

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE E TOPOGRAFIA - STT**

**PROJETO DE ESTRADAS**

**PERFIL LONGITUDINAL  
ELEMENTOS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS**

**3**

NOTAS DE AULA

**PROF. CARLOS REYNALDO TOLEDO PIMENTA**

SÃO CARLOS 1981  
PUBLICAÇÃO 026/95  
REIMPRESSÃO

ÍNDICE

PAG.

1. PERFIL LONGITUDINAL.....3

1.1. Generalidades .....3

1.2. Desenho do perfil.....4

1.3. Generalidades sobre o comportamento dos veículos nas rampas.....4

1.4. Controle de rampas para projeto.....7

1.4.1. Inclinações máximas e mínimas.....7

1.4.2. Comprimento crítico das rampas.....11

1.5. Curvas de concordância vertical.....15

1.5.1. Propriedades das curvas verticais parabólicas.17

1.5.2. Escolha do comprimento das curvas verticais...18

1.5.3. Comprimento mínimo das curvas verticais.....18

1.5.4. Cálculo das cotas dos pontos das curvas parabólicas.....24

1.6. Considerações gerais sobre o perfil longitudinal.....28

2. PERFIL TRANSVERSAL - SEÇÕES.....30

2.1. Faixas de tráfego e pistas de rolamento..... 30

2.2. Acostamentos.....33

2.3. Separados centrais.....34

2.4. Taludes.....34

2.5. Faixa de domínio.....35

2.6. Pistas duplas independentes.....36



## 1. PERFIL LONGITUDINAL

### 1.1. GENERALIDADES

O perfil de uma estrada deve ser escolhido de forma tal que permita, aos veículos que a percorrem, uma razoável uniformidade de operação.

A escolha do perfil ideal esta intimamente ligado ao custo da estrada, especialmente ao custo da terraplenagem. Condições geológicas e geotécnicas das áreas atravessadas pela estrada vão ter grande influência na escolha do perfil, pois, tanto na execução dos cortes como dos 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.

Assim, muitas vezes, a diminuição da 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, existência de pontos obrigados como: concordância com outras estradas, gabaritos mínimos de obras civis, cotas mínimas de aterros necessárias à colocação da estrada acima dos níveis de enchentes do local, etc.

Como exemplo, lembramos os serviços complementares necessários à redução de recalques ou garantia da estabilidade de aterros pesados executados sobre solos moles, a estabilização de taludes de cortes altos, a necessidade de execução de cortes em rocha etc. Todos esses serviços são geralmente caros em relação ao custo normal da terraplenagem.

Analogamente ao projeto em planta é sempre desejável que o perfil seja razoavelmente homogêneo, isto é, que as rampas não tenham grandes variações de inclinação e que as curvas de concordância vertical não tenham raios muito diferentes; entretanto a existência de variações acentuadas

na topografia da região atravessada obriga, muitas vezes, a execução de trechos de perfil com características técnicas bem diferentes.

## 1.2. DESENHO DO PERFIL

Ao contrário da planta, o perfil é representado sobre o desenvolvimento de uma superfície cilíndrica gerada por uma reta vertical, superfície essa que contém o eixo da estrada em planta.

A figura 1 ilustra o processo de obtenção do perfil longitudinal.

Nessa figura podemos observar uma linha pontilhada, denominada perfil do terreno, que é a interseção da superfície cilíndrica referida com a superfície do terreno.

A linha contínua que define o perfil do projeto é denominada greide. Assim, o greide é a linha curva representativa do perfil longitudinal do eixo da estrada acabada, composto de trechos retos denominados rampas concordadas entre si por trechos denominados curvas de concordância vertical.

A figura 2 mostra um exemplo de perfil longitudinal de estrada e a nomenclatura usual de projeto.

## 1.3. GENERALIDADES SOBRE O COMPORTAMENTO DOS VEÍCULOS NAS RAMPAS.

. veículos de passageiros: rampas até 7 a 8 % tem pouca influência no comportamento desses veículos.

A operação de veículos de passageiros em rampas de até 3% é praticamente a mesma que nos trechos em nível, havendo apenas uma pequena perda de velocidade para alguns veículos.

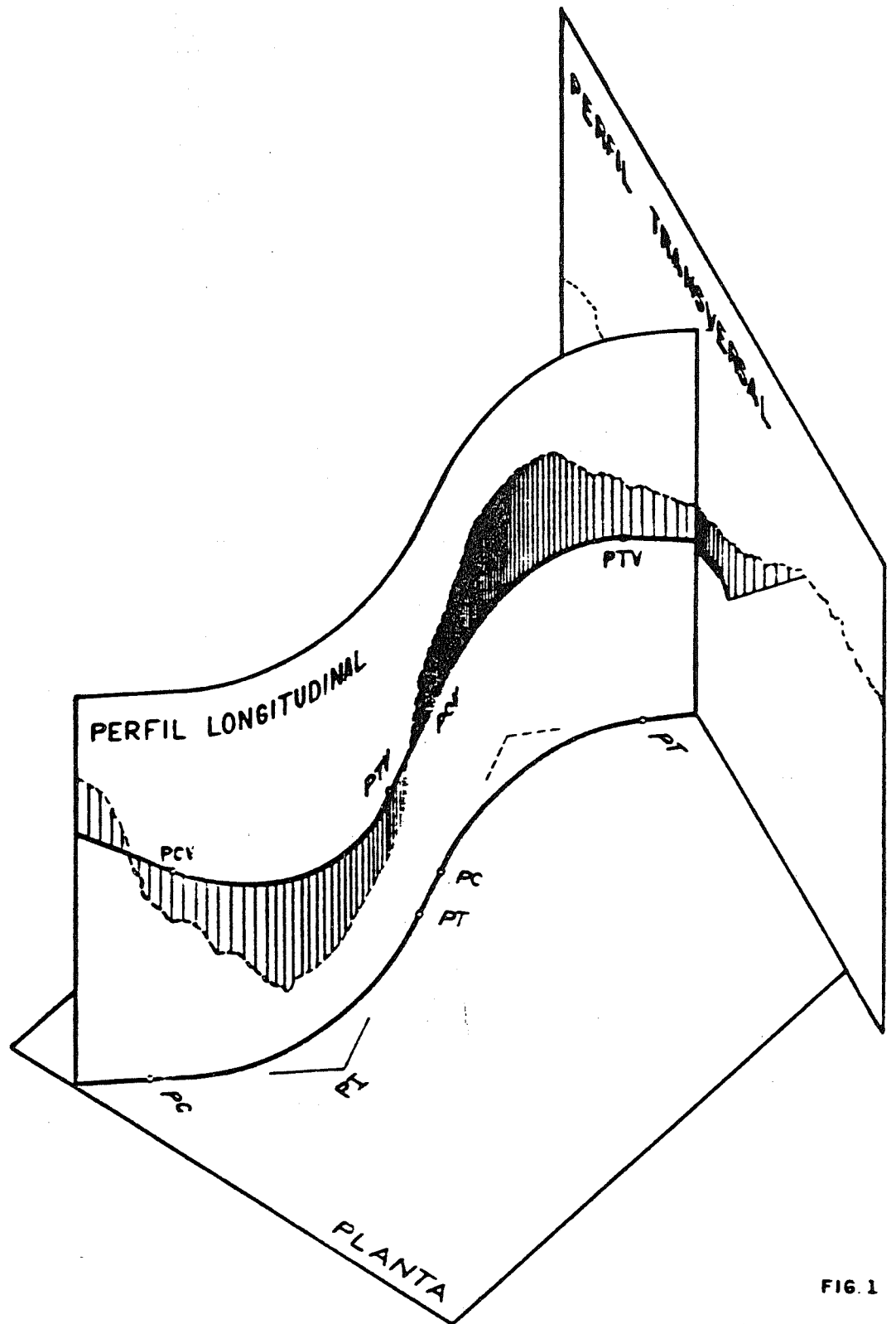


FIG. 1

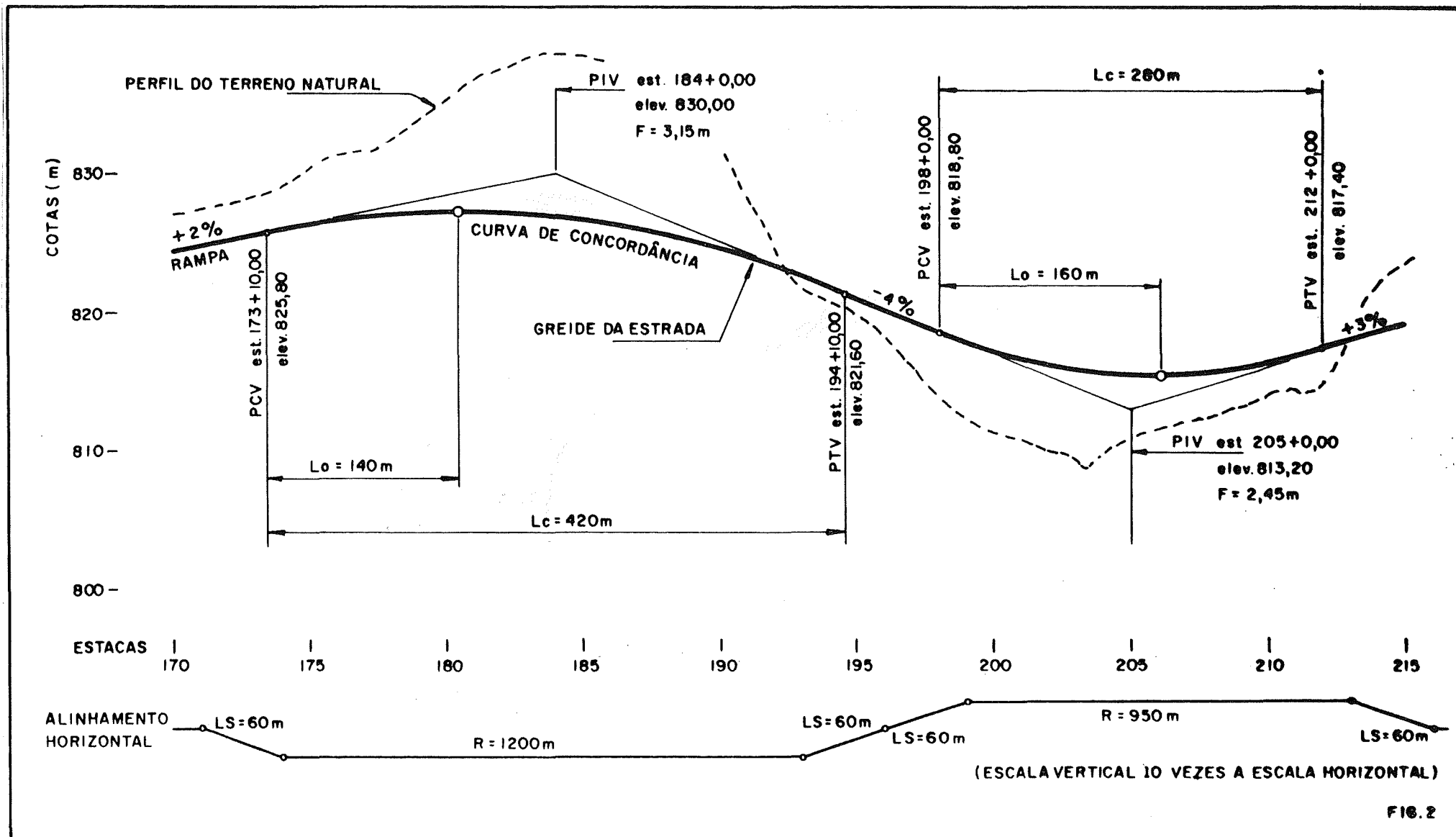


FIG. 2

- . caminhões: a perda de velocidade em rampas é bem maior do que a dos veículos de passageiro.

Nas rampas ascendentes a velocidade desenvolvida por um caminhão depende de vários fatores: inclinação e comprimento da rampa, peso e potência do caminhão, velocidade de entrada na rampa, habilidade e vontade do motorista.

O tempo de percurso dos caminhões em uma determinada rampa cresce a medida que decresce a relação potência/peso, assim, veículos com a mesma relação potência/peso tem aproximadamente o mesmo comportamento nas rampas.

Os gráficos da fig. 3 mostram as perdas de velocidade em rampas, obtidas p/ alguns tipos de caminhões brasileiros.

Como podemos observar na figura 3 caminhões leves e médios conseguem manter velocidades da ordem de 30 km/h em rampas de até 7% e caminhões pesados conseguem manter apenas velocidades da ordem de 15 km/h nessas rampas.

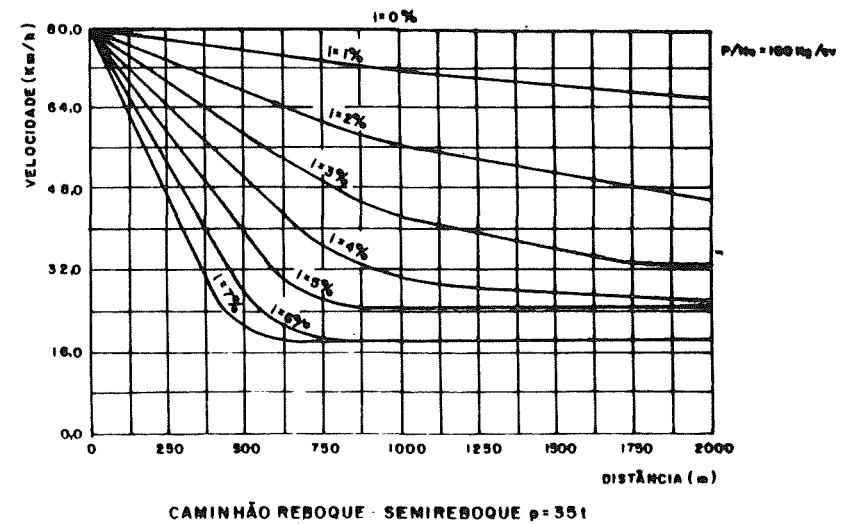
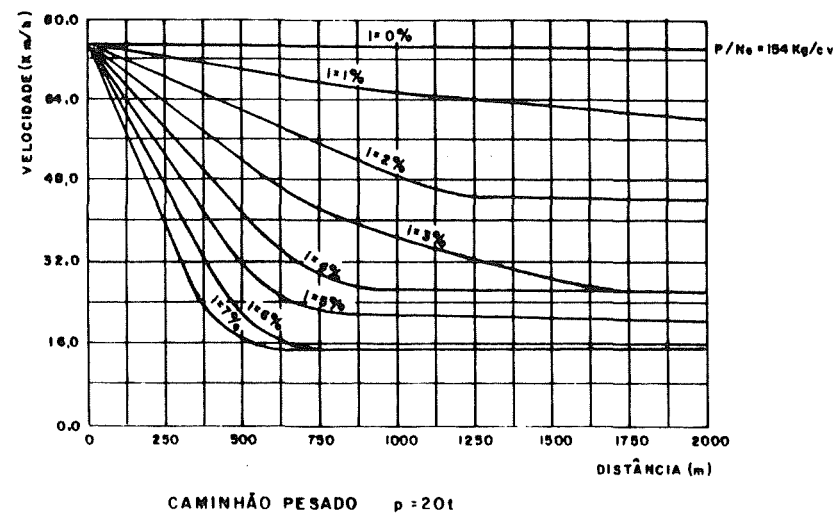
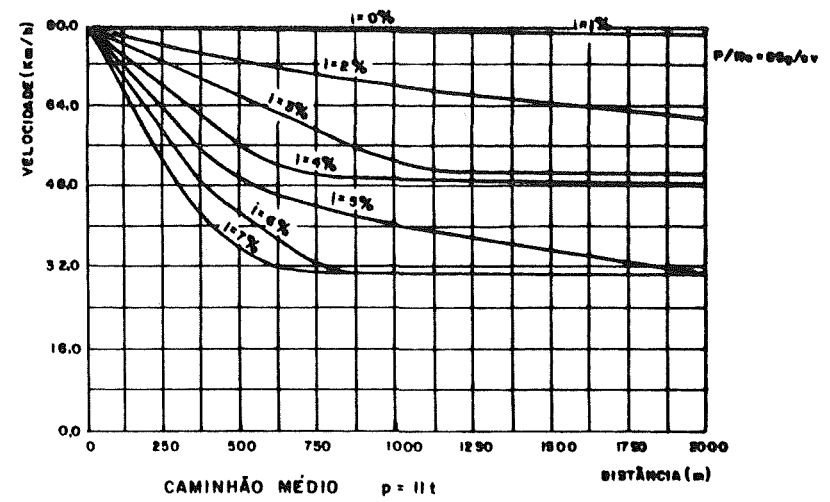
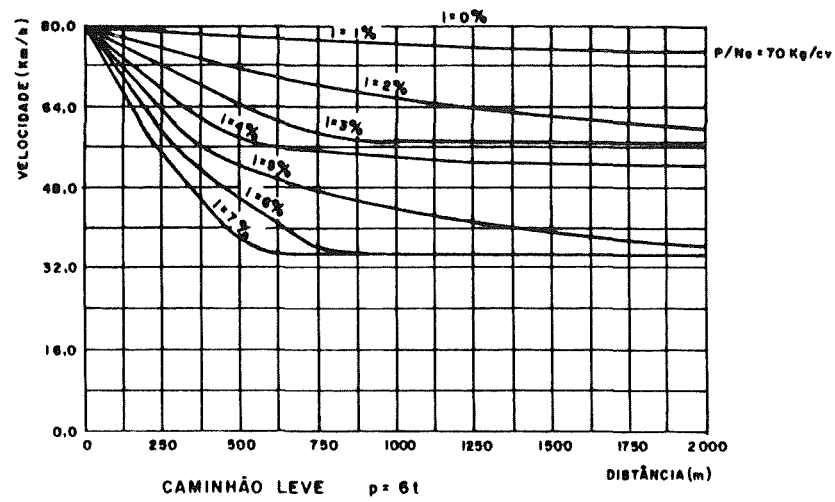
#### 1.4. CONTROLE DE RAMPAS PARA PROJETO

##### 1.4.1. 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 máximas com até 3% permitem o movimento dos veículos de passageiro sem restrições, afetam muito pouco a velocidade dos caminhões leves e médios e são indicados para estradas com alta velocidade de projeto.

Rampas máximas com até 6% tem pouca influência no movimento dos veículos de passageiro, mas afetam bastante o movimento de caminhões, especialmente caminhões pesados e são aconselhadas para estradas com baixa velocidade de projeto.



PERDA DE VELOCIDADE EM RAMPA

Fig 3



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 muito especiais, onde uma grande redução de custos justifique a deficiência do projeto.

A tabela 1 mostra valores das inclinações máximas das rampas aconselhadas pela AASHO 1 para projeto das estradas principais nos Estados Unidos.

*nos casos tems que tu cujas  
bencauar ou convexos*

TABELA 1 - INCLINAÇÃO MÁXIMA DAS RAMPAS

Condições Topográficas Locais	Inclinação Máxima das Rampas em %							
	Velocidade de Projeto em km/h							
	50	65	80	95	105	110	120	130
Plana	6	5	4	3	3	3	3	3
Ondulada	7	6	5	4	4	4	4	4
Montanhosa	9	8	7	6	6	5	-	-

A tabela 2 mostra valores da inclinação máxima das rampas aconselhados pelo DNER e DER de São Paulo.

*nos casos min } 17. (diagonem)  
bencauar*

TABELA 2 - INCLINAÇÃO MÁXIMA DAS RAMPAS

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

Para estradas secundárias os valores da tabela 1 poderão ser acrescidos de até 2%.

Rampas mais inclinadas poderão ser usadas em casos especiais, como rampas de acesso etc, desde que seja suficientemente curtas.

Em pistas com um único sentido de tráfego, em rampas de descida com comprimento inferior à 200 m os valores da tabela 1 poderão ser acrescidos de 1%.

Quando a topografia da região atravessada for favorável, e as condições locais permitirem, poderão ser usados trechos em nível (rampa de inclinação 0%) desde que existam condições para a perfeita drenagem da pista.

Nos trechos de estrada onde não existam condições para a retirada de água no sentido transversal à pista, por exemplo: trechos em cortes extensos, pistas com guias laterais etc, nesses trechos o perfil deverá garantir condições mínimas para o escoamento das águas superficiais no sentido longitudinal. Nesses casos é aconselhável o uso de rampas com inclinação não inferior a 0,5% nas estradas de pavimento de alta qualidade e inclinação não inferior a 1% em estradas com pavimento de média e baixa qualidade.

### 1.4.2. COMPRIMENTO CRÍTICO DAS RAMPAS

Trechos de estrada com <sup>sucessão de rampas em l</sup>sucessão de rampas muito curtas devem ser evitadas, pois criam a necessidade de um grande número de curvas verticais e conseqüentemente problemas de visibilidade para ultrapassagem, que reduzem a capacidade de tráfego e afetam a segurança da estrada.

Por outro lado, <sup>reduz</sup>o uso de rampas com grande extensão <sup>provoca a redução de velocidade dos veículos pesados, dificultando o livre movimento dos veículos mais rápidos, também reduzindo a capacidade de tráfego da estrada e afetando sua segurança.</sup> provoca a redução de velocidade dos veículos pesados, dificultando o livre movimento dos veículos mais rápidos, também reduzindo a capacidade de tráfego da estrada e afetando sua segurança.

O comprimento máximo de uma rampa não é um elemento que possa ser pré-fixado em um projeto, pois em regiões montanhosas a topografia local pode exigir o uso de rampas de grande extensão.

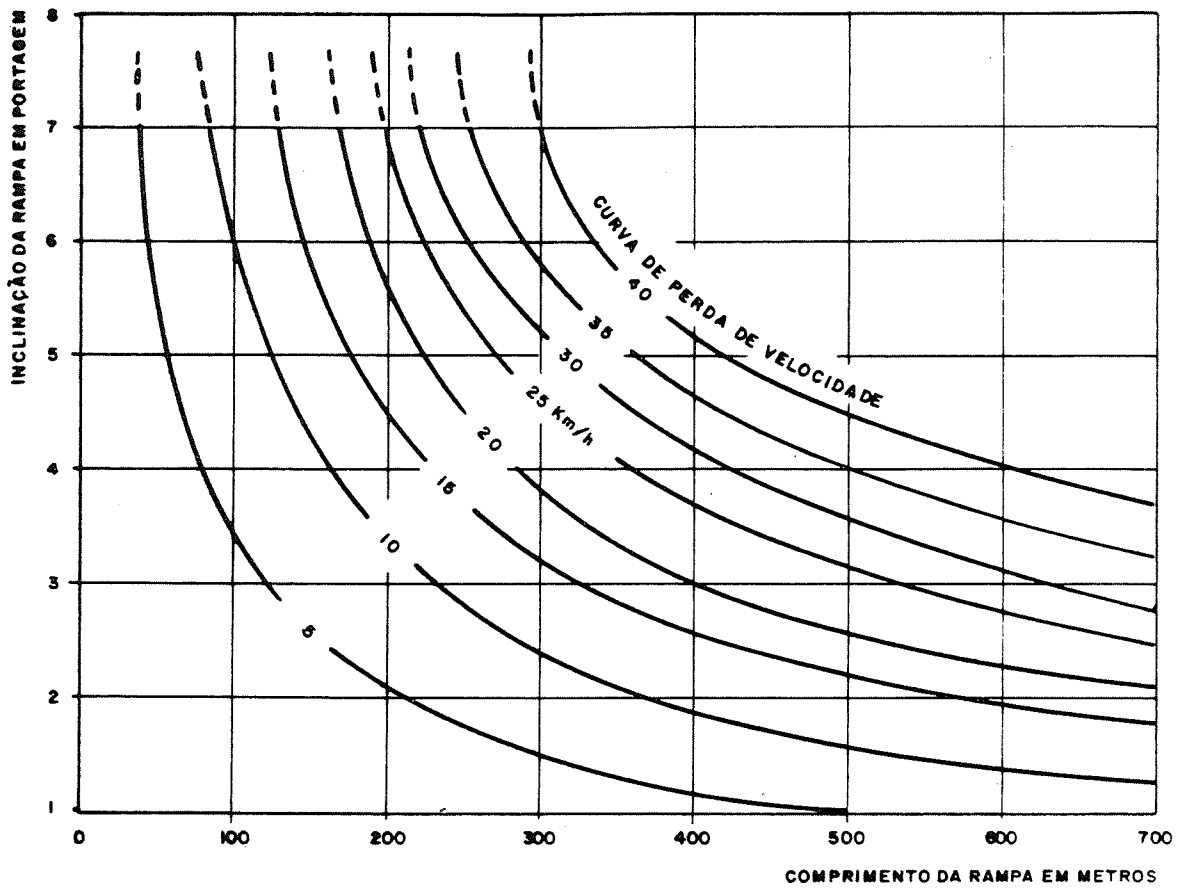
O termo "comprimento crítico de uma rampa" é usado para o máximo comprimento de uma determinada rampa ascendente, na qual, um veículo padrão pode operar sem uma excessiva perda de velocidade.

O valor do comprimento crítico deve ser determinado em função dos seguintes fatores:

- . Relação potência/peso do caminhão tipo, escolhido como representativo do tráfego da estrada.
- . Perda de velocidade do caminhão tipo na rampa.
- . Velocidade de entrada na rampa, fator que vai depender das condições do trecho que precede a rampa considerada.
- . Menor velocidade com a qual o caminhão tipo possa chegar ao fim da rampa sem prejuízos acentuados do fluxo de tráfego da estrada.

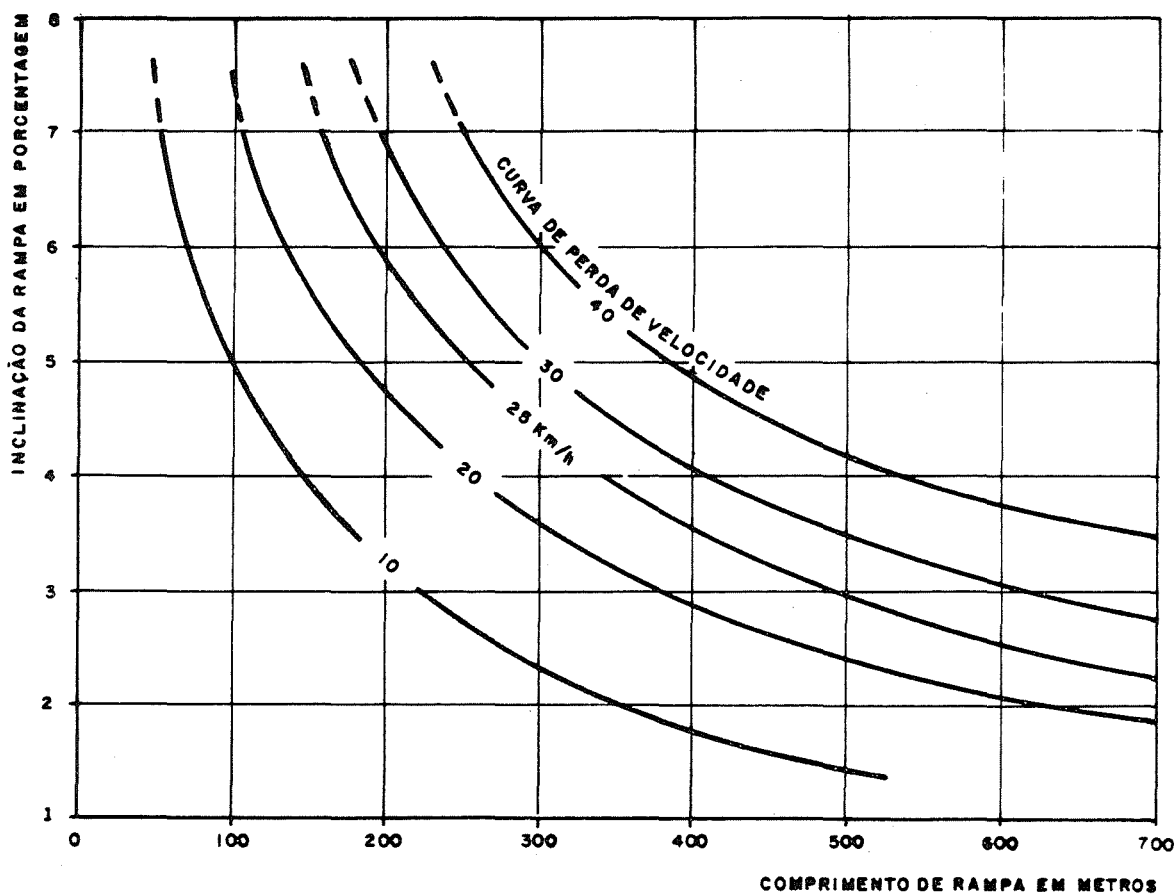
O gráfico da figura 4, obtido para um caminhão nacional de 20 ton e velocidade de entrada na rampa de 80 km/h, permite a determinação do comprimento crítico em função da inclinação da rampa e do valor da perda de velocidade estabelecida.

A figura 5 mostra o mesmo gráfico da figura 4, obtido pela AASHO [1] para um caminhão americano de 20 ton.



COMPRIMENTO CRÍTICO DAS RAMPAS  
(para caminhão tipo de 20t)

fig 4



COMPRIMENTO CRÍTICO DAS RAMPAS  
(AASHO caminhão 400 lb/HP)

fig. 5

Determinação do comprimento crítico com o uso do gráfico da figura 4 (ou figura 5).

1º) O uso do gráfico implica na aceitação do caminhão utilizado para elaboração do gráfico, como caminhão tipo.

2º) Escolhe-se a maior perda de velocidade com a qual o veículo tipo possa chegar ao fim da rampa sem causar prejuízos significativos à corrente de tráfego da estrada (geralmente 25 km/h).

3º) Entra-se no gráfico com o valor da inclinação da rampa ( $i$ ) e tira-se o comprimento crítico em função da curva de redução de velocidade escolhida.

Os gráficos das figuras 4 e 5 também podem ser utilizados para a determinação do comprimento crítico mesmo quando a rampa é precedida por outra rampa ascendente, nesse caso devemos usar o seguinte procedimento:

- . Fixar a redução máxima de velocidade escolhida ( $\Delta v$ );

- . Calcular a redução de velocidade na rampa que precede a rampa analisada (entrando no gráfico da figura 4 ou 5 com a inclinação e comprimento da rampa precedente e tirando a redução da velocidade do veículo tipo nessa rampa ( $\Delta 1v$ );

- . Calcular o comprimento crítico da rampa analisada entrando novamente no gráfico com a inclinação da rampa e com a perda de velocidade correspondente ao valor  $\Delta v - \Delta 1v$ .

Quando a rampa analisada é precedida por uma rampa descendente que permita o embalo dos veículos pesados, esses, geralmente, aumentam suas velocidades na entrada da rampa de forma a conseguir vencê-la com menor perda de velocidade, esse é um fator novo que pode ser considerado no cálculo do comprimento crítico.

Quando projetamos rampas com comprimento maior que o comprimento crítico e desejamos que o tráfego tenha, nesses locais, um escoamento normal, precisamos criar, a partir do ponto onde a rampa atinge o comprimento crítico, uma faixa de tráfego adicional para os veículos lentos.

Em estradas com múltiplas faixas de tráfego, velocidades baixas de caminhões podem ser mais toleradas do que em estradas de duas faixas de tráfego, com tráfego nos dois sentidos, pois existem nas pistas de múltiplas faixas maiores oportunidades para ultrapassagem, reduzindo os congestionamentos ocasionados pela espera para ultrapassar um veículo lento.

As estradas devem ser projetadas de forma que a redução de velocidade dos caminhões nas subidas não causem condições intoleráveis para os veículos que o seguem tentando ultrapassá-lo.

O comprimento crítico obtido com o uso do gráfico da figura 4 ou 5 correspondente ao comprimento do trecho de rampa. Quando uma curva vertical faz parte do trecho de subida o valor obtido para o comprimento crítico deve ser corrigido para levar em conta a interferência da curva vertical.

Nas rampas precedidas por curvas verticais dos tipos II e III (ver figura 6), quando a diferença de inclinação das rampas não é muito grande, a medida do comprimento crítico deve ser feita a partir do PIV da curva.

Nas rampas precedidas por curvas do tipo I (ver figura 6), quando a diferença de inclinação das rampas for grande, 25% do desenvolvimento da curva vertical deve ser considerado como parte do comprimento crítico.

#### 1.5. CURVAS DE CONCORDÂNCIA VERTICAL

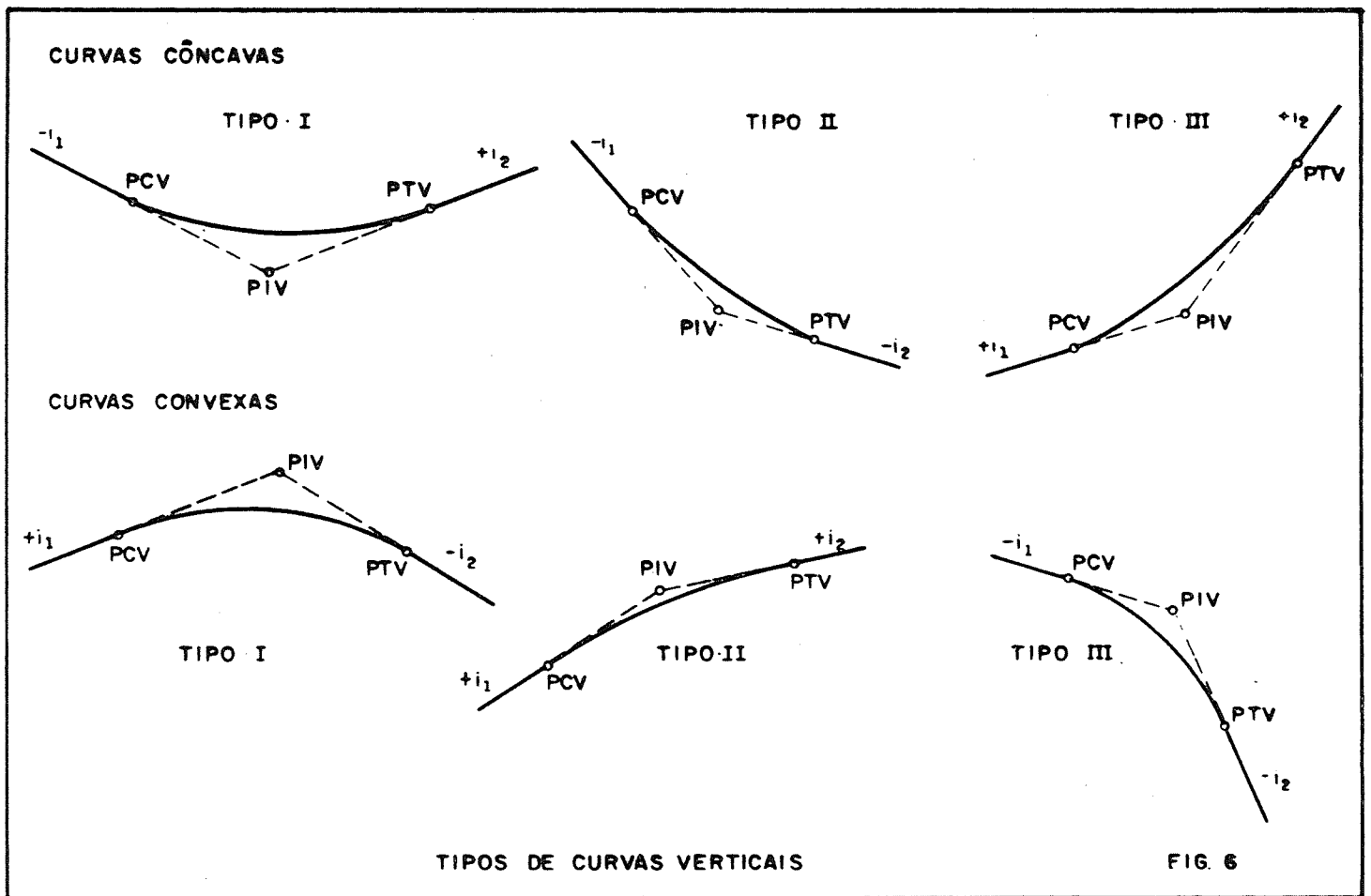
As curvas verticais tem por objetivo concordar as rampas projetadas e devem ser escolhidas de forma a atender às condições de segurança, boa aparência, boa visibilidade e permitir a drenagem adequada da estrada.

Problemas de drenagem devem ser cuidadosamente analisados em cada caso específico, especialmente nas curvas de tipo I (figura 6).

As curvas mais usadas como curvas de concordância vertical são: circunferência e parábolas.

A parábola simples de eixo vertical é uma das curvas mais usadas por dar uma boa aparência à curva, boa concordância entre as rampas e ser uma curva onde as cotas de seus diversos pontos pode ser facilmente obtida através de cálculos rápidos.

A figura 6 mostra os tipos usuais de curvas verticais.



TIPOS DE CURVAS VERTICAIS

FIG. 6

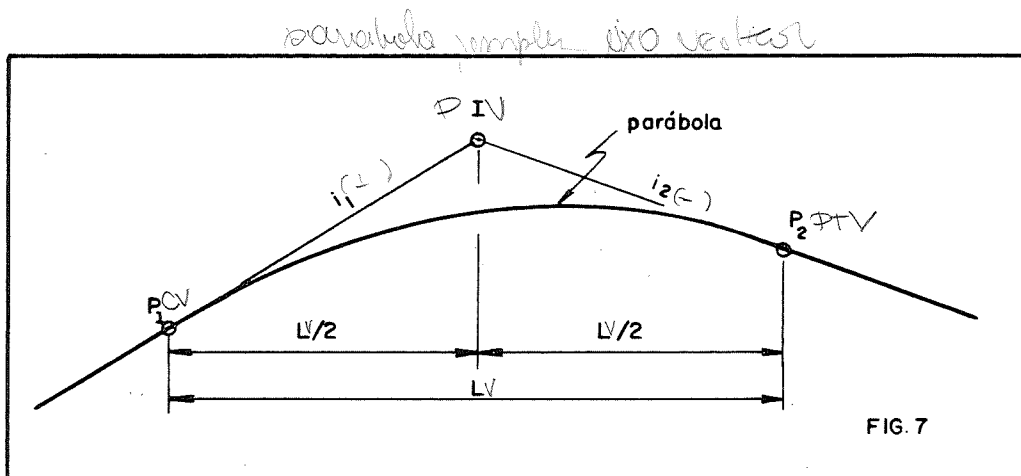


FIG. 7

$R =$  menor raio da parábola.  
 Que é no vértice.  
 $LV = RV \cdot i$   
 $i = i_2 - i_1$   
 De  $i_1 = i_2 \Rightarrow$  vértice = PIV



## 1.5.1. PROPRIEDADES DAS CURVAS VERTICAIS PARABÓLICAS

a) - O ponto I de interseção de duas tangentes à parábola, traçadas a partir de dois pontos quaisquer  $P_1$  e  $P_2$  pertencentes à parábola localiza-se de forma que as projeções dos segmentos  $\overline{P_1 I}$  e  $\overline{P_2 I}$  numa direção perpendicular aos diâmetros da parábola sejam iguais (figura 7).  $\overline{P_1 I} = \overline{P_2 I} = L/2$ .

- A medida do comprimento de uma curva é feita sobre a projeção horizontal da curva, porque as inclinações das rampas são usualmente pequenas.

b) - A porcentagem de variação do greide em pontos sucessivos é uma constante, para incrementos iguais da distância horizontal.

- Chamando-se de  $(\delta i)$  a diferença algébrica entre as inclinações das tangentes, e  $(Lv)$  o comprimento da curva, teremos:

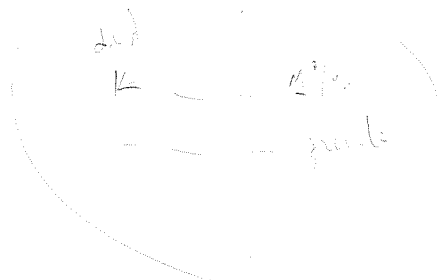
$$\text{Diferença algébrica das rampas } \delta i = i_2 - i_1 \quad (1)$$

Chamando-se de positiva (+) as rampas ascendentes no sentido do estaqueamento e de negativas (-) as rampas descendentes, o sinal de  $\delta i$  dado pela equação 1 dependerá do tipo de curva analisada e dos valores de  $i_1$  e  $i_2$ .

$$\frac{\delta i}{Lv} = \text{variação do greide por unidade de comprimento} \quad (2)$$

$$\frac{Lv}{\delta i} = k \text{ distância horizontal necessária para obter-se } 1\% \text{ de variação do greide.} \quad (3)$$

O valor de  $k$  é particularmente útil na determinação do ponto máximo ou do ponto mínimo nas curvas do tipo I. Esses são pontos onde a declividade da curva é zero e a distância desses pontos ao PCV é igual a  $k$  vezes o greide de aproximação.



### 1.5.2. ESCOLHA DO COMPRIMENTO DAS CURVAS VERTICAIS

O comprimento de uma curva vertical ( $L_c$ ) 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.

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 ( $R_v$ ) da curva vertical, que deve ser entendido como sendo o menor raio instantâneo da parábola, isto é, uma circunferência de raio ( $R_v$ ) igual ao raio instantâneo do vértice da parábola.

A equação 4 relaciona  $R_v$  e  $L_v$

$$L_v = \delta_i R_v \tag{4}$$

onde  $L_v$  = comprimento da curva vertical

$\delta_i$  = diferença algébrica dos greides das rampas

$R_v$  = menor raio instantâneo da curva parabólica

convenção: para as curvas convexas adota-se  $R_v$  negativo e para as curvas côncavas  $R_v$  positivo.

Um processo prático para a escolha do valor ( $L_v$ ) mais indicado para o caso, consiste no uso de gabaritos especiais para curvas verticais, que colocados sobre o desenho das rampas pré-estabelecidas definem o valor do raio ( $R_v$ ) que melhor atenda às condições do projeto. Obtido ( $R_v$ ), o valor ( $L_v$ ) poderá ser calculado com o uso da equação 4.

### 1.5.3. COMPRIMENTO MÍNIMO DAS CURVAS VERTICAIS

#### CURVAS VERTICAIS CONVEXAS

→ raio sempre +

nas tem problema visibilidade só a vista

O mínimo comprimento das curvas verticais convexas é determinado em função das condições necessárias de visibilidade da curva, isto é, é escolhido de forma a dar

(dentro da curva)

$$L_v > 0.4 : L_{v \min} = i(\pm) 2/4.25$$

.19.  
ao motorista o espaço necessário a uma frenagem segura, quando este avista um obstáculo parado em sua faixa de tráfego. Condições de conforto e boa aparência da curva são normalmente alcançadas quando a curva atende às condições mínimas de visibilidade.

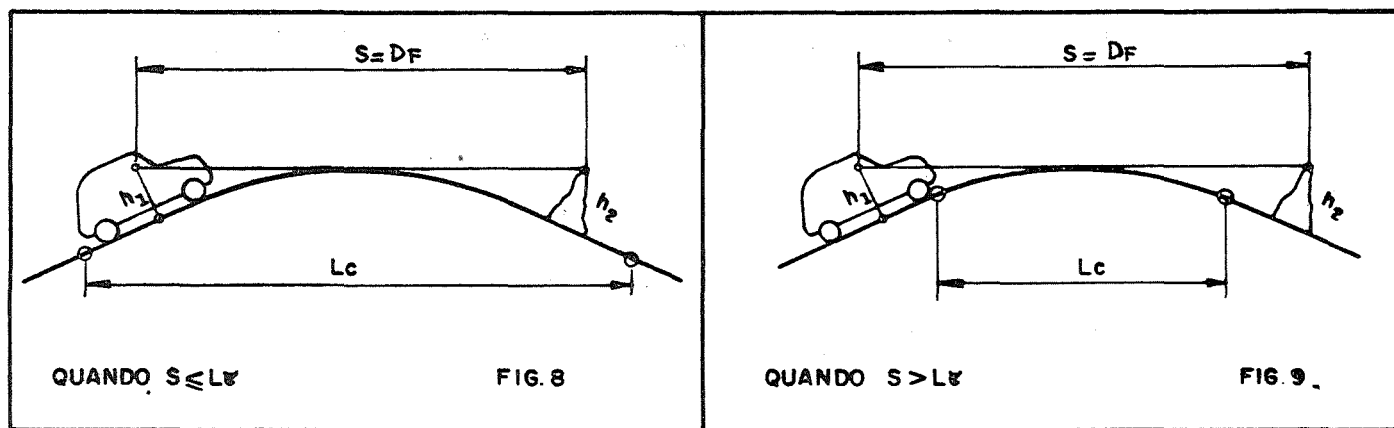
Assim, para todas as curvas convexas da estrada devemos ter condições de visibilidade que permitam que o motorista aviste um obstáculo sobre sua faixa de tráfego quando ainda estiver a uma distância  $\geq D_F$  do obstáculo.

sendo:  $D_F$  = distância mínima de frenagem

Para a determinação do menor valor do comprimento da curva vertical, de forma a ser respeitada a distância de visibilidade  $D_F$  precisamos primeiramente definir as grandezas  $h_1$  (altura da vista do motorista em relação à pista) e  $h_2$  (altura mínima do obstáculo) e considerar dois casos possíveis:

1 ) Quando a visibilidade na curva é menor que o comprimento da curva ( $L_v$ ). Nesse caso, na condição mais desfavorável, tanto veículo como obstáculo estarão sobre a curva (figura 8).

2 ) Quando a visibilidade na curva é maior que o comprimento da curva ( $L_v$ ). Nesse caso veículo e obstáculo estarão respectivamente sobre a rampa que precede e a que sucede a curva (figura 9).



10 Caso: Analisando a geometria da figura 8, podemos concluir:

$$L_{cmin} = \frac{\delta_i D_F^2}{2(h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2})} \quad (6)$$

onde  $L_{cmin}$  = menor comprimento ( $L_v$ ) da curva vertical

$$\delta_i = i_2 - i_1$$

$D_F$  = distância mínima de frenagem

$h_1$  = altura do observador em relação à pista

$h_2$  = altura do obstáculo

Para os valores usuais  $h_1 = 1,15$  m e  $h_2 = 0,15$  m, temos:

$$L_{cmin} = \frac{\delta_i D_F^2}{4.25} \quad \text{para } L_{cmin} \text{ e } D_F \text{ em metros} \quad (7)$$

20 Caso: Analisando a geometria da figura 9, podemos concluir:

$$L_{cmin} = 2D_F - \frac{2}{\delta_i} (h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2}) \quad (8)$$

Para os valores  $h_1 = 1,15$  m e  $h_2 = 0,15$  m, temos:

$$L_{cmin} = 2D_F - \frac{4,25}{\delta_i} \quad \text{para } L_{cmin} \text{ e } D_F \text{ em m} \quad (9)$$

O valor de  $L_{cmin}$  definido pelas equações 7 ou 9 pode ser obtido com o uso do gráfico da figura 10, entrando com os valores de  $\delta_i$  e  $V$  (velocidade de projeto) ou com o par de valores  $\delta_i$  e  $D_F$ .

Valores muito pequenos para  $L_v$  não são desejáveis, é aconselhável que os valores adotados para  $L_v$  nunca sejam inferiores aos dados pela equação 10.

$$L_v \geq 0,56 V_p \quad (10)$$

onde:  $L_v$  = comprimento da curva em metros

$V_p$  = velocidade de projeto em km/h

Ao contrário das curvas convexas, as curvas côncavas não apresentam problemas de visibilidade e o comprimento mínimo dessas curvas deve ser determinado em função da análise de condições de conforto, drenagem da curva e visibilidade noturna.

A distância de visibilidade noturna é adotada por vários projetistas e aconselhada pela AASHO. [1].

Quando um veículo percorre uma curva côncava à noite, a faixa de iluminação dos faróis depende da posição destes em relação ao solo e da abertura do feixe luminoso. Aconselha-se o uso de  $h_1 = 0,75$  m para a altura dos faróis em relação à estrada e  $\alpha = 1^\circ$  para o ângulo de abertura do feixe luminoso em relação ao eixo longitudinal do veículo (fig.11).

As equações 11 e 12 fornecem valores para a distância mínima de visibilidade para as curvas côncavas.

1º Caso: Quando o comprimento da curva é maior ou igual que a distância  $D_F$ :

$$L_v = \frac{\delta_i D_F^2}{(1,5 + 0,0355 D_F)} \quad (11)$$

2º Caso: Quando o comprimento da curva é menor que a distância  $D_F$ :

$$L_v = 2 D_F - \frac{(1,5 + 0,0355 D_F)}{\delta_i} \quad (12)$$

para  $L_v$  e  $D_F$  em metros e  $h_1 = 0,75$  m

Os valores de  $L_{\text{min}}$  definidos pelas equações 11 e 12 podem ser obtidos com o uso do gráfico da figura 10A.

*Diferença que, e. c. 540 m  
confortáveis*

*7/10*

### COMPRIMENTO MÍNIMO DAS CURVAS VERTICAIS CONVEXAS

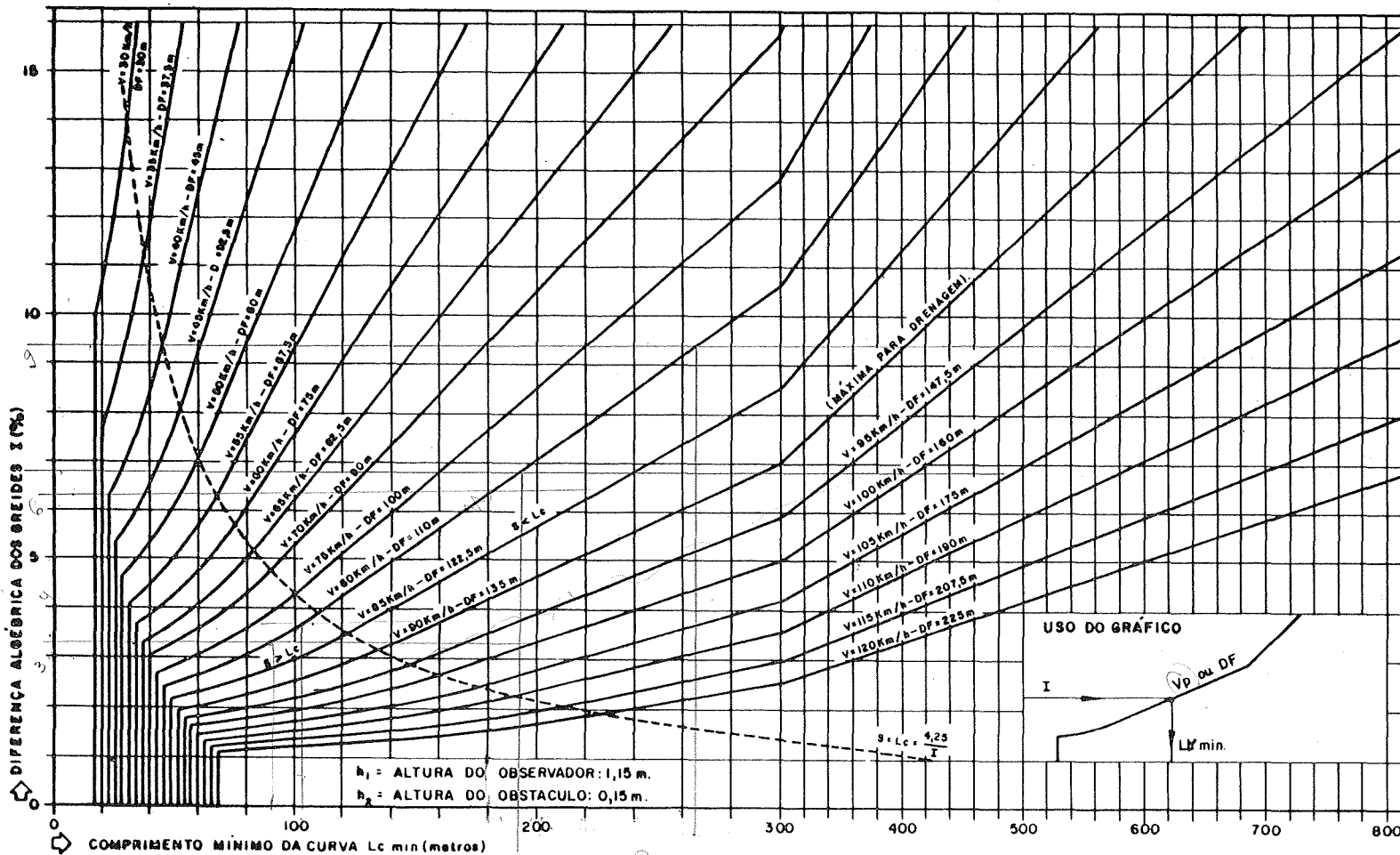
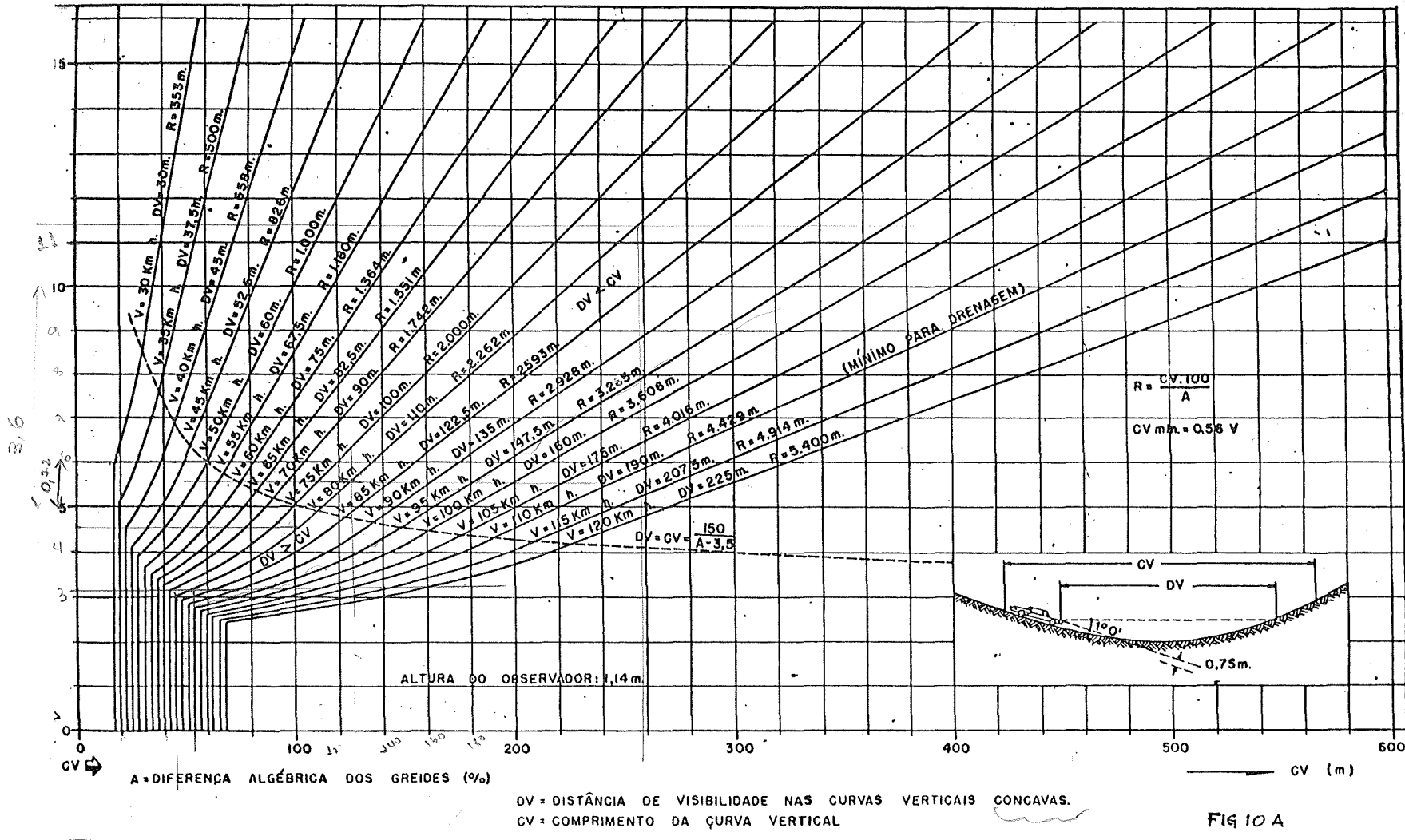
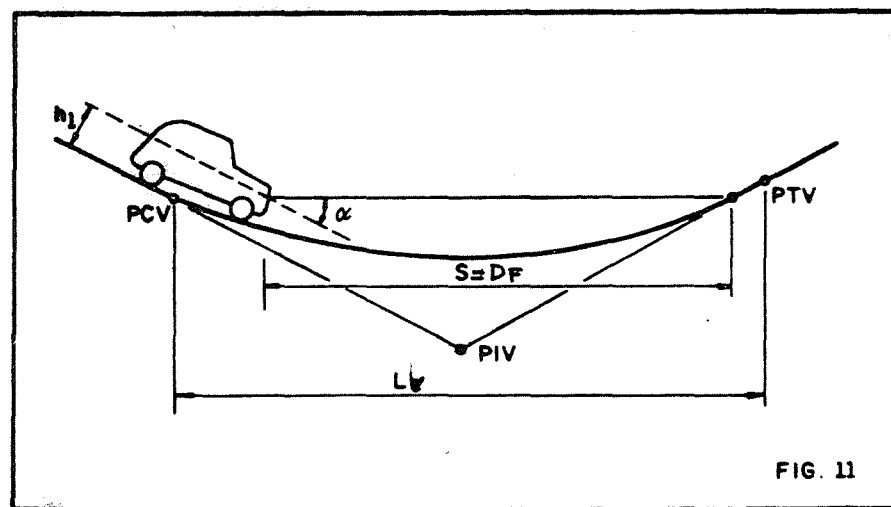


FIG. 10



1. — 0,12  
 0,2 — x

0,30 — 20 m  
 0,40 — 7



Analogamente às curvas convexas aconselha-se que os valores de  $L_v$  nunca sejam inferiores aos dados pela equação 10.

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 que nas côncavas, porque nas primeiras os efeitos das forças de gravidade e centrífuga tendem à compensar-se ao passo que nas côncavas tendem a somar-se.

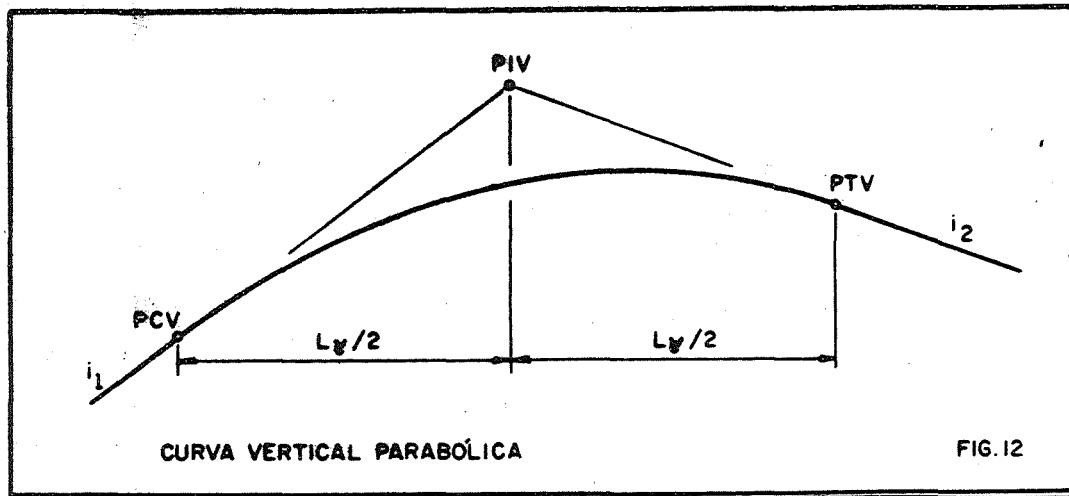


### 1.5.4. CÁLCULO DAS COTAS DOS PONTOS DAS CURVAS VERTICAIS PARABÓLICAS.

Sendo a parábola simples de eixo vertical uma das curvas que melhor atende as exigências de um bom perfil (ver item 1.5.) trataremos neste item apenas, do cálculo dessas curvas.

#### CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS CURVAS VERTICAIS PARABÓLICAS

- A projeção horizontal da distância entre os pontos PCV e PIV é igual à projeção horizontal da distância entre os pontos PIV e PTV igual à  $L_v/2$ , propriedade das parábolas, item 1.5.2.



- Estaca do PCV = estaca do PIV -  $L_v/2$
- Estaca do PTV = estaca do PIV +  $L_v/2$

- Cota do PCV = cota do PIV -  $\frac{i_1 L_v}{2}$

- Cota do PTV = cota do PIV +  $\frac{i_2 L_v}{2}$

**CÁLCULO DAS COTAS DOS PONTOS DA PARÁBOLA EM RELAÇÃO A UM SISTEMA DE EIXOS ORTOGONAIS COM ORIGEM NO PCV.**



Equação da parábola  $y = ax^2 + bx + c$  (13)

Determinação dos coeficientes a, b e c

- na origem (PCV)  $x = 0, y = 0$  logo  $c = 0$

- no PCV temos:  $\frac{dy}{dx} = i_1$  inclinação da tangente à curva

$2ax + b = i_1$

$x = 0$

$b = i_1$

- no PTV temos:  $\frac{dy}{dx} = i_2$  inclinação da tangente à curva

$2ax + b = i_2$

$x = Lv$

$2aLv + i_1 = i_2$

$a = \frac{i_2 - i_1}{2Lv}$

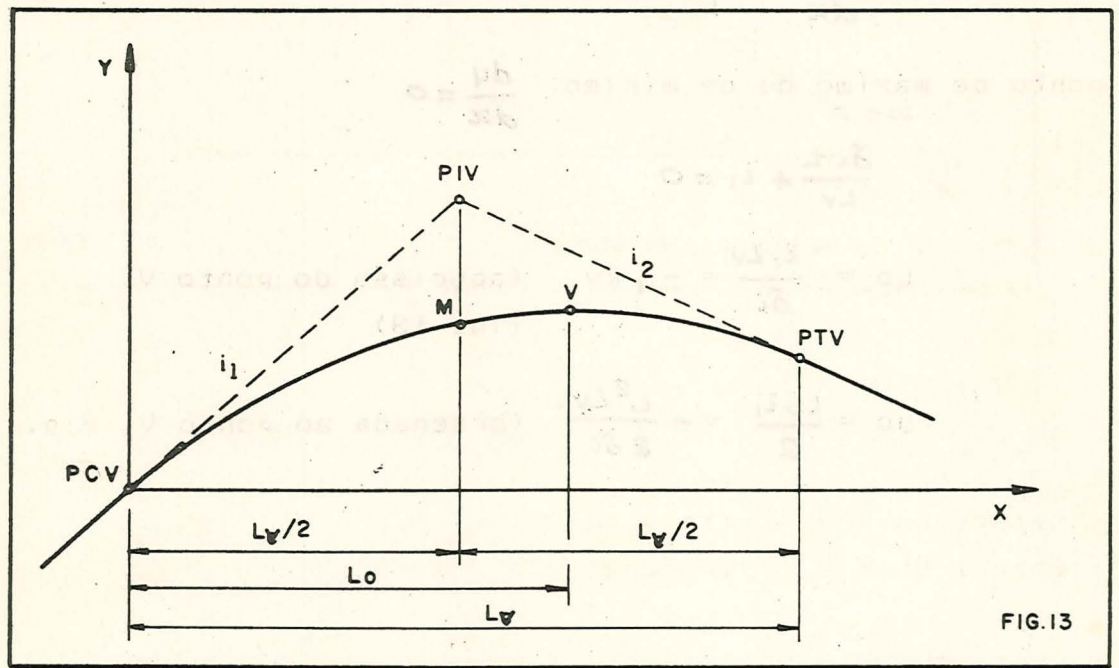
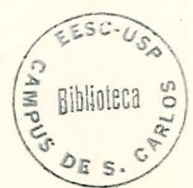


FIG.13



sendo  $\delta i = i_2 - i_1$  e chamando de  $L$  a abscissa  $x$  de um ponto genérico da curva teremos:

$$\text{Equação da curva } y = \frac{\delta i}{2Lv} L^2 + i_1 L \quad (14)$$

A equação 14 nos fornece a ordenada ( $y$ ) de qualquer ponto da curva de abscissa ( $L$ ) permitindo a determinação das coordenadas dos pontos da curva em relação ao PCV.

Coordenadas em relação ao PCV de alguns pontos singulares da curva:

$$\text{PCV: } x = 0, \quad y = 0$$

$$\text{PTV: } x = Lv, \quad y = (i_1 + i_2) Lv/2$$

$$\text{M: } x = Lv/2, \quad y = \frac{\delta i Lv}{8} + \frac{i_1 Lv}{2}$$

V: (ponto de ordenada máxima ou mínima da curva) da equação 14, temos:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\delta i L}{Lv} + i_1$$

ponto de máximo ou de mínimo:  $\frac{dy}{dx} = 0$

$$\frac{\delta i L}{Lv} + i_1 = 0$$

$$L_0 = -\frac{i_1 Lv}{\delta i} = -i_1 R_v \quad (\text{abscissa do ponto V, fig. 13}) \quad (15)$$

$$y_0 = \frac{L_0 i_1}{2} = -\frac{i_1^2 Lv}{2 \delta i} \quad (\text{ordenada ao ponto V, fig. 13})$$

CÁLCULO DAS COTAS DOS PONTOS DA PARÁBOLA EM RELAÇÃO ÀS COTAS DA PRIMEIRA RAMPA.

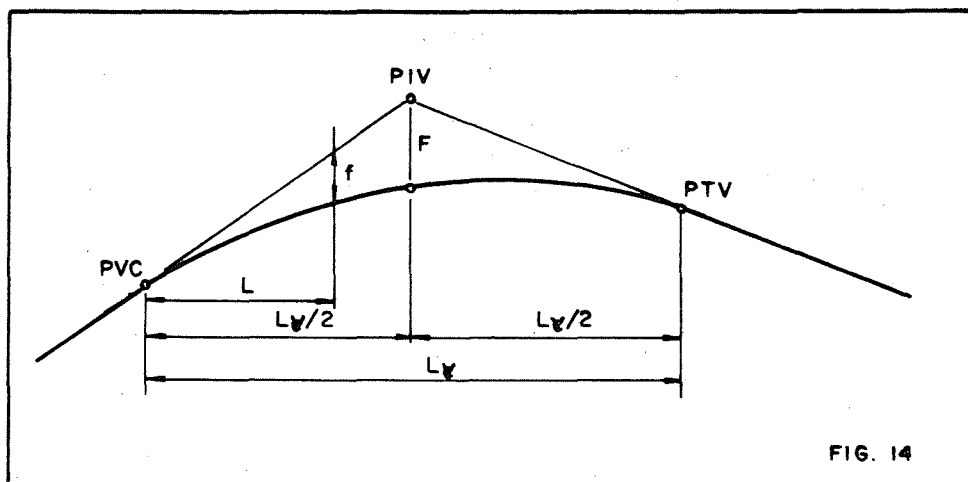


FIG. 14

Em relação ao sistema de coordenadas da figura 13, as ordenadas dos pontos da primeira rampa serão:

$$y_1 = i_1 L \tag{16}$$

a equação 14 nos fornece as ordenadas dos pontos da curva de abscissa L:

$$y_2 = \frac{\delta i L^2}{2Lv} + i_1 L$$

consequentemente o valor da flexa (f) para qualquer ponto da curva será:

$$f = y_2 - y_1 = \frac{\delta i L^2}{2Lv} \tag{17}$$

em particular no ponto PIV ( $L = L_c/2$ ), temos:

.28.

$$F = \frac{\delta_i Lv}{B} \quad (18)$$

ou seja:  $f = \frac{4L^2}{Lv^2} F \quad (19)$

A equação 19 permite a determinação das ordenadas dos diversos pontos da curva em relação às ordenadas da primeira rampa.

## 1.6. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O PERFIL LONGITUDINAL

A estrada é um ente tridimensional que deve ser confortável e esteticamente agradável ao motorista que a percorre.

Um motorista localizado pouco acima do pavimento da estrada não vê uma planta ou um perfil, mas sim uma série de curvas espaciais que se sucedem a sua frente, a medida que ele caminha.

Assim o perfil da estrada necessariamente precisa ser escolhido em harmonia com o traçado em planta, e não pode ser só analisado isoladamente.

A comparação de estradas executadas com seus projetos, bem e mal sucedidos, dá alguns critérios básicos que podem orientar o projetista na escolha do perfil mais adequado para seu projeto.

Critérios básicos para a escolha do perfil:

- O perfil da estrada acompanha o perfil natural do terreno, corrigindo as deficiências topográficas naturais através de cortes e aterros.

- Um bom perfil é composto de poucas curvas verticais que preferencialmente devem ter grandes raios. Para auto-estradas em regiões de topografia plana são desejáveis raios de 12.000 m para as curvas côncavas e 20.000 m para as convexas.

- Curvas verticais e horizontais devem corresponder-se, gerando curvas tridimensionais.

- As curvas horizontais devem começar antes e terminar depois das verticais correspondentes.

- Toda ilusão de ótica que o traçado possa provocar deve ser evitada, o motorista nunca pode ter falsas impressões.

## 2. PERFIL TRANSVERSAL - SEÇÕES

Seção transversal é o corte da estrada feito por um plano vertical ao eixo, (figura 1) define e posiciona os diversos elementos que compõem a estrada.

Ao longo do traçado, as seções transversais mudam de ponto para ponto, sendo necessário o desenho de inúmeras seções, em pontos escolhidos para a perfeita definição da estrada.

Os elementos geométricos que compõe a seção de uma estrada e suas dimensões são escolhidos e determinados em função do volume e características do tráfego, classe e importância da estrada e condições mínimas de segurança.

No projeto geométrico das seções são geralmente definidos os seguintes elementos básicos: faixas de tráfego, pistas, acostamentos separadores centrais e faixas para drenagem formando a plataforma da estrada, além de taludes dos cortes e aterros e faixa de domínio.

No projeto total da estrada as seções transversais definidas no projeto geométrico são também utilizadas nos projetos de infraestrutura e superestrutura.

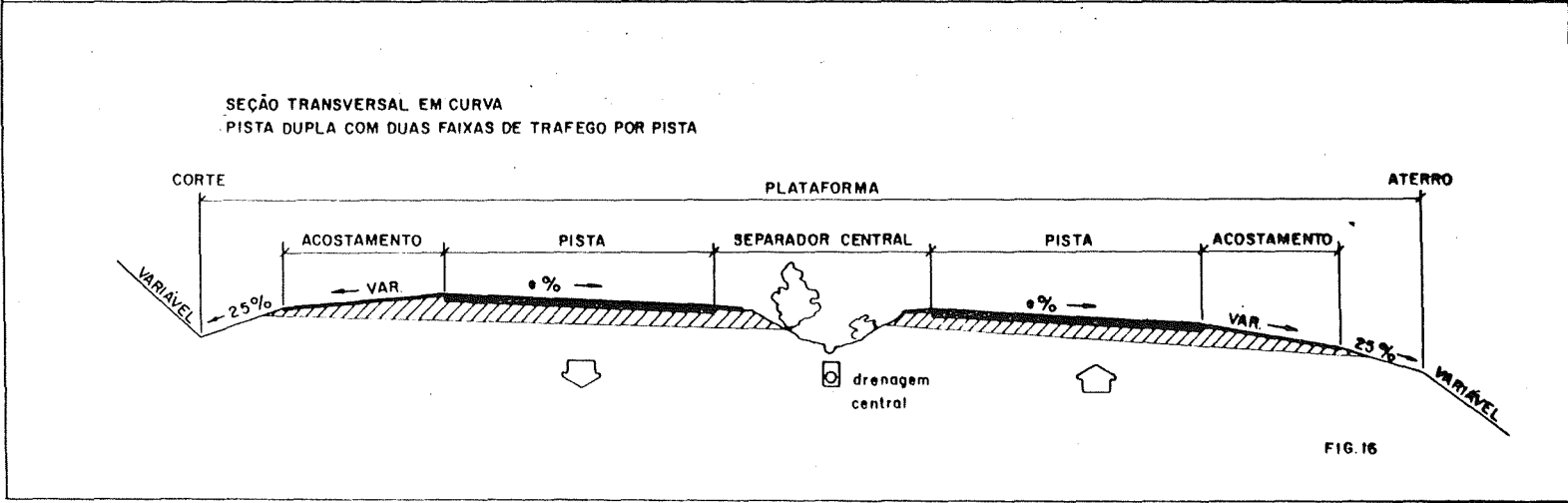
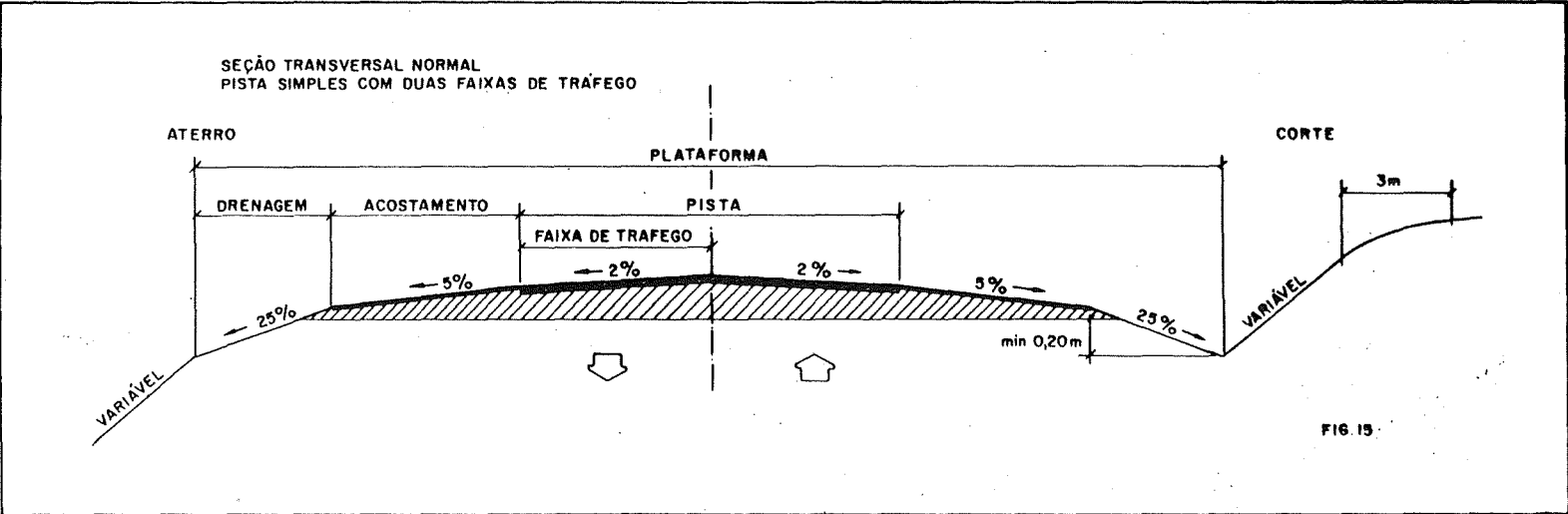
As figuras 15 e 16 mostram exemplos de seções transversais.

### 2.1. FAIXAS DE TRÁFEGO E PISTAS DE ROLAMENTO

Faixa de tráfego é o espaço destinado ao fluxo de uma corrente de veículos.

Pista de rolamento é o conjunto de duas ou mais faixas de tráfego.

A largura de uma pista é a soma das larguras das faixas de tráfego que a compõe, a largura de cada faixa deverá ser a largura do veículo padrão acrescida de um espaço de segurança.





As normas alemãs adotam para a largura das faixas de tráfego os valores da tabela 3 e o DNER os valores da tabela 4.

TABELA 3

VELOCIDADE PROJETO (Km/h)	LARGURA DO VEÍCULO PA DRÃO (m)	ESPAÇO DE SEGURANÇA (m)	ACRÉSCIMO PARA PISTAS C/2 SENTIDOS TRÁFEGO (m)
$V \geq 100$	2,5	1,25	0,5
$100 > V \geq 80$	2,5	0,75	0,5
$80 > V \geq 60$	2,5	0,25	0,5

TABELA 4

LARGURA DAS FAIXAS DE TRÁFEGO EM METROS				
REGIÃO	CLASSE DA ESTRADA			
	ESPECIAL	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III
Plana	3,75	3,60	3,50	3,50
Ondulada	3,75	3,60	a	a
Montanhosa	3,75	3,60	3,25	3,00

#### Inclinação transversal das pistas:

Nos trechos em tangente as pistas devem ter uma inclinação transversal mínima de 2% (ver figura 15) para permitir o escoamento de águas superficiais (chuvas).

Para pavimentos de alto padrão essa inclinação mínima poderá ser reduzida até o valor 1,5%. A inclinação transversal das pistas deverá ser feita, a partir do eixo, caindo para os dois lados de forma a reduzir a distância de percurso das águas superficiais.

Nos trechos em curva a pista deverá ter a superelevação de projeto.

## 2.2. ACOSTAMENTOS

São faixas laterais, do lado externo das pistas, destinadas a paradas de emergências dos veículos.

A tabela 5 mostra as larguras adotadas pelo DNER.

TABELA 5

LARGURA DE ACOSTAMENTOS EXTERNOS EM METROS				
REGIÃO	CLASSE DA ESTRADA			
	ESPECIAL	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III
Plana	3,5	3,0	2,5	2,0
Ondulada	3,0	a	a	a
Montanhosa	2,5	2,5	2,0	1,2

Nas estradas de pista dupla, com separadores centrais largos é aconselhável o uso de uma faixa interna que possa servir como acostamento de emergência.

A inclinação transversal dos acostamentos deve variar entre 3% e 5% dependendo do tipo de revestimento do acostamento. Nos trechos em tangente a inclinação deverá ser sempre maior que a da pista contígua. Nos trechos em curva superelevada o acostamento do lado interno da curva pode manter sua inclinação normal e o do lado externo da curva deve ser inclinado para fora, (ver figura 16) com inclinação mínima de 2%. Quando a diferença algébrica de inclinação entre acostamento e pista ultrapassar 7%, isto é, quando a superelevação da pista for maior que 5% o acostamento externo deverá ser inclinado no mesmo sentido da pista.

Nos trechos de pista superelevada ( 5%) quando a inclinação transversal de acostamento e pista tiverem sentidos opostos é aconselhável o arredondamento do bordo do acostamento de forma a evitar a configuração de um vértice acentuado.

### 2.3. SEPARADORES CENTRAIS

Os separadores centrais tem como função isolar as correntes de tráfego opostas, deverão ter largura suficiente para a construção de dispositivos de separação do tráfego e redução dos efeitos do ofuscamento noturno.

O custo de acréscimo de movimento de terra necessário a inclusão de separadores centrais largos em entradas que atravessam regiões montanhosas pode ser significativo, por isso muitas vezes, separadores centrais largos são economicamente inviáveis.

A largura dos separadores centrais deve ser no mínimo 1,5 m em regiões montanhosas e 3,0 m em regiões onduladas ou planas.

Não existem seções transversais fixas para separadores, em cada caso a seção tipo do separador deve ser escolhida em função dos fatores determinantes do caso: largura disponível, tráfego, necessidade de dispositivos de drenagem, necessidade de defensas, etc.

Recomenda-se o uso dos seguintes tipos de separadores:

LARGURA	TIPO
até 3 m	Em nível, pavimentado ou gramado com meio-fio elevado e defesa.
de 3 a 5 m	Abaulado ou com depressão, pavimentado ou gramado.
de 5 a 20m	Com depressão, inclinação transversal 4.1, gramado, drenagem central.

### 2.4. TALUDES

A inclinação dos taludes dos cortes e aterros deverá ser determinada pelo cálculo de estabilidade dos mesmos.

Quando os taludes são pequenos e a variação de sua inclinação transversal não cria aumentos de custos significativos, deve-se usar inclinações suaves, acomodando os taludes ao terreno natural de forma contínua, sem variações bruscas de declividade. Tal procedimento, quando executado nos taludes de cortes, favorece o paisagismo e a estética da estrada.

## 2.5. FAIXA DE DOMÍNIO

É a faixa de terra destinada à construção, operação e futuras ampliações da estrada. Deve ser definida de forma a oferecer o espaço necessário à construção da estrada, incluindo saias de cortes e aterros, obras complementares etc e uma folga mínima de 10 m de cada lado da estrada.

Quando existe previsão para ampliação da estrada projetada a faixa de domínio deverá também conter espaços para a ampliação.

Sempre que possível as faixas deverão ter larguras constantes para cada trecho da estrada e deverão respeitar os valores mínimos estabelecidos pelas "Normas para Projeto das Estradas de Rodagem" (Tabela 6).

TABELA 6  
VALORES MÍNIMOS PARA FAIXA DE DOMÍNIO DAS ESTRADAS DE  
RODAGEM EM METROS

CLASSE	REGIÃO		
	PLANA	ONDULADA	MONTANHOSA
I	60	70	80
II	30	40	50
III	30	40	50

### 2.6. PISTAS DUPLAS INDEPENDENTES

Nas estradas de pista dupla projetadas em regiões onduladas ou montanhosas a manutenção de uma largura fixa para os separadores centrais tem sido abandonada. As pistas são projetadas com traçados e perfis independentes, mantendo-se apenas valores mínimos para os canteiros centrais.

A execução de um traçado para cada pista além de reduzir problemas de ofuscamento reduzem o custo da infraestrutura devido a maior liberdade do projetista para a escolha de soluções mais econômicas para cada pista.

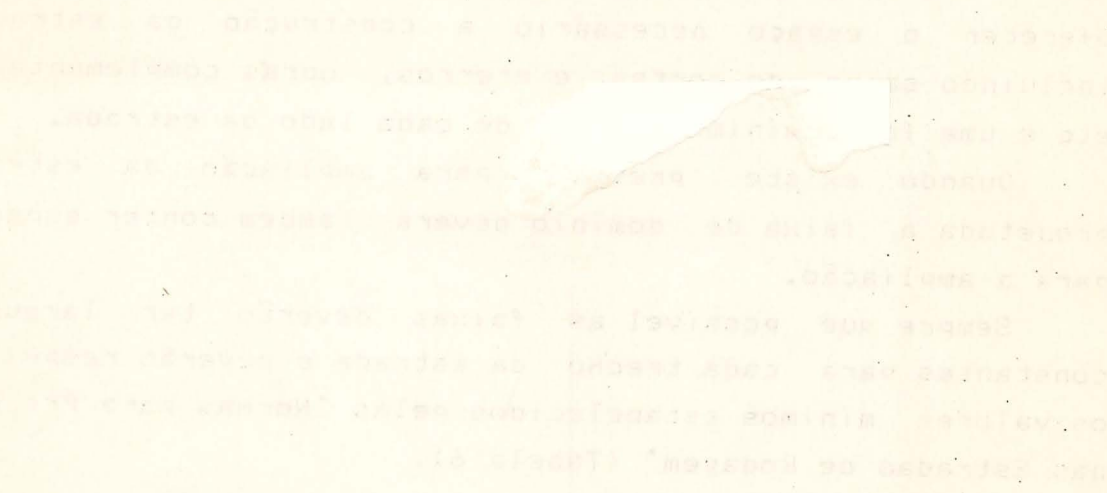


TABELA 6  
VALORES MÍNIMOS PARA FAIXA DE DOMÍNIO DAS ESTRADAS DE  
POBREM EN METROS

CLASSE	PLANA	ONDULADA	MONTANHOSA
1	10	15	20
2	15	20	25
3	20	25	30