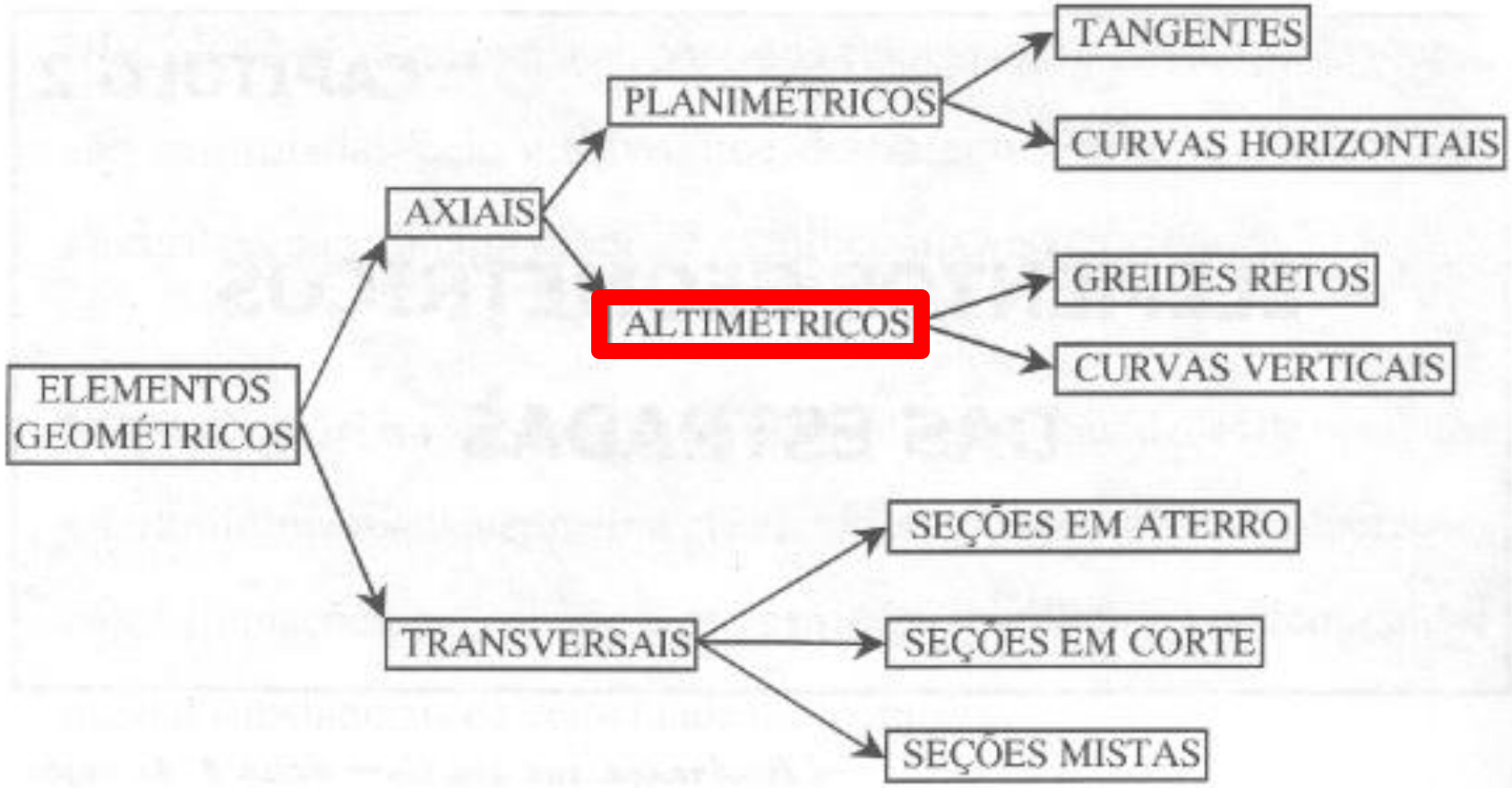
ESTRADAS E AEROPORTOS

Prof. Vinícius C. Patrizzi

GEOMETRIA DE VIAS



Elementos geométricos de uma estrada
(Fonte: PONTES FILHO, 1998)

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

1. ***INTRODUÇÃO:***

- O perfil longitudinal é o corte do terreno e da estrada projetada por uma superfície vertical que contem o eixo da planta.
- O greide de projeto é constituido por alinhamentos retos concordados por curvas verticais e deve ser escolhido de tal forma que permita aos veículos que a percorrem uma razoável uniformidade de operação.
- A escolha do perfil ideal está intimamente ligada ao custo da estrada, especialmente ao custo de terraplanagem.
- As condições geológicas e geotécnicas das áreas atravessadas pela estrada vão ter grande influência na escolha do perfil, pois, tanto na execução dos cortes como nos aterros, condições desfavoráveis do solo natural podem exigir a execução de serviços especiais de alto custo, como escavações em rocha, obras especiais de drenagem ou obras de estabilização de cortes e aterros.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- Assim, muitas vezes, a diminuição de altura de um corte ou de um aterro pode reduzir sensivelmente o custo de um determinado trecho de estrada. Nem sempre essas reduções são possíveis, devido às características técnicas mínimas exigidas.
- É desejável que o perfil seja razoavelmente homogêneo, isto é, que as rampas não tenham grandes variações de inclinação e as concordâncias não tenham raios muito diferentes.
- No caso da existência de variações acentuadas na topografia de região obriga, muitas vezes, a execução de trechos de perfil com características técnicas diferentes.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

2. ***LANÇAMENTO DO GREIDE:***

- Leve-se em consideração as condições estabelecidas pelas Normas Técnicas para a Classe da Estrada, tais como:

a) Considerar sempre as rampas máximas e mínimas;

b) Otimização das massas, isto é, equilíbrio entre os volumes de corte e aterro;

c) Cuidados especiais nas travessias da pista (altura de passarelas, pontes, etc);

- Rodovias federais: vão livre mínimo sob passarelas = 5,50m;
- Ferrovias: vão mínimo = 7,50 m;
- Pontes: altura mínima de 2,0 m em relação a máxima enchente.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

d) Oferecer amplas condições de visibilidade;

e) Cuidados especiais com relação aos aspectos geológicos (ex. evitar cortes profundos onde existir afloramento de rocha);

f) Cuidados com relação a drenagem superficial (ex. evitar pontos de cotas mais baixas dentro de trechos em corte e trechos de declividade nula);

g) Cuidados com relação a seção transversal do terreno (ex. evitar situações de grande altura para o greide da plataforma comprometendo sua estabilidade, ou exigindo obras de contenção elevando os custos);

h) Harmonização entre o projeto geométrico horizontal e vertical. Se possível, fazer coincidir a concordância vertical com a concordância horizontal, pois isto dará melhor aspecto estético tridimensional e contribuir para o aumento da distância de visibilidade;

i) Dar preferência a perfis com curvas verticais suaves e bem concordadas com as tangentes verticais, em vez de perfis com numerosas quebras;

j) Em longas ascendentes, prever a 3ª faixa de tráfego para uso de veículos lentos.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

3. ***DIAGRAMA DE BARRAS:***

- É a representação do projeto geométrico horizontal, de forma esquemática, no rodapé do perfil longitudinal do terreno.
- Isto permite a visualização conjunta do eixo da estrada em planta e perfil, possibilitando ao projetista, sempre que possível, harmonizar o projeto geométrico horizontal com o vertical.

4. ***INCLINAÇÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS DAS RAMPAS:***

- Baseando-se no comportamento dos veículos nas rampas podemos tirar elementos para a determinação das inclinações máximas admissíveis.
- Rampas com até 3% permitem o movimento dos veículos de passageiros sem restrições, afetam muito pouco a velocidade dos caminhões leves e médios e são indicados para estradas com alta velocidade de projeto.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- Rampas com até 6% tem pouca influência no movimento dos veículos de passageiros, mas afetam bastante o movimento de caminhões, especialmente caminhões pesados, sendo recomendadas apenas para estradas com baixas velocidades de projeto.
- Rampas com inclinação superior a 6% só devem ser usadas em estradas secundárias, de baixo volume de tráfego, onde a perda de velocidade dos caminhões não provoque constantes congestionamentos, ou em estradas para o tráfego exclusivo de veículos de passageiros.
- Quando a topografia do terreno for desfavorável poderão ser adotados valores maiores do que os aconselhados para as rampas máximas, de forma a dar maior liberdade ao projetista, evitando assim pesados movimentos de terra e traçados com cortes e aterros excessivamente altos ou mesmo evitando viadutos e túneis que irão onerar a execução da estrada.
- O uso de tais medidas só pode ser feito em casos muitos especiais, onde uma grande redução de custos justifique a deficiência do projeto.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- A tabela abaixo mostra valores da inclinação máxima das rampas aconselhados pelo DNER e o DER-SP.

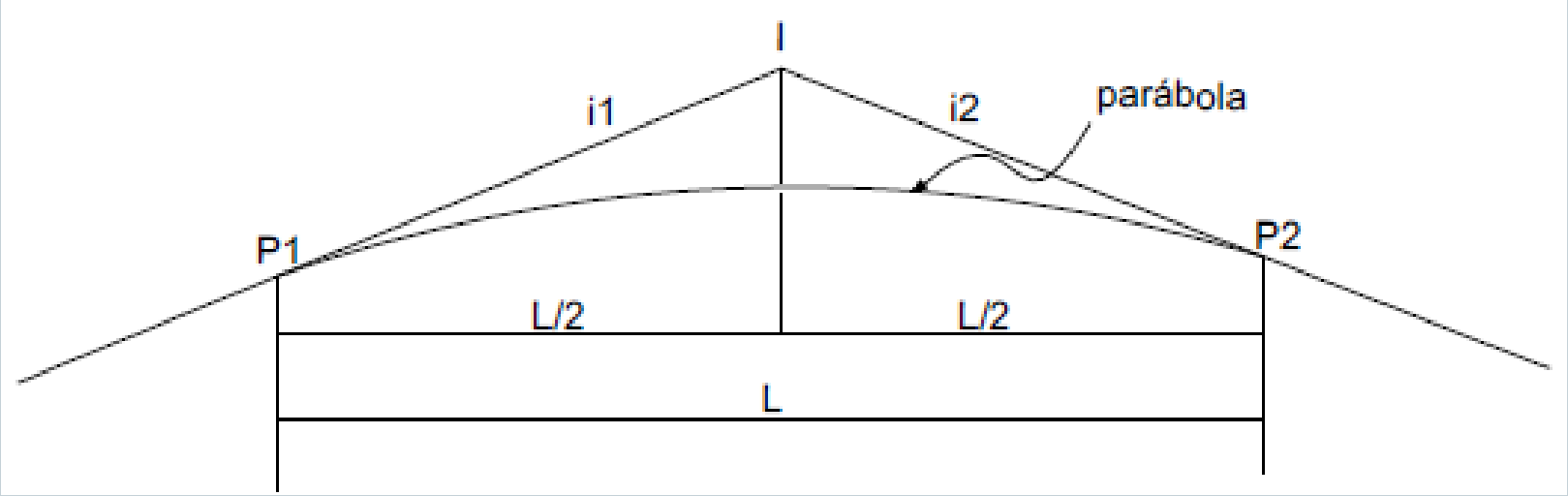
Condições Topográficas Locais	Inclinação Máxima das Rampas em %			
	Classificação das Rodovias			
	Classe Especial	Classe I	Classe II	Classe III
Plana	3	3	4	4
Ondulada	4	4,5	5	6
Montanhosa	5	6	7	8

5. ***TIPOS DE CURVAS VERTICAIS:***

- As curvas verticais tem por objetivo concordar as rampas projetadas e devem ser escolhidas de forma a atender às condições de segurança, boa aparência, boa visibilidade e permitir a drenagem adequada da estrada. As curvas mais utilizadas como curvas de concordância vertical são: **circunferências** e **parábolas**.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

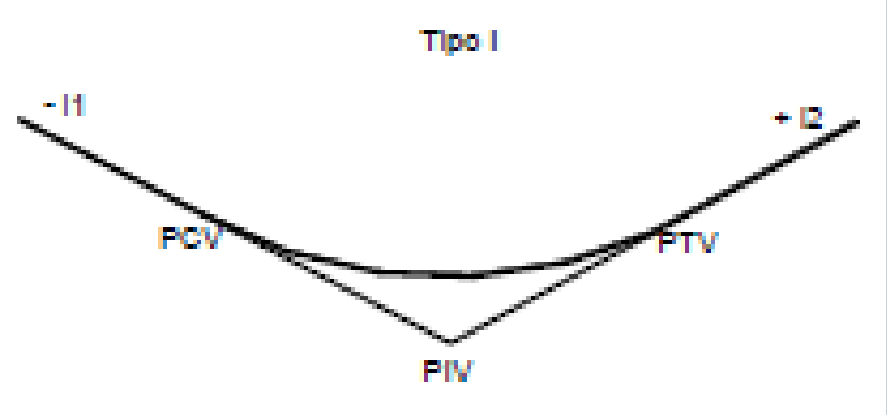
- A parábola simples do 2º grau de eixo vertical é uma das curvas mais usadas por dar uma boa aparência à curva, boa concordância entre rampas e ser uma curva onde as cotas de seus diversos pontos podem ser facilmente obtidas através de cálculos rápidos possibilitando a locação do PCV e PTV em estaca inteira ou +10.

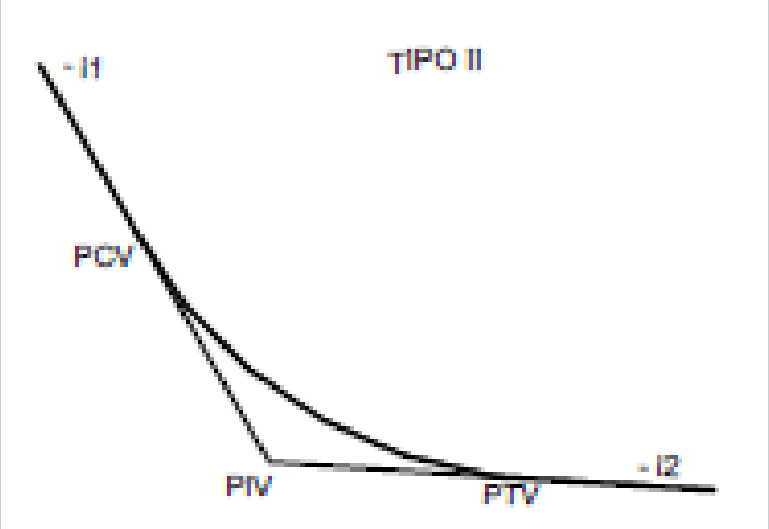


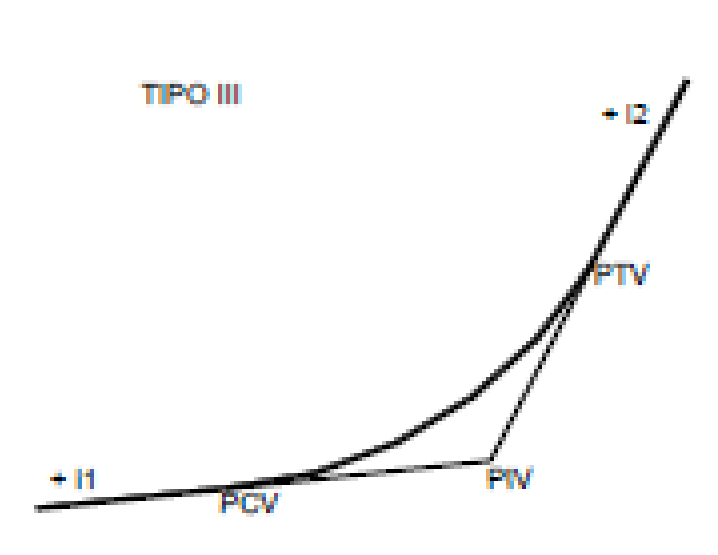
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- TIPOS DE CURVAS VERTICAIS:

- Curvas Côncovas:



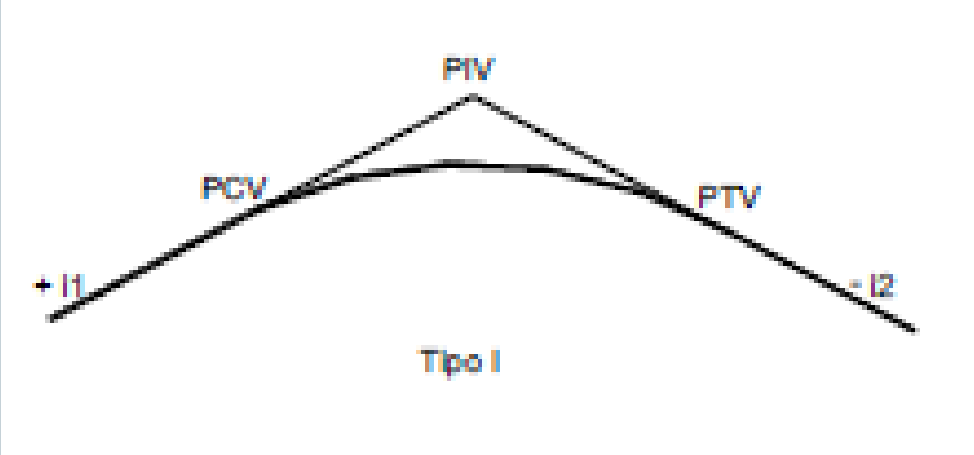


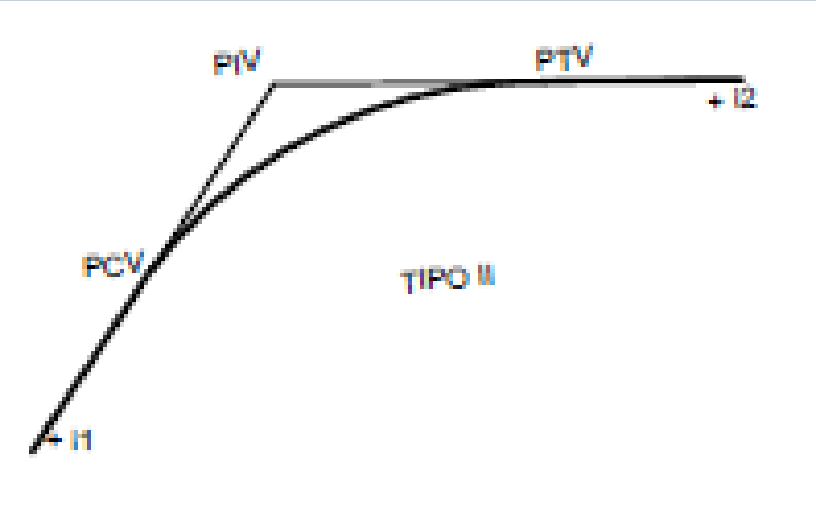


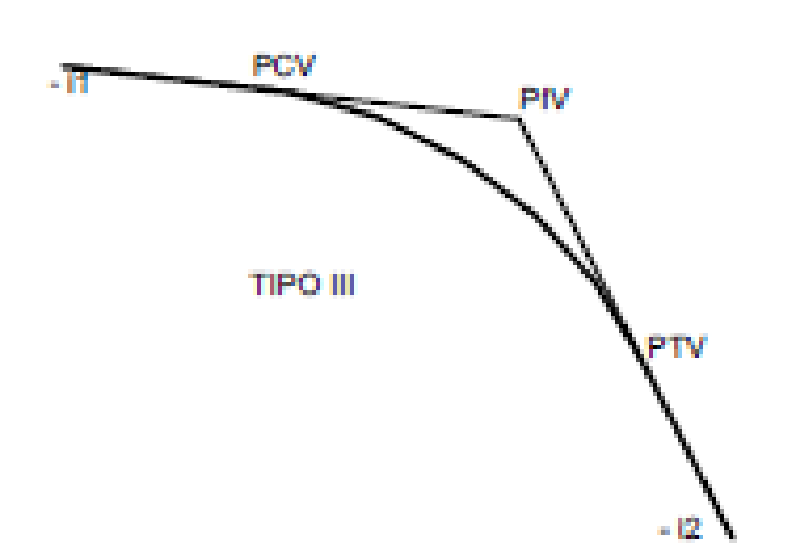
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- TIPOS DE CURVAS VERTICAIS:

- Curvas Convexas:







CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

6. ***PROPRIEDADES DAS CURVAS VERTICAIS PARABÓLICAS:***

- Anteriormente, o ponto ***I*** de interseção de duas tangentes à parábola, traçada a partir de dois pontos quaisquer P1 e P2 pertencentes à parábola localiza-se de forma que as projeções dos segmentos P1-I e P2-I, numa direção perpendicular aos diâmetros de parábola sejam iguais.

$$P1\text{-}I = P2\text{-}I = L/2$$

- A medida do comprimento da curva é feita sobre a projeção horizontal da curva, porque as inclinações das rampas são usualmente pequenas.
- Chamando-se de ***Δi*** ou ***g*** a diferença algébrica entre as inclinações das tangentes, e ***Lc*** o comprimento da curva, teremos:

$$\Delta_i = i_2 - i_1$$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- Chamando-se de positiva (+i) as rampas ascendentes no sentido do estaqueamento e de negativas (-i) as rampas descendentes, o sinal de ***Δi*** dado pela equação anterior dependerá do tipo de curva analisada e dos valores de ***i2*** e ***i1***.
- Δi / Lc = variação do greide por unidade de comprimento.
- Lc / Δi = K $\longrightarrow$ distância horizontal necessária para obter-se 1% de variação do greide.

7. ***ESCOLHA DO COMPRIMENTO DE CURVAS VERTICAIS:***

- O comprimento de uma curva vertical (Lc) é escolhido em função de uma análise cuidadosa dos diversos fatores condicionantes do projeto, com o objetivo de obter-se um greide econômico com características técnicas satisfatórias.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- A parábola simples, usada para curva vertical, é uma curva muito próxima a uma circunferência, por isso é usual referir-se ao valor do raio (Rv) da curva vertical, que deve ser entendido como sendo o menor raio instantâneo da parábola, isto é, uma circunferência de raio (Rv) igual ao raio instantâneo do vértice da parábola.
- A equação abaixo ralaciona Rv e Lc.

$$Lc = \Delta_i \, . \, Rv$$

Onde:

Lc: comprimento da curva vertical;
Δ_i: diferença algébrica dos greides das rampas;
Rv: menor raio instantâneo da curva parabólica.

- Para as curvas convexas adota-se Rv negativo e para as curvas côncovas Rv positivo.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

8. ***COMPRIMENTO MÍNIMO A SER ADOTADO PARA AS CURVAS VERTICAIS:***

- **Curvas Verticais Convexas:**

- O comprimento mínimo para as curvas verticais convexas é determinado em função das condições necessárias de visibilidade da curva, isto é, é escolhido de forma a dar ao motorista o espaço necessário para uma frenagem segura, quando este avista um obstáculo parado na sua faixa de tráfego.
- Assim, para todas as curvas convexas das estradas devemos ter condições de visibilidade que permitam que o motorista aviste um obstáculo sobre sua faixa de tráfego quando ainda estiver a uma distância >= ***Df*** do obstáculo.
- Para determinação do menor valor do comprimento da curva vertical, de forma a ser respeitada a distância de visibilidade ***Df***, precisamos definir as grandezas ***h1*** (altura da vista do motorista em relação a pista) e ***h2*** (altura mínima do obstáculo).

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

a) Critério do Mínimo Valor Absoluto:

- As normas do DNIT recomendam que as curvas verticais tenham comprimentos suficientes para que as variações de declividade entre os trechos retos do greide sejam percorridas pelos usuários ao longo de um tempo igual ou maior que 2 segundos.
- O comprimento mínimo da curva, de acordo com este critério, será dado pela distância percorrida por um veículo, que se desloca a uma certa velocidade v (m/s), no tempo de 2 s, o qual poderá ser calculado por:
- Lmin = 2 x v

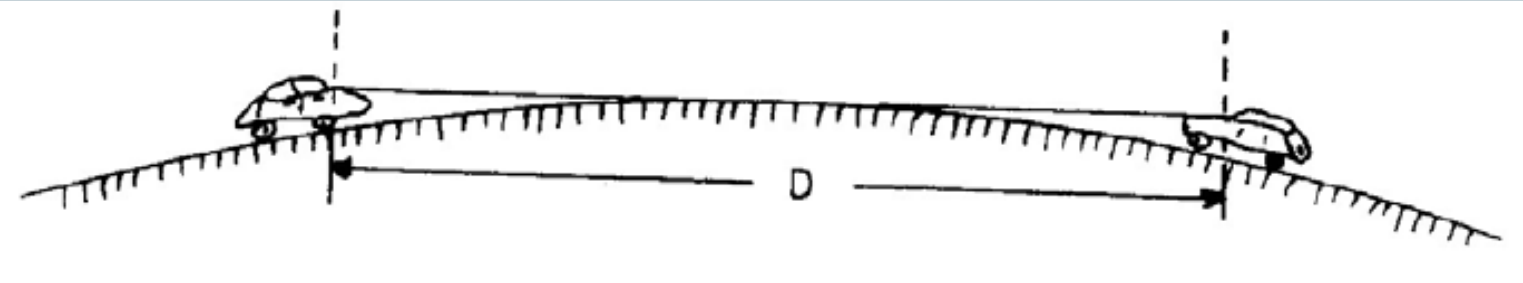
$$L_{min} = 2 \cdot \frac{V}{3{,}6} \rightarrow \boxed{L_{min} = 0{,}6\,V}$$

$L_{mín}$ = comprimento mínimo da curva vertical (m);
V = velocidade diretriz (km/h)

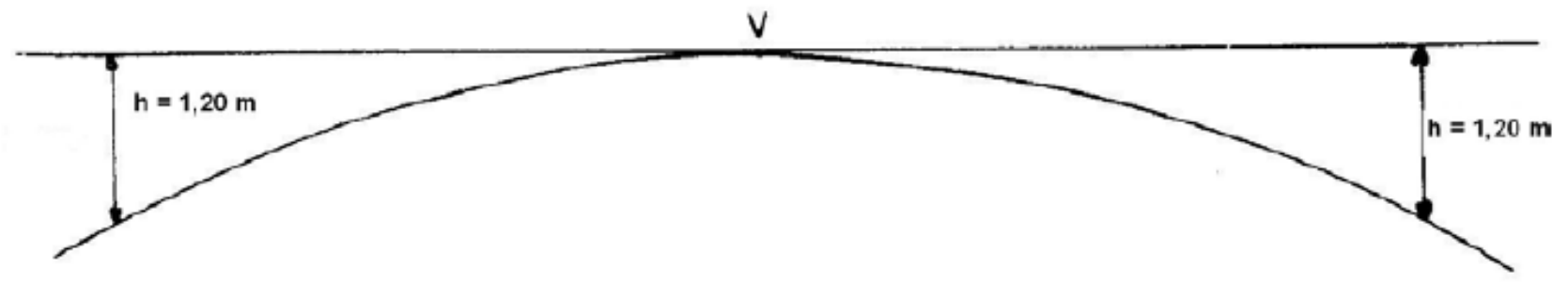
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

b) Critério de Distância de Visibilidade:

✓ Visibilidade nas Curvas Verticais Convexas:



- **Critério Antigo** = distância dupla de visibilidade na concordância Vertical Convexa.
- D = 2 x Dp
- É estabelecida a altura da vista do motorista em relação à pista (h): 1,10m; 1,15m; 1,20m; etc.



CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- **Critério estabelecido atualmente pelas Normas do DNIT (D = Dp)**

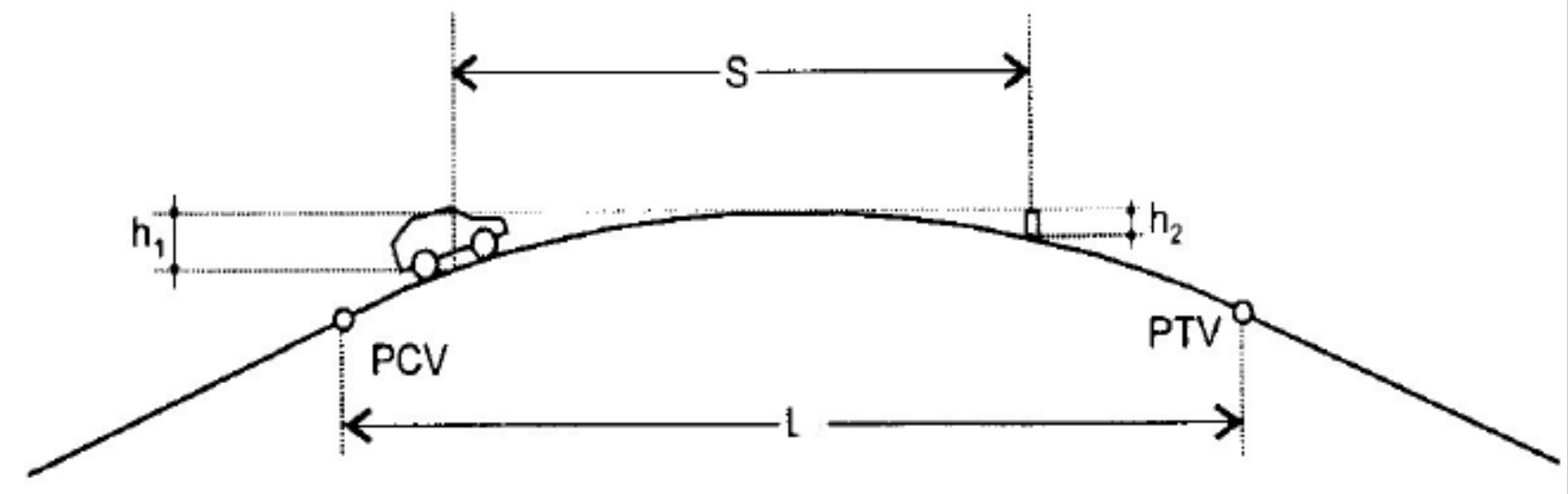
- Motorista com os olhos postados a 1,10m de altura sobre a pista (h1);
- Obstáculo de 0,15m de altura acima da pista (h2);
- Distância de visibilidade pelo menos igual à distância de visibilidade de parada (Dp)

Assim, para todas as curvas convexas da estrada deve-se ter: $S \geq D_P$

S = distância de visibilidade do motorista;
D_p = Distância de Visibilidade de Parada

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- **1º CASO:** O motorista e obstáculo dentro da curva (S = Dp <= L)



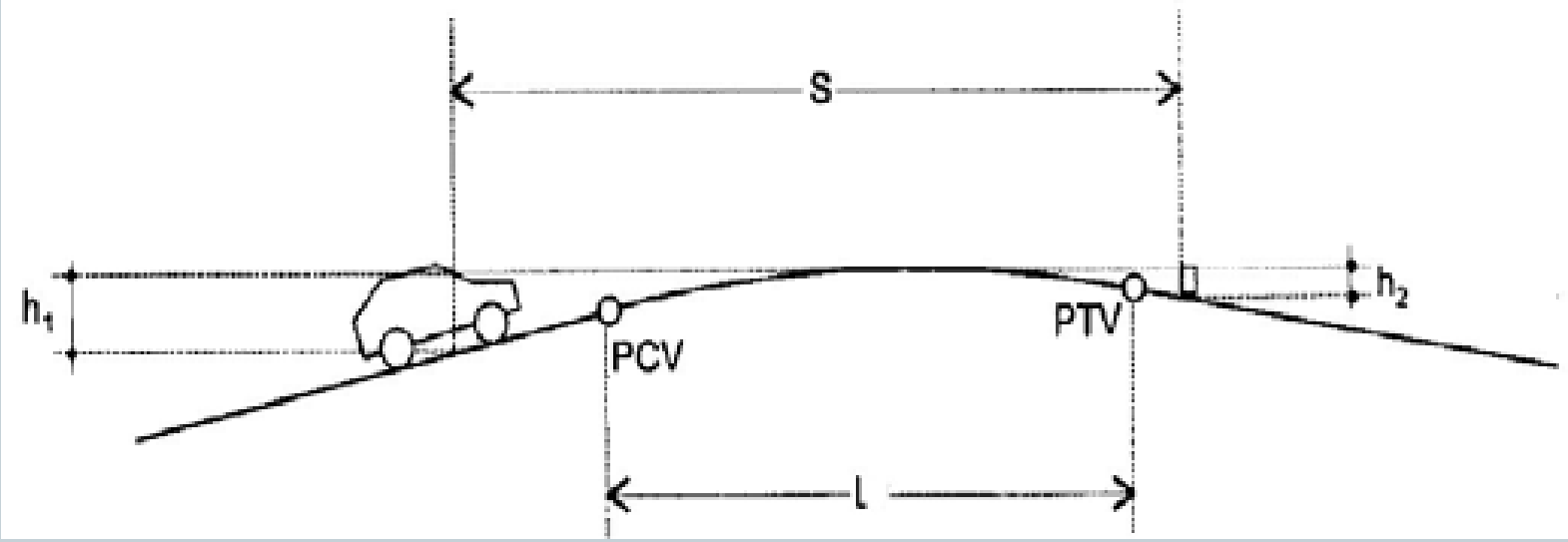
$$Lc_{min} = \frac{\Delta_i \cdot Df^2}{2 \cdot \left(h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}\right)}$$ (Expressão geral)

$$Lc_{min} = \frac{D_P^2}{4{,}12} \times \Delta$$

L_{min} = comprimento mínimo da curva vertical (m);
D_p = distância de visibilidade de parada (m);
Δ = diferença algébrica de rampas (%) = $i_1 - i_2$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- **2º CASO:** O motorista, antes da curva, enxerga o obstáculo situado após a curva (S = Dp > L)



$$Lc_{min} = 2 \cdot Df - \frac{2}{\Delta_i} \cdot \left(h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}\right)$$

(Expressão geral)

$$Lc_{min} = 2 \cdot Df - \frac{4{,}12}{\Delta_i}$$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- **OBSERVAÇÕES:**

1. Por ordem prática recomenda-se que os valores de ***Lc*** nunca sejam inferiores ao obtido pelo critério do mínimo valor absoluto.

$$\boxed{Lc \geq 0{,}6 \cdot V} \qquad V \rightarrow km/h$$

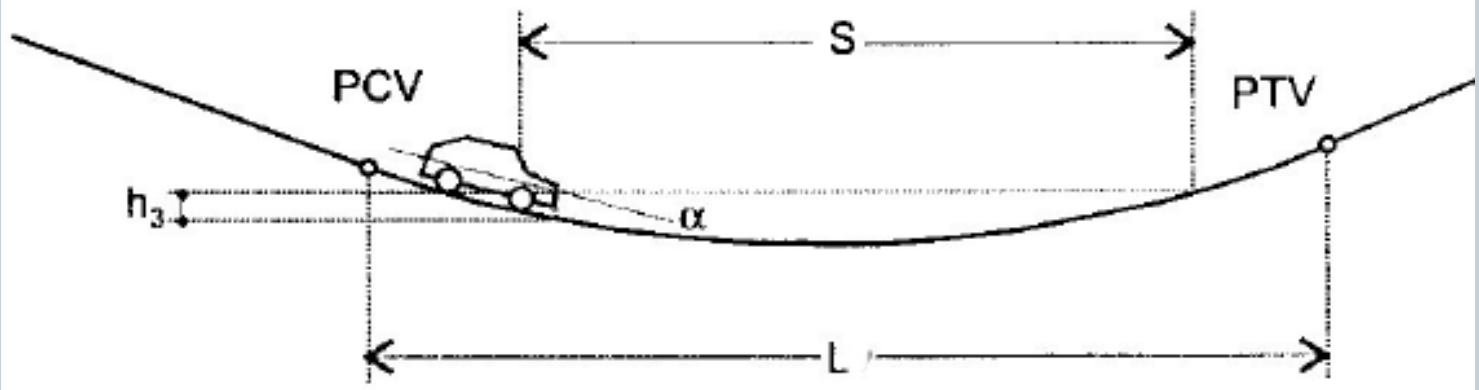
2. A fim de facilitar os cálculos para locação da curva vertical, recomenda-se aproximar os valores de ***Lc*** para se obter estaca inteira ou +10.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

✓ Visibilidade nas Curvas Verticais Côncovas:

- Durante o dia e no caso de pistas iluminadas artificialmente, geralmente não ocorrem problemas de visibilidade. Para pistas não iluminadas, aplica-se o critério da visibilidade noturna, ou seja, a pista deve ser iluminada à distância de visibilidade de parada pelo farol do veículo, por hipótese situado a h3 = 0,61m acima do plano de pista, supondo que seu facho luminoso diverge de α = 1° do eixo longitudinal do veículo.

- **1º CASO:** Faróis do veículo e o ponto mais distante iluminado estão dentro da curva
- (S = Dp <= L)

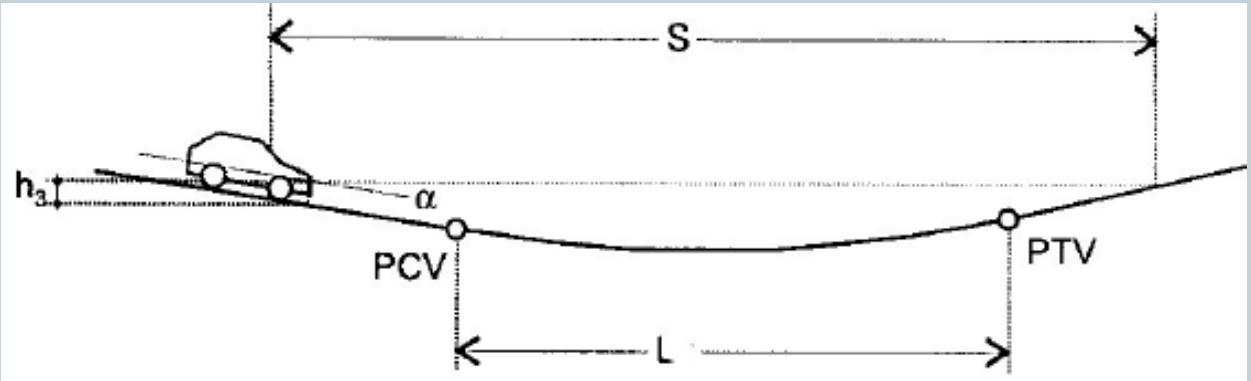


$$Lc_{\min} = \frac{D_P^2}{1{,}22 + 0{,}035 \times D_P} \times |\Delta|$$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- **2º CASO:** Faróis do veículo, situados antes da curva, iluminam o ponto mais distante, localizado após a curva.
- (S = Dp >= L)

$$Lc_{\min} = 2 \times D_P - \frac{1{,}22 + 0{,}035 \times D_P}{|\Delta|}$$



- Para aumentar a segurança e o conforto das estradas, deve-se usar curvas côncavas com os maiores comprimentos possíveis, a adoção de valores próximos aos mínimos admissíveis leva à curvas muito curtas que devem ser evitadas sempre que possível.

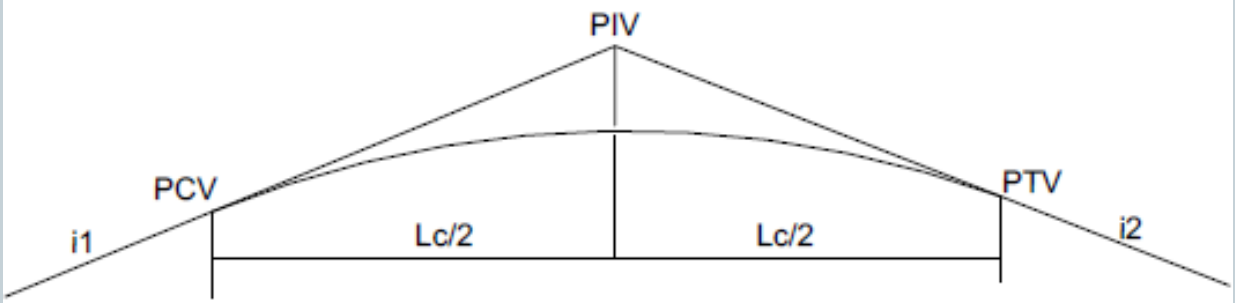
- Em curvas de mesmo raio, o conforto nas convexas é maior do que nas côncavas, porque nas primeiras o efeito da força da gravidade e centrífuga tende a compensar-se ao passo que nas côncavas tendem a somar-se.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

9. ***CÁLCULO DAS COTAS DOS PONTOS DAS CURVAS VERTICAIS PARABÓLICAS:***

- Sendo a parábola simples de eixo vertical uma das curvas que melhor atende as exigências de um bom perfil trataremos apenas do cálculo dessas curvas.
- A projeção horizontal da distância entre os pontos PCV e PIV é igual à projeção horizontal da distância entre os pontos PIV e PTV, que é igual a Lv/2.

Est. do PCV = est. do PIV - Lc/2



Curva Vertical Parabólica

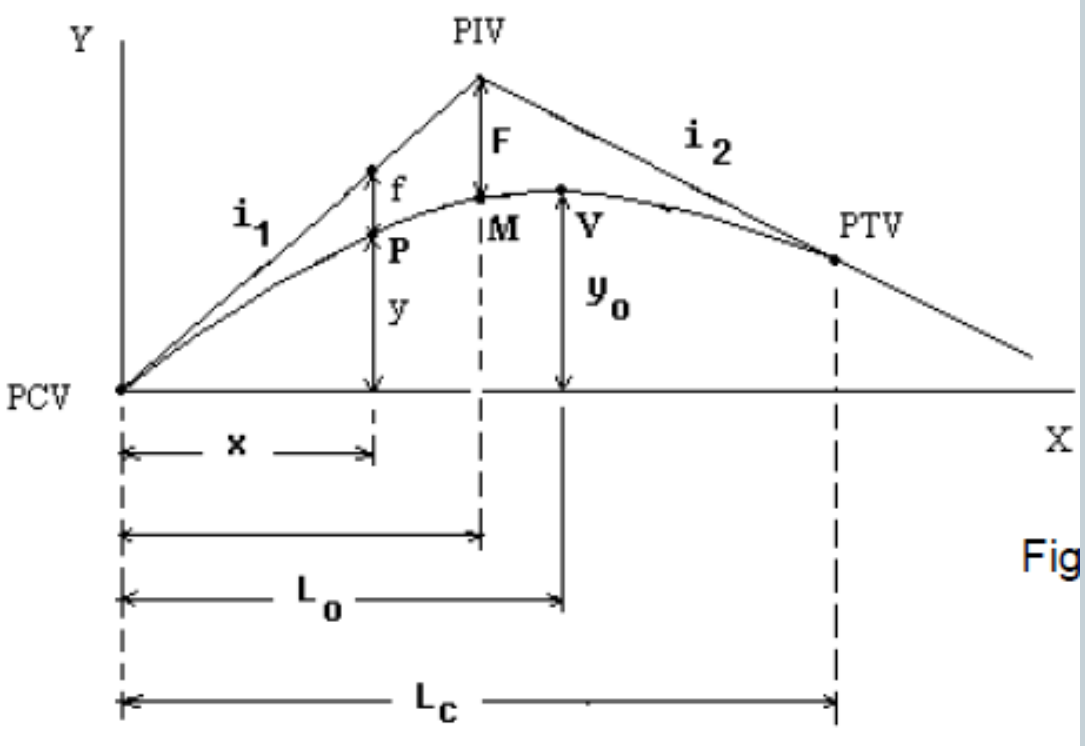
Est. do PCV = est. do PIV + Lc/2

Cota do PCV = cota do PIV - $(i_1 . Lc)/2$

Cota do PCV = cota do PIV + $(i_1 . Lc)/2$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

a) **Cálculo das Cotas e flechas das parábola simples:**



Fig

- **Equação da parábola: $y = ax^2 + bx + c$**

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

- Determinação dos coeficientes a, b, c da equação da parábola:

1. Na origem do sistema de eixos (PCV), temos:

X = 0

Y = 0 ⇒ C = 0

2. A derivada da curva no ponto PCV é igual à inclinação da reta tangente à curva:

$$\frac{d}{dx}(ax^2+bx+c) = i_1 \quad \Rightarrow \quad \left.\begin{array}{l} 2ax + b = i_1 \\ x = 0 \end{array}\right\} \quad b = i_1$$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

3. A derivada da curva no ponto PTV é igual à inclinação da reta tangente à curva:

$$\frac{d}{dx}(ax^2+bx+c) = i_2 \quad \Rightarrow \quad \left.\begin{array}{l} 2\,ax + b = i_2 \\ x = L_c \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} 2aL_c + i_1 = i_2 \\ a = \dfrac{(i_2 - i_1)}{2.L_c} \end{array}$$

- **Substituindo os valores de a, b, c e fazendo Δi = i1 – i2, a equação geral da parábola é :**

$$y = \frac{-\Delta_i}{2.L_c}.x^2 + i_1 . x$$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AXIAIS ALTIMÉTRICAS

10. ***CADERNETA DE NOTA DE SERVIÇO:***

Ponto	Estacas	Cotas (m)		Ordenadas da Parábola (f)	Greide de Projeto (GP) (curva)	Cotas Vermelhas, *h* (m)	
		Terreno (CT)	Greide reto (GR)			Corte (+)	Aterro (-)

- Greide de Projeto (GP): GP = GR +- f
- Cotas vermelhas (h): altura do corte ou aterro, no eixo.
- h = CT - GP