



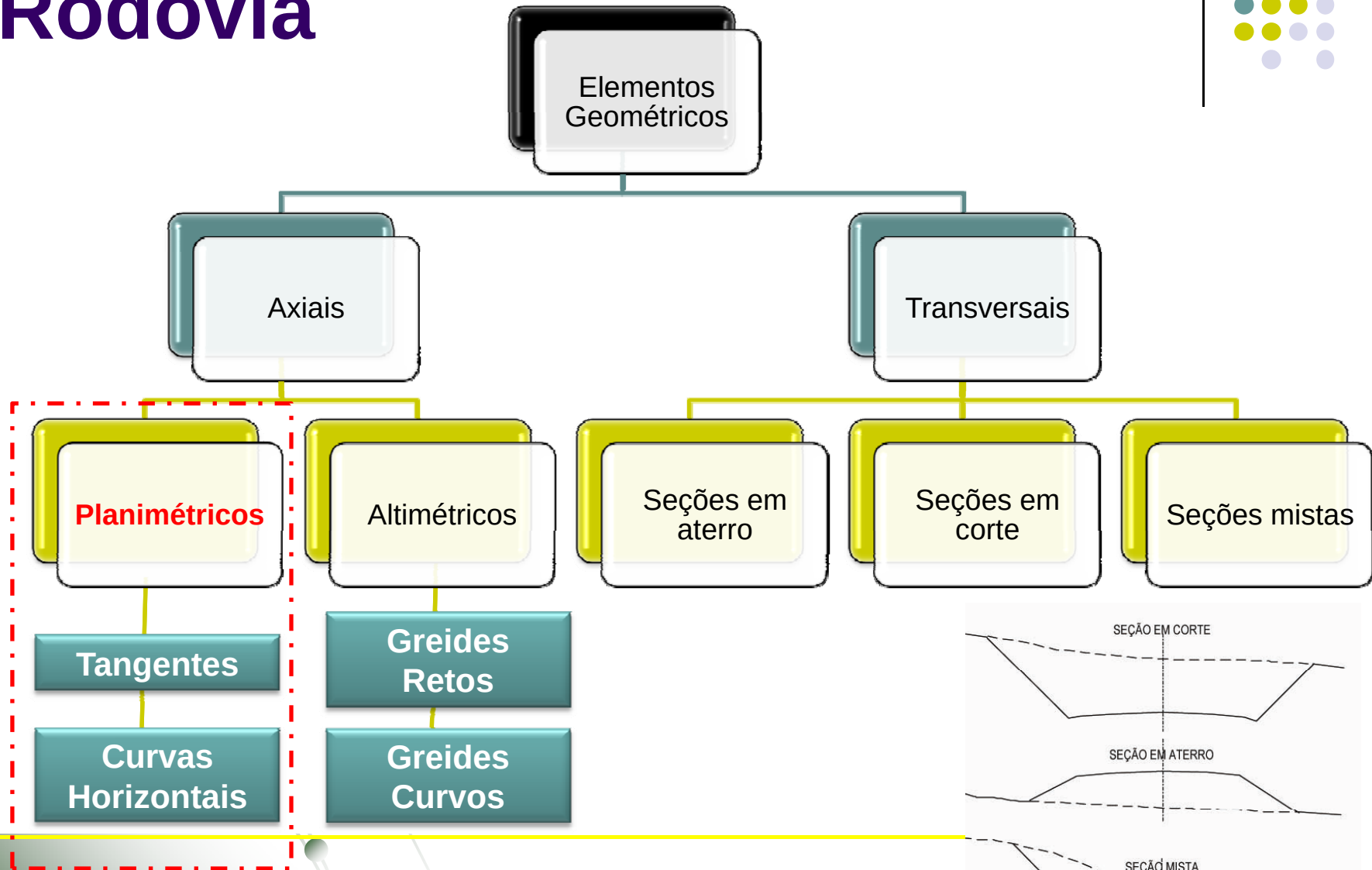
CrITÉRIOS de Projeto e Concordância de Curva Horizontal Simples

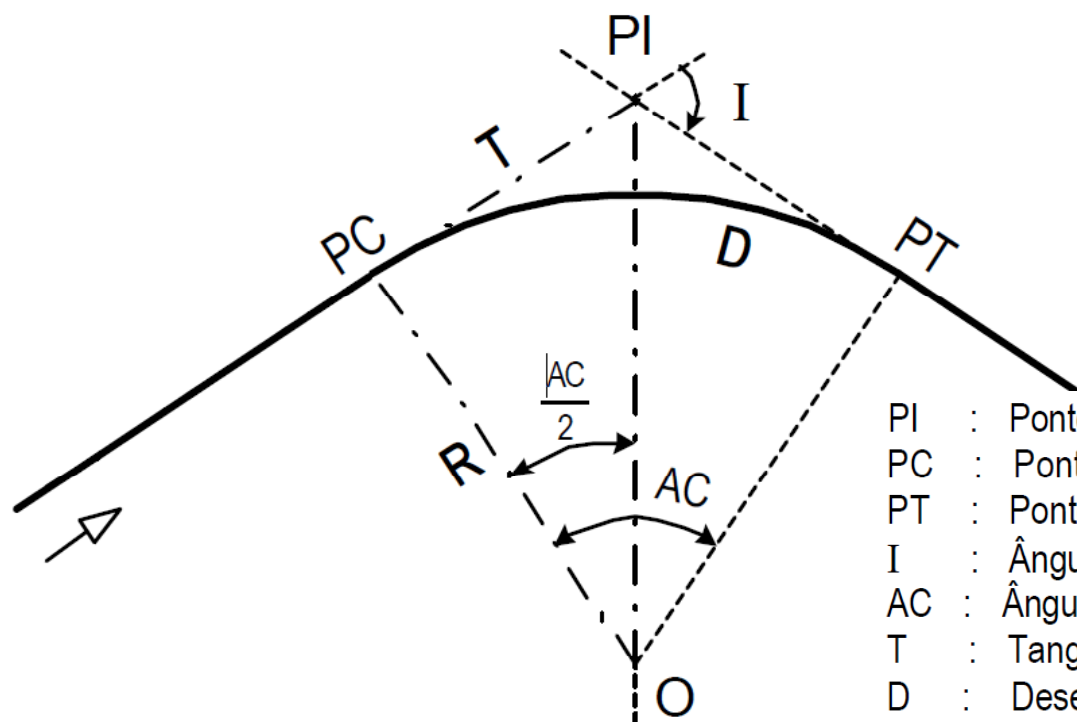
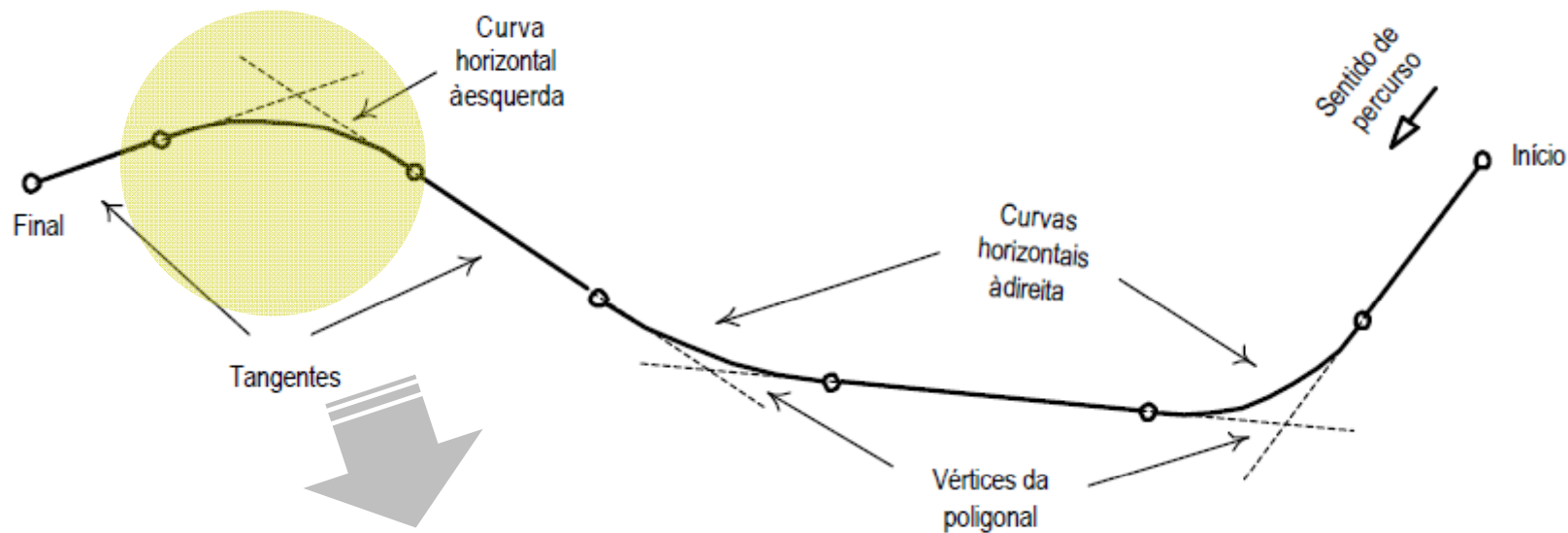
Renato de Oliveira Fernandes

*Professor Assistente
Dep. de Construção Civil/URCA
renatodeof@gmail.com*



Elementos Geométricos da Rodovia





- PI : Ponto de Interseção;
- PC : Ponto de Curva²⁵;
- PT : Ponto de Tangente;
- I : Ângulo de deflexão;
- AC : Ângulo Central;
- T : Tangente Externa ou Exterior (m);
- D : Desenvolvimento (ou comprimento) da curva circular (m);
- R : Raio da curva circular (m);
- O : Centro da curva circular.



Veículo de projeto

CARACTERÍSTICAS	TIPOS DE VEÍCULOS			
	VP	CO	O	SR
Largura total do veículo (m)	2,10	2,60	2,60	2,60
Comprimento total do veículo (m)	5,80	9,10	12,20	16,80
Raio mín. roda externa dianteira (m)	7,30	12,80	12,80	13,70
Raio mín. roda interna traseira (m)	4,70	8,70	7,10	6,00

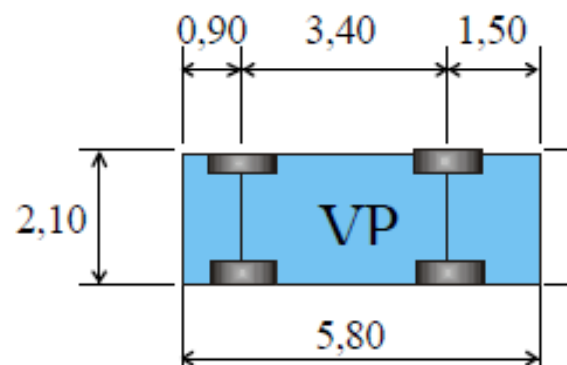
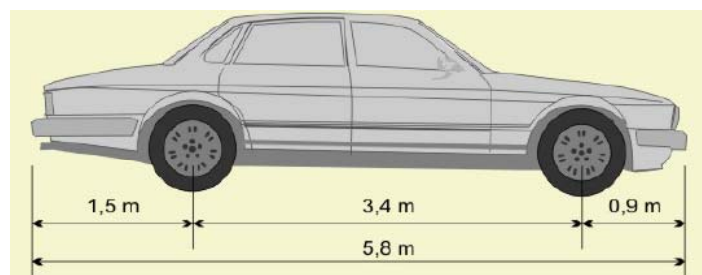
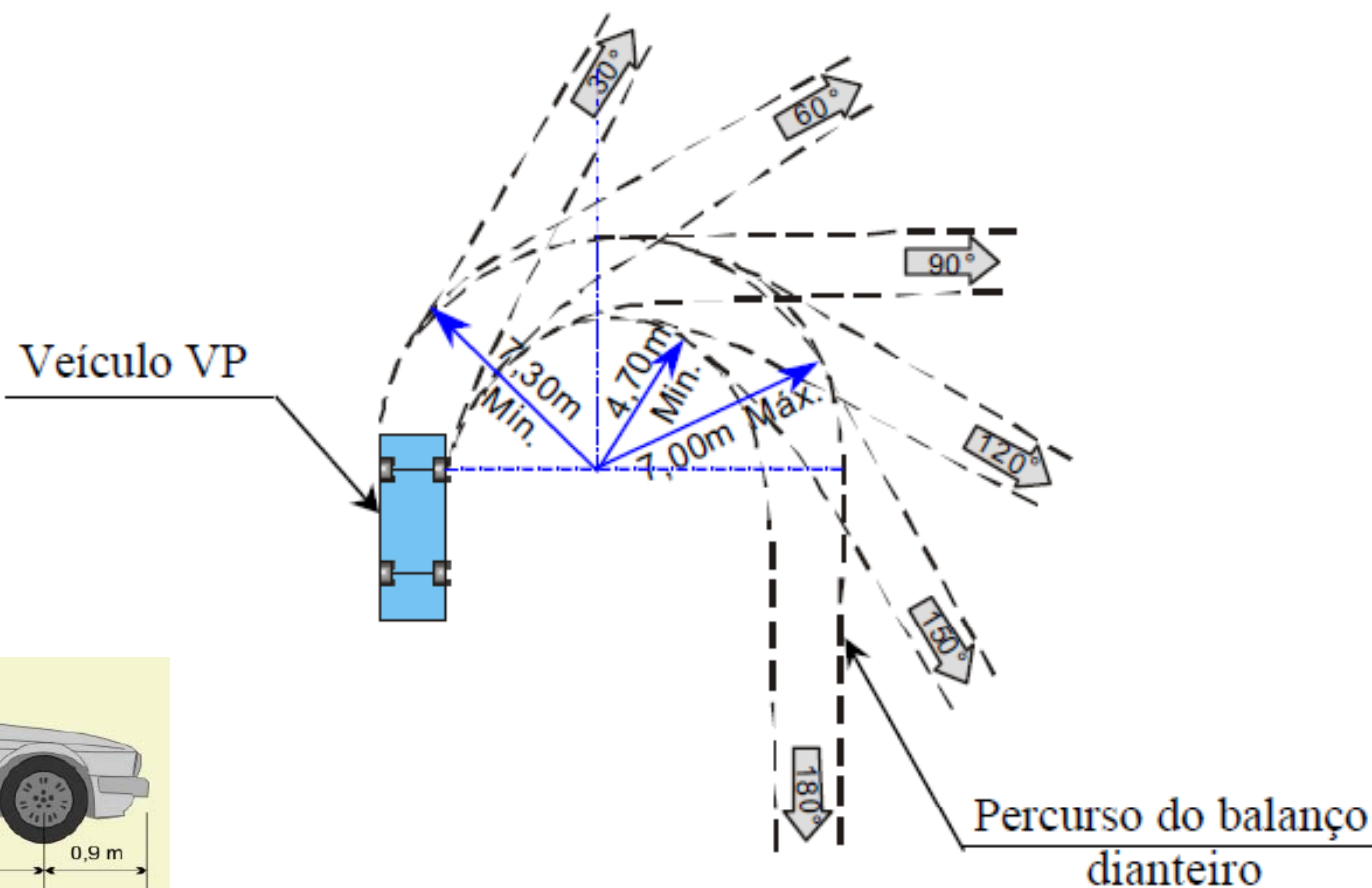
Fonte: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 47).

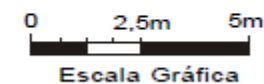
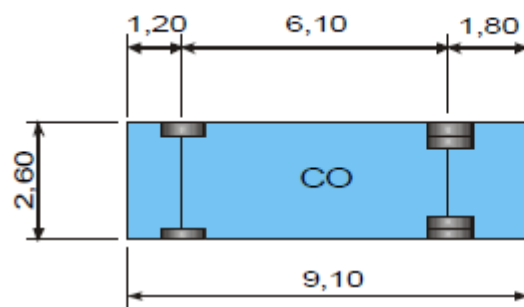
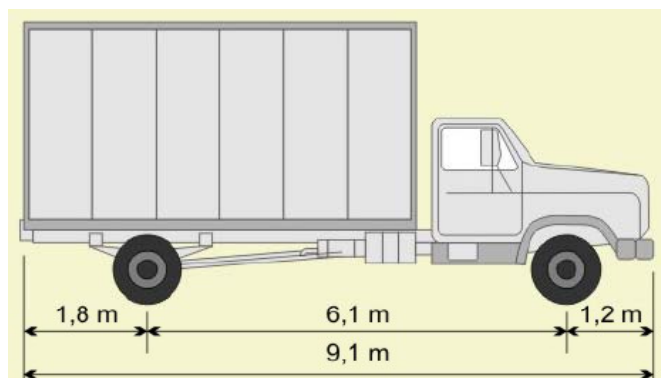
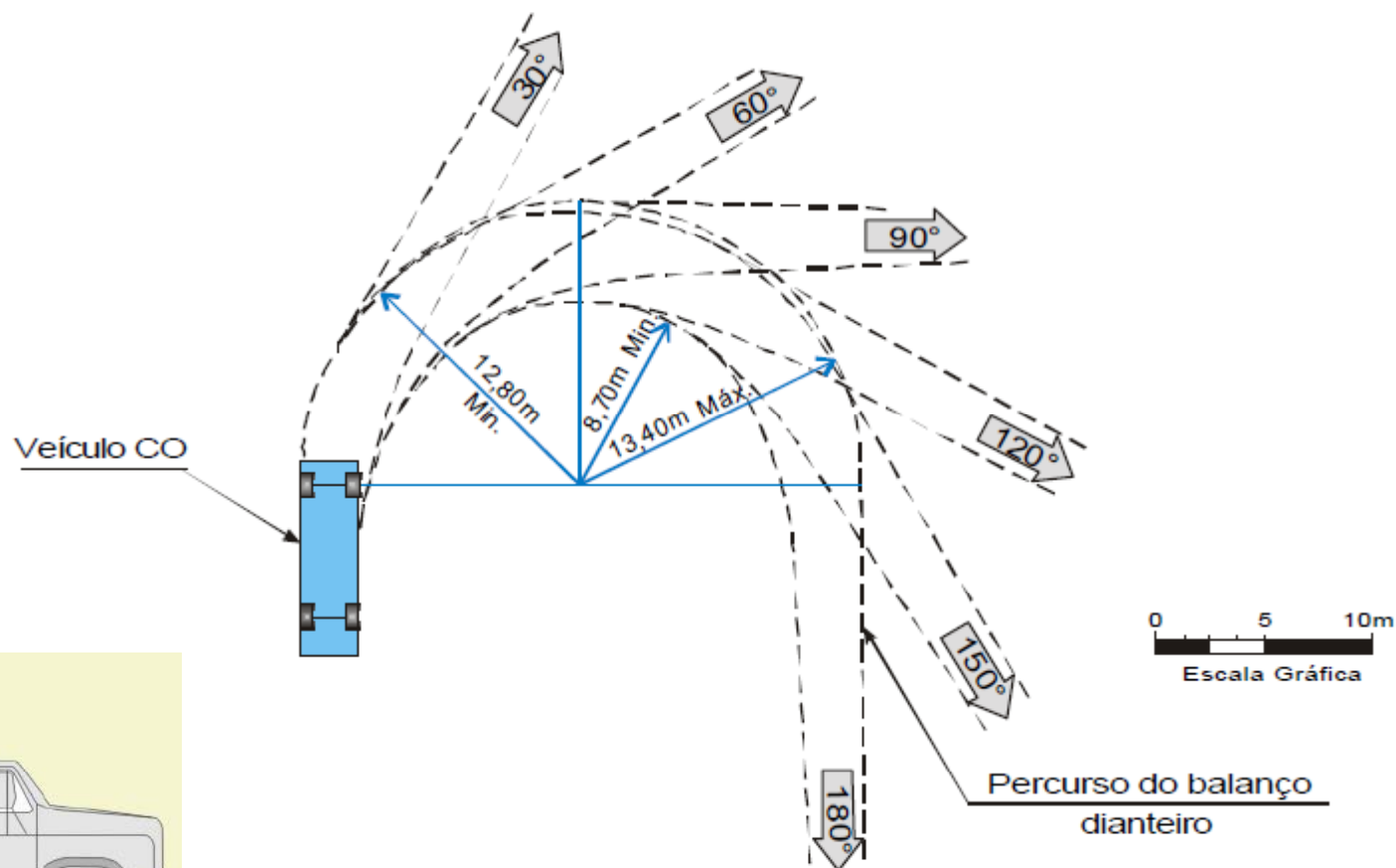
veículo tipo VP , denominado genericamente por Veículo de Passageiros;

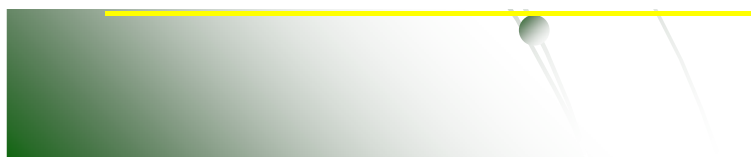
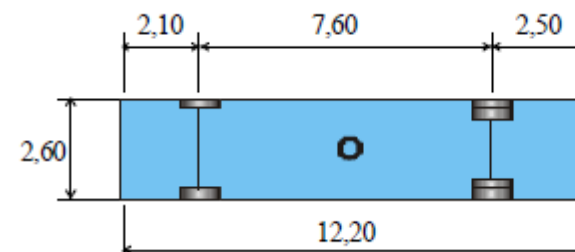
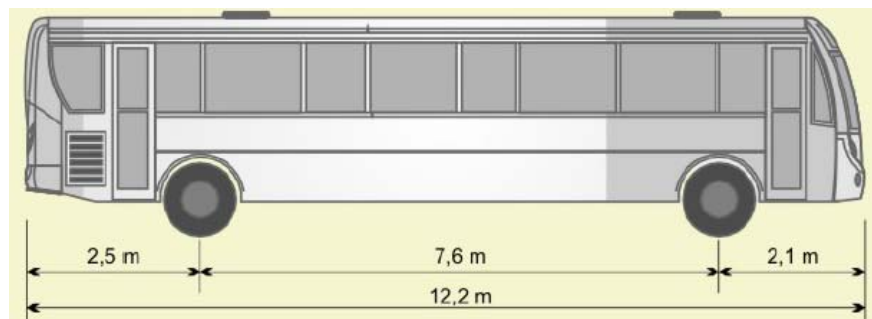
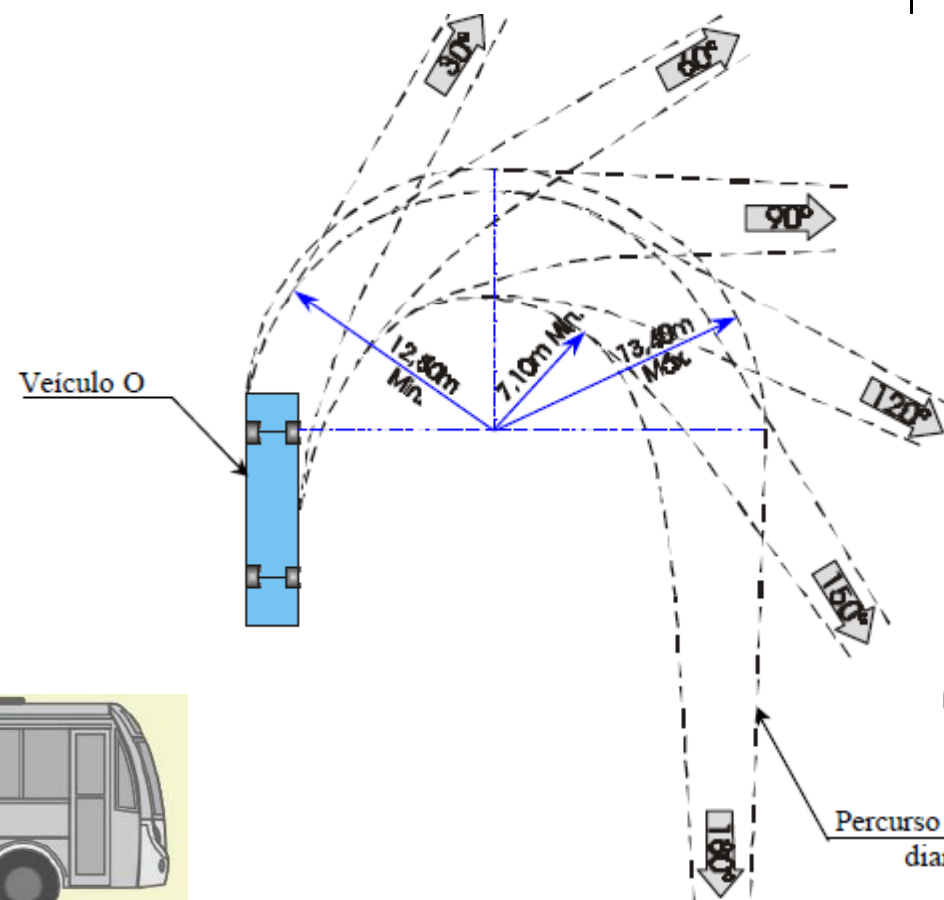
veículo tipo CO, denominado genericamente por Veículo Comercial Rígido;

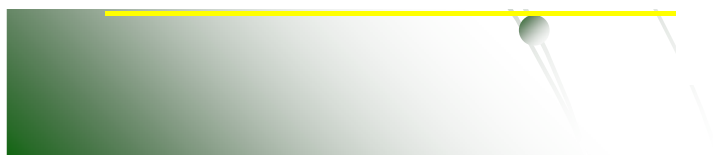
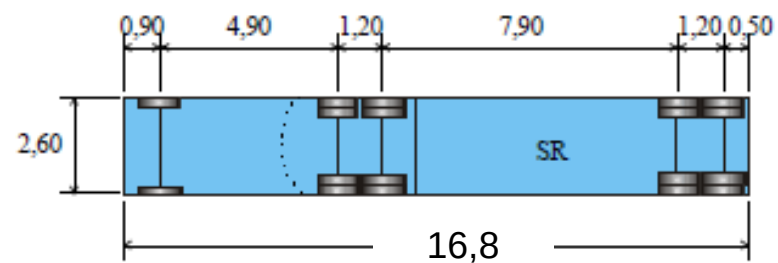
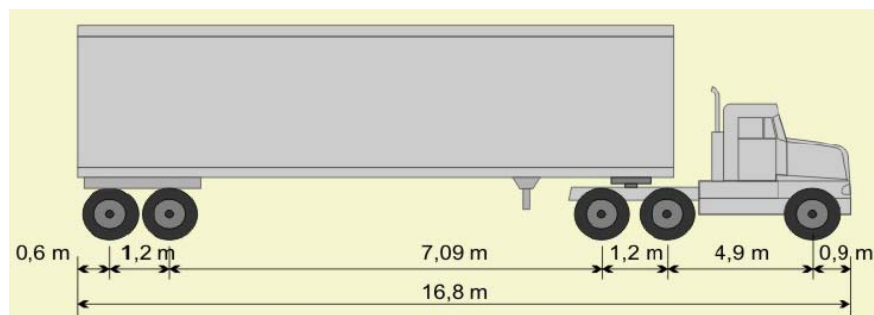
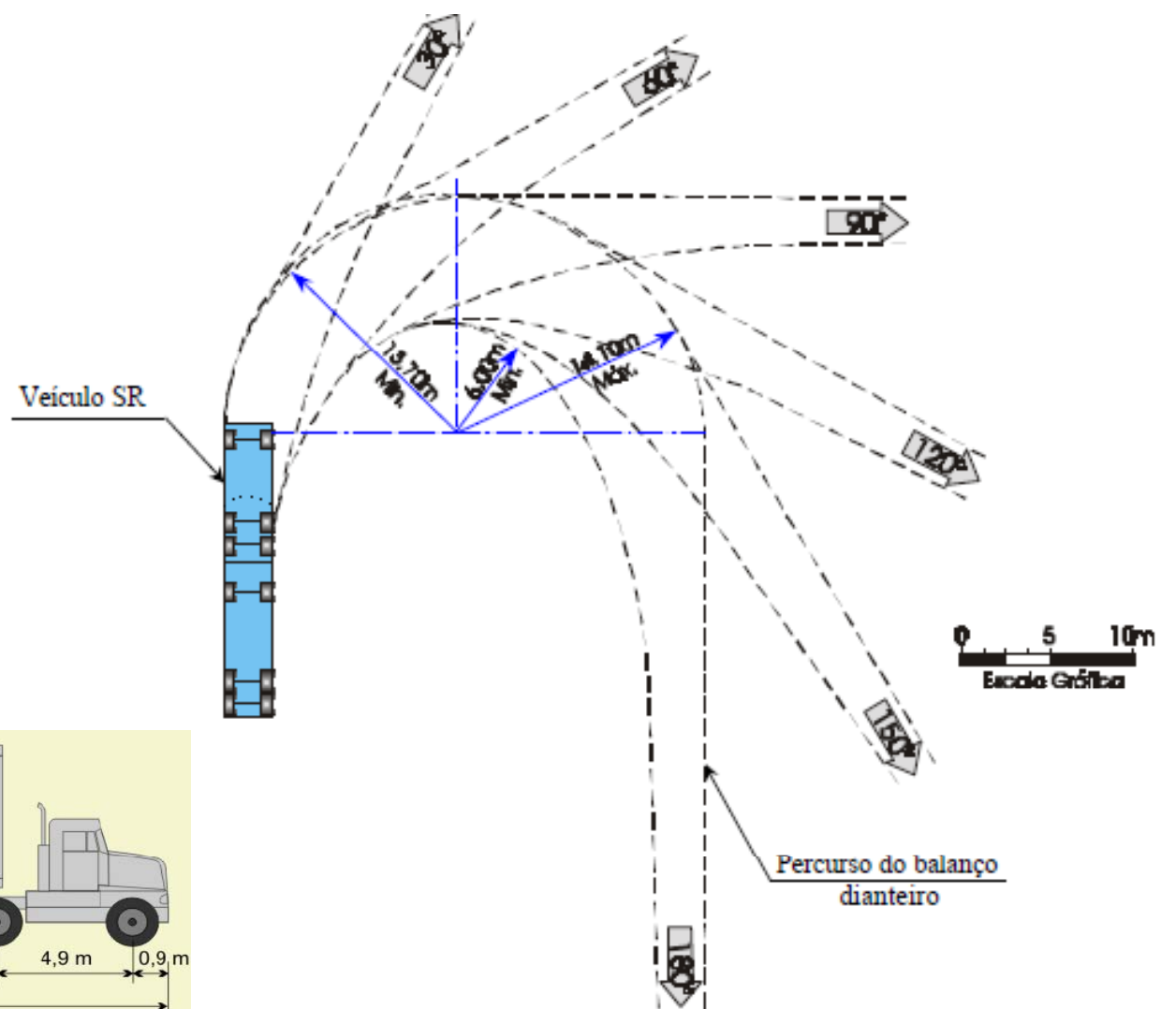
veículo tipo O, denominado genericamente por Ônibus de Longo Percurso;

veículo tipo SR, denominado genericamente por Semi-Reboque.





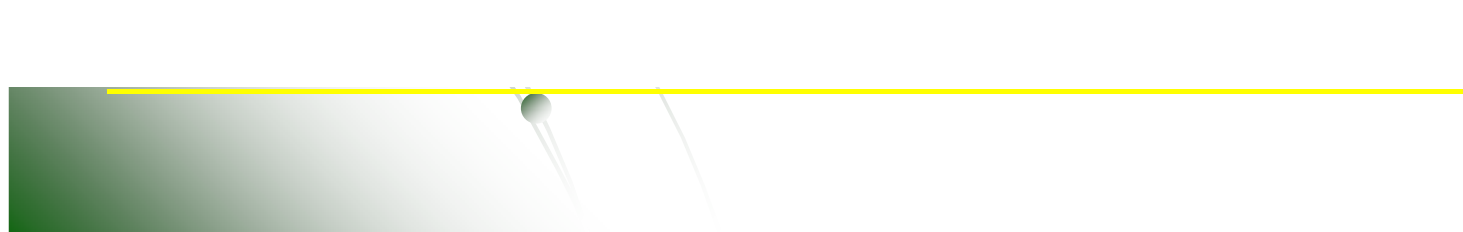




Largura das faixas de rolamento, em tangente, em função do relevo e da classe de projeto (m)



Classe de projeto	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3,60	3,60	3,60
I	3,60	3,60	3,50
II	3,60	3,50	3,30
III	3,50	3,30	3,30
IV-A	3,00	3,00	3,00
IV-B	2,50	2,50	2,50





Largura dos acostamentos externos (m)

Classe de projeto	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3,00	3,00	3,00
I	3,00	2,50	2,50
II	2,50	2,50	2,00
III	2,50	2,00	1,50
IV-A	1,30	1,30	0,80
IV-B	1,00	1,00	0,50

Faixas de Domínio - Valores Mínimos (m)



- É a faixa desapropriada para a construção da estrada.

Classe de projeto	Plano	Ondulado	Montanhoso
I	60	70	80
II	30	40	50
III	30	40	50





Velocidade de projeto

CLASSES DE PROJETO	CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA ⁽¹⁾	VELOCIDADE DE PROJETO (km/h)		
			Plano	Ondulado	Montanhoso
0	Via Expressa (Controle Total de Acessos)	Decisão Administrativa.	120	100	80
I	A Pista Dupla (Controle Parcial de Acessos)	O projeto em pista simples resultaria em Níveis de Serviço inferiores ao aceitável ⁽²⁾ .	100	80	60
	B Pista Simples	Volume de Tráfego projetado: > 200 vph ou > 1.400 vpd.			
II	Pista Simples	Volume de Tráfego projetado: 700 vpd a 1.400 vpd.	100	70	50
III	Pista Simples	Volume de Tráfego projetado: 300 vpd a 700 vpd.	80	60	40
IV	A Pista Simples	Tráfego na data de abertura: 50 vpd a 200 vpd.	60	40	30
	B Pista Simples	Tráfego na data de abertura: < 50 vpd.			

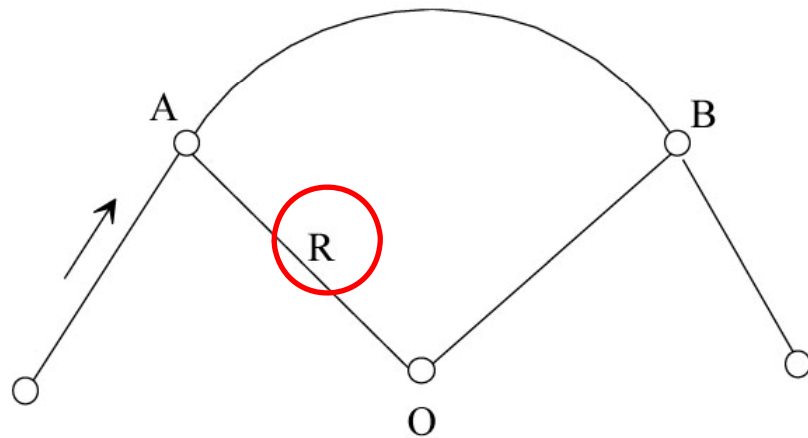
OBSERVAÇÕES: ⁽¹⁾ Os Volumes de Tráfego indicados são bidirecionais e referem-se a veículos mistos; os volumes projetados são os previstos para o fim dos dez primeiros anos de operação da via.

⁽²⁾ Conceito e critérios para o Nível de Serviço: vide o "Highway capacity manual" (TRB, 1994).

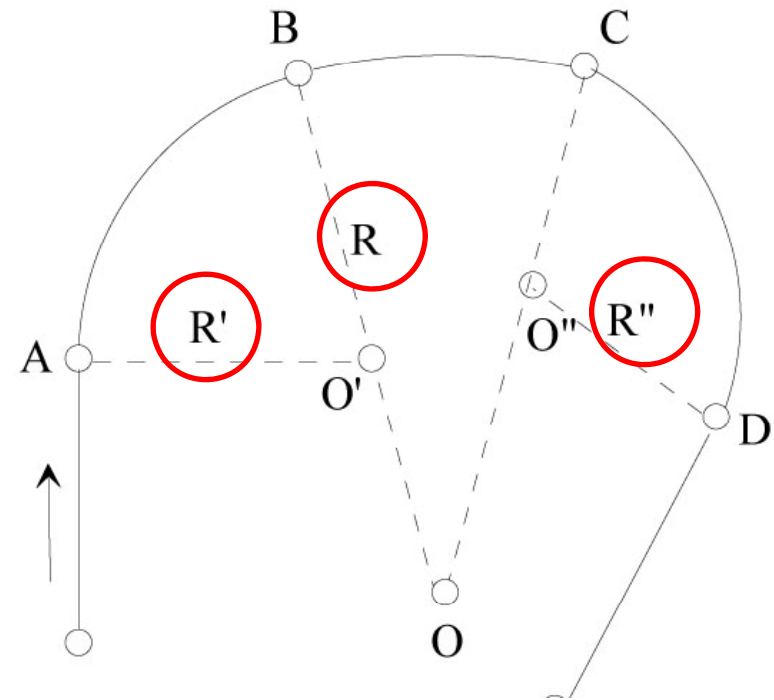
Tipos de curvas de concordância horizontal



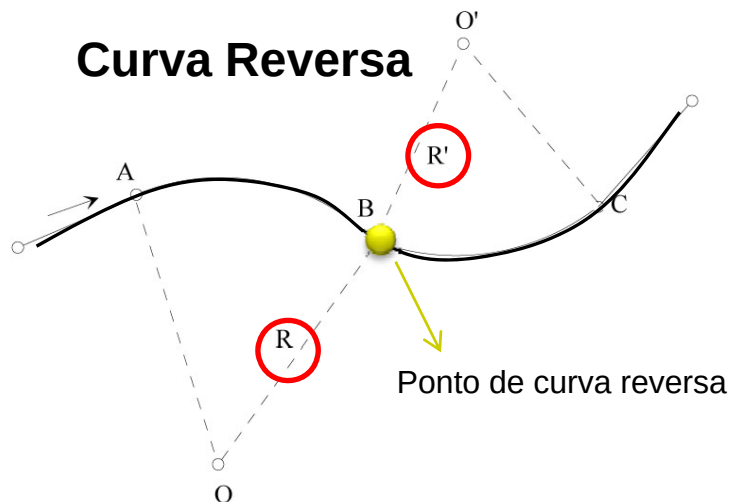
Curva simples



Curva composta



Curva Reversa



Ponto de curva reversa

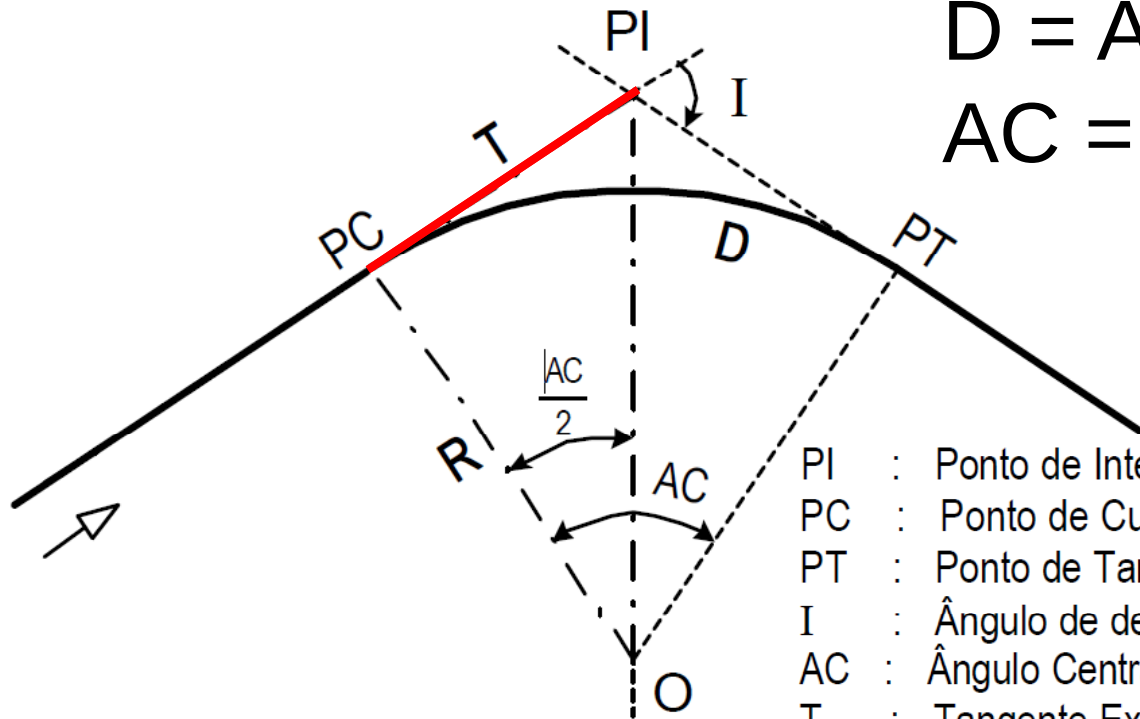
Concordância de curva simples



$$T = R \times \operatorname{tg}(AC/2)$$

$$D = AC \times R$$

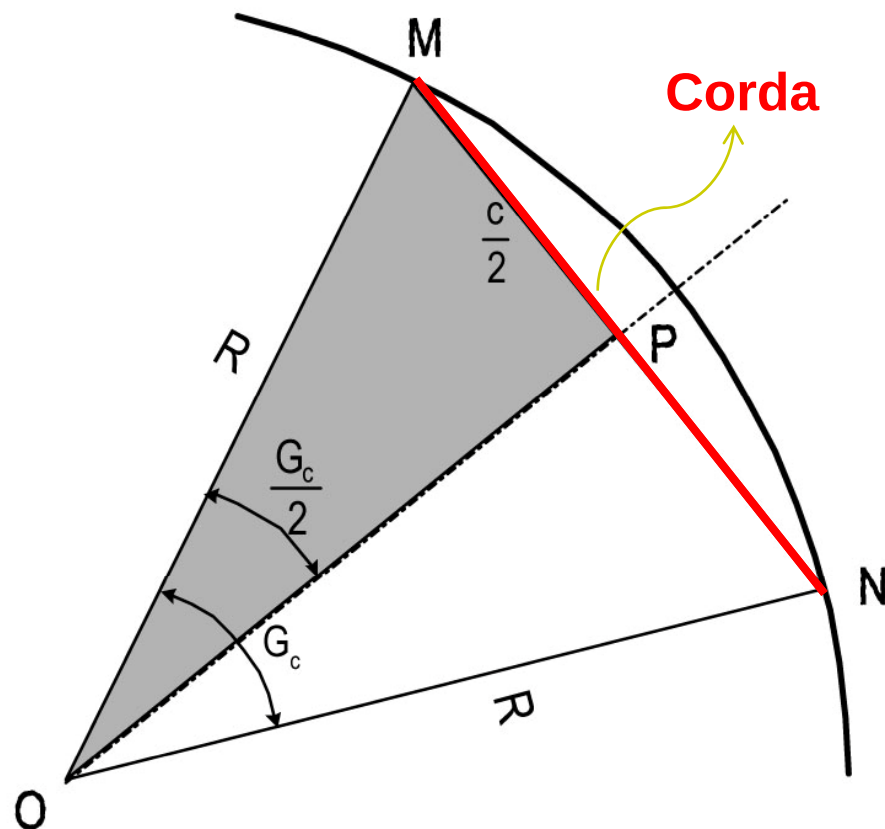
$$AC = I$$



- PI : Ponto de Interseção;
- PC : Ponto de Curva²⁵;
- PT : Ponto de Tangente;
- I : Ângulo de deflexão;
- AC : Ângulo Central;
- T : Tangente Externa ou Exterior (m);
- D : Desenvolvimento (ou comprimento) da curva circular (m);
- R : Raio da curva circular (m);
- O : Centro da curva circular.



Grau e corda de uma curva



$$c = \overline{MN}$$
$$G_c = \widehat{M\hat{O}N}$$

$$G_c = 2 \times \text{arc.sen}(c/(2 \times R))$$

Curva 1 – exemplo

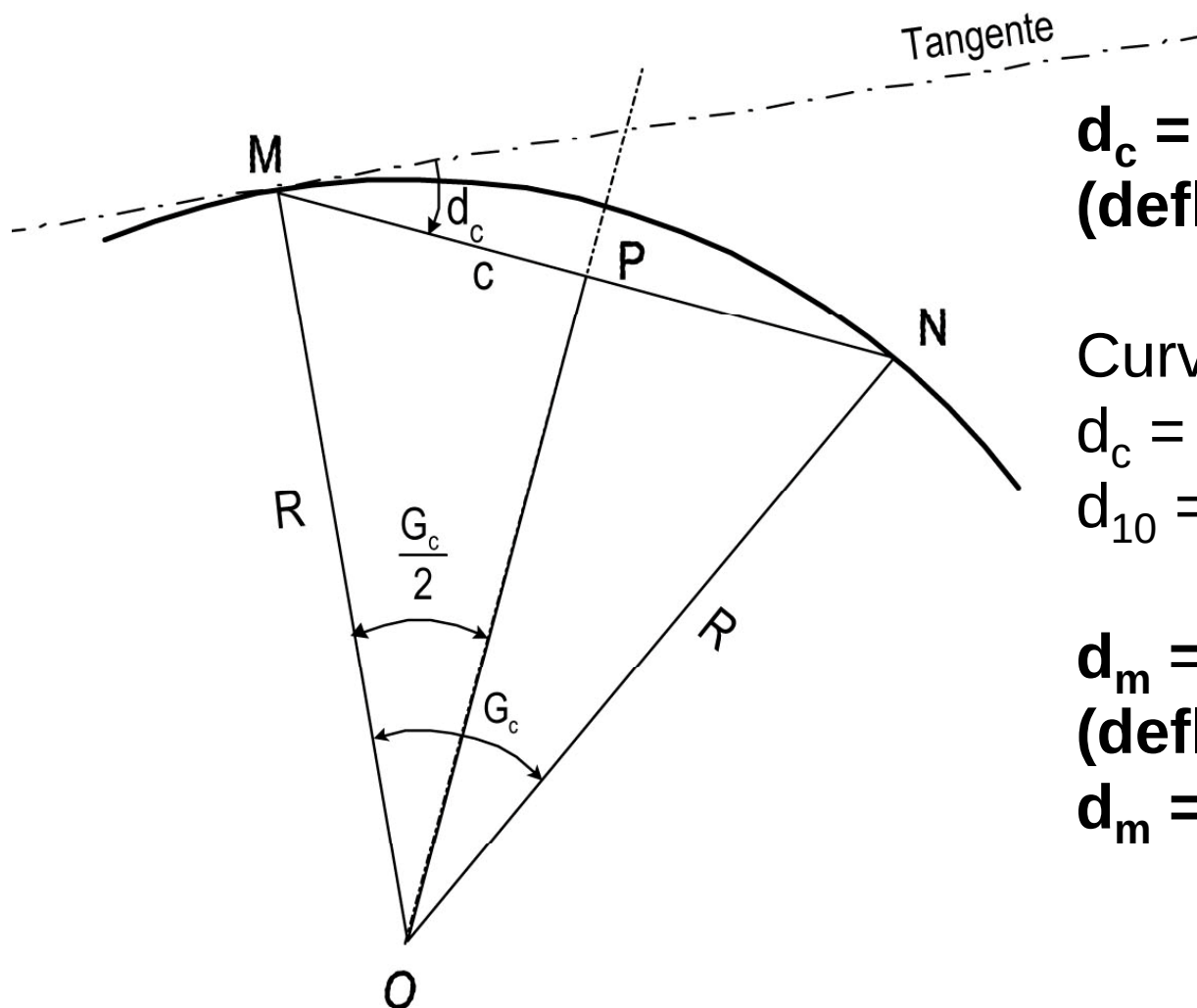
R=200 m e C=10m

$$G_c = 2 \times \text{arc.sen}(10/(2 \times 200))$$

$$G_c = 2,86508^\circ$$

$$G_{10} = 2^\circ 51' 54''$$

Deflexão da curva



$$d_c = G_c / 2$$

(deflexão de uma corda)

Curva 1 – exemplo

$$d_c = 2^\circ 51' 54'' / 2$$

$$d_{10} = 1^\circ 25' 57''$$

$$d_m = d_c / c$$

(deflexão por metro)

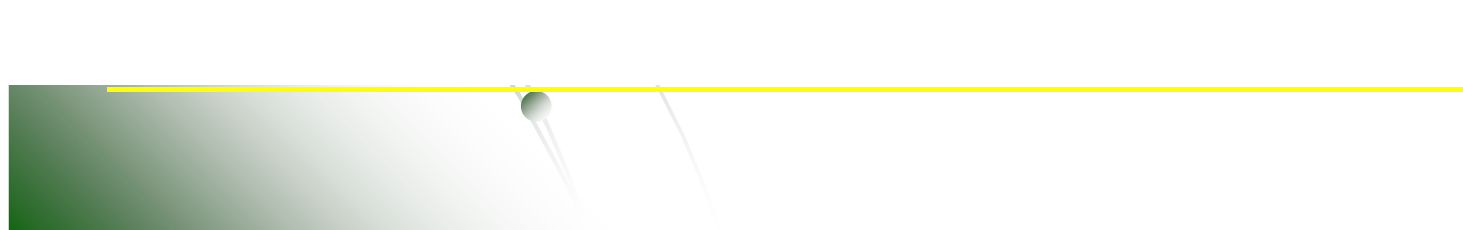
$$d_m = 1^\circ 25' 57'' / 10 = 0^\circ 08' 36''$$



Corda máxima admissíveis

RAIOS DE CURVA (R)	CORDA MÁXIMA (c)
$R < 100,00 \text{ m}$	5,00 m
$100,00 \text{ m} < R < 600,00 \text{ m}$	10,00 m
$R > 600,00 \text{ m}$	20,00 m

Fonte: Manual de projeto de engenharia rodoviária (DNER, 1974, v. 3, cap. 9, p. 4)).



Método de locação de curva horizontal



- O método das deflexões
 - É um dos mais utilizados
 - Consiste em colocar o aparelho no PC (ou PT) e locar estaca por estaca

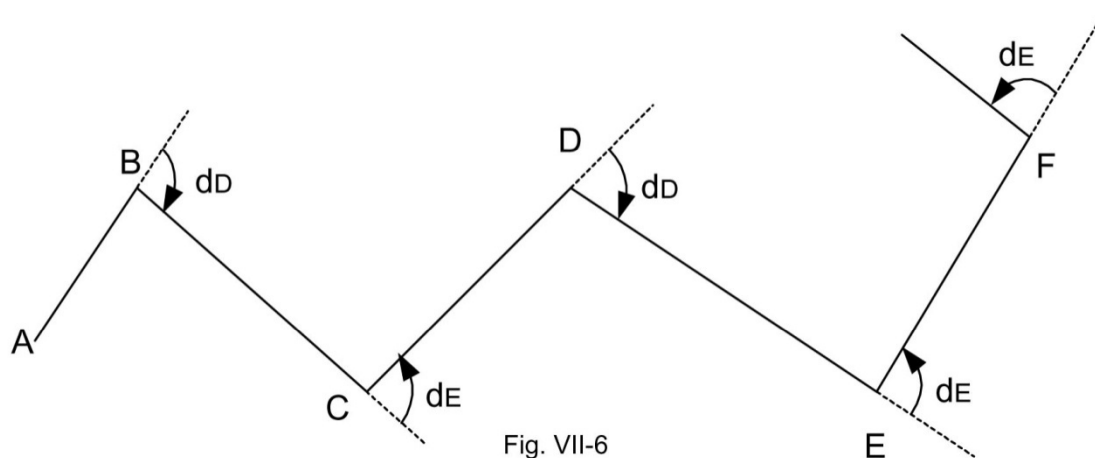
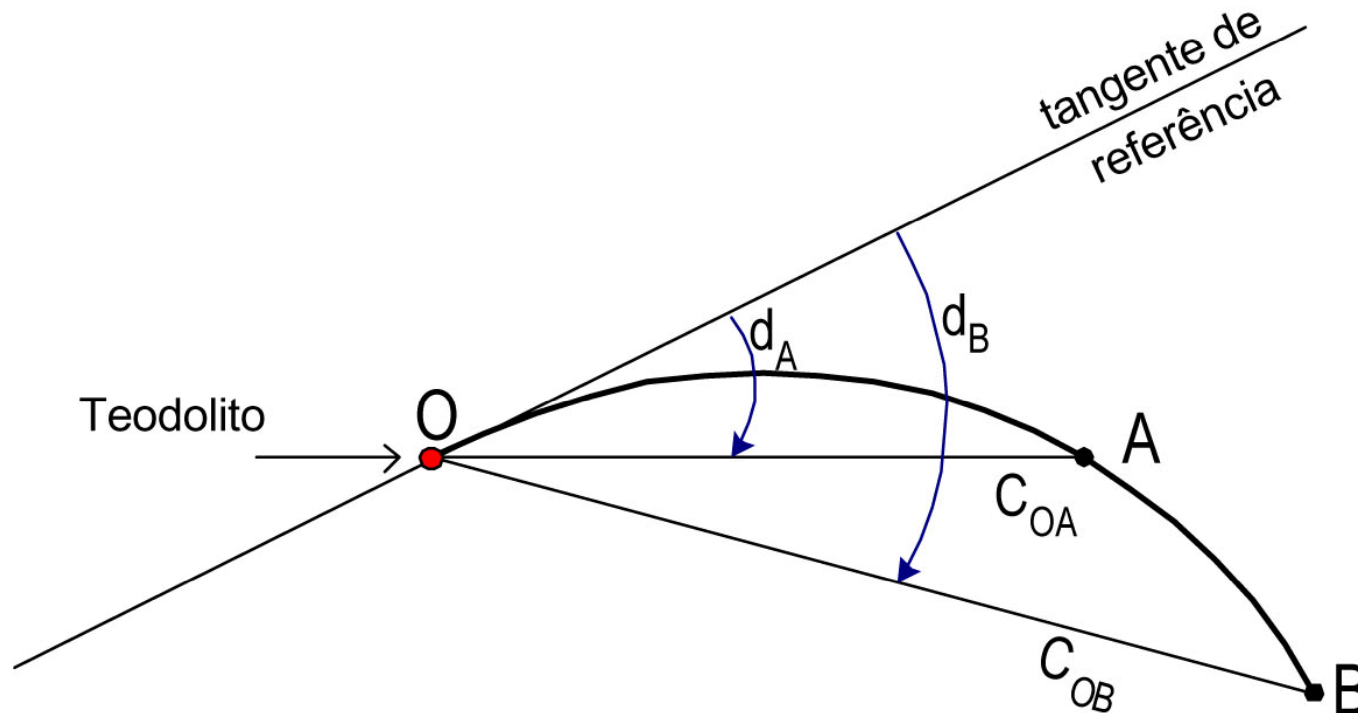


Fig. VII-6

Chamamos deflexão o ângulo que o prolongamento do alinhamento anterior faz com o seguinte.

Locação por deflexão acumulada



Se do ponto final da curva (PT) for possível visar todos os pontos a ré é nesse ponto que aconselha-se instalar o aparelho por que a partir dele pode-se continuar para diante a partir da mesma instalação.

Um raio adequado produz uma deflexão inteira!



- $R_1 = 200,00\text{m}$
 - $d_{10} = 1^\circ 25' 57''$ (para a corda de 10,00m)
 - $d_m = 0^\circ 08' 36''$ (para a corda de 1,00 m)

Combinando as equações:

$$G_c = 2 \times \text{arc.sen}(c/(2 \times R))$$

$$d_c = G_c/2$$

$$R = c/2.\text{sen}(d_c)$$

Com $d_c = 1^\circ 20' 00''$ (para corda de 10 m)

$$R = 10/(2.\text{sen}(1^\circ 20' 00'')) = 214,88 \text{ m}$$

$$R_1 = 214,88 \text{ m}$$

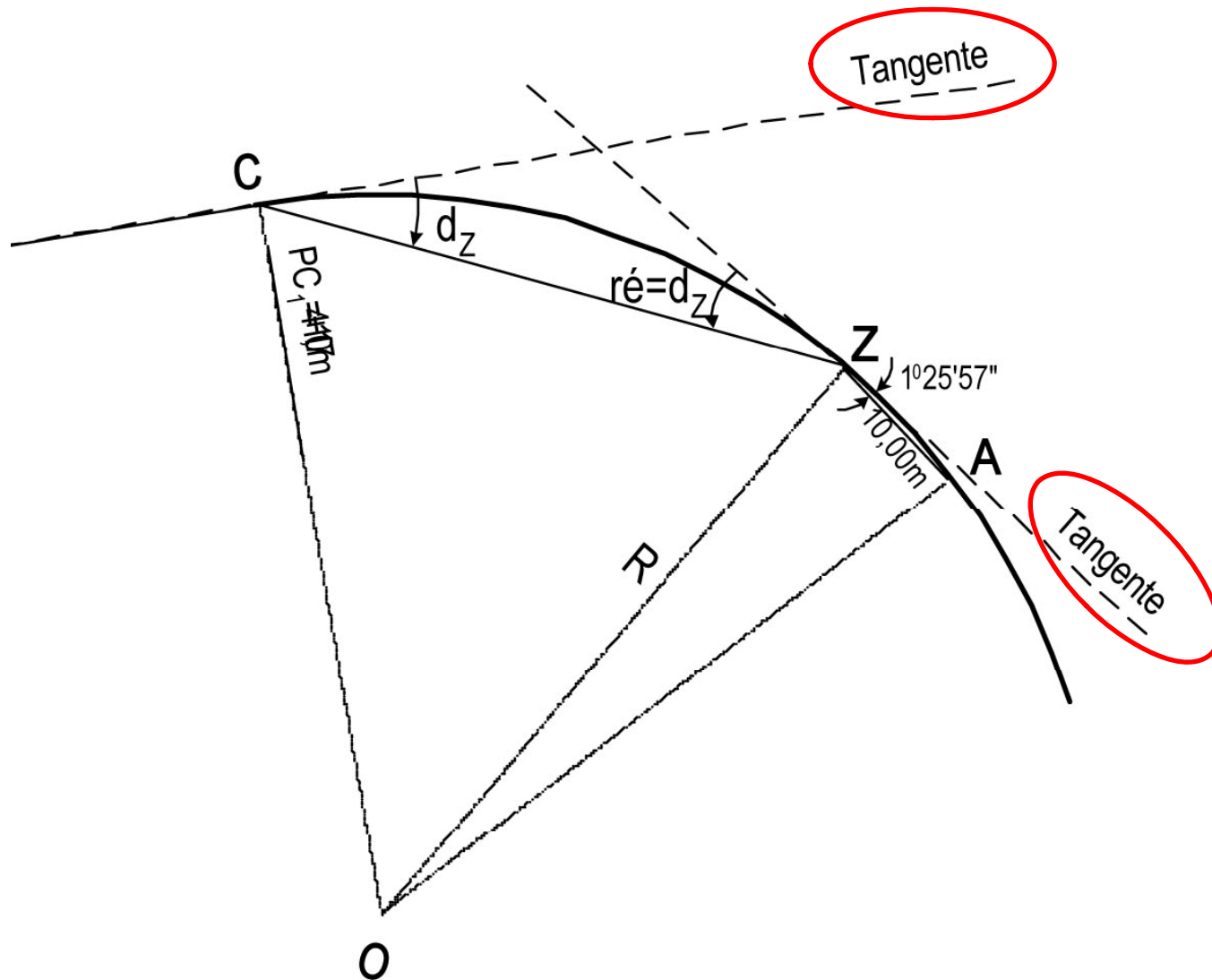


Raios de curva que produz deflexões inteiras

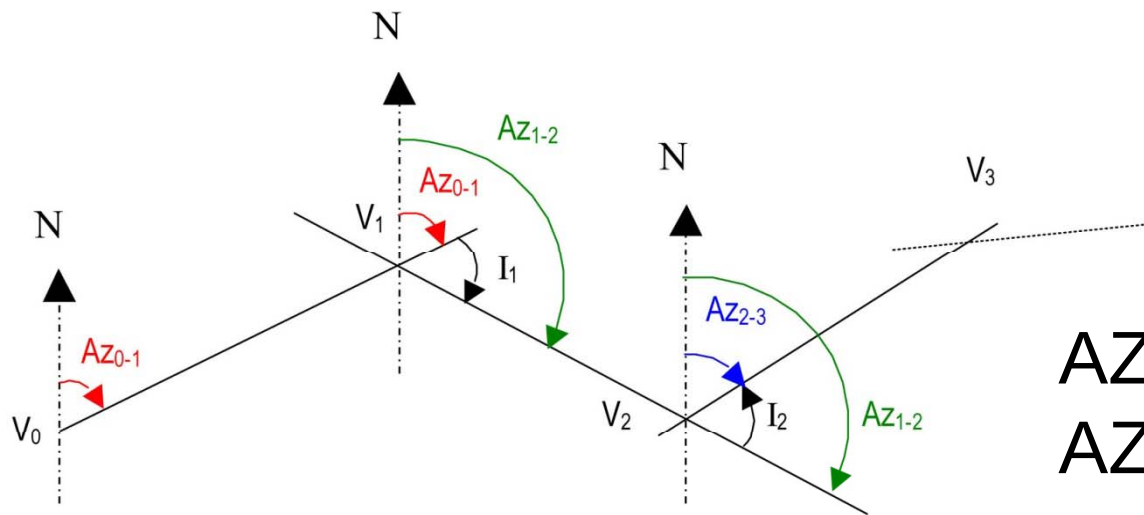


R < 100,00 m c = 5,00 m			100,00 m < R < 600,00 m c = 10,00 m			R > 600,00 m c = 20,00 m		
R (m)	$d_5 = G_5/2$	d_m	R (m)	$d_{10} = G_{10}/2$	d_m	R (m)	$d_{20} = G_{20}/2$	d_m
31,86	4 ⁰ 30'00"	54'	107,47	2 ⁰ 40'00"	16'	644,60	0 ⁰ 53'20"	2'40"
34,41	4 ⁰ 10'00"	50'	122,81	2 ⁰ 20'00"	14'	736,68	0 ⁰ 46'40"	2'20"
39,09	3 ⁰ 40'00"	44'	143,27	2 ⁰ 00'00"	12'	859,46	0 ⁰ 40'00"	2'
45,26	3 ⁰ 10'00"	38'	171,91	1 ⁰ 40'00"	10'	1,031,34	0 ⁰ 33'20"	1'40"
50,58	2 ⁰ 50'00"	34'	214,88	1 ⁰ 20'00"	8'	1.289,17	0 ⁰ 26'40"	1'20"
61,41	2 ⁰ 20'00"	28'	286,49	1 ⁰ 00'00"	6'	1.718,88	0 ⁰ 20'00"	1'
71,63	2 ⁰ 00'00"	24'	343,79	0 ⁰ 50'00"	5'	2.578,32	1 ⁰ 13'20"	0'40"
85,96	1 ⁰ 40'00"	20'	429,73	0 ⁰ 40'00"	4'	3.437,75	0 ⁰ 10'00"	0'30"
95,50	1 ⁰ 30'00"	18'	572,97	0 ⁰ 30'00"	3'	5.156,62	0 ⁰ 06'40"	0'20"

Mudança de posição do aparelho (curva circular)

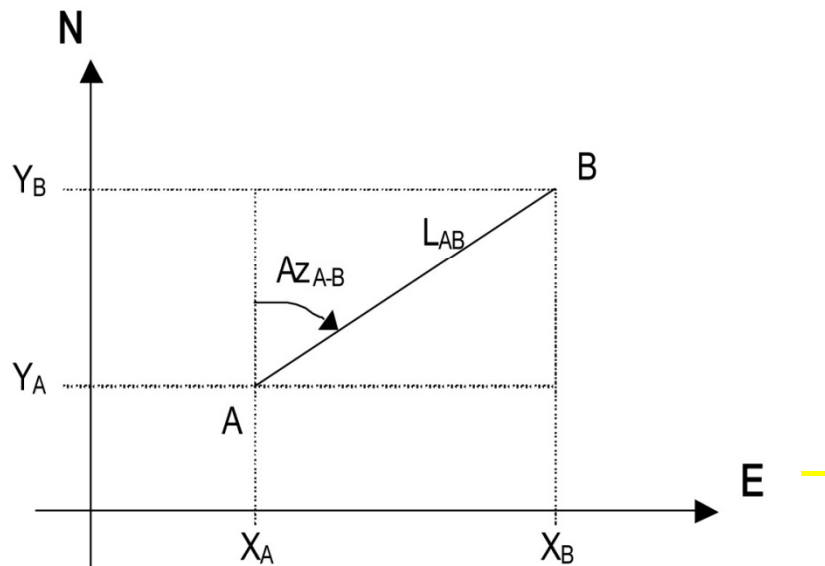


Revisando...



$$AZ_{1-2} = AZ_{0-1} + I_1$$

$$AZ_{2-3} = AZ_{1-2} + I_2$$



$$X_B = X_A + L_{AB} \cdot \text{SEN} (AZ_{A-B})$$

$$Y_B = Y_A + L_{AB} \cdot \text{COS} (AZ_{A-B})$$

Estaqueamento do eixo da rodovia



Est. $\underbrace{XX}_{\text{Inteira}} + \underbrace{XX,XX}_{\text{Fracionária (ou Intermediária)}}$

Inteira Fracionária (ou Intermediária)

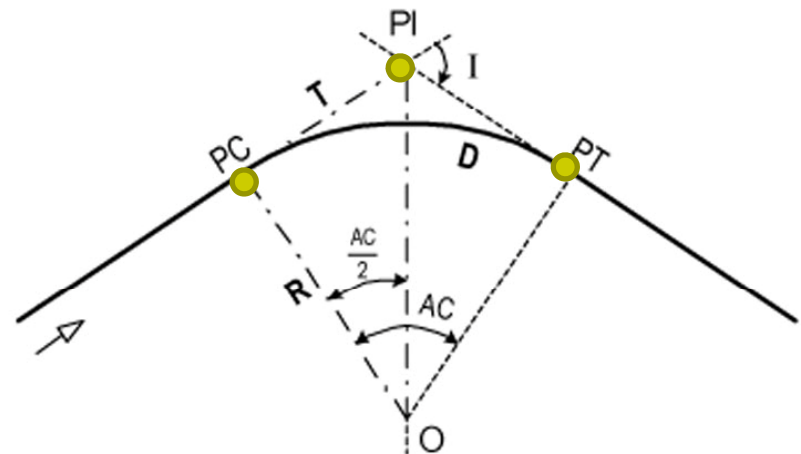
- Tangentes (T) são medidas do PI nas direções de ré e de vante para localizar o PC e PT
- Para cada tangente que se interceptam em PI, existe infinitos raios, mas no entanto as condições de campo e da rodovia restringem a sua escolha



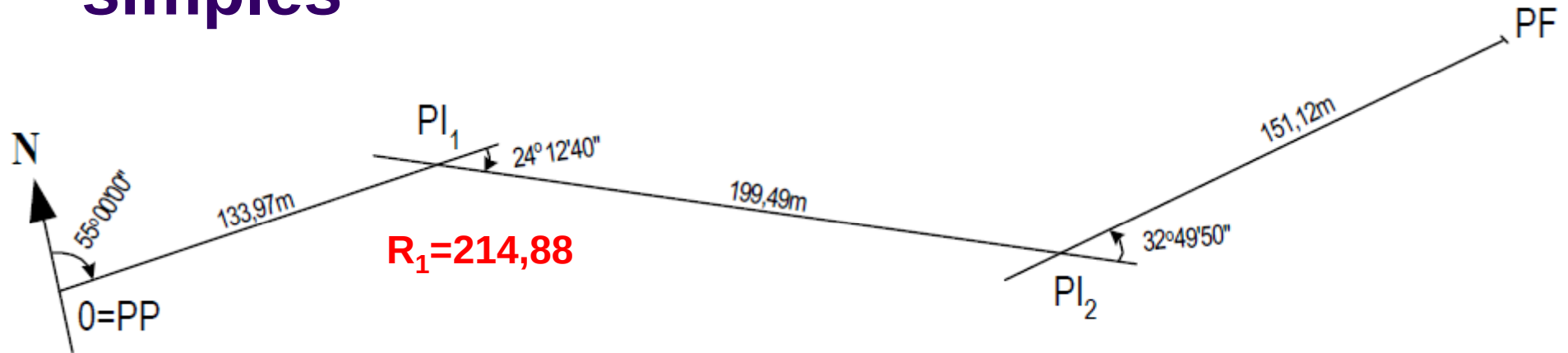
Estaqueamento do eixo da rodovia



- A curva pode ser selecionada considerando um valor de R , G , T ou I , pois isso permite os cálculos dos outros elementos
 - Normalmente o raio (R) da curva é o parâmetro considerado inicialmente
 - Além dos parâmetros citados são necessário o cálculo das deflexões
 - $PC = PI - T$
 - $PT = PC + D$



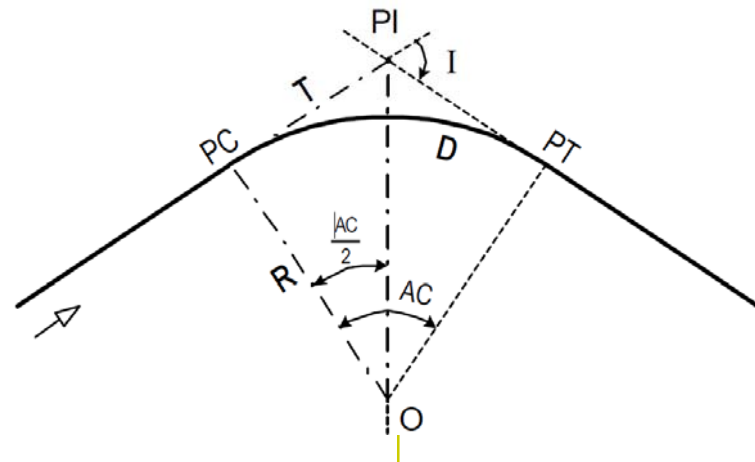
Exemplo de estaqueamento e concordância de curva horizontal simples



Determinação dos pontos notáveis:

$$T_1 = R_1 \times \operatorname{tg}(AC_1/2) = 214,88 \times \operatorname{tg}(24^\circ 12' 40''/2) = 46,09 \text{ m}$$

$$D_1 = AC_1 \times R_1 = 24^\circ 12' 40'' \times (\pi/180^\circ) \times 214,88 \text{ m} = 90,80 \text{ m}$$



Locação por estaca fracionária (caderneta de locação)



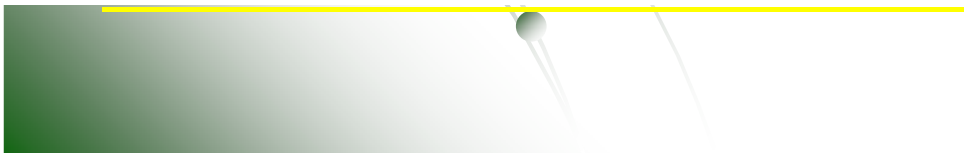
- $PC_1 = \overline{0 - PI_1} - T_1 = 133,97 \text{ m} - 46,09 \text{ m} = 87,88 \text{ m}$
 - Estaca: $87,88 \text{ m} / 20 \text{ m} = 4,394 = 4 + (20 \times 0,394) = 4 + 7,88 \text{ m}$

Distância entre
estacas multiplicado
pela fração de
estacas

- $PT1 = PC1 + D1 = 4+7,88 \text{ m} + 90,80 \text{ m} = 8 + 18,68 \text{ m}$

$90,80 \text{ m} / 20 \text{ m} =$
 $4,54 \text{ estacas}$

$0,54 \text{ estaca} \times 20 \text{ m}$
 $= 10,80 \text{ m}$



Locação da curva

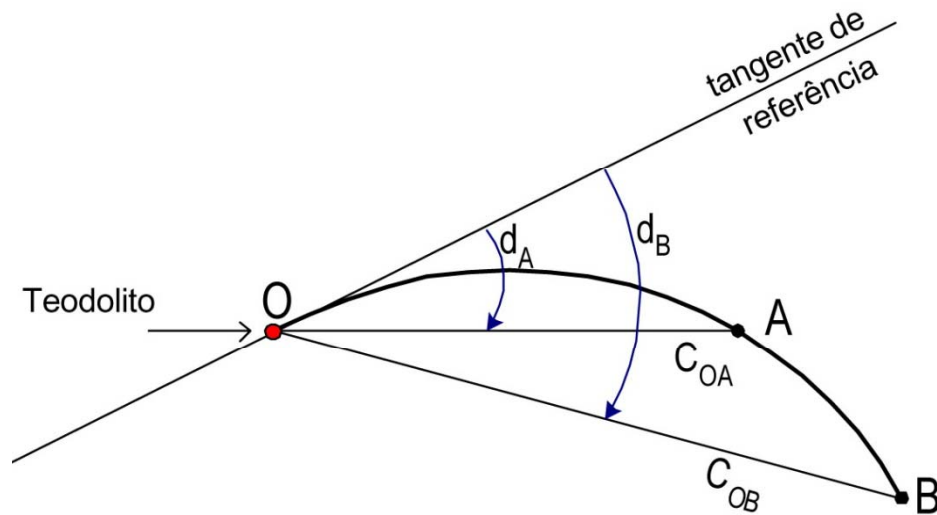


- **Método de locação:** deflexões acumuladas e estacas fracionadas.

100 m < R < 600 m, assim c = 10 m

- $G_{10} = 2 \times \text{arc.sen}(10/(2 \times 214,88)) = 2,6659 = 2^\circ 39' 59''$
- $d_{10} = G_c/2 = 1^\circ 19' 59.97'' \cong 1^\circ 20' 00''$
- $d_m = d_{10}/c = 1^\circ 20' 00'' / 10 \text{ m} = 0^\circ 08' 00''$ (deflexão por metro)





$$d_A = 1^\circ 20' 00''$$

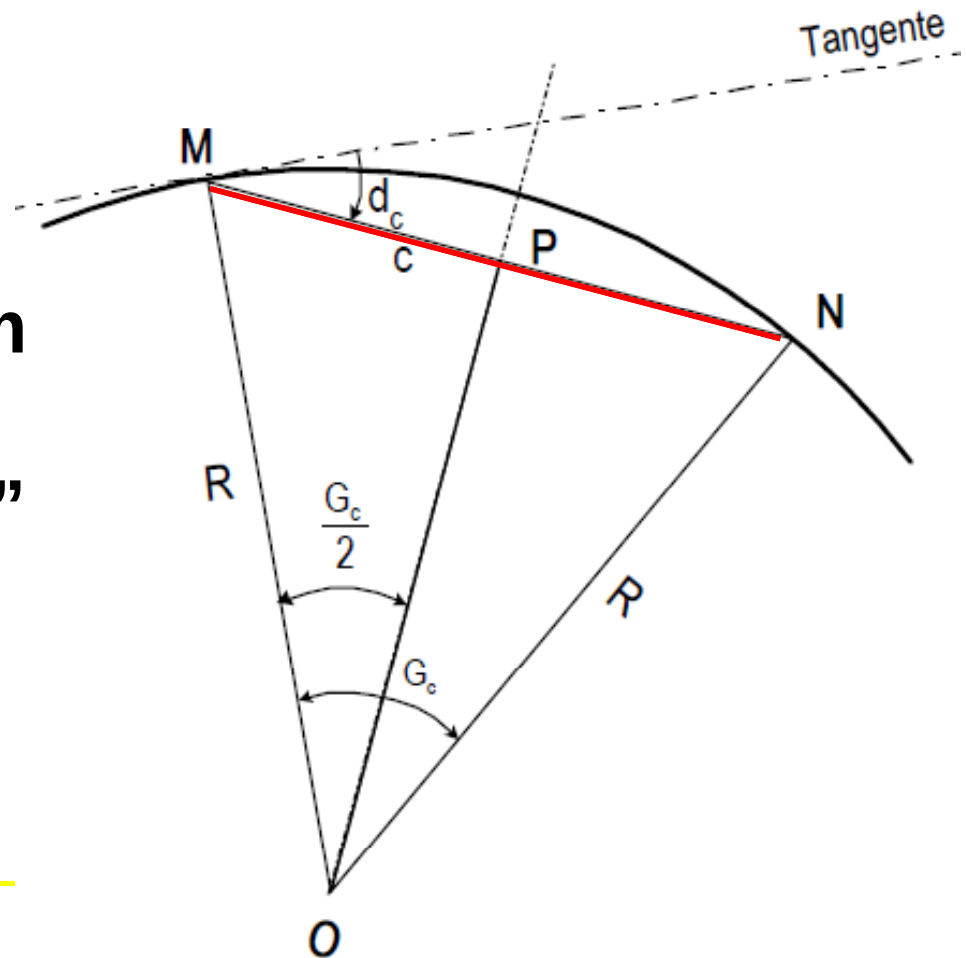
$$d_B = 2 \times 1^\circ 20' 00'' = 2^\circ 40' 00''$$

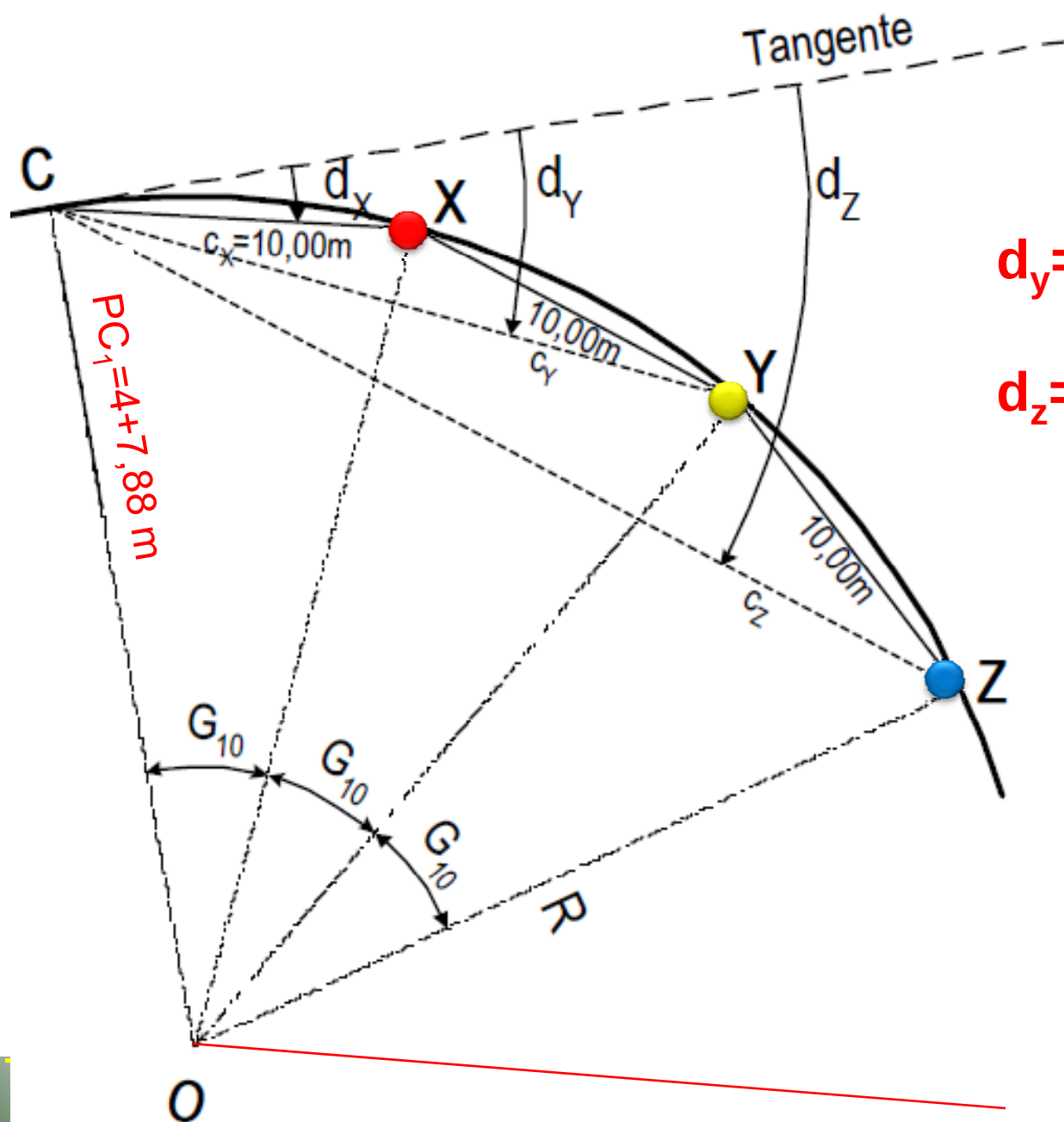
$$c = MN = 10 \text{ m}$$

$$d_A = 1^\circ 20' 00''$$

$$G_c = 2^\circ 39' 59''$$

$$R = 214,88$$





$$d_y = 2 \cdot d_x$$

$$d_z = 2 \cdot d_y = 3 \cdot d_x$$

$$PT_1 = 8 + 18,68\text{ m}$$

Locação por estaca fracionária (caderneta de locação)



- $R1=214,88$ m

ESTACAS	ARCOS (m)	DEFLEXÕES		AZIMUTES	OBSERVAÇÕES
		SIMPLES	ACUMULADAS		
⊗ PC ₁ = 4 + 7,88m	-	-	-	55°00'00"	Tangente 0-PC ₁
4 + 17,88m	10,00	1°20'00"	1°20'00"		
5 + 7,88m	10,00	1°20'00"	2°40'00"		
5 + 17,88m	10,00	1°20'00"	4°00'00"		
⊗ 6 + 7,88m	10,00	1°20'00"	5°20'00"	65°40'00"	Ré = 5°20'00"
6 + 17,88m	10,00	1°20'00"	1°20'00"		
⊗ 7 + 7,88m	10,00	1°20'00"	2°40'00"	71°00'00"	Ré = 2°40'00"
7 + 17,88m	10,00	1°20'00"	1°20'00"		
8 + 7,88m	10,00	1°20'00"	2°40'00"		
8 + 17,88m	10,00	1°20'00"	4°00'00"		
⊗ PT ₁ = 8 + 18,68m	0,80	0°06'24"	4°06'24"	79°12'48"	Ré = 4°06'24"

A curva pode ser lançada informando um círculo tangenciando as duas retas e com raio de 214,88 m.

Comando: Circle > Ttr

Diagrama de uma curva tangencial entre duas retas. A primeira reta tem uma inclinação de $55^{\circ}0'0''$ e uma distância de $133,97\text{ m}$ entre os pontos E_0 e E_1 . A segunda reta tem uma inclinação de $24^{\circ}12'40''$ e uma distância de $199,49\text{ m}$ entre os pontos E_4 e E_5 . A curva é definida por um raio $R_1 = 214,88\text{ m}$ e um ângulo de deflexão $AC = 24^{\circ}12'40''$. O ponto de tangência na primeira reta é $PC_1 = E_4 + 7,88\text{ M}$. O ponto de tangência na segunda reta é $PT_1 = 8 + 18,68\text{ M}$. O comprimento da curva é $D_1 = 90,80\text{ m}$. O diagrama também mostra o ponto de interseção das retas, o ponto de tangência da curva com a primeira reta, e o ponto de tangência da curva com a segunda reta. O ângulo de deflexão entre as retas é $5^{\circ}20'0''$. O comprimento da primeira reta é $46,09\text{ m}$.

