

SP 07/93

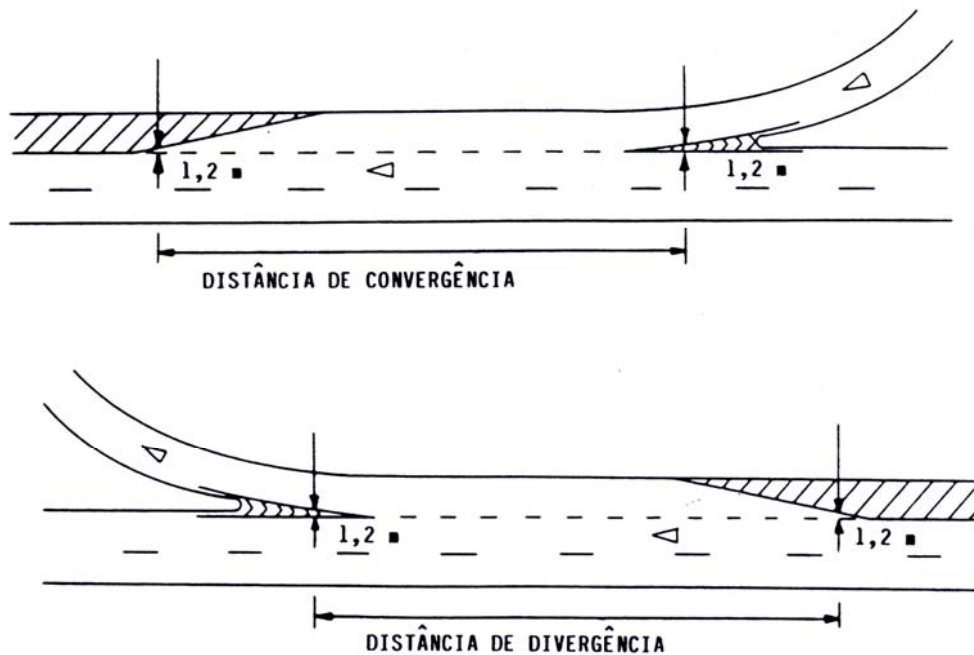
NT 167/93

## Metodologia para definir a configuração viária das entradas e saídas nas vias principais

Engº José Tadeu Braz (GPC/SPR)

### I. Introdução

Geralmente, no Brasil, para o dimensionamento de faixas de aceleração e desaceleração, não são considerados nos cálculos as distâncias de convergência e divergência necessárias nas entradas e saídas de vias expressas urbanas. É importante que estas distâncias sejam dimensionadas adequadamente, para garantir a segurança e a eficiência das operações do tráfego.



Os EUA e o Canadá, após intensas pesquisas sobre as distâncias necessárias de convergência e divergência, desenvolveram uma metodologia de cálculo que considera alguns fatores que irão determinar estas distâncias.

Os fatores da teoria a seguir não fazem parte ainda de bibliografias de tráfego, mas serão inseridos brevemente nas publicações da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

É importante ressaltar que os fatores que determinam os comprimentos necessários de convergência e divergência não dependem do greide da via e sim somente da velocidade da via principal.

Apesar de largamente utilizada por estes países, no Brasil desconhecemos a aplicação desta teoria.

Três diretrizes condicionam a configuração viária:

- Faixas de aceleração e desaceleração
- Distâncias de convergência e divergência
- Direcionamento (ângulo) do alinhamento na entrada e saída

- 

Faixas de aceleração

A faixa de aceleração possibilita que o tráfego que está entrando na via principal aumente a sua velocidade até um valor que se aproxima daquela que irá encontrar nesta via.

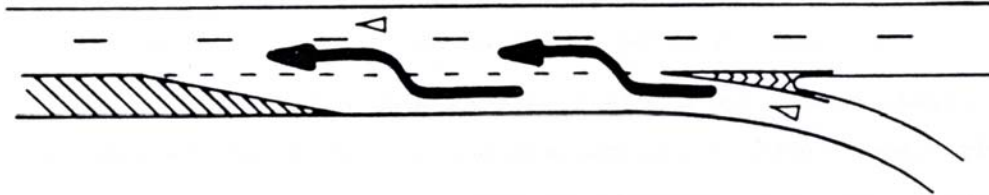
Faixas de desaceleração

A faixa de desaceleração possibilita ao tráfego saindo reduzir a sua velocidade de acordo com as restrições do alinhamento no ramo, sem prejudicar o tráfego de passagem da via principal.

Considerações sobre velocidades e conflitos

Sabe-se hoje que a causa principal dos acidentes em estradas e vias expressas, em sua grande maioria é resultado das interferências nas entradas e saídas em agulhas e em interconexões em geral. Estes acidentes têm como causa principal as diferenças de velocidade das vias expressas. Um veículo proveniente de uma via secundária com intenções de adentrar à corrente de tráfego de uma via expressa deve assumir uma velocidade compatível de forma a não perturbar a operação da via principal, assim como da via principal para uma secundária.

O envolvimento de duas correntes de tráfego tentando utilizar o mesmo espaço cria uma situação incômoda para ambos, no caso de vias expressas e rodovias.



A velocidade regulamentada se refere a uma velocidade compatível com as condições físicas e operacionais da via, em condições favoráveis, esta velocidade representa aproximadamente 85% da velocidade de projeto. Este procedimento introduz uma segurança maior na eventualidade da velocidade regulamentada a ser ultrapassada.

Distância de Convergência

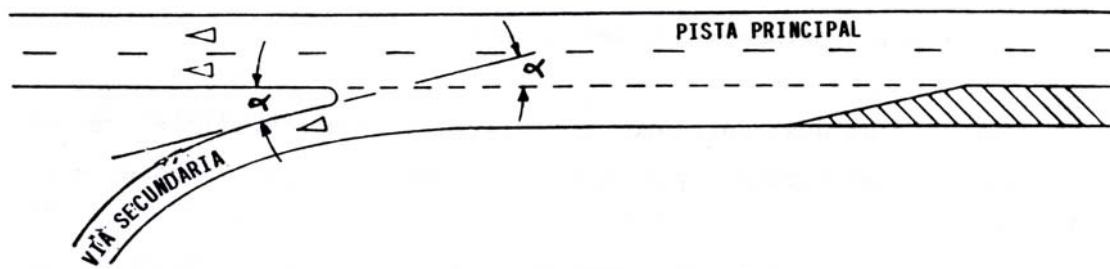
A distância de convergência facilita a negociação de entrada do tráfego da via secundária junto AP fluxo da via principal.

Distância de divergência

A distância de divergência facilita a negociação de saída do tráfego da via principal para a via secundária sem prejuízo do tráfego de passagem.

Direcionamento (ângulo)

Do alinhamento na entrada – o ângulo de alinhamento na entrada (medido no nariz físico) direciona o tráfego num ângulo apropriado para se juntar com o fluxo de tráfego da via principal.



Do alinhamento na saída – o ângulo do alinhamento na saída (medido no nariz físico) possibilita uma mudança gradual do alinhamento da via principal para o alinhamento no ramo. O fator de convergência tem um relacionamento direto com aceleração, assim como o fator de divergência com a desaceleração.

Distância de Convergência (Dconv)

$$D_{conv} = 1,9 \times V \quad \text{onde} \quad V = \text{velocidade em km/h}$$

Dconv = distância de convergência em metros

A fórmula original deste fator é a seguinte:

$$D_{conv} = \frac{10 \times V}{3,28} \quad \text{onde} \quad V = \text{velocidade em milhas por hora}$$

3,28 = fator de correção para metros

Distância de Divergência (Ddiver)

$$D_{diver} = 1,5 \times V \quad \text{onde} \quad V = \text{velocidade em km/h}$$

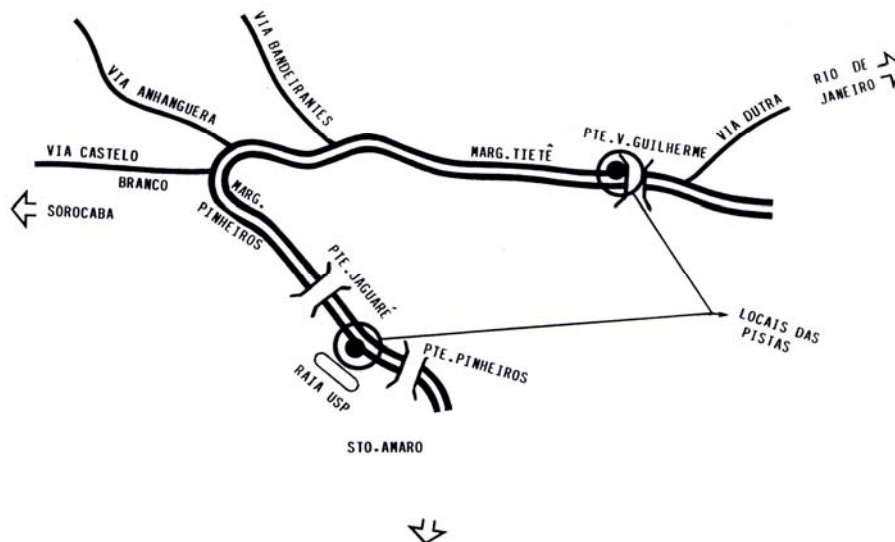
Ddiver = distância de divergência em metros

A fórmula original deste fator é a seguinte:

$$D_{diver} = \frac{8 \times V}{3,28} \quad \text{onde} \quad V = \text{velocidade em milhas / hora}$$

## II. Um exemplo prático

A Gerência de projetos Contratados (GPC), em dois de seus trabalhos aplicou esta teoria nas pistas expressas das marginais Tietê e Pinheiros, onde as obras a serem executadas exigiam o uso das margens do rio: uma delas para a construção de um poço de serviço do túnel sob o rio e outra para a construção dos pilares de sustentação da futura ponte do Complexo Viário Eusébio Matoso.



Para que os veículos da obra pudessem ter acesso àquele local, foi necessária a construção de duas pistas. Uma delas propicia a saída da via expressa para a obra e a saída da obra para a via expressa, conforme Figura 1. A outra, onde foram executadas as faixas, serviria simultaneamente para entrada e saída, Figura 2. Apesar das configurações diferentes, ambas atendem à mesma filosofia.

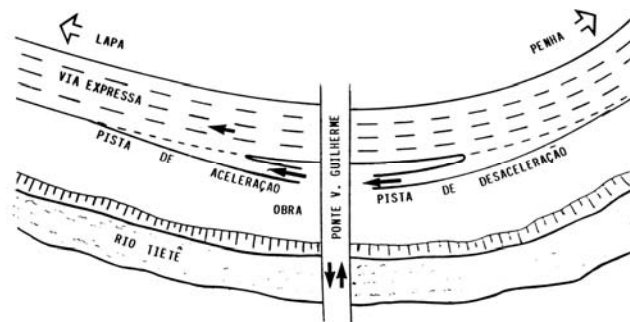


Fig. 1 - Pista tipo I

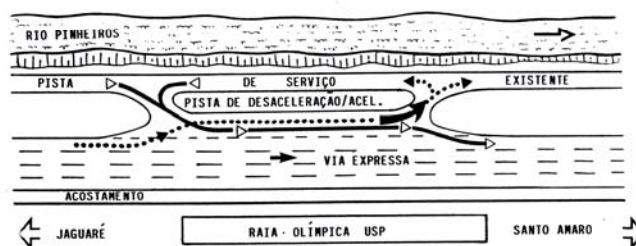


Fig. 2 - Pista tipo II

Partindo desta necessidade, procedeu-se aos cálculos de dimensionamento dos comprimentos necessários, conforme descrito para pista Tipo I - Figura 1.

Dados para cálculo:

**i** - greide do conjunto = 1% (via principal + pistas divergência e convergência)

**VP** - Velocidade da via principal = 80 km/h

**RCS** - Raio mais crítico da via de saída = 45 m (desacelerando)

**RCE** - Raio mais crítico da via de entrada = 80 m

**VF** - Velocidade final do veículo na nova pista = 40km/h (desacelerando)

**VI** - Velocidade inicial do veículo na nova pista = 50km/h

**WR** - Largura da pista de desaceleração = 3 m

**WA** - Largura do acostamento = 3 m

Marcha de cálculo

1. Dimensionamento da pista de saída da via expressa

a) Determinação do comprimento necessário para o veículo DESACELERAR.

**Tabela 1. Greides de 0% a 2%.**

VELOCIDADE DE PROJETO DA CURVA DE CONVERSÃO (Km/h)		PARADA (VF)	20	30	40	50	60	70	80
RAIO MÍNIMO DA CURVA DE CONVERSÃO (m) (RCS)		-	10	25	45	80	110	150	200
Velocidade de Projeto da Rodovia (km/h) (VP)	Comprimento do trecho de largura	Comprimento total da faixa de DESACELERAÇÃO, incluindo o trecho da largura variável - para todas rodovias primárias.							
40	40	60	40	-					
50	45	80	50	45	-				
60	55	90	70	65	55				
70	60	110	90	85	75	60			
80	70	120	100	95	80	70			
90	75	130	120	110	100	85	75	-	
100	85	140	130	125	115	100	85	-	
110	90	150	140	135	125	110	100	90	
120	100	160	150	140	130	115	110	105	100

Comprimento da faixa de desaceleração = 80 m

Ajustes de declividades acentuadas

Os valores nas tabelas acima são indicados para condições próximas ao plano, isto é,  $0 \leq i < 2\%$ . Para outras condições, ajustes devem ser introduzidos para compensar o efeito nos greides.

b) Determinação do comprimento necessário para o veículo DIVERGIR

$$D_{diver} = 1,5 \times V$$

$$D_{diver} = 1,5 \times 80 \text{ km/h}$$

$D_{diver} = 120 \text{ m}$

2. Dimensionamento da pista de entrada da via expressa

a) Determinação do comprimento necessário para o veículo ACELERAR

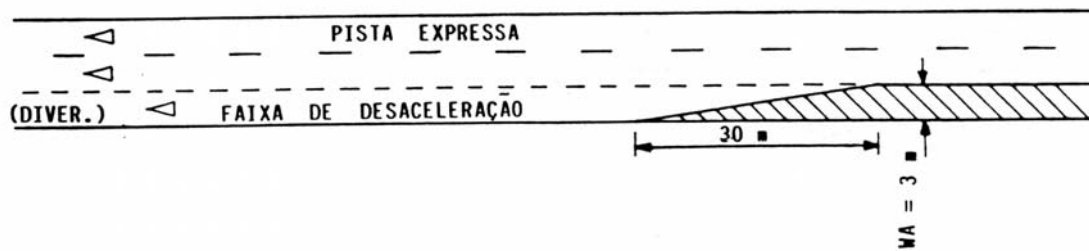
Tabela 2. Greides de 0 a 2%.

VELOCIDADE DE PROJETO DA CURVA DE CONVERSÃO (Km/h)		PARADA (VI)	20	30	40	50	60	70	80
RAIO MÍNIMO DA CURVA DE CONVERSÃO (m) (RCE)		-	10	25	45	80	110	150	200
Velocidade de Projeto da Rodovia (Km/h) (VP)	Comprimento do trecho de largura	Comprimento total da faixa de DESACELERAÇÃO, incluindo o trecho de largura variável - para todas rodovias primárias.							
		ACELERAÇÃO							
40	40	60	40	-					
50	45	90	70	60	45	-			
60	55	130	110	100	70	55	-		
70	60	180	150	140	120	90	60	-	
80	70	230	210	200	180	140	100	70	-
90	75	280	250	240	220	190	140	100	75
100	85	340	310	290	280	240	200	170	110
110	90	390	360	350	320	290	250	200	160
120	100	430	400	390	380	330	290	240	200

Comprimento da faixa de desaceleração = 140 m

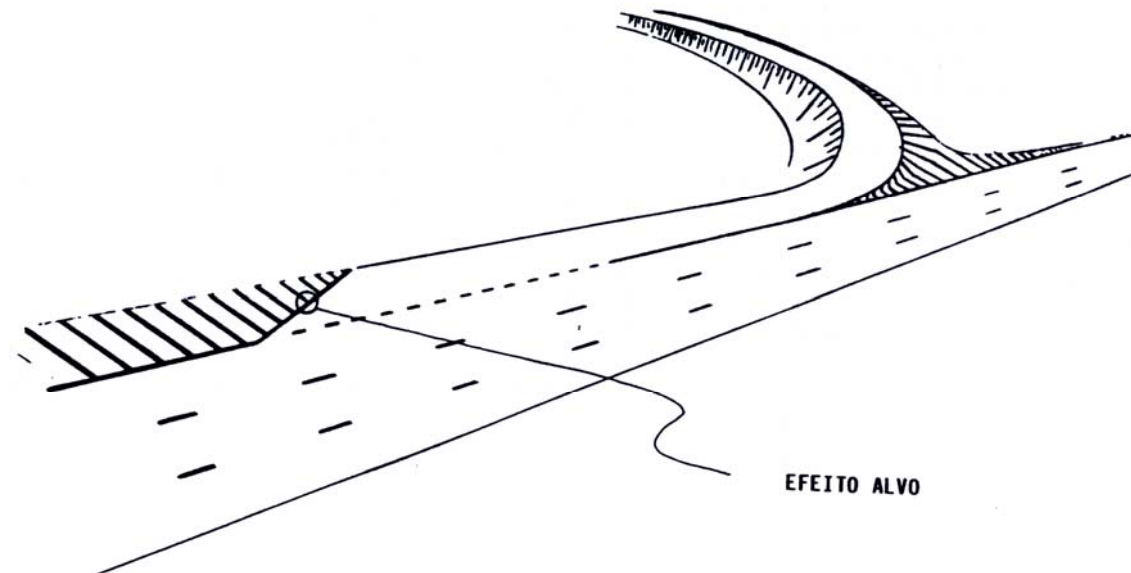
Comparando os dois resultados, percebemos que o comprimento relacionado ao fator divergência sobrepõe o de desaceleração, mostrando assim que devemos adotar o maior.

Para o comprimento do taper de divergência será adotada a relação de 1:10, ou seja, 30 m já que a largura da pista de divergência é de 3 m.



### Efeito Alvo

O taper de entrada da pista de divergência deve ser pronunciado para que o “efeito alvo” de observação seja melhor identificado pelo usuário do novo sistema, não comprometendo assim o restante do trecho no que tange à manobra do veículo.



Reforçando um pouco mais esta idéia sobre taper, podemos dizer que na medida em que nos aproximamos da pista de divergência podemos identificar com maior precisão o início desta.

### Ajustes de Declividades Acentuadas

Os valores nas tabelas acima são indicados para condições próximas ao plano, isto é  $0 \leq i < 2\%$ . Para outras condições, ajustes devem ser introduzidos para compensar o efeito nos greides (Ver tabela 3 para outros greides no final deste trabalho).

- b) Determinação do comprimento necessário para o veículo CONVERGIR

$$D_{conv} = 1,9 \times V$$

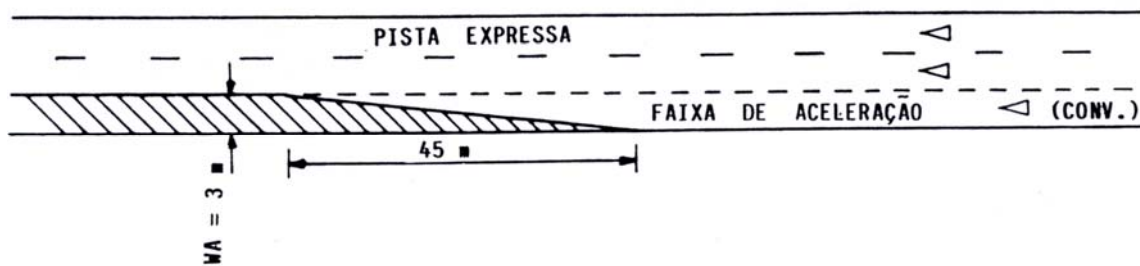


$$D_{conv} = 1,9 \times 80 \text{ km/h}$$

$$D_{conv} = 152 \text{ m}$$

Os dois resultados comparados confere que a distância recomendada para o conjunto deve ser de 152 metros, sendo esta maior que as necessidades de aceleração.

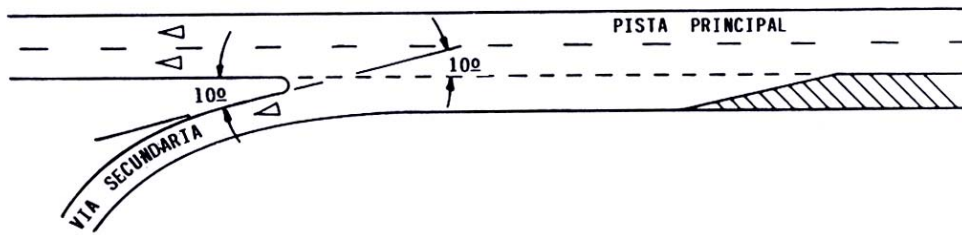
O taper adotado será de 1:15, neste caso foi um pouco maior que na pista de divergência devido ao fato de que um veículo em crescimento de velocidade, ou seja, acelerando, tenha mais dificuldades nas constantes mudanças de marchas para poder atingir a velocidade compatível da via principal, e com isto necessite de mais tempo para visualizar a linha de canalização que indica seu final.



3. Direcionamento (ângulo) do Alinhamento na Saída e Direcionamento (ângulo) de Alinhamento na Entrada

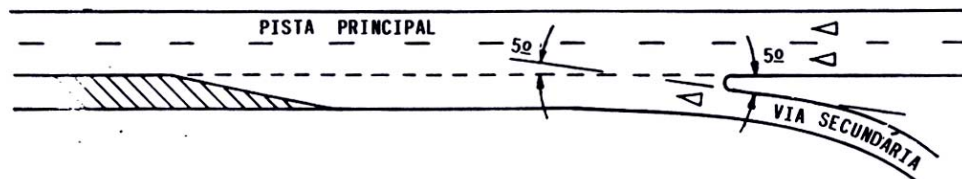
DIRECIONAMENTO (ÂNGULO) DO ALINHAMENTO NA SAÍDA

VELOCIDADE DE PROJETO NA VIA PRINCIPAL Km/h (DIVERGÊNCIA)	ÂNGULO APROPRIADO
80	Máx 10°
60	Máx 15°



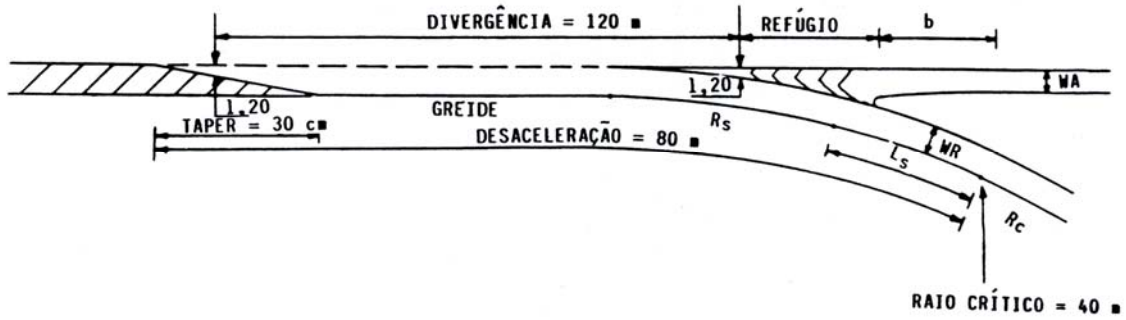
DIRECIONAMENTO (ÂNGULO) DO ALINHAMENTO NA ENTRADA

VELOCIDADE DE PROJETO NA VIA PRINCIPAL Km/h (CONVERGÊNCIA)	ÂNGULO APROPRIADO
80	Máx 5°
60	Máx 10°



Situação Final das Faixas

Faixa de divergência / desaceleração



Faixa de convergência / desaceleração

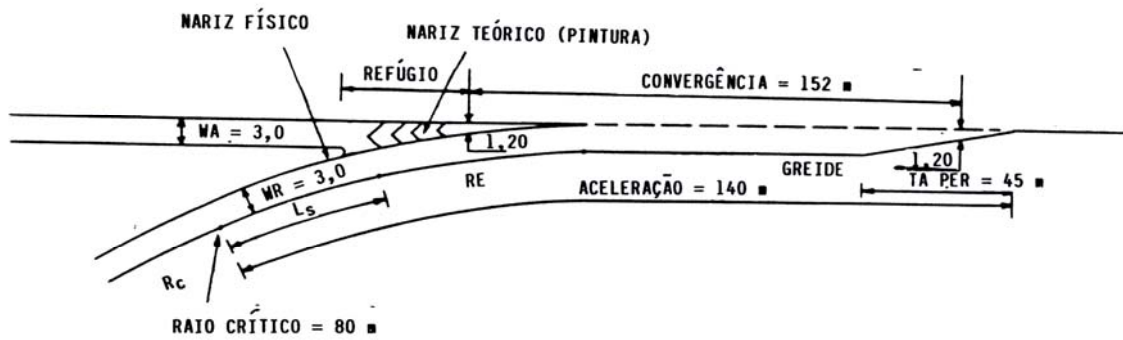


Tabela 3. Variação do comprimento das faixas de mudanças de velocidade em função do greide.

FAIXAS DE DESACELERAÇÃO									
VELOCIDADE DE PROJETO DA RODOVIA (Km/h)	FATOR DE MULTIPLICAÇÃO A SER ADOPTADO PARA OS COMPRIMENTOS CONSTANTES DA TABELA 1								
TODAS	RAMPA ASCENDENTE DE 3 A 4%: 0,9					RAMPA DESCENDENTE DE 3 A 4%: 1,2%			
TODAS	RAMPA ASCENDENTE DE 5 A 6%: 0,8					RAMPA DESCENDENTE DE 5 A 6%: 1,35%			
FAIXAS DE ACELERAÇÃO									
VELOCIDADE DE PROJETO DA RODOVIA (km/h)	FATOR DE MULTIPLICAÇÃO A SER ADOPTADO PARA OS COMPRIMENTOS CONSTANTES DA TABELA 2								
	VELOCIDADE DE PROJETO DAS CURVAS DE CONVERSÃO								
	20	30	40	50	60	70	80	TODAS AS VELOCIDADES	
	RAMPA ASCENDENTE DE 3 A 4%							RAMPA DESCENDENTE DE 3 A 4%	
40	1,2	1,2	-	-	-	-	-	0,70	
50	1,2	1,2	1,2	-	-	-	-	0,70	
60	1,2	1,2	1,3	1,3	-	-	-	0,70	
70	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	-	-	0,65	
80	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	-	0,65	
90	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	0,65	
100	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	0,60	
110	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	0,60	
120	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	0,60	
	RAMPA DESCENDENTE DE 3 A 4%							RAMPA ASCENDENTE DE 3 A 4%	
40	1,3	1,4	-	-	-	-	-	0,60	
50	1,3	1,4	1,4	-	-	-	-	0,60	
60	1,4	1,5	1,5	1,5	-	-	-	0,60	
70	1,4	1,5	1,6	1,6	1,8	-	-	0,55	
80	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	-	0,55	
90	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	0,55	
100	1,6	1,7	1,8	1,9	2,2	2,3	2,5	0,50	
110	1,9	2,0	2,0	2,2	2,6	2,8	3,0	0,50	
120	2,0	2,1	2,2	2,3	2,7	2,8	3,0	0,50	

## Bibliografia

American Association of State Highway and Transportation Officials.  
*A Police on geometric design of highways and streets*  
Washington : ASSHTO, 1984

Consultoria e anotações pessoais, fornecidas pelo Engº Peter John Jaunzens, em trabalhos profissionais desenvolvidos (em conjunto) no projeto de Duplicação da Rodovia D. Pedro I.

-----  
Engº José Tadeu Braz (GPC/SPR)

## Colaboradores

- Marcelo Balthazar – Téc. de Transporte e Tráfego
- Nilzete Rodrigues Costa – Téc. De Transporte e Tráfego
- Ester Ramalho de Oliveira – Auxiliar Administrativa