

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL-RIO-GRANDENSE
Campus Passo Fundo

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

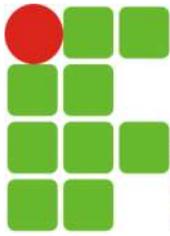
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

Curvas
horizontais
Circulares



Rodovia PR-151

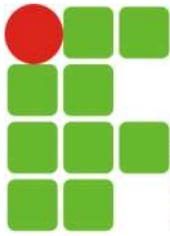




➤ **Curvas Horizontais circulares:**

- A geometria de uma estrada é definida pelo traçado do seu eixo em planta e pelos perfis longitudinal e transversal;
- Uma estrada deve ter o traçado mais curto possível;
- Geralmente a topografia da região atravessada, as características geológicas e geotécnicas dos solos de fundação, a hidrografia e problemas de desapropriações determinam o uso corrente de curvas horizontais;

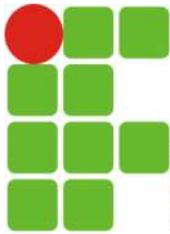




➤ Geometria da curva Circular:

- Concordância entre alinhamentos retos;
- Simplicidade para projeto e locação;
- Mesmo quando se emprega uma curva composta, a curva circular ainda continua a ser empregada na parte central da concordância;

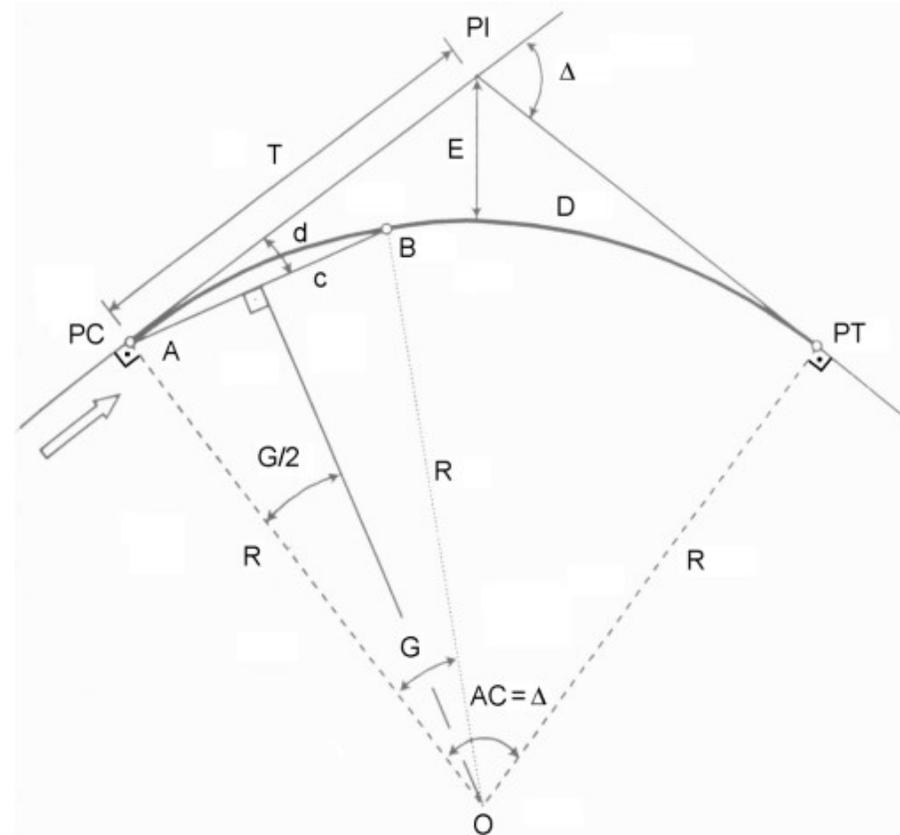


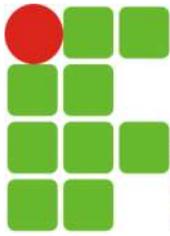


➤ Nomenclatura dos elementos da Curva

Horizontal Circular:

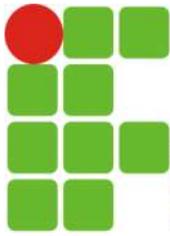
- PC** - ponto de curva
- PT** - ponto de tangente
- PI** - ponto de interseção das tangentes
- D** - desenvolvimento da curva
- Δ - ângulo de deflexão
- AC** - ângulo central da curva
- R** - raio da curva circular
- T** - tangente externa
- O** - centro da curva
- E** - afastamento
- G** - grau da curva
- c** - corda
- d** - deflexão sobre a tangente



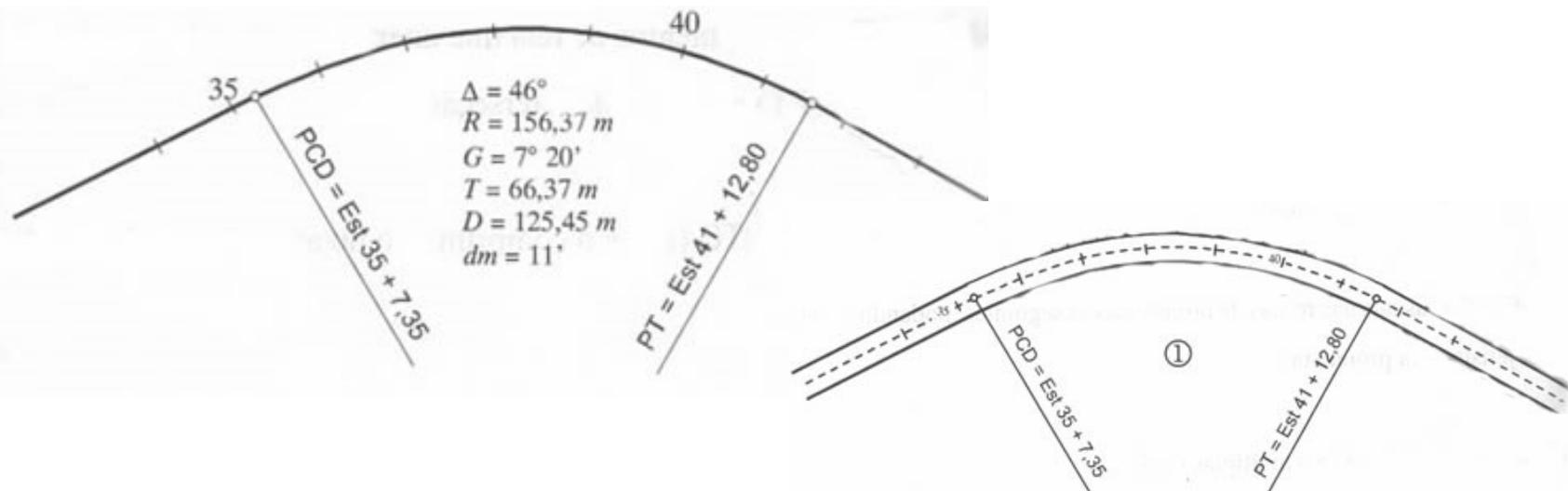


- **Indicações usuais nas folhas de projeto são as seguintes, podendo variar de projetista para projetista:**
- A indicação do PC e PT, com o número das respectivas estacas são escritas ao longo dos raios extremos da curva;
 - Na parte interna colocam-se os valores dos principais elementos da curva ;
 - Costuma-se também indicar cortes ou aterros, e enquadrar o eixo da estrada entre dois traços paralelos, cujo afastamento é igual à largura da plataforma.

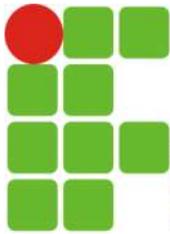




- Indicações usuais nas folhas de projeto são as seguintes, podendo variar de projetista para projetista:



CURVA	Δ	R (m)	T (m)	D (m)	dm (')	E(PC)	E(PT)
①	46°	156,37	66,37	125,45	11	35 + 7,35	41 + 12,80



➤ Principais relações entre elementos:

$$T = R \cdot \tan \frac{\Delta}{2}$$

$$D = \frac{(\pi \cdot R \cdot \Delta)}{180^\circ}$$

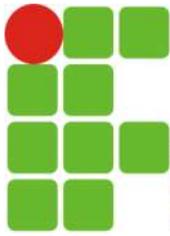
$$E = T \cdot \tan \frac{\Delta}{4}$$

$$E(PC) = E(PI) - (T)$$

$$E(PT) = E(PC) + (D)$$

$$G = \frac{180^\circ \cdot c}{\pi \cdot R} \Rightarrow G_{20} = \frac{1145,92}{R}$$





Exemplo (2): Numa curva horizontal circular, temos $\Delta=45,5^\circ$, $R=171,98\text{m}$ e $E(PI)=180 + 4,12$. Determinar os elementos T , D , E , $E(PC)$ e $E(PT)$.

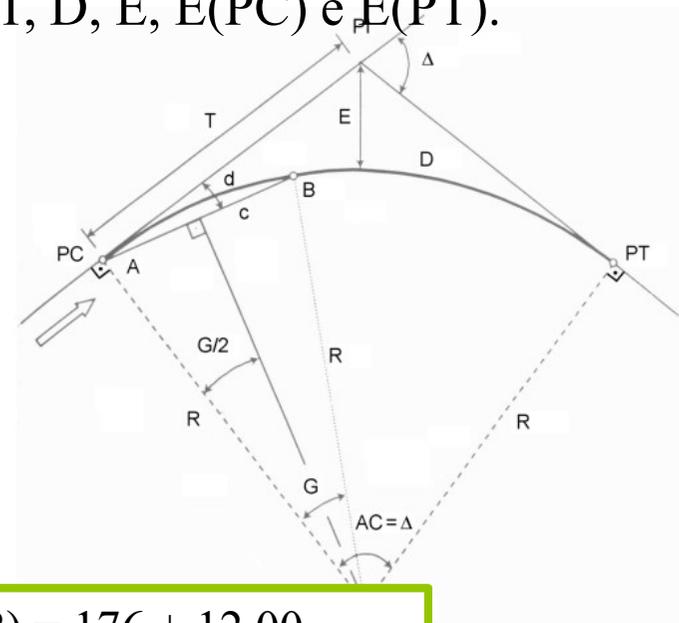
$$T = R \cdot \tan \frac{\Delta}{2} = 171,98 \cdot \tan \frac{45,5}{2} = 72,12\text{m}$$

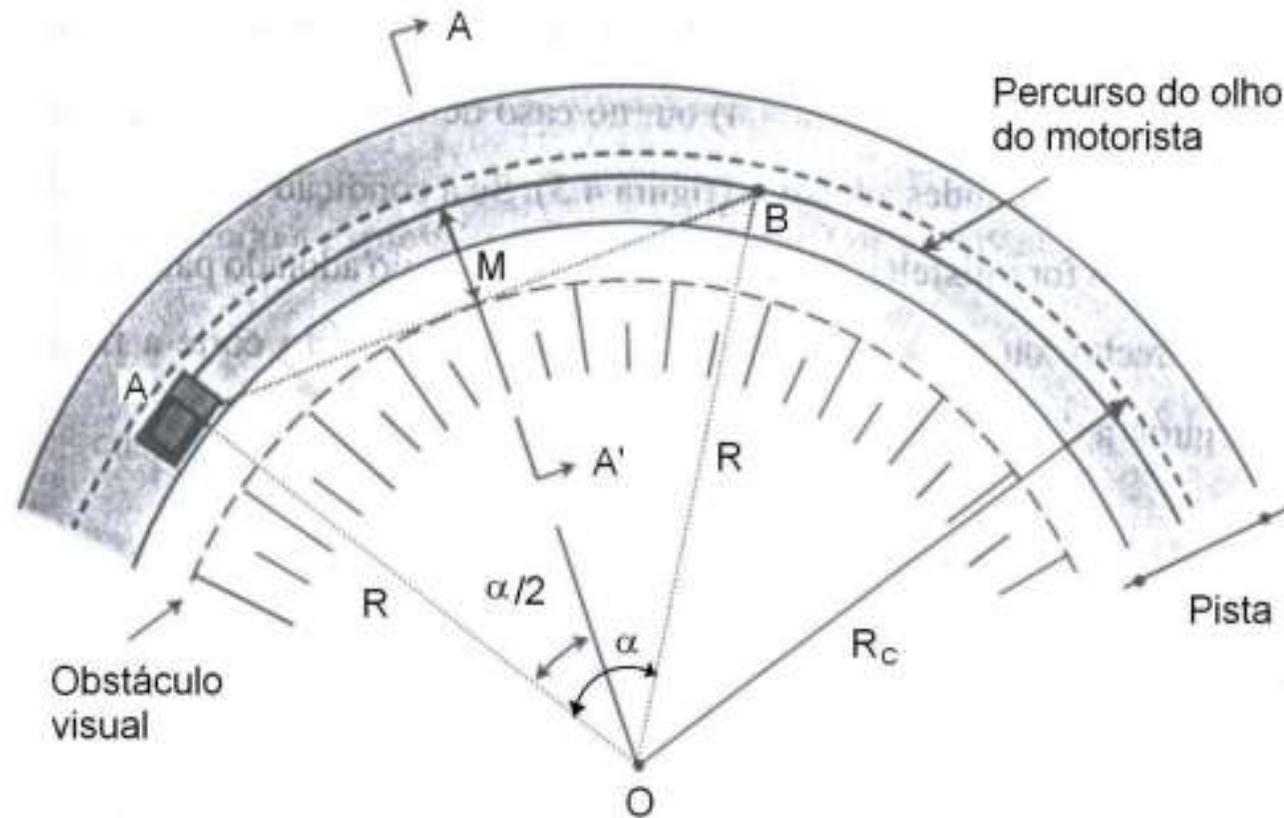
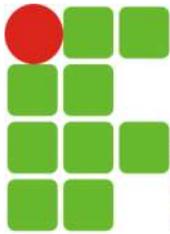
$$D = \frac{(\pi \cdot R \cdot \Delta)}{180^\circ} = \frac{(\pi \cdot 171,98 \cdot 45,5)}{180^\circ} = 136,55\text{ m}$$

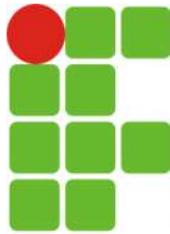
$$E = T \cdot \tan \frac{\Delta}{4} = 72,12 \cdot \tan \frac{45,5}{4} = 14,51\text{ m}$$

$$E(PC) = E(PI) - (T) = (180 + 4,12) - (3 + 12,12) = 176 + 12,00$$

$$E(PT) = E(PC) + (D) = (176 + 12) + (6 + 16,55) = 183 + 8,55$$



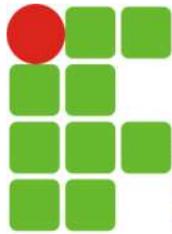




CURSO DE ENGENHARIA CIVIL INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

➤ DAER: Estaduais

CARACTERÍSTICAS	REGIÕES	CLASSES					OBSERVAÇÕES
		0	I	II	III	IV	
Tráfego (VDM para o 10º ano de projeto)	-	(1)	(2)	1500-300	300-1500	< 300	(1) A classe de rodovia é definida por decisão administrativa.
Velocidade diretriz (km/h)	P O M	120 100 80	100 80 60	80 70 50	80 60 40	60 40 30	
Distância de visibilidade de parada desejável (mínimo) - (m)	P O M	310(205) 210(155) 140(110)	210(155) 140(110) 85(75)	140(110) 110(90) 65(60)	140(110) 85(75) 45(45)	85(75) 45(45) 30(30)	(2) > 9000 para Classe IA e 3000 a 9000 para Classe IB.
Distância de visibilidade de ultrapassagem (m)	P O M	370 340 280	340 280 210	680 560 420	560 420 270	420 230 180	(3) A largura da plataforma de terraplanagem para cada classe é definida pela soma das larguras de pista + acostamento + folgas.
Taxa máxima de superelevação (%)	O	10%	10%	8%	8%	6%	(4) Para as Classes 0 a III a folga será de 1,00m para cada semi-plataforma de aterro e 1,50m para cada semi-plataforma de corte.
Raio mínimo de curvatura horizontal (m)	P O M	540 345 210	345 210 115	230 170 80	230 125 50	135 55 25	
Rampa máxima (%)	P O M	3% 4% 5%	3% 4,5% 6%	3% 5% 7%	4% 6% 8%	5% 7% 9%	
Valor mínimo de "k" para curvas verticais convexas - desejável (mínimo)	P O M	233(102) 107(58) 48(29)	107(58) 48(29) 18(14)	107(29) 29(20) 10(9)	48(29) 18(14) 5(5)	18(14) 5(5) 2(2)	(5) Para a Classe IV, a folga F será de 0,50m para cada semiplataforma de aterro e 1,00m para cada semiplataforma de corte.
Valor mínimo de "k" para curvas verticais côncavas - desejável (mínimo)	P O M	80(50) 52(36) 32(24)	52(36) 32(24) 17(15)	52(36) 24(19) 12(11)	32(24) 17(15) 7(7)	17(15) 7(7) 4(4)	(6) Largura do acostamento para pista com duas faixas. Para Três e quatro faixas, ver Q-15.
Largura da faixa de rolamento (m)	P O M	3,75 3,60 3,60	3,60 3,60 3,50	3,50	3,50	3,00	(7) A largura de 4m é usada para rodovias com conversão a esquerda. Nos demais casos, a largura poderá ser reduzida para o mínimo de 1,50m.
Largura do acostamento externo (m) (mínimo)	P O M	3,00 3,00-(2,50) 2,50	3,00-(2,50) 2,50 2,50	2,50-(2,00) 2,50-(2,00) 2,00-(1,00)	2,50-(1,00) 2,00-(1,00) 1,50-(1,00)	1,00 0,50 0,50	(8) A largura da faixa de domínio das rodovias Classe 0 será fixada no projeto.
Largura recomendada do acostamento interno (m) - (excepcional) (6)	P O M	(1,2) - 0,6 (1,0) - 0,6 0,5	(1,2) - 0,6 (1,0) - 0,6 0,5	-	-	-	Observação Geral: Os VDMs apresentados servem como orientação devendo ser verificado o nível de serviço.
Gabarito mínimo vertical	-	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	
Afastamento lateral mínimo do bordo do acostamento - obstáculos contínuos	-	0,50	0,50	0,50	0,30	0,30	
Largura do Canteiro Central - Valor mínimo (7)	-	4	4	-	-	-	
Afastamento lateral mínimo do bordo do acostamento - obstáculo isolado	-	1,50	1,50	1,50	0,50	0,50	
Inclinação transversal em tangente	-	2%	2%	2%	2%	3%	
Largura da faixa de domínio (m)	P O M	(8)	60 70 80	30 40 50	30 40 50	30 40 50	
Plataforma de terraplenagem	-	(3) (4)	(3) (4)	(3) (4)	(3) (4)	(3) (5)	

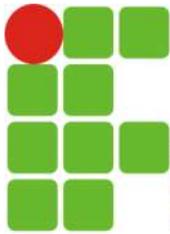


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

➤ DAER: Vicinais

CARACTERÍSTICAS	REGIÕES	CLASSES				OBSERVAÇÕES
		A	B	C	D	
Tráfego (VDM para o ano de abertura)	-	> 200	>200	100 - 200	50 - 100	(1) A folga F será de 0,50m para cada semiplataforma de aterro, e de 1,00m para cada semiplataforma de corte.
Velocidade diretriz (km/h)	P	80	80	60	60	
	O	60	60	40	40	
	M	40	40	30	30	
Distância de visibilidade de parada desejável (mínimo)	P	110	110	75	75	
	O	75	75	45	45	
	M	45	45	30	30	
Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem (m)	P	560	560	420	420	
	O	420	420	270	270	
	M	270	270	180	180	
Taxa máxima de superelevação (%)	P					
	O	8%	8%	6%	6%	
	M					
Raio mínimo de curvatura horizontal (m)	P	230	230	135	135	
	O	125	125	55	55	
	M	50	50	25	25	
Rampa máxima (%)	P	4	4	5	6	
	O	6	6	7	8	
	M	8	8	9	10	
Largura da faixa de rolamento (m)	-	7,0	6,0	6,0	6,0	
Largura mínima do acostamento (m)	-	1,0	1,0	0,5		
Largura da plataforma de terraplenagem (m) - (1)	-	9,0 + F	8,0 + F	8,0 + F	6,3 + F	
Inclinação transversal da pista em tangente (%)	-	2%	2%	2%	2%	
Largura da faixa de domínio (m)	P	30	30	30	30	
	O	40	40	40	40	
	M	50	50	50	50	



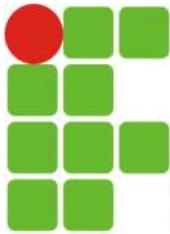


➤ **DAER: Vicinais**

CLASSES DE PROJETO	CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA*
0	Via Expressa Controle total de acesso	Decisão administrativa.
I	A Pista dupla Controle parcial de acesso	Os volumes de tráfego previstos ocasionarem níveis de serviço em rodovia de pista simples inferiores aos níveis C ou D.
	B Pista Simples Controle parcial de acesso	Volume horário de projeto (VMH) > 200. Volume Médio Diário (VMD) > 1400.
II	Pista Simples	$700 < \text{VMD} \leq 1400$ veículos.
III	Pista Simples	$300 \leq \text{VMD} \leq 700$ veículos.
IV	A Pista Simples	$50 \leq \text{VMD} \leq 300$ veículos.
	B Pista Simples	$\text{VMD} < 50$ veículos.

* Volumes de tráfego bidirecionais, referindo-se a veículos mistos e previstos no 10^o ano após a abertura da rodovia ao tráfego.





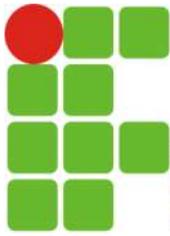
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

Tabela 6. 2: Velocidades de projeto ou velocidade diretriz (km/h)

CLASSES DE PROJETO		REGIÃO		
		PLANA	ONDULADA	MONTANHOSA
0		100	100	80
I	A	100	80	60
	B	100	80	60
II		80	70	50
III		70	60	40
IV	A	60	40	30
	B	60	40	30

REGIÃO	Critério Adotado (medida ao longo da diretriz ou linha de ensaio)
Plana	declividades até 8 %
Ondulada	declividades entre 8 e 20%
Montanhosa	declividades maiores do que 20%
Escarpada	declividades bem superiores a 20%



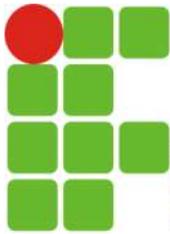


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

Tab. 2.5: Raio Mínimo [m] de Curvas Horizontais (DNER, 1999; DNIT, 2005).

V_P [km/h]	R_{MIN} $e_{máx}=4\%$		R_{MIN} $e_{máx}=6\%$		R_{MIN} $e_{máx}=8\%$		R_{MIN} $e_{máx}=10\%$		R_{MIN} $e_{máx}=12\%$	
	DNIT	DNER	DNIT	DNER	DNIT	DNER	DNIT	DNER	DNIT	DNER
30	22	30	21	25	20	25	19	25	18	20
40	47	60	43	55	41	50	38	45	36	45
60	135	150	123	135	113	125	105	115	98	105
80	280	280	250	250	230	230	210	210	195	195
90	355	355	320	320	290	290	265	265	245	245
110	595	595	530	530	475	475	435	435	400	400



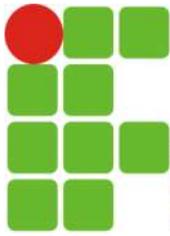


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

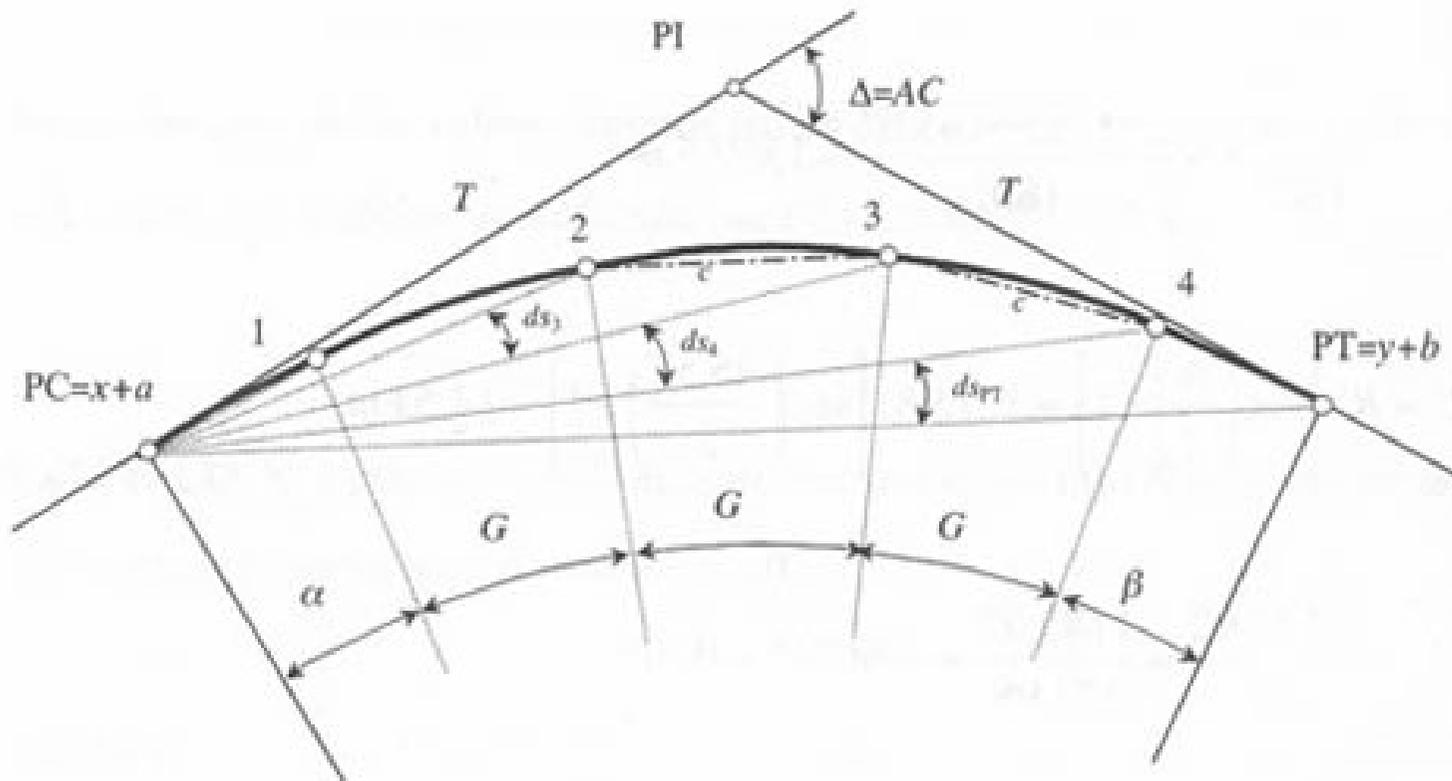
$e_{máx}$	CASOS DE EMPREGO
12%	Máximo absoluto em circunstâncias específicas.
10 %	Máximo normal. Adequado para fluxo ininterrupto. Adotar para rodovias Classe 0 e Classe I em regiões planas e onduladas.
8%	Valor superior normal. Adotar para rodovias Classe I em regiões montanhosas e rodovias das demais classes de projeto.
6%	Valor inferior normal. Adotar para projetos em áreas urbanizadas ou em situações em que o tráfego está sujeito a reduções de velocidade ou paradas.
4%	Mínimo. Adotar em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente.

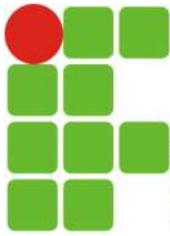
(Fonte: PONTES FILHO, 1998)





Locação de curvas circulares por deflexão





Primeira deflexão:

$$\rightarrow dS1 = (20 - a) \cdot \left(\frac{G20}{40}\right) =$$

$$dS1 = (20 - 12) \cdot \left(\frac{400'}{40}\right) =$$

$$dS1 = 80 / 60 = 1,3333 - 1^{\circ}20'$$

$$dS1 = 1^{\circ}20'$$

Considerando:

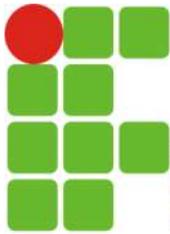
- $E(PC) = 176 + 12,00$ (a=12,00)

- $E(PT) = 183 + 8,55$ (b=8,55)

- $R = 171,98$ m

$$G = \left(\frac{180 \cdot c}{\pi \cdot R}\right) \Rightarrow G20 = \left(\frac{180 \cdot 20}{\pi \cdot 171,98}\right) = 6,6631^{\circ} = 400'$$





Última deflexão:

→ $ds_{pt} = b \cdot \left(\frac{G20}{40}\right) =$

$$ds_{pt} = 8,55 \cdot \left(\frac{400}{40}\right) =$$

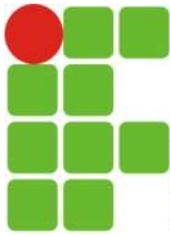
$$dS_{pt} = 85,5 / 60 = 1,425 = 1^{\circ}25'$$

$$dS_{pt} = 1^{\circ}25'$$

Considerando:

- $E(PC) = 176 + 12,00$ (a=12,00)
- $E(PT) = 183 + 8,55$ (b=8,55)
- $R = 171,98$ m



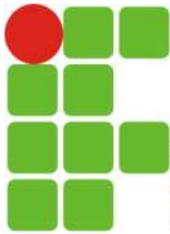


$$\rightarrow ds = \left(\frac{G20}{2}\right) =$$

$$ds = \left(\frac{400}{2}\right) = 200 / 60 = 3,3333^\circ = 3^\circ 20'$$

$$ds = 3^\circ 20'$$



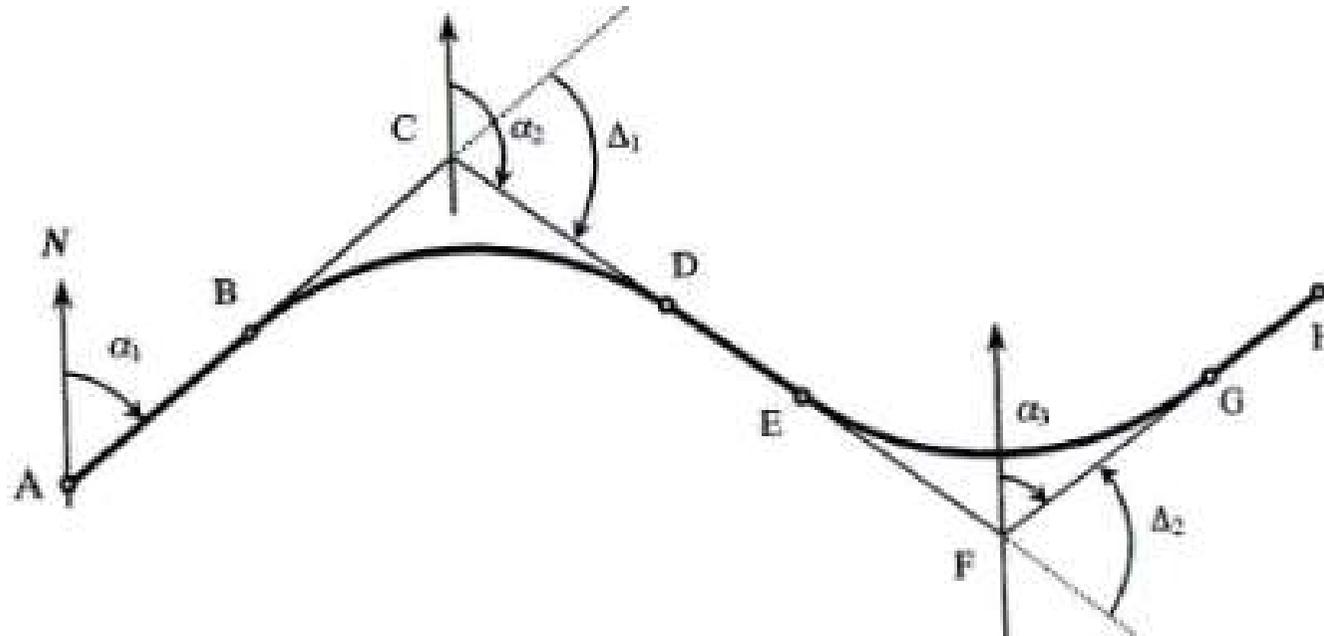
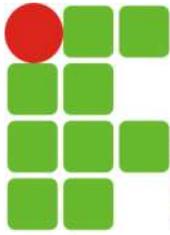


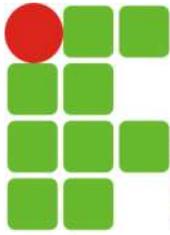
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

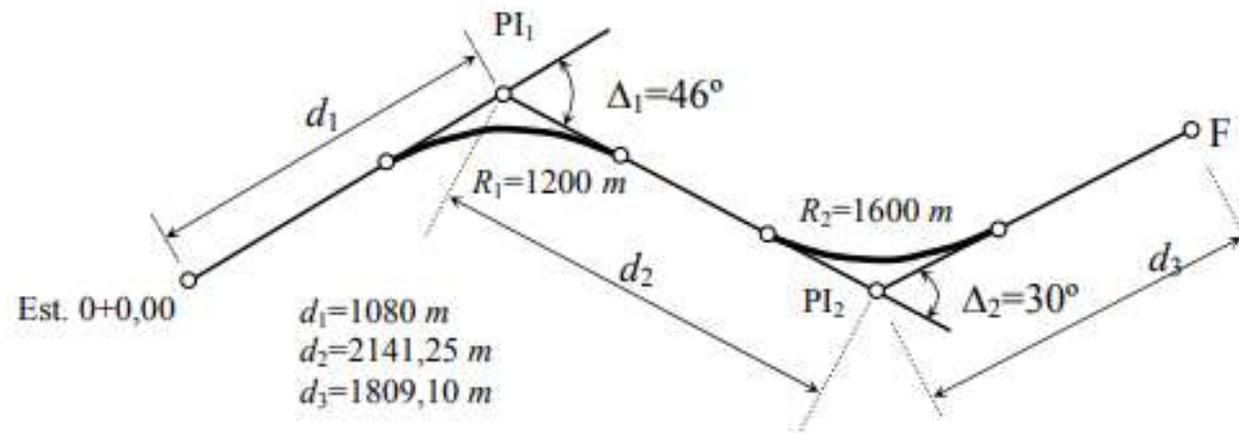
Estacas	Deflexões sucessivas	Deflexões acumuladas
176 + 12 (PC)	0°	0°
177	1°20'	1°20'
178	3°20'	4°40'
179	3°20'	8°00'
180	3°20'	11°20'
181	3°20'	14°40'
182	3°20'	18°00'
183	3°20'	21°20'
183 + 8,55 (PT)	1°25'	22°45'

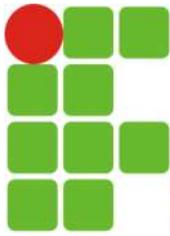




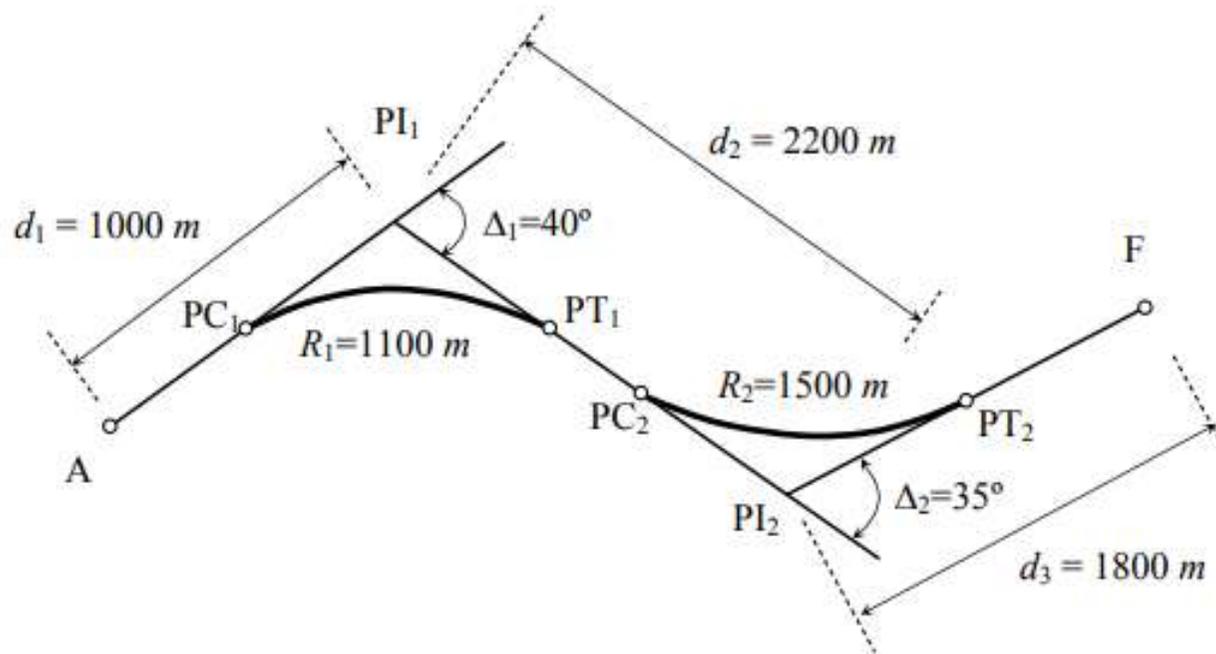


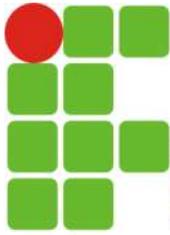
Ex. 01: A figura mostra a planta de um traçado com duas curvas circulares. Calcular as estacas dos PI's e a estaca final





Ex. 02: A figura mostra a planta de um traçado com duas curvas circulares. Calcular as estacas dos pontos notáveis das curvas (PC, PI e PT) e a estaca inicial do traçado, sabendo que a estaca do ponto F é $540 + 15,00$.





INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL-RIO-GRANDENSE
Campus Passo Fundo

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

Obrigado!!



Rodovia PR-151

