (1.22)
2000 (185.80)	35.23 (10.74)	12.54 (3.82)	8.97 (2.73)	6.34 (1.93)	5.17 (1.58)	4.10 (1.25)
2050 (190.45)	37.68 (11.52)	12.88 (3.93)	9.20 (2.80)	6.50 (1.98)	5.30 (1.62)	4.20 (1.28)
2100 (195.09)	40.00 (12.80)	13.23 (4.03)	9.44 (2.88)	6.66 (2.03)	5.43 (1.66)	4.31 (1.31)
2150 (199.74)	42.00 (12.80)	13.57 (4.14)	9.67 (2.95)	6.82 (2.08)	5.56 (1.70)	4.41 (1.34)
2200 (204.38)		13.92 (4.24)	9.91 (3.02)	6.98 (2.13)	5.70 (1.74)	4.51 (1.38)
2250 (209.03)		14.26 (4.35)	10.14 (3.09)	7.15 (2.18)	5.83 (1.78)	4.62 (1.41)
2300 (213.67)		14.61 (4.45)	10.38 (3.16)	7.31 (2.23)	5.96 (1.82)	4.72 (1.44)
2350 (218.32)		14.96 (4.56)	10.62 (3.24)	7.47 (2.28)	6.09 (1.86)	4.82 (1.47)
2400 (222.96)		15.32 (4.67)	10.85 (3.31)	7.63 (2.33)	6.22 (1.90)	4.93 (1.50)
2450 (227.61)		15.67 (4.78)	11.09 (3.38)	7.80 (2.38)	6.35 (1.94)	5.03 (1.53)
2500 (232.25)		16.02 (4.88)	11.33 (3.45)	7.96 (2.43)	6.49 (1.98)	5.13 (1.56)
2550 (236.90)		16.39 (5.00)	11.57 (3.53)	8.13 (2.48)	6.62 (2.02)	5.24 (1.60)
2600 (241.54)		16.75 (5.11)	11.81 (3.60)	8.29 (2.53)	6.75 (2.06)	5.34 (1.63)
2650 (246.19)		17.11 (5.22)	12.05 (3.67)	8.45 (2.58)	6.88 (2.10)	5.45 (1.66)
2700 (250.83)		17.47 (5.33)	12.29 (3.75)	8.62 (2.63)	7.02 (2.14)	5.55 (1.69)
2750 (255.48)		17.84 (5.44)	12.53 (3.82)	8.78 (2.68)	7.15 (2.18)	5.66 (1.73)
2800 (260.12)		18.21 (5.55)	12.77 (3.89)	8.94 (2.73)	7.28 (2.22)	5.76 (1.76)
2850 (264.77)		18.58 (5.66)	13.01 (3.97)	9.11 (2.78)	7.42 (2.26)	5.86 (1.79)
2900 (269.41)		18.95 (5.78)	13.26 (4.04)	9.27 (2.83)	7.54 (2.30)	5.97 (1.82)
2950 (274.06)		19.32 (5.89)	13.50 (4.12)	9.44 (2.88)	7.68 (2.34)	6.07 (1.85)
3000 (278.70)		19.70 (6.01)	13.75 (4.19)	9.60 (2.93)	7.81 (2.38)	6.18 (1.88)

* Sum of the squares of wheelbases and hitch distances.

6



Seja um veículo simples de duas rodas com distância entre eixos “e1” executando um movimento curvilíneo de Raio externo “Re”. O centro da curva “O” está localizado na linha de centro da roda traseira. O raio interno “Ri” da roda traseira pode ser obtido por trigonometria.

$$Ri^2 = Re^2 - e1^2 \tag{1}$$

O *offtracking* (Δy) é a medida “Re-Ri”:

$$\Delta y = Re - Ri \tag{2}$$

ou seja:

$$\Delta y = Re - \sqrt{Re^2 - e1^2} \tag{3}$$

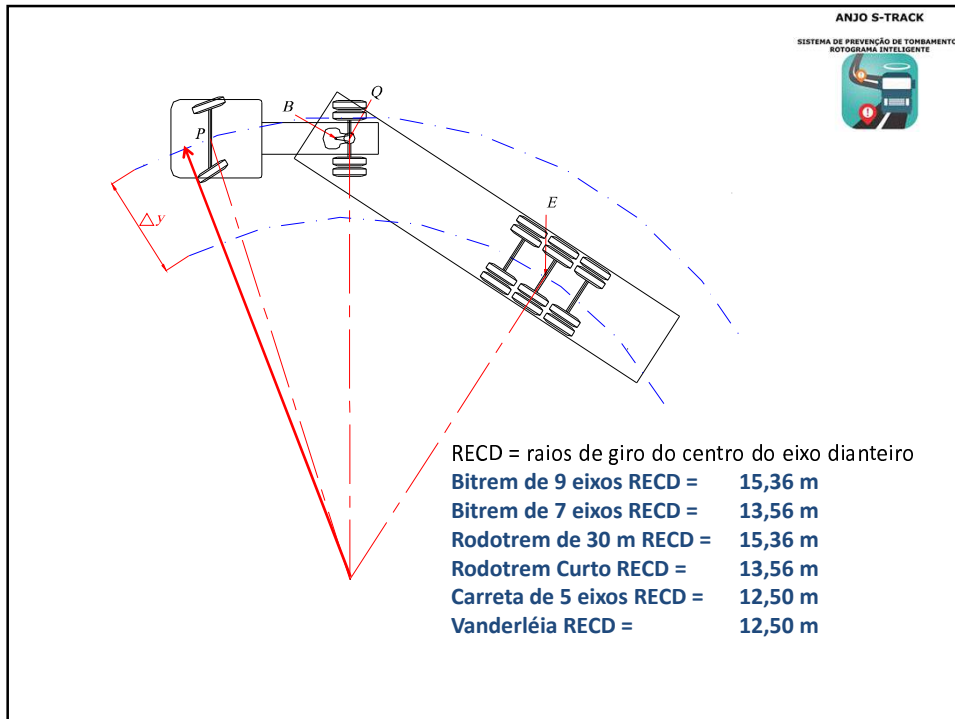
A equação (3) fornece o valor do *offtracking* para um veículo simples, como o caminhão ilustrado na figura 4, com a indicação das nomenclaturas conhecidas dos raios.

7

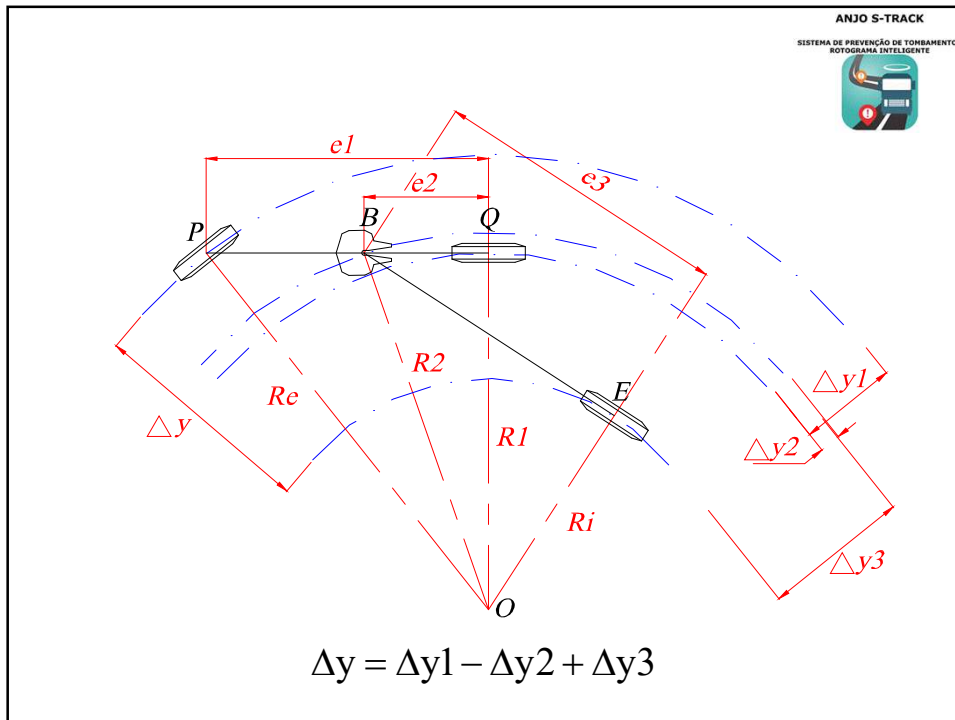
Definições dos Raios Principais:

ANJO S-TRACK
SISTEMA DE PREVENÇÃO DE TOMBAMENTOS
ROTOGRAMA INTELIGENTE

8

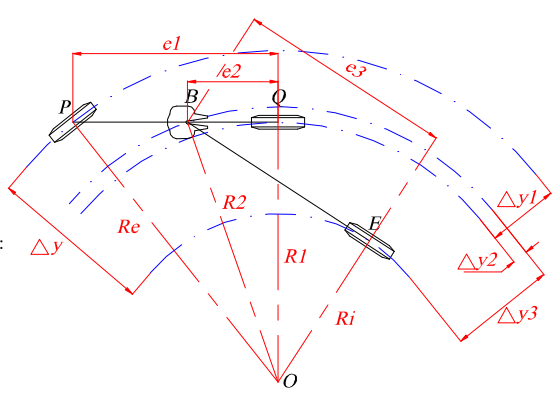


9



10

ANJO S-TRACK
SISTEMA DE PREVENÇÃO DE TOMBAMENTOS
FOTOGRAFIA INTELIGENTE



O *offtracking* (Δy) para esse conjunto também é dado pela equação (2), ou seja:

$$\Delta y = R_e - R_i$$

Da Figura (6), observa-se que:

$$\Delta y = \Delta y_1 - \Delta y_2 + \Delta y_3$$

Onde:

$$\Delta y_1 = R_e - R_1$$

Do triângulo retângulo OPQ tem-se

$$R_1 = \sqrt{R_e^2 - e_1^2}$$

Portanto, substituindo-se (6) em (5) tem-se:

$$\Delta y_1 = R_e - \sqrt{R_e^2 - e_1^2}$$

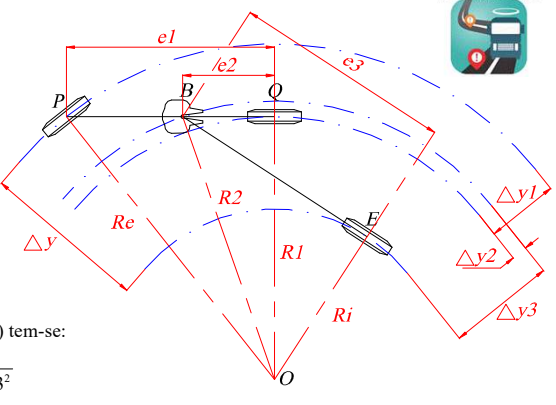
$$\Delta y_2 = R_2 - R_1$$

Do triângulo retângulo OBQ tem-se

$$R_2 = \sqrt{R_1^2 + e_2^2}$$

11

ANJO S-TRACK
SISTEMA DE PREVENÇÃO DE TOMBAMENTOS
FOTOGRAFIA INTELIGENTE



Substituindo-se (6) em (9) e depois em (8) tem-se:

$$\Delta y_2 = \sqrt{R_e^2 - e_1^2 + e_2^2} - \sqrt{R_e^2 - e_1^2}$$

$$\Delta y_3 = R_2 - R_i$$

Do triângulo retângulo OBE tem-se

$$R_i = \sqrt{R_2^2 - e_3^2}$$

Portanto:

$$\Delta y_3 = \sqrt{R_1^2 + e_2^2} - \sqrt{R_2^2 - e_3^2}$$

Substituindo-se os valores de R1 e R2 em (13) tem-se:

$$\Delta y_3 = \sqrt{R_e^2 - e_1^2 + e_2^2} - \sqrt{R_e^2 - e_1^2 + e_2^2 - e_3^2}$$

Substituindo-se (7), (10) e (13) em (4) tem-se:

$$\Delta y = R_e - \sqrt{R_e^2 - e_1^2} - \sqrt{R_e^2 - e_1^2 + e_2^2} + \sqrt{R_e^2 - e_1^2} + \sqrt{R_e^2 - e_1^2 + e_2^2} - \sqrt{R_e^2 - e_1^2 + e_2^2 - e_3^2}$$

Simplificando a equação (15) tem-se o valor do *offtracking* (Δy) para esse conjunto

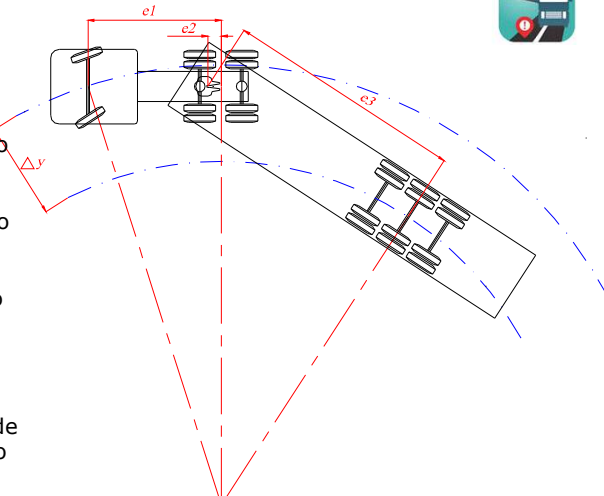
$$\Delta y = R_e - \sqrt{R_e^2 - e_1^2 + e_2^2 - e_3^2}$$

12

Onde:

- Re = raio central de giro do eixo dianteiro;
- Ri = raio central de giro da suspensão traseira do semi-reboque;
- e1 = distância entre-eixos do veículo trator;
- e2 = distância do centro da suspensão traseira do veículo até a articulação (avanço da quinta-roda);
- e3 = distância da articulação (pino-rei) até o centro da suspensão do semi-reboque.

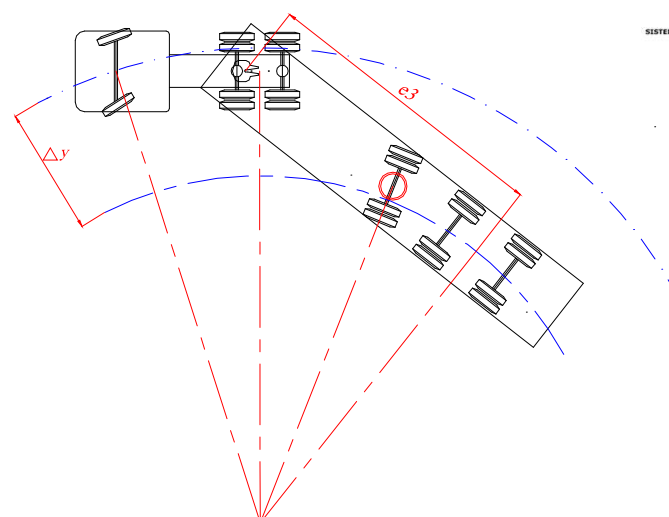
Para o conjunto com caminhão-trator com três eixos (6x2 ou 6x4), o valor de "e1" é dado pela distância do eixo dianteiro ao centro dos eixos traseiros, quando ambos possuem 4 pneus cada.



$$\Delta y = Re - \sqrt{Re^2 - e1^2 + e2^2 - e3^2}$$

ANJO S-TRACK
 SISTEMA DE PREVENÇÃO DE TOMBAMENTOS
 FOTOGRAFIA INTELIGENTE

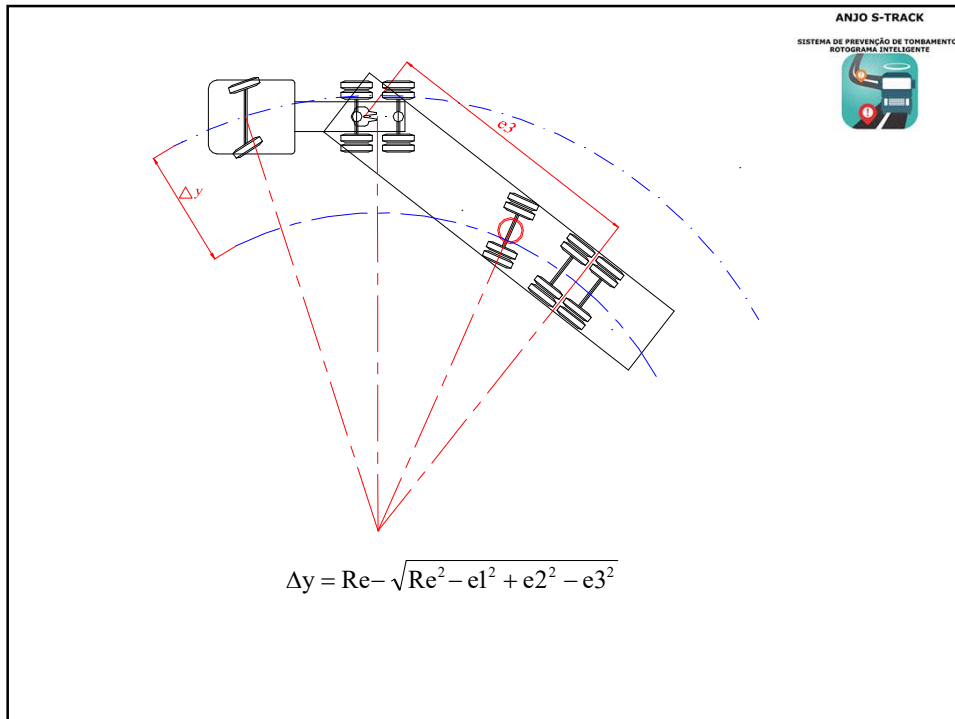
13



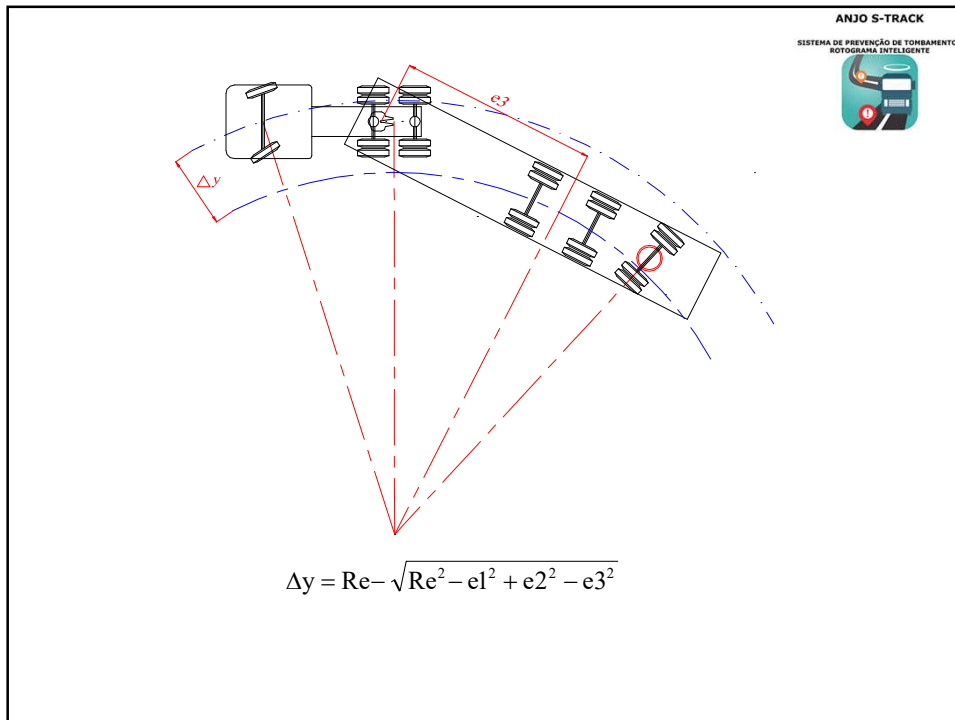
$$\Delta y = Re - \sqrt{Re^2 - e1^2 + e2^2 - e3^2}$$

ANJO S-TRACK
 SISTEMA DE PREVENÇÃO DE TOMBAMENTOS
 FOTOGRAFIA INTELIGENTE

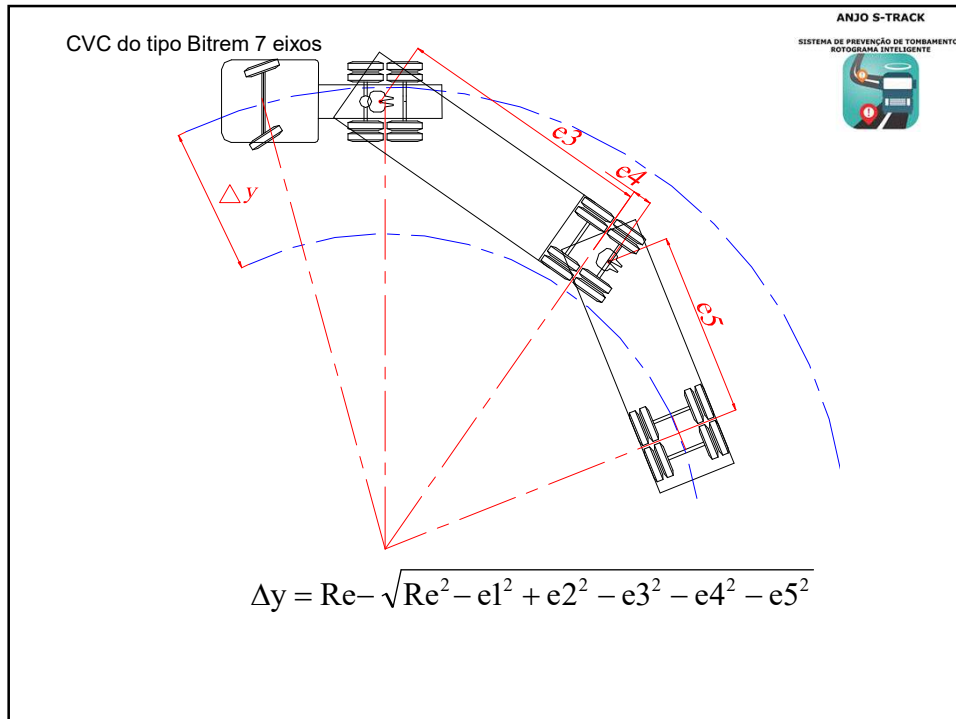
14



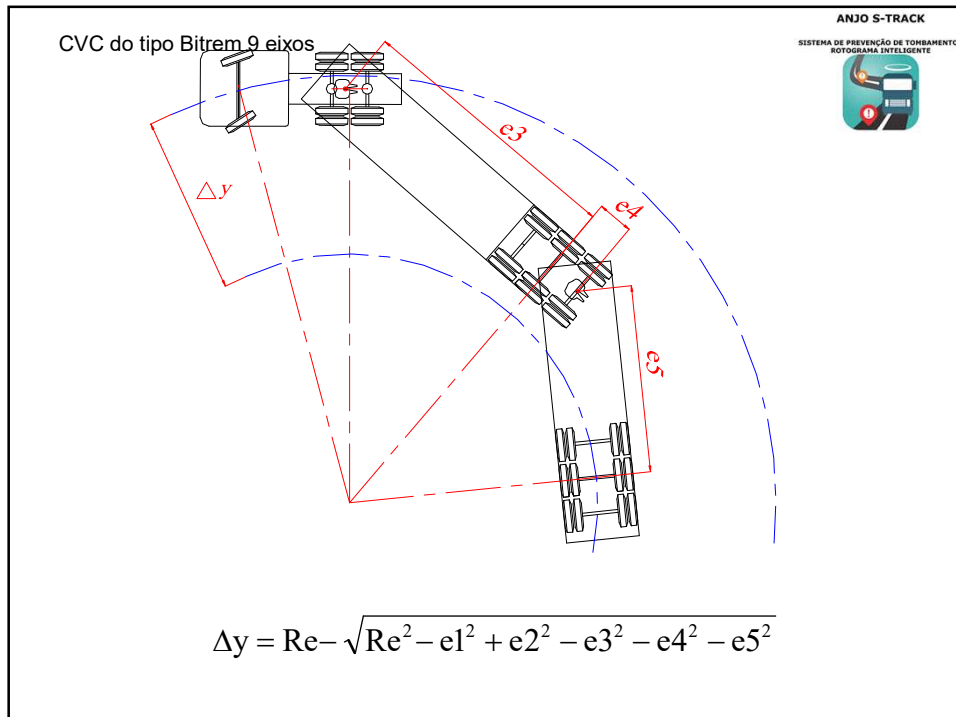
15



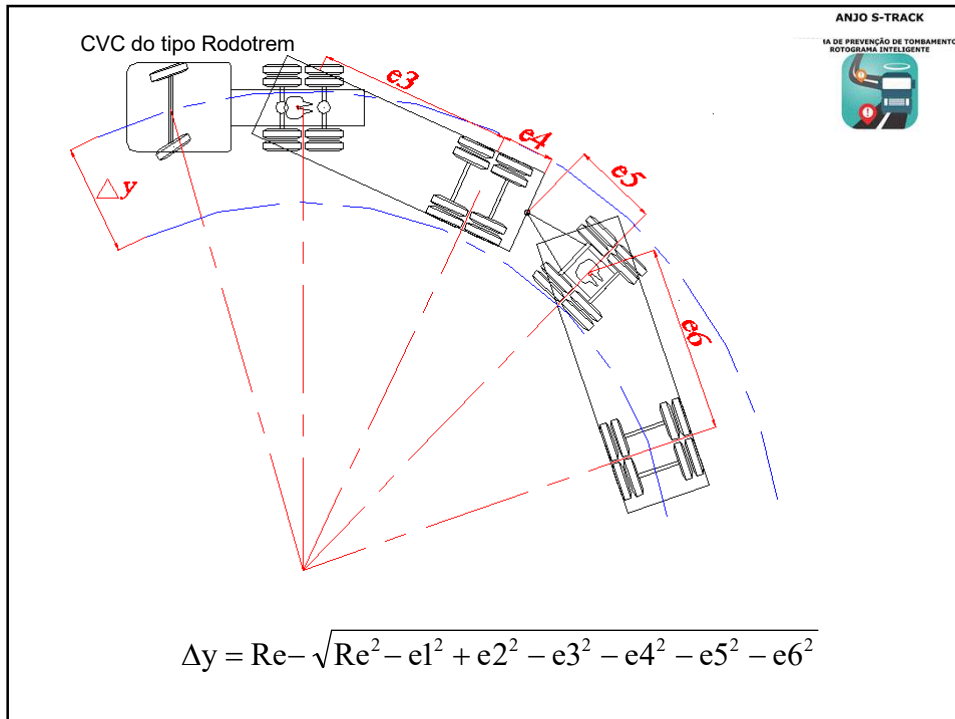
16



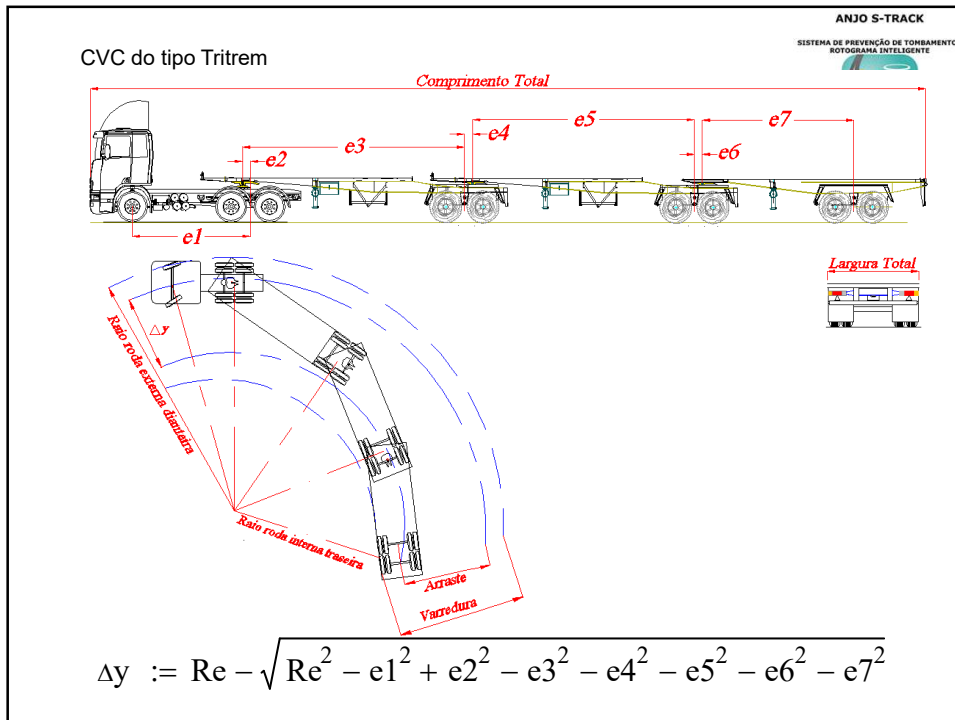
17



18



19



20

ANJO S-TRACK
SISTEMA DE PREVENÇÃO DE TOMBAMENTOS
ROTOGRAMA INTELIGENTE



MUITO OBRIGADO !
www.anjo.mobi

Consulte nossos Serviços.
Dúvidas? Envie um e-mail para



ANJO S-TRACK
SISTEMA DE PREVENÇÃO DE TOMBAMENTOS
ROTOGRAMA INTELIGENTE



>TREINAMENTO e CONSULTORIA
Treinamento Institucional e Operacional na área de Transporte:

- Prevenção de Acidentes;
- Amarração de Cargas;
- Lei da Balança e as Multas por Excesso de Peso;
- **Rotograma Inteligente.**