

ESTUDO TÉCNICO

BARREIRAS

DE

SEGURANÇA

ET-16



Associação
Brasileira de
Cimento Portland

Associação Brasileira de Cimento Portland

BARREIRAS DE SEGURANÇA

por

Salvador Eugênio Giammusso
Consultor Independente

São Paulo
julho de 1998
(mudanças no aspecto gráfico)

Revisão: 4

Este trabalho foi apresentado pela primeira vez no VIII Congresso Argentino de Vialidad y Transito - Buenos Aires - 1977.

■ Seção II - Transporte e Trânsito

■ Seção IV - Pavimentos Rígidos e Estruturas

No mesmo ano foi reapresentado na XIII Reunião Anual de Pavimentação da Associação Brasileira de Pavimentação realizada em Curitiba.

Introduzidas algumas ilustrações, em março de 1979 foi reapresentado no I Congresso Brasileiro do Macroestudo de Segurança de Trânsito.

1ª edição - 1977

2ª edição - 1979

3ª edição - 1992 (rev. atual.)

4ª edição - 1998 (mudanças no aspecto gráfico)

GIAMMUSSO, Salvador Eugênio

Barreiras de segurança. 4.ed. São Paulo,
Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.
52p. (ET-16)

Estradas de rodagem: Segurança

CDD 625.7

Proibida a reprodução total ou parcial.

Todos os direitos reservados à

Associação Brasileira de Cimento Portland

Avenida Torres de Oliveira, 76 - Jaguaré

CEP 05347-902 São Paulo/SP

Fone: (55-011) 3760-5300 - Fax: (55-011) 3760-5400

Apresentação

Estamos apresentando um novo texto do trabalho “Barreiras de Segurança” incluindo novas informações obtidas de publicações recentes, conforme complementação das referências bibliográficas.

Em contato com o Engenheiro Eric Nordlin, do Caltrans — State of California Department of Transportation — e com o Engenheiro William S. Petterson, da Federal Highway Administration, foi possível obter informações sobre o desempenho dessas barreiras, que corroboram plenamente as conclusões deste trabalho.

Caberia aqui mencionar uma observação, do Engenheiro Nordlin, quanto ao fato de que os projetistas de veículos e os de dispositivos de segurança nunca trabalham em cooperação, o que seria altamente desejável, para se obter um melhor desempenho do conjunto veículo-dispositivo.

Conforme já foi dito, na primeira edição deste trabalho, não se pretende encerrar o assunto, mas, pelo contrário, abrir a todos para informações e contribuições que possam valorizá-lo e enriquecê-lo.

GIAMMUSSO, Salvador Eugênio. *Barreiras de segurança*. 4.ed. São Paulo, ABCP, 1998. 52p. (ET-16)

O trabalho parte de um conceito de dispositivo de segurança para veículos desgovernados e analisa a evolução desse conceito desde o primitivo meio-fio até a forma atual.

Discorre sobre os estudos teóricos e experimentais desenvolvidos e apresenta algumas observações e experiências de barreiras em uso no exterior bem como no Brasil.

Finaliza com algumas conclusões incluindo-se a recomendação do perfil “tipo New Jersey”.

Palavras-chave: Estradas de rodagem - Segurança.

LISTA DAS FIGURAS

<i>n.</i>	<i>Título</i>	<i>p.</i>
1	<i>Resultados de estudos de acidentes</i>	<i>13</i>
2	<i>Perfis de meio-fio</i>	<i>16</i>
3a	<i>Barreira Califórnia - Tipo 1</i>	<i>17</i>
3b	<i>Barreira Califórnia - Tipo 1 modificado</i>	<i>17</i>
3c	<i>Barreira Califórnia - Tipo 2</i>	<i>17</i>
4a	<i>Perfis de barreiras - Perfil GM</i>	<i>18</i>
4b	<i>Perfis de barreiras - Perfil NJ</i>	<i>18</i>
4c	<i>Perfis de barreiras - Perfil F</i>	<i>18</i>
5	<i>Comparação entre os perfis: GM, NJ e F</i>	<i>25</i>
6	<i>Diagrama esquemático de rolagem</i>	<i>26</i>
7	<i>Danos pessoais - Conseqüência de acidentes</i>	<i>27</i>
8a	<i>Ângulo de retorno à pista - Barreira deformável</i>	<i>28</i>
8b	<i>Ângulo de retorno à pista - Barreira rígida</i>	<i>28</i>
9	<i>Limites para uso de barreiras</i>	<i>30</i>
10	<i>Desempenho de barreiras - Critério de seleção</i>	<i>33</i>
11	<i>Perfil - Avenida Brasil</i>	<i>39</i>
12	<i>Comparação entre os perfis GM, NJ, F e Avenida Brasil</i>	<i>39</i>

LISTA DAS FOTOS

<i>n.</i>	<i>Título</i>	<i>p.</i>
1	<i>Perfil moldado “in loco” com fôrma deslizante</i>	<i>37</i>
2	<i>Perfil pré-moldado com ancoragem</i>	<i>38</i>
3	<i>Perfil pré-moldado para instalações temporárias</i>	<i>38</i>
4	<i>Barreiras com “perfil NJ” no Elevado Paulo de Frontin (RJ)</i>	<i>40</i>
5	<i>Barreiras pré-moldadas usadas para redirecionamento do trânsito</i>	<i>40</i>
6	<i>Barreira “perfil GM”, na Via Imigrantes (SP)</i>	<i>41</i>
7	<i>Barreira “perfil GM”, na Via Régis Bittencourt - BR-116 trecho São Paulo/Curitiba</i>	<i>41</i>
8	<i>Experiência estrangeira (Itália)</i>	<i>42</i>
9	<i>Experiência estrangeira (França)</i>	<i>43</i>
10	<i>Experiência estrangeira (Portugal)</i>	<i>43</i>
11	<i>Experiência estrangeira (Estados Unidos)</i>	<i>43</i>
12	<i>“Perfil NJ” em alumínio</i>	<i>43</i>
13	<i>Barreiras divisórias de faixas exclusivas para ônibus São Paulo (SP)</i>	<i>44</i>
14	<i>Perfil de transição</i>	<i>45</i>
15	<i>Dissipador de energia de tambores vazios após impacto</i>	<i>45</i>

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

RESUMO

LISTA DAS FIGURAS

LISTA DAS FOTOS

1	A TRAVESSIA DO CANTEIRO CENTRAL	13
2	CONCEITO DE BARREIRA DE SEGURANÇA	15
3	EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE BARREIRA DE SEGURANÇA	16
4	MODO DE ATUAÇÃO DA BARREIRA	19
5	ENSAIOS E ESTUDOS TEÓRICOS	20
5.1	Rolagem	25
5.2	Desaceleração	26
5.3	Ângulo de Retorno	27
5.4	Deformação e Danos à Barreira	29
5.5	Danos ao Veículo	29
5.6	Limites para o Uso de Barreira	29
6	OBSERVAÇÕES SOBRE AS BARREIRAS EM USO	30
7	ESTUDOS MAIS RECENTES	31
7.1	Texas Highway Department (THD) - Texas - E.U.A.	31
7.2	Transport and Road Research Laboratory (TRRL)	33
7.3	Federal Highway Administration (FHA) - E.U.A.	34

7.4	Illinois State Toll Highway Authority - Illinois - E.U.A.	35
8	NORMAS	36
9	DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS	36
10	EXPERIÊNCIAS E OBSERVAÇÕES RECENTES	38
10.1	Experiência Brasileira	38
10.1.1	Avenida Brasil (Rio de Janeiro/RJ)	38
10.1.2	Elevado Paulo de Frontin (Rio de Janeiro/RJ)	40
10.1.3	Ponte Rio-Niterói (RJ)	40
10.1.4	Via Imigrantes - São Paulo-Santos (SP)	41
10.1.5	Via Régis Bittencourt - BR-116 - São Paulo-Curitiba	41
10.1.6	Outros casos	42
10.2	Experiência Estrangeira	42
11	COMENTÁRIOS FINAIS	44
12	CONCLUSÕES	45
	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	47

1 A TRAVESSIA DO CANTEIRO CENTRAL

A travessia do canteiro central por veículos desgovernados tem se apresentado como uma das mais sérias causas de acidentes rodoviários, resultando em choques frontais com uma probabilidade que varia de cerca de 27%²⁵, para estradas com volume de tráfego de até 500 veículos por hora, até valores de 80%⁴⁰. Os choques frontais em 60% dos casos²⁵ resultam em fatalidades.

Vários estudos têm mostrado que a incidência desse tipo de acidente é pequena, mas representa parcela considerável dos acidentes fatais. Na *New Jersey Turnpike*, no período 1952/58¹³, 30,4% dos acidentes decorrentes do cruzamento de canteiro central resultaram em choques frontais. Considerados só os acidentes fatais, mais de 30% resultaram da travessia do canteiro central e 17% envolveram choque frontal, sendo estes responsáveis por 22% das mortes.

Um estudo feito na Califórnia, em 1956/58, mostrou que 19% dos acidentes fatais foram devidos a choques frontais, decorrentes da travessia do canteiro central (*Figura 1*).

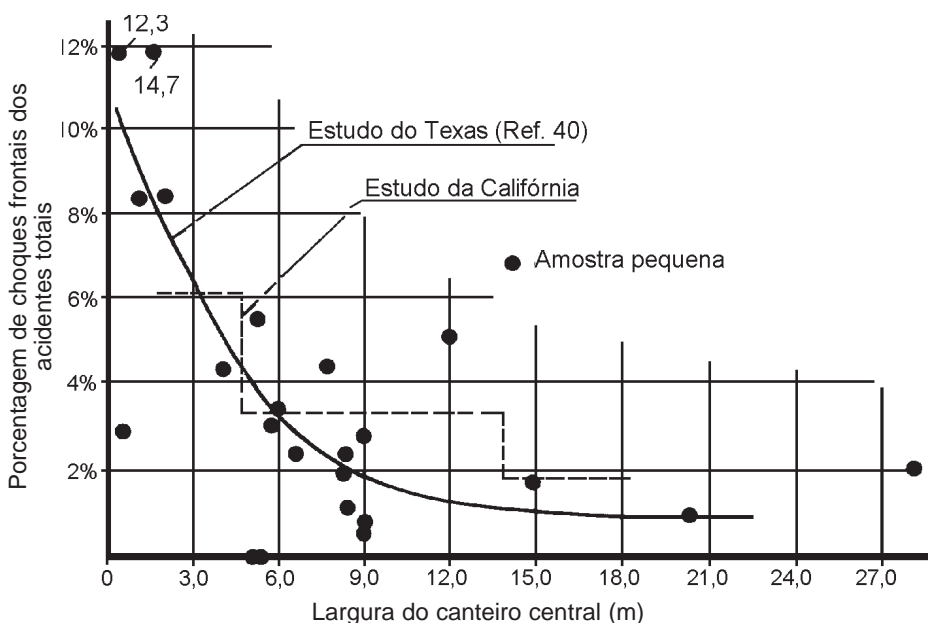


FIGURA 1 - Resultados de estudos de acidentes

No ano de 1971, nos E.U.A.³⁰, registraram-se 16,4 milhões de acidentes com 2,0 milhões de feridos e 55 mil mortes, com danos materiais calculados em 15,8 bilhões de dólares. Do total de mortes, 23,3 mil (42,4%), foram devidas a choques frontais e 13,7 mil (25%), devidas à saída da pista sem colisão. Estes acidentes poderiam, com grande probabilidade, ter sido eliminados, ou, pelo menos, reduzidos com o uso de dispositivos de segurança adequados.

Há referências a danos em 398 postes de iluminação, ocorridos em 1971, no Estado de *Minnesota*, somente na área de *Twin Cities*.

No Brasil⁹, em 1967, 18,6% dos feridos e 10,9% dos mortos foram vítimas de acidentes de travessia do canteiro central.

Outra característica séria desses acidentes é o número médio de vítimas por acidente. No período de um ano e meio, num mesmo trecho, houve 28 feridos e 2 mortos em 16 acidentes. Em outro trecho observado, em 2 anos, houve 271 feridos e 8 mortos em 367 acidentes⁵⁰. Em um terceiro trecho, em 3 anos, registraram-se 25 acidentes com 37 feridos e 5 mortos.

Esses estudos, embora com cifras um pouco diferentes, levam à conclusão única de que a travessia do canteiro central é um tipo de acidente de características bem definidas, com uma incidência pequena, porém responsável por um número elevado de vítimas e de repercussão muito desfavorável na opinião pública²⁵. Uma forma de se evitar, ou, pelo menos, reduzir a incidência desse tipo de ocorrência seria evitar que o veículo saia da pista quando desgovernado e fazer com que ele seja redirecionado, sem atravessar a pista em que trafega com o risco de se chocar com outro veículo.

No Brasil não se dispõe de estatísticas tão discriminadas sobre acidentes em rodovias, mas sempre se noticiam choques frontais de veículos que transpõem o canteiro central, que têm uma característica invariável: a gravidade do acidente.

Além do problema da travessia do canteiro central são também freqüentes os casos de quedas em rios ou precipícios por falta de dispositivos adequados de segurança.

Mesmo dispositivos como defensas metálicas não tem conseguido evitar muitos desses acidentes, principalmente para contenção de veículos pesados.

2 CONCEITO DE BARREIRA DE SEGURANÇA

A fim de evitar a travessia do canteiro central, imaginou-se um dispositivo, genericamente, denominado *barreira de segurança*, que possa reconduzir o veículo tendente a sair da pista, obedecendo a uma série de requisitos⁶⁴:

- a) evitar danos a pessoas fora do veículo;
- b) fazer com que o impacto sofrido pelos ocupantes do veículo se mantenham dentro de limites seguros para a sua integridade física;
- c) impedir que os veículos leves e, se economicamente possível, os veículos pesados penetrem em áreas perigosas;
- d) desviar o veículo que atinja a barreira, obrigando-o a seguir uma trajetória sensivelmente paralela à direção da barreira de segurança;
- e) minimizar o custo dos danos;
- f) resistir ao impacto de um veículo que se choque contra a barreira, sem que esse veículo e a própria barreira se convertam em uma ameaça para o tráfego.

O mesmo dispositivo pode atuar como barreira, se a sua função principal for impedir o tráfego em áreas perigosas e como defesa, se proporcionar aos veículos proteção contra um perigo potencial, como, por exemplo, um poste de sinalização, pilar de viaduto etc.

Outros requisitos, além dos citados, embora de menor importância, podem e, às vezes, devem ser considerados, tais como: aspecto agradável, não obstrução da visão, evitando a sensação de confinamento³³, podendo também contribuir para evitar problemas de ofuscamento por luz de faróis e para redução de ruídos⁶⁰.

Evidentemente, os requisitos que dizem respeito a segurança de pessoas, ocupantes ou não de veículos acidentados, são fundamentais, razão pela qual as alíneas a), b) e f) são consideradas as mais importantes.

Um dispositivo mal concebido pode se converter, após um acidente, em séria ameaça. O mesmo pode ser dito de um dispositivo que retenha o veículo acidentado com segurança, mas de forma que este passe a ser, depois do acidente, uma ameaça aos demais e a ele próprio. Um dispositivo de segurança

que não seja danificado no acidente, além da economia — cujo custo de reparação seja pequeno ou nulo — apresenta além do mais a grande vantagem de estar permanentemente em serviço.

Nota-se nos diversos trabalhos relativos ao assunto a grande preocupação da busca de um dispositivo que preencha todos os requisitos acima, mesmo quando um determinado tipo de barreira seja considerado satisfatório⁶.

3 EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE BARREIRA DE SEGURANÇA

Os meios-fios com diversos desenhos foram e continuam sendo as primeiras tentativas de dispositivos para recondução à pista dos veículos desgovernados¹⁶.

Certos perfis de meios-fios (*Figura 2*) se mostraram razoavelmente eficientes para combinações de pequenas velocidades com pequenos ângulos de impacto¹⁶. Para valores maiores dessas grandezas tem se observado quebra de rodas ou do sistema de suspensão e até mesmo o capotamento do veículo. Às vezes, no caso de barreiras divisórias de pistas, o veículo salta por sobre o dispositivo atravessando o canteiro central¹⁷.

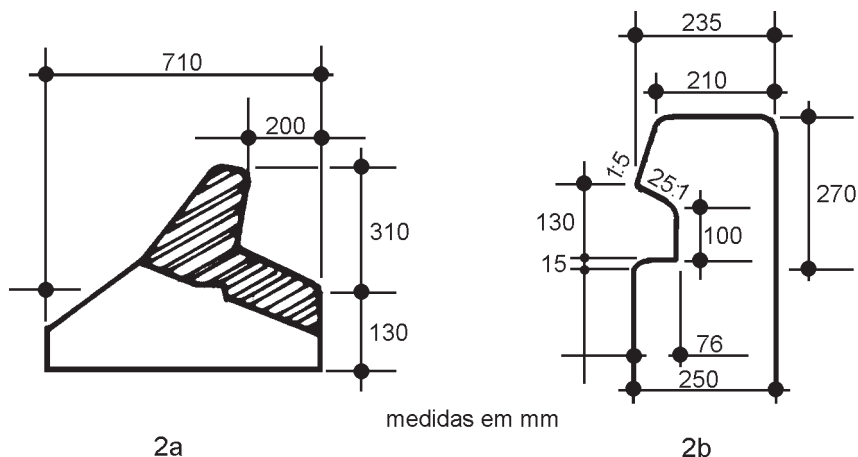


FIGURA 2 - Perfis de meio-fio

Um dos estudos realizados conclui que um meio-fio cuidadosamente estudado pode ser eficaz no redirecionamento de veículos, mas nunca tanto quanto uma barreira.

Todavia, esses estudos e ensaios, aparentemente, levam à conclusão de que para ângulos de impacto superiores a 15° e velocidades de 60 km/h o veículo ultrapassa o meio-fio¹⁶. Esse comportamento do veículo levou os técnicos a procurarem outra solução, pois a do meio-fio consistia em se atuar sobre o veículo em um ponto abaixo do seu centro de gravidade. A evolução do conceito de dispositivos de redirecionamento de veículos desgovernados levou à solução de atuar no veículo em altura o mais próximo possível do seu centro de gravidade.

Inicialmente se pensou em combinações de meios-fios e barreiras, mas os primeiros tendiam a causar a ultrapassagem das barreiras pelo veículo³³.

As barreiras constituídas de paredes ou elementos verticais contínuos desde o chão, ou de um elemento longitudinal contínuo em pilaretes, foram o passo seguinte. Essas barreiras apresentavam variantes que iam desde a barreira rígida de concreto (*Figura 3*) até as barreiras deformáveis constituídas por perfis metálicos ou as barreiras flexíveis constituídas por cabos de aço.

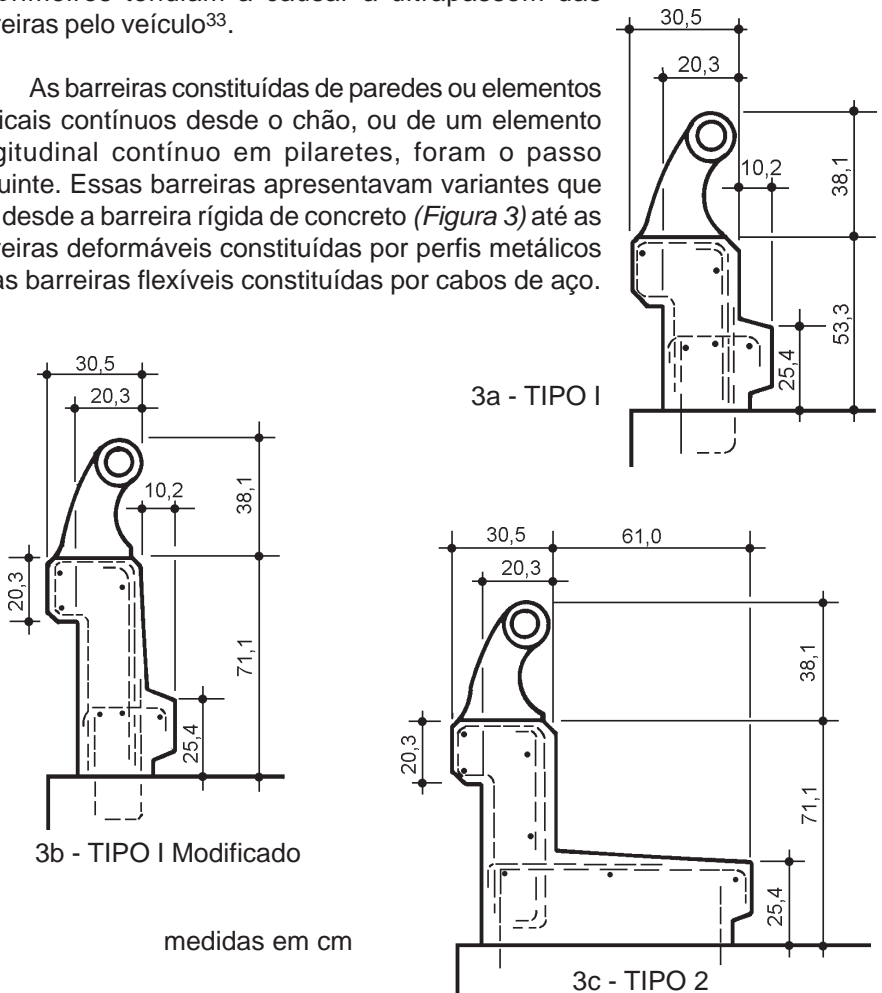


FIGURA 3 - Barreira Califórnia

Embora com desempenho bem melhor do que os meios-fios, as barreiras deformáveis apresentam alguns inconvenientes, que consistem principalmente nos danos inevitáveis causados ao veículo e à própria barreira. Os estragos sofridos pela barreira sempre acarretam uma manutenção cara e perigosa, além do fato de que uma barreira danificada por um acidente se transforma em séria ameaça. Além disso, em casos de canteiro central estreito, a barreira, quando deformada, pode se projetar perigosamente sobre a pista contrária. Por essas razões este tipo de barreira não foi considerado como plenamente satisfatório⁴⁴.

O prosseguimento dos estudos e pesquisas evoluiu para um outro tipo de barreira, a chamada *barreira rígida tipo GM*^{61, 35} (Figura 4a), como resultado de estudos da equipe de campo de prova da General Motors.

Quase que simultaneamente surgiu o *perfil NJ* (Figura 4b) adotado inicialmente pelos Estados de *New Jersey*⁴⁷ e *Texas*, que difere do *tipo GM* apenas em alguns detalhes, conforme veremos mais adiante.

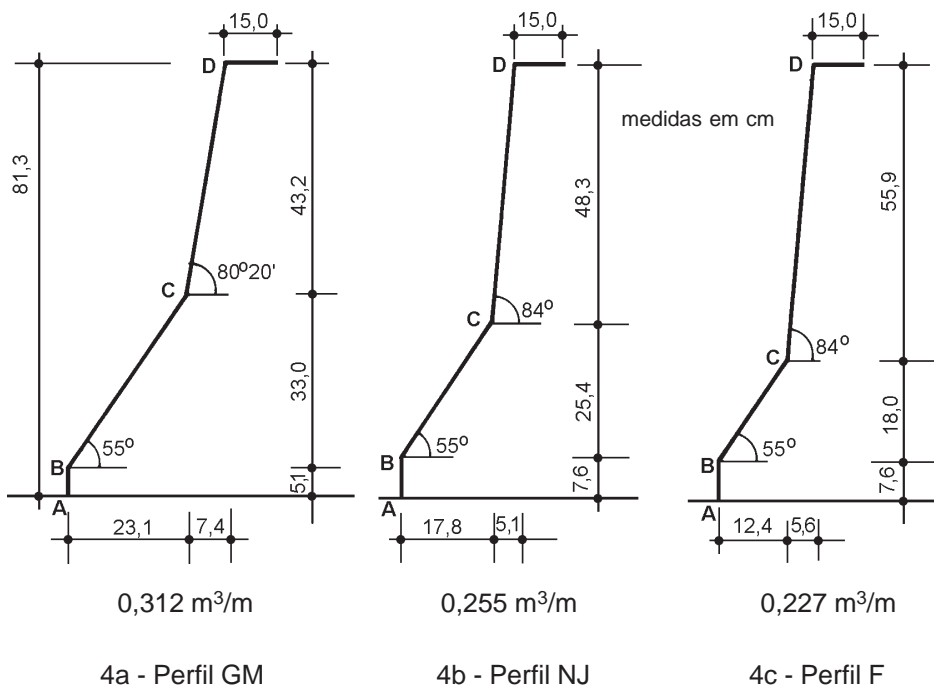


FIGURA 4 - Perfis de barreiras

4 MODO DE ATUAÇÃO DA BARREIRA

A forma geral das barreiras rígidas de concreto são as apresentadas na *Figura 4*⁴⁷, que atuam sobre o veículo desgovernado da forma descrita a seguir:

a) *Meio-fio AB*

Trecho vertical com altura compreendida entre 5,0 cm e 7,5 cm e é o primeiro elemento de redirecionamento do veículo. Para pequenas combinações de velocidade (V) e ângulo de impacto (α) e talvez para pequenos valores do componente lateral da velocidade ($V\text{sen}\alpha$), apenas este elemento é suficiente para reconduzir o veículo à pista sem qualquer outro problema. O atrito das rodas com este ressalto também desacelera o veículo.

A altura deste meio-fio deve ser limitada, para não reter as rodas do veículo no caso de grandes valores da velocidade lateral, evitando assim o capotamento.

b) *Rampa BC*

Esta rampa tem inclinação de 55° e a altura varia de 18,0 cm a 33,0 cm^{47, 10, 23}. Este elemento da barreira tem por finalidade a absorção da energia cinética do veículo por efeito da deformação do seu sistema de suspensão (molas e amortecedores). Parte da energia cinética do veículo se transforma em energia potencial, devido à elevação do seu centro de gravidade e em energia cinética de rotação em torno do seu eixo longitudinal (*rolagem*). O veículo começa a se inclinar para dentro da pista.

Esta *rolagem* é contrária à tendência de capotamento causada pelo encontro com o meio-fio. A roda dianteira ao encontrar a rampa é forçada energicamente para o interior da pista, o que constitui uma segunda tentativa de recondução do veículo.

c) *Mureta CD*

Esta parede, quase vertical (o ângulo com a horizontal é de 80° a 85°), atua lateralmente sobre as rodas do veículo, praticamente sem possibilidades de ser escalada. Se o ângulo de impacto for grande (maior do que 10°), o *pára-choque* e o *pára-lama dianteiro* podem bater contra a mureta, reconduzindo o veículo à pista sem qualquer outro problema.

A inclinação máxima (*rolagem*) é atingida neste momento, mas é contrária à tendência de capotamento devida à ação de recondução do veículo à pista. Essa inclinação evita, ou, pelo menos, reduz os estragos à carroceria do veículo, pois esta só é atingida em casos de grande valor da componente lateral da velocidade ou em casos de ângulos de impacto superiores à ordem dos 10° ⁴¹.

Do ponto de vista de preservação do veículo, é neste ponto que reside a principal diferença entre esse tipo de barreira e a que atua lateralmente, pois a segunda atua imediata e diretamente sobre as partes laterais do veículo causando estragos, mesmo em casos de pequeno componente lateral de velocidade.

5 ENSAIOS E ESTUDOS TEÓRICOS

Com a finalidade de prever e melhorar o desempenho dos diversos tipos de barreiras, inúmeros ensaios(*), estudos teóricos^{16, 23, 35} e mesmo programas de simulação para computadores estão sendo continuamente desenvolvidos^{22, 27}.

É interessante citar a pesquisa feita por *D. F. Dunlap*¹⁶ sobre a eficiência das *barreiras-meio-fio*, também chamadas *barreiras baixas*, ou, ainda, *barreiras transponíveis ou montáveis*, no redirecionamento de veículos.

Nesse trabalho foram estudados o *perfil Trief*, Bélgica e o *Elsholz*, Alemanha Ocidental. O primeiro (*Figura 2a*) se mostrou eficiente em 27,4% dos casos ao passo que o segundo (*Figura 2b*) mostrou resultados favoráveis em 70,4% dos casos.

Nesse estudo se conclui que a condição de eficiência das barreiras *Trief* e *Elsholz* é dada pela equação:

$$V \operatorname{sen} \alpha = K$$

sendo:

V = velocidade do veículo;

α = ângulo de impacto;

para a barreira *Trief* $K = 3,1 \text{ mi/h} \cong 5,0 \text{ km/h}$;

para a barreira *Elsholz* $K = 9,1 \text{ mi/h} \cong 14,6 \text{ km/h}$.

(*) As referências 4, 5, 6, 7, 10, 11, 24, 25, 34, 37, 41, 42, 43, 44, 45, 52 e 53 descrevem os ensaios de barreiras em escala natural.

No caso da barreira *Elsholz*, para ângulos de 15°, a velocidade máxima obtida, pela expressão acima, é de 56 km/h.

Por essa razão, alguns autores^{13, 64} dão essas condições (60 km/h e 15°) como limites para utilização de barreiras rígidas.

Mas, esses trabalhos referem-se exclusivamente a barreiras baixas, ou seja, de no máximo 50 cm de altura.

Todavia, *B. DENEUVILLE*¹⁵ cita as barreiras estudadas nos E.U.A. (*com 80 cm de altura...*), com resultados satisfatórios, mesmo no que diz respeito ao comportamento do veículo.

Muitas outras séries de ensaios, com diversos tipos de barreiras, foram executadas por diversos órgãos oficiais e pelo campo de prova da General Motors, com o objetivo de estudar, quantitativamente, as diversas grandezas que intervêm no fenômeno de impacto de veículos contra esses dispositivos. Uma dessas experiências⁴⁴ foi feita pela *Highway Division* do Estado da Califórnia, com a finalidade de se obter um perfil que apresentasse a eficiência da barreira metálica, mas com custos de manutenção menores. Os resultados desses ensaios estão na *Tabela 1*.

O *Southwest Research Institute* apresentou em janeiro/76¹⁰, um estudo completo justificado por uma parte introdutória, na qual são feitas considerações sobre o emprego crescente de barreiras de concreto nos E.U.A. Inicialmente, esses perfis eram usados apenas como barreiras centrais, mas depois passaram a ser usados, também, para proteção em obras-de-arte.

Vários testes com perfis dos tipos *GM* e *NJ* foram executados, mas os resultados não foram comparáveis devido às grandes diferenças das condições de teste¹⁰.

O objetivo dessa pesquisa foi, portanto, obter informações comparáveis sobre o comportamento de carros pequenos, dado o número crescente desses veículos. Na *Tabela 3*, o veículo normal pesa aproximadamente 2000 kg, ao passo que o veículo pequeno pesa aproximadamente 1000 kg.

É interessante citar também, que um dos estudos conclui, que com velocidades elevadas há probabilidade maior de o veículo encontrar a barreira a ângulos menores^{2, 3}.

TABELA 1 - Ensaio em barreiras de aço e concreto

Item	Verificações	Tipo de barreira (Ensaio nº)			
		Aço (143)	Concreto (161B)	Aço (142)	Concreto (162)
Veículo	Ângulo de impacto(*)	10°	7°	25°	25°
	Ângulo de saída	3°	-	6°	12°
	Velocidade de impacto (km/h)	78,9	104,6	103	101,4
	Velocidade de saída (km/h)	61,2	98,2	74	88,5
	Distância em contacto (m)	15,54	7,62	11,28	3,81
	Rolagem	0°	14° (dir.)	18° (esq.)	25° (dir.)
	Deflexão lateral (cm)				
Barreira	• instantânea	23,0	0	122	0
	• residual	8,0	0	71	0
	Deflexão vertical (cm)	13,0 (para cima)	0	27 (para baixo)	0
	Danos e substituições	3 estacas	0	11 estacas	0
		-	0	3 lâminas	0
		9 calços	0	22 calços	0
	Custos dos reparos (US\$)	85,00	0	75,00	0

(*) Impacto à esquerda

TABELA 2 - Perfis - Resultados de ensaios: filme e acelerômetro

Item	Verificações	Ensaio						
		E-3(*)	MBGF(**)	CMB-1	CMB-2	CMB-3	CMB-4	
Veículo	Marca/Ano	Plymouth/63						
	• massa (kg)	1641	1655	1818	1923	1913	Chevrolet/63	
	• ângulo de impacto (graus)	25°	25°	25°	25°	7°	15°	
Filme	Velocidade no impacto (km/h)	95,4	92,2	100,4	89,6	97,5	97,7	
	Deslocamento dinâmico da barreira (cm)	21,0	46,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Desaceleração longitudinal média (g)	3,3	3,0	2,0	-	0,4	1,3	
	Desaceleração transversal média (g)	6,2	4,6	8,0	6,4	2,2	4,7	
	Ângulo de retorno (graus)	8,7°	19,7°	7,3°	6,0°	1,5°	11,5°	
Acelerômetro	Desaceleração longitudinal							
	• máxima (g)	21,3	12,8	8,7	10,3	8,4	7,8	
	• média (g)	4,1	3,0	3,2	1,8	0,5	1,4	
	• tempo (s)	0,533	0,560	0,184	0,271	0,325	0,244	
Desaceleração transversal								
• máxima (g)	6,1	-	16,1	13,3	29,2	14,0		
• média (g)	0,4	-	4,4	2,8	1,8	3,0		
• tempo (s)	0,537	-	0,254	0,280	0,282	0,264		

(*) Perfil de 2 tubos metálicos longitudinais

(**) Duplo perfil W metálico.

TABELA 3 - Resultados de ensaios de barreiras de concreto perfis NJ, GM e F

Massa do veículo	1.980 kg						1.010 kg						2.040 kg		
	7°			15°			7°			15°			25°		
	CMB-1	CMB-2	CMB-11	CMB-3	CMB-4	CMB-12	CMB-5	CMB-6	CMB-8	CMB-10	CMB-7	CMB-5	CMB-13	CMB-14	CMB-15
Designação do ensaio	NJ	GM	F	GM	NJ	F	GM	GM	NJ	F	GM	NJ	F	F	NJ
Perfil															
Velocidade impacto (km/h)	97,0	99,1	93,3	90,9	89,9	98,8	85,3	87,9	89,9	95,4	91,9	94,8	91,2	96,5	96,5
Ângulo impacto (graus)	7,5°	7,3°	8,0°	15,5°	15,9°	15,2°	8,4°	9,2°	8,0°	6,8°	16,5°	15,5°	14,6°	25,0°	25,0°
Rolagem - ângulo máximo	15°	20°	11°	20°	20°	21°	31°	21°	20°	10°	(*)	20°	13°	48°(**)	60°(**)
Ensaio (graus)	2°	5°	-	26°	17°	6°	20°	20°	14°	-	31°	27°	17°	-	-
Modelo matemático (graus)															
Desacelerações máximas (média em 0,050 s)															
Longitudinal															
Filme (g)	-1,7	-1,5	-1,4	-3,3	-5,0	-4,1	-2,4	-2,7	-	-3,4	-5,3	-3,6	-3,9	-7,0	-6,2
Acelerômetro (g)	-0,9	-2,2	-	-1,6	-1,6	-1,6	-1,4	-1,9	-1,0	-	-3,4	-0,9	-	-11,3	-14,1
Transversal															
Filme (g)	-5,0	-3,6	-5,0	-10,1	-10,1	-5,5	-4,3	-5,3	-	-4,6	-8,3	-5,1	-4,6	-5,4	-3,3
Acelerômetro (g)	-2,0	-2,8	-	-5,2	-5,5	-2,0	-2,0	-2,4	-3,2	-	-4,6	-6,0	-	-8,2	-9,7
Vertical															
Valor (g _h)	14	11	-	28	32	-	18	21	22	-	19	27,6	-	-	-
Duração (s)	0,0125	0,0125	-	0,0109	0,0134	-	0,012	0,005	0,009	-	0,006	0,011	-	-	-

(*) Capotagem do veículo.

(**) Valor obtido do filme cinematográfico.

NOTAS: g = aceleração da gravidade = 9,80665 m/s²g_h = valor.

Inicialmente, as barreiras de concreto eram consideradas eficientes, apenas para veículos de passeio, mas ensaios^{24, 52, 33, 53} feitos com caminhões carregados, pesando até 9000 kg, deram resultados inteiramente satisfatórios.

As Tabelas 1, 2 e 3^{44, 52, 10} dão um resumo de alguns desses ensaios, inclusive em um dos casos são feitas considerações sobre custos de reparos.

Desses inúmeros ensaios e experiências já realizados podemos extrair uma série de conclusões, que resumimos a seguir:

5.1 Rolagem

Os ângulos de rolagem observados são maiores para a barreira tipo GM, menores para o perfil F e intermediários para o perfil NJ (Figura 5).

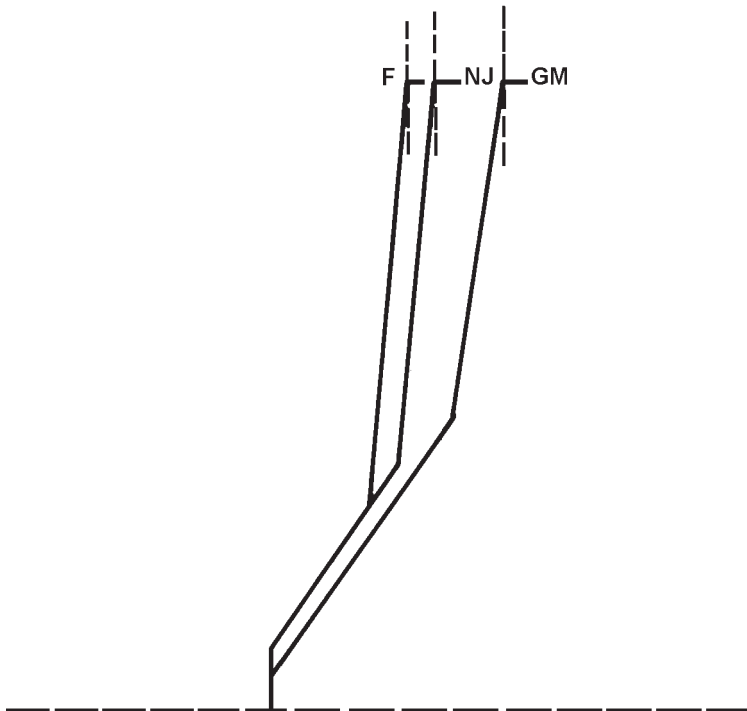


FIGURA 5 - Comparação entre os perfis: GM, NJ e F

Para os carros pequenos o ângulo de rolagem é maior do que para os grandes. A Figura 6 mostra a razão. A altura h é decrescente da barreira tipo GM para o perfil NJ e para o perfil F, mantendo-se a distância d ; o ângulo de rolagem será tanto maior quanto maior for h .

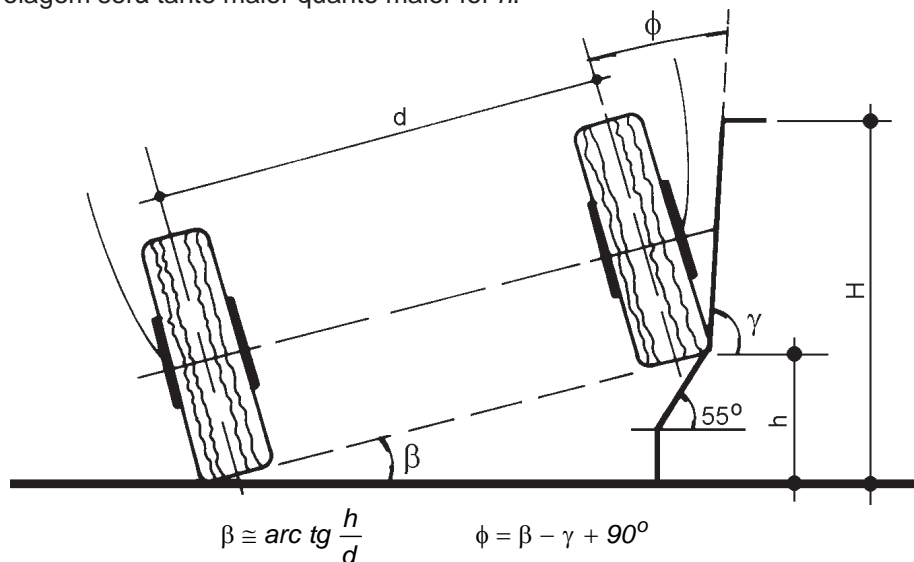


FIGURA 6 - Diagrama esquemático de rolagem

Os carros pequenos têm uma bitola menor e, portanto, uma distância d menor, o que resulta, para um mesmo valor de h , um ângulo de rolagem maior.

Com o perfil GM, no teste com veículos pequenos, a 91,7 km/h e ângulo de 16,5°, houve capotamento¹⁰. A razão é o maior ângulo de rolagem, acrescido do fato de que o ângulo $\phi = \beta - \gamma + 90^\circ$ é maior (Figura 6). Quanto maior for esse ângulo mais fácil será para a roda escalar a barreira; além disso, na barreira tipo GM o obstáculo inicial, representado pelo meio-fio, é menor. A menor massa desses carros resulta em maior aceleração de rolagem, aumentando a tendência ao capotamento.

Com os perfis F e NJ não foi observado nenhum caso de capotamento¹⁰.

5.2 Desaceleração

De um modo geral, os três perfis deram valores combinados de desaceleração (Tabelas 1, 2 e 3) e tempo de duração, perfeitamente suportáveis pelo organismo humano (Figura 7)³⁸. Com o perfil F foram observados valores

maiores e com o *perfil GM* valores menores. Os valores de desaceleração, observados com barreiras de concreto, em geral, são menores do que os obtidos com outros tipos de barreiras.

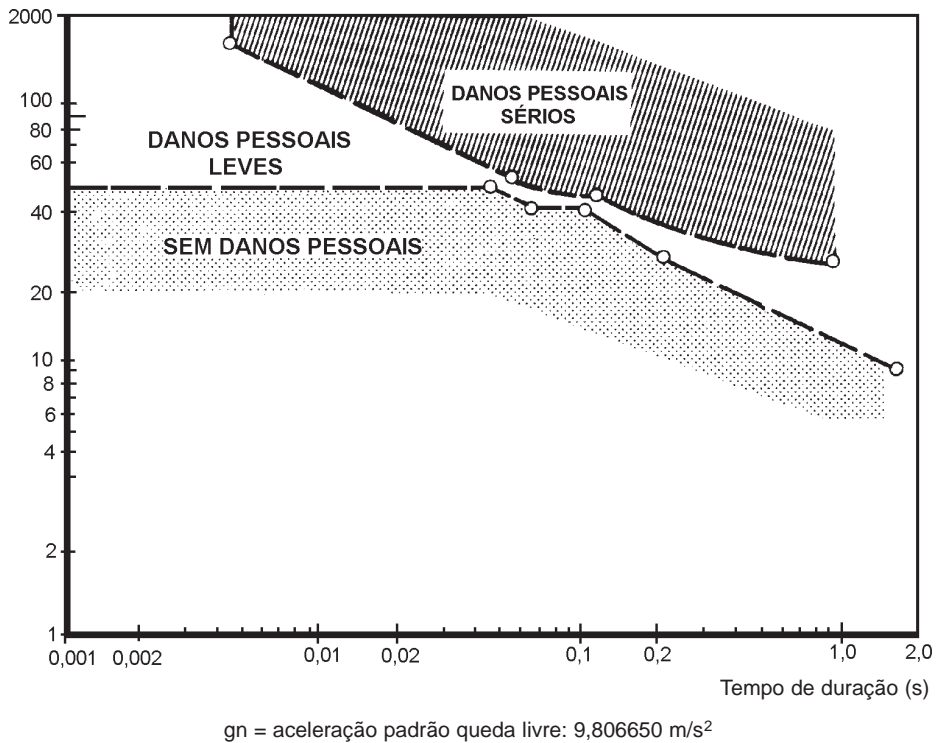
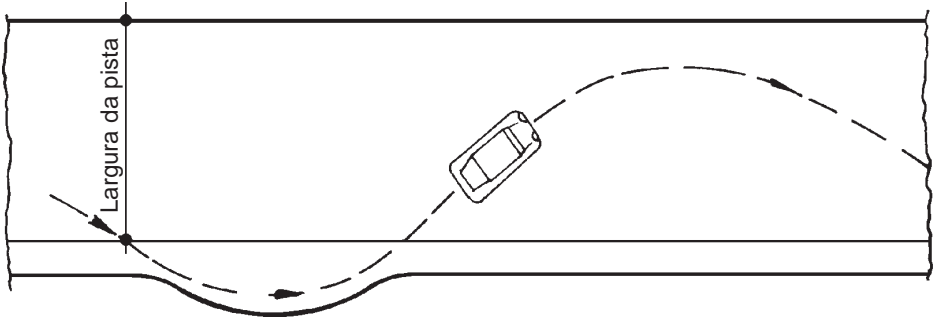


FIGURA 7 - Danos pessoais - Conseqüência de acidentes

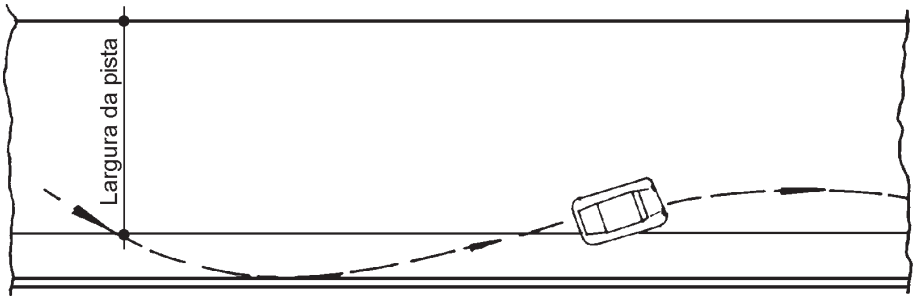
As desacelerações longitudinais, transversais ou verticais são funções diretas da velocidade lateral de impacto.

5.3 Ângulo de Retorno⁵¹ (Figura 8)

Este dado é muito importante, pois um ângulo de retorno grande pode resultar choque do veículo retornado pela barreira e outros que trafegam no mesmo sentido.



8a - Barreira deformável



8b - Barreira rígida

FIGURA 8 - Ângulo de retorno à pista

No choque com barreiras rígidas, o ângulo de retorno observado tem sido bem pequeno, o contrário do que ocorre com as barreiras deformáveis⁴¹.

Ao se chocar com uma barreira indeformável, a frente (lado do impacto) do veículo é jogada energeticamente para o lado oposto ao do impacto; o veículo começa a sofrer um movimento de rotação em torno de um eixo vertical; a dianteira se afasta e a traseira se aproxima da barreira; logo em seguida a traseira (também lado do impacto) se choca, praticamente, com o mesmo ponto da barreira, interrompendo-se aquela rotação quando o veículo estiver paralelo à pista.

Nos casos em que a barreira se deforma, após o impacto com a dianteira do veículo, o movimento de rotação continua até que a sua traseira bata no mesmo ponto da barreira, deslocado pela deformação, o que implica em uma rotação maior, ou seja, recondução do veículo à pista sob um ângulo maior^{2,3}.

5.4 *Deformação e Danos à Barreira*

No caso da barreira rígida não foi observado nenhum dano, após o impacto, o que significa custo nulo de manutenção e continuidade de serviço, para quaisquer condições de impacto⁴¹.

Foram feitas experiências com barreiras sem nenhuma ancoragem e não foi notado nenhum deslocamento; neste caso foi usado o *perfil NJ*, continuamente armado, com extensão de cerca de 45 m. Uma dessas experiências foi feita com caminhão carregado pesando no total 9000 kg^{24, 52}.

Os esforços sobre as barreiras foram comparáveis para os *perfis NJ* e F^0 , embora os valores máximos dos esforços laterais e os momentos em relação ao centro de massa tenham sido maiores para o caso do *perfil F*.

5.5 *Danos ao Veículo*

Nos casos de pequenos componentes transversais de velocidade, os danos ao veículo, são praticamente nulos, contrariamente ao que sucede com os dispositivos que atuam próximo ao centro de gravidade do veículo. Quando esse componente era maior, foram observados danos maiores, porém, ainda assim, menores do que os observados com os outros tipos de barreiras.

Os danos aos veículos, em geral, eram menores com *perfil GM*, com exceção do caso de capotamento; os danos aos veículos grandes eram menores com o *perfil F*, mas no caso de veículos pequenos eram maiores do que os observados com *perfil NJ*.

Somente para ângulos superiores a cerca de 10° o veículo progressivamente vai sendo atingido pela mureta nas partes laterais⁴¹.

5.6 *Limites para o Uso de Barreira*

Vários trabalhos^{39, 52} sugerem limites para o uso da barreira central (*Figura 9*). *TELFORD & ISRAEL*⁶³ concluem que torna-se necessário uma barreira intransponível para densidades de tráfego de 10 a 15 mil veículos por dia. Outros estudos mostram que as barreiras de concreto não atuam sobre a distribuição do tráfego no sentido de reduzir a largura efetiva da pista^{28, 55}.

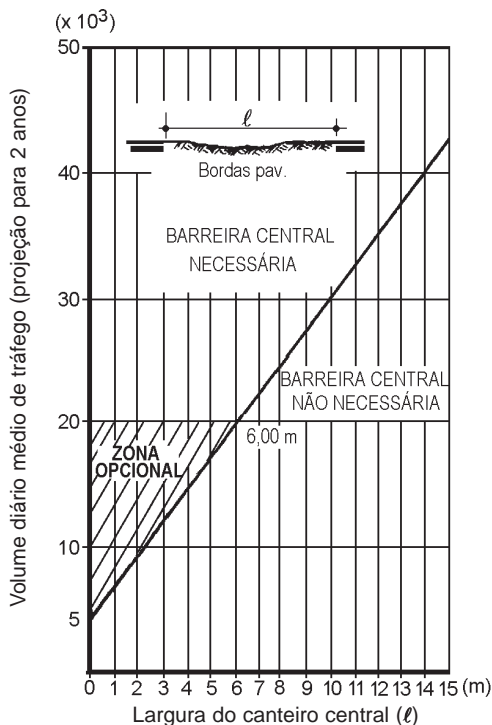


FIGURA 9 - Limites para uso de barreiras

6 OBSERVAÇÕES SOBRE AS BARREIRAS EM USO

As observações feitas em diversos trechos rodoviários, onde foram instaladas barreiras de concreto, mostraram resultados definitivamente favoráveis a esse tipo de barreira e que confirmam plenamente as previsões dos ensaios e estudos que mencionamos.

Na *Pulaski Skyway*⁶⁰, no período de 1955/56, antes da instalação de barreiras de segurança, houve 367 acidentes com 271 feridos e 8 mortos, ao passo que de 1951 a 1958, após a instalação de barreiras, houve 172 acidentes com 106 feridos sem nenhum caso fatal.

Na *Route 4 (Teaneck)*, de julho de 1954 a dezembro de 1955 (18 meses), houve 16 acidentes com 28 feridos e 2 mortos, ao passo que de 1957 a 1961 (4 anos) houve 8 acidentes com 3 feridos e 1 morto.

Na mesma rodovia, em *Englewood*, entre 1952 a 1954 (3 anos), houve 25 acidentes com 37 feridos e 5 mortos, ao passo que de 1955 a 1961 (7 anos) houve apenas 6 acidentes com 5 feridos e 1 morto.

Nessa mesma referência aparece o resultado de um estudo sobre o que ocorre ao veículo após a colisão com a barreira; em 75 acidentes, 4 veículos foram apanhados por outro veículo pela traseira (1 ferido), 7 bateram de lado com outro veículo (2 feridos) e 5 bateram na traseira de outro veículo (1 ferido).

Esses números mostram que as barreiras de concreto têm reduzido, sensivelmente, o número de acidentes devido a travessia de canteiro central. De acordo com os testes e com a verificação prática, nos casos de velocidades não muito elevadas — às vezes também com velocidades elevadas — e ângulos pequenos, a ocorrência deixa de ser acidente, pois o veículo é reconduzido à pista com pouco ou nenhum dano, prosseguindo a viagem normalmente.

A travessia do canteiro central, que com 30% a 80% de probabilidade resultava em acidente grave e, muitas vezes, fatal, envolvendo outros veículos e causando outras vítimas, como uso das barreiras de segurança, foi convertida num tipo de ocorrência que em 60% dos casos (ângulos de impacto menores do que 10°) não tem nenhuma conseqüência, nem mesmo para o próprio veículo.

A barreira nada sofre e continua em pleno serviço.

A tendência atual, como conseqüência dessas observações, é a construção progressiva desse tipo de dispositivo. Trinta e seis estados americanos usam perfis de concreto. Dezenove adotam o *perfil NJ*, oito adotam o *tipo GM* e os demais adotam variantes desses dois tipos¹⁰.

Em fins de 1973³⁰ havia, aproximadamente, 1600 km de barreiras centrais de concreto nos E.U.A. Até o fim de 1975, esse total evoluiu para cerca de 3380 km. Até o final do ano de 1978, essa extensão se elevou a cerca de 4340 km⁷⁵.

7 ESTUDOS MAIS RECENTES

São apresentados a seguir resumos e comentários de alguns estudos mais recentes que, sem dúvida, representam uma contribuição valiosa para a avaliação do desempenho das barreiras de concreto.

7.1 *Texas Highway Department (THD) - Texas - E.U.A.*⁷⁰

O *Texas Highway Department* fez um estudo comparando o desempenho das barreiras metálicas com as de concreto, considerando o *Índice de Severidade (I.S.)* e os danos à barreira e ao veículo.

O *Índice de Severidade* é definido pela expressão abaixo:

$$I.S. = \frac{x^2}{X^2} + \frac{y^2}{Y^2} + \frac{z^2}{Z^2}$$

$$X = 7 g$$

$$Y = 5 g$$

$$Z = 6 g$$

g = aceleração da gravidade

onde x , y e z são acelerações máximas, com a duração de 0,050 de segundo, sofridas pelos ocupantes do veículo, segundo as direções longitudinal, transversal e vertical e X , Y e Z são constantes.

O *Índice de Severidade*, igual à unidade, representa o limite máximo, sem haver ferimento ou qualquer dano pessoal.

De três observações feitas, sob ângulos de impacto diferentes, chegou-se à conclusão de que para ângulos pequenos de impacto, até da ordem de 12° a 15°, para as barreiras rígidas, o *Índice de Severidade* é inferior ao que se verifica para as barreiras metálicas. A partir de 15° o impacto com barreiras rígidas começa a apresentar índices de severidade maiores.

Nesse mesmo trabalho é feito um cuidadoso estudo dos ângulos de impacto com barreiras, em função da distância da barreira à borda da pista e da velocidade do veículo.

Esse estudo foi feito a partir de alguns resultados experimentais, que foram depois confrontados com os resultados de um modelo matemático para computador, o *HVOSM (Highway - Vehicle Obstacle Simulation Model)*, que permitiu a obtenção de uma série de curvas (*Figura 10*).

Esse estudo conclui, quanto às condições limites para o uso de barreira, apresentando as seguintes recomendações:

Largura do canteiro central (ℓ)	Tipo de barreira
até 5,40 m	Rígida
mais de 5,40 m a 7,20 m	Rígida ou deformável
mais de 7,20 m a 9,00 m	Deformável

ℓ = dobro da distância da barreira à borda da pista.

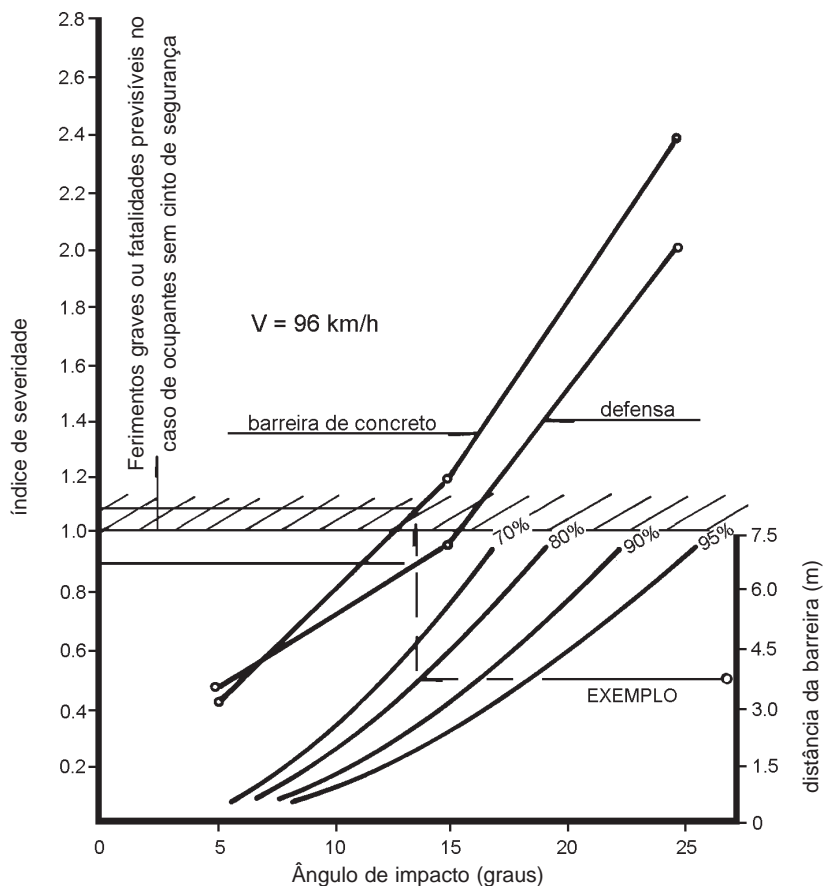


FIGURA 10 - Desempenho de barreiras - Critério de seleção

7.2 Transport and Road Research Laboratory (TRRL)⁷⁴

Foi feito um estudo pelo TRRL com vários perfis de barreira e as conclusões não são definitivas.

Os limites adotados por esse laboratório são de 113 km/h e 25° para carros pequenos. Estes valores têm levado a alguns capotamentos.

Os estudos teóricos do TRRL partem da hipótese de que o ângulo de impacto seria determinado pela trajetória de raio mínimo, obtida quando a força centrífuga e a força de atrito dos pneus com o pavimento forem iguais.

Os estudos do *THD*, no entanto, mostram que os ângulos reais são menores do que os obtidos a partir dessa consideração, de modo que, as condições estabelecidas pelo *TRRL* são mais severas do que as reais.

Esse estudo, também, conclui pelo melhor desempenho do *perfil New Jersey*, recomendando que sua altura total seja reduzida de 75 mm nas rodovias de três faixas, para evitar capotamento de veículos pequenos.

7.3 *Federal Highway Administration (FHA) - E.U.A.*⁶⁸

Esse trabalho foi feito a partir de um levantamento, através de questionários, de todos os tipos de barreiras rígidas existentes nos E.U.A., tendo sido obtido através de questionários os resultados indicados abaixo:

- tipos de barreiras - dimensões;
- extensões construídas, projetadas e em construção;
- observações quanto ao desempenho;
- tipos de construção (pré-moldadas, moldadas *in loco* e com fôrmas deslizantes);
- instalação de luminárias e dispositivos de sinalização;
- drenagem;
- aberturas operacionais (para emergências);
- extremidades.

Nesse estudo está contido, também, o estudo do *THD* já mencionado.

As conclusões desse trabalho são de que seja adotado o *perfil New Jersey*, considerando o aumento da população de carros pequenos nos E.U.A.

Concluiu-se ser desnecessária a ancoragem a não ser nas extremidades, desde que, no caso de barreiras pré-moldadas, haja um dispositivo de transferência de esforços laterais.

Ainda nesse estudo recomendou-se a execução de barreiras pré-moldadas, devido a maior facilidade de obtenção de superfícies mais regulares e melhor acabamento.

7.4 *Illinois State Toll Highway Authority - Illinois - E.U.A.* ⁷³

Esse relatório foi apresentado ao *Committee on Operational Effects of Geometrics*, do *Transportation Research Board*, em Washington, em janeiro de 1978.

Seu autor, *Donald C. Zimmer*, é o Engenheiro Chefe da *Illinois State Toll Highway Authority*.

Realizou-se um estudo comparativo dos custos dos acidentes, antes e depois da instalação de barreiras de segurança, no Sistema de Rodovias Bloqueadas (tradução literal de *Illinois Tollway System*).

Os pontos principais desse relatório são os apresentados a seguir:

Esse sistema, em operação há quase 20 anos, apresenta índice de acidentes fatais bem menor do que o observado nas demais rodovias. Depois de 1973, quando se iniciou a construção de barreiras de concreto, esse índice caiu para 0,60 mortes por 10^8 veículos.milha, que é a metade do índice de 1,20/ 10^8 veículos.milha, observado em todas as rodovias bloqueadas em 1976. O índice para as estradas interestaduais foi 1,50 e para todas as rodovias, do país, foi de 3,30.

Um estudo cuidadoso realizado durante 3 anos, antes e depois da instalação de barreiras de segurança, mostrou significativa redução de acidentes fatais e de acidentes envolvendo vários veículos, embora houvesse aumento do número de acidentes e do volume de danos materiais. É interessante notar que nesse estudo foi observado que menos da metade dos casos de choques de veículos com barreiras têm registro de ocorrência.

Concluiu-se que a redução do custo dos acidentes foi de 70% e que o custo da barreira de concreto se amortiza totalmente após 3 anos e meio.

Menciona, ainda, esse relatório, o fato de que mesmo em locais onde o canteiro central é largo não há possibilidade de se evitar a travessia de veículos desgovernados que, freqüentemente, resultam em acidentes fatais, o que levou à decisão de se instalar barreiras de concreto (foi adotado o *perfil New Jersey*).

Nos locais onde essas barreiras foram construídas as ocorrências foram eliminadas, sendo constatada a sua eficiência, como dispositivo de segurança, para os diversos tipos de veículos, desde pequenos automóveis até carretas com reboques.

A seguir, são descritos os 4 acidentes fatais, registrados após 3 anos de uso da barreira de segurança, chamando a atenção para o fato de que estes foram acidentes de caráter excepcional. Em um deles o passageiro notou que o motorista estava inconsciente antes que o carro batesse na barreira, levando a crer que a morte não foi consequência do impacto, mesmo porque os danos ao veículo foram de apenas US\$ 100,00. Outro acidente foi provocado pelo motorista, após discussão com a esposa que o acompanhava, resultando em choque quase frontal com a barreira. A terceira ocorrência foi a de um veículo, totalmente desgovernado, que zigzagueou pela pista e o último foi devido ao estouro do pneu dianteiro esquerdo. Foram registrados 12 acidentes fatais antes da instalação de barreiras de segurança.

O relatório faz ainda uma série de considerações sobre custos de construção, custos de acidentes fatais e não fatais, fundamentando assim a sua conclusão na economia de execução das barreiras rígidas.

8 NORMAS

A norma brasileira NBR 7942 adotou o *perfil New Jersey*, com medidas e tolerâncias transformadas no sistema métrico (Sistema Internacional), que passou a se denominar *perfil ABNT*.

A NBR 7942 estabelece, além do perfil outras características como:

- a) resistência característica do concreto = 20 MPa;
- b) abertura máxima entre partes ou peças (caso de pré-moldados) = 50 mm;
- c) resistência lateral (caso de barreira incorporada a obras-de-arte) = 20 MPa;
- d) ângulos de transição de largura;
- e) outros requisitos necessários ao bom desempenho e à segurança — ancoragem, armadura etc.

9 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

A construção de barreiras de concreto pode ser feita por moldagem *in loco* ou com peças pré-moldadas. Já se construíram também barreiras moldadas *in loco* com protensão longitudinal das peças.

No caso de moldagem *in loco* pode se usar o processo convencional de fôrmas de madeira ou de aço, ou equipamentos de fôrma deslizante (Foto 1). A concretagem pode ser feita, em ambos os casos, continuamente, devendo-se prever juntas de retração cada 5 m ou 6 m.

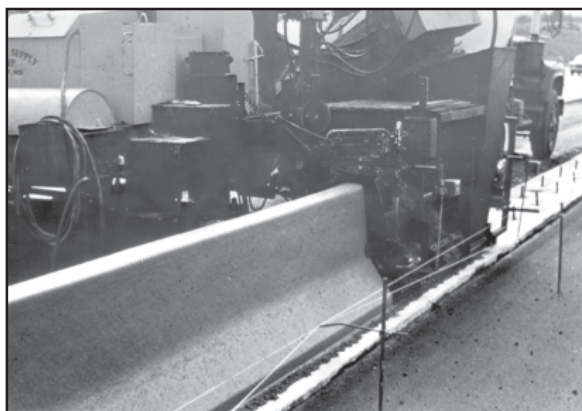


FOTO1 - Perfil moldado *in loco* com fôrma deslizante

No caso de pré-moldados, deve-se prever uma fixação (ancoragem) entre as peças.

Essa ancoragem também pode ser conseguida instalando-se as peças de forma que sua base fique cerca de 25 cm abaixo da superfície do terreno; nesse caso, as peças devem ter um acréscimo de altura.

No caso de peças pré-moldadas, a ancoragem pode ser conseguida por meio de engates de diversos tipos entre as peças.

Esses engates devem possibilitar uma certa deflexão das peças, a fim de que se possam instalar esse dispositivo em trechos curvos.

A fixação de uma peça a duas outras já proporciona uma ancoragem eficiente, dispensando qualquer outro tipo de fixação ao solo.

Este particular torna este dispositivo especialmente recomendável nos casos de instalações temporárias ou de emergência — desvios para reparos ou devidos a desabamentos etc. (Fotos 2 e 3).



FOTO 2 - Perfil pré-moldado com ancoragem



FOTO 3 - Perfil pré-moldado para instalações temporárias

10 EXPERIÊNCIAS E OBSERVAÇÕES RECENTES

10.1 Experiência Brasileira

No Brasil já se tem uma boa experiência de barreiras de concreto.

Descreveremos a seguir alguns desses casos porque encerram informações úteis.

10.1.1 Avenida Brasil (Rio de Janeiro/RJ)

Os primeiros dispositivos desse tipo são as barreiras da Avenida Brasil, construídas em 1971, com o perfil mostrado na *Figura 11* e comparado na *Figura 12* com os perfis *GM*, *NJ* e *F*. Este perfil foi inicialmente usado no Estado de *New Jersey* com pequena altura, mas depois substituído pelo atual.

O desempenho dessa barreira tem sido muito satisfatório ao longo destes 20 anos de vida. Não se registrou nenhum caso de transposição da barreira. Sempre se vê marcas de rodas e de pára-choques de veículos, mas a maioria faz supor que não deve ter havido nenhuma consequência grave. Os danos à barreira tem sido muito pequenos, exigindo pouca ou nenhuma manutenção.

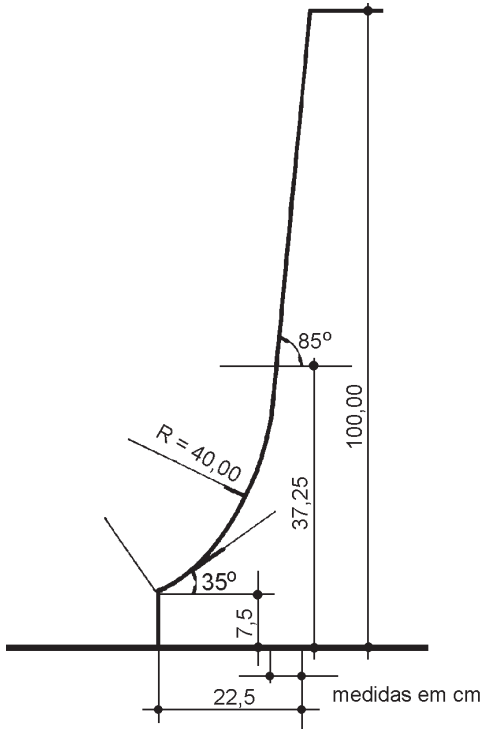


FIGURA 11 - Perfil - Avenida Brasil

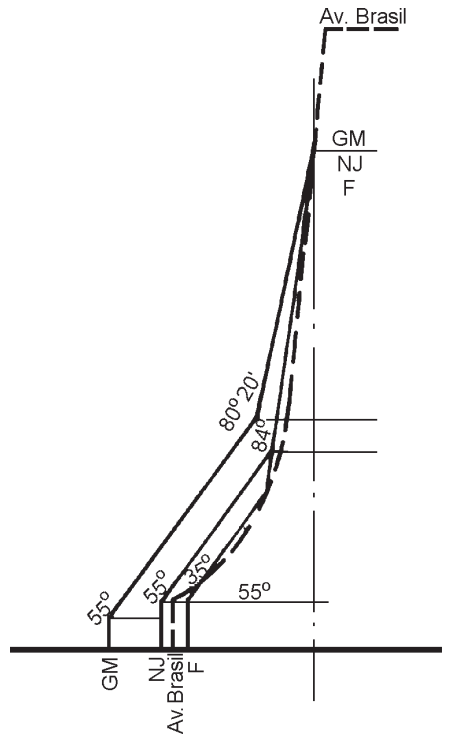


FIGURA 12 - Comparação entre os perfis GM, NJ, F e Avenida Brasil

Pela *Figura 12*, pode-se observar que esse perfil se aproxima um pouco mais do *perfil F* sendo, portanto, um pouco mais desfavorável à preservação do veículo do que o *NJ*.

10.1.2 Elevado Paulo de Frontin (Rio de Janeiro/RJ)

Este é um bom exemplo de barreira com *perfil NJ*, construído em 1972 juntamente com o elevado. Em certos trechos em curva pode se notar uma grande quantidade de marcas de pneus, muitas delas sem indício de batida da parte metálica do veículo (*Foto 4*).



FOTO 4 - Barreiras com *perfil NJ* no elevado Paulo de Frontin (RJ)

10.1.3 Ponte Rio-Niterói (RJ)

A barreira de segurança que separa as duas pistas desta ponte apresenta interrupções, denominadas aberturas operacionais, para possibilitar o remanejamento de trânsito em caso de obstrução de uma das pistas (acidente, manutenção etc.).

No entanto, essas aberturas terminam em topos que ficam expostos aos veículos que correm o risco de choque frontal, com conseqüências geralmente fatais.

Sugere-se, nesses casos, o uso de barreiras pré-moldadas móveis com sistema de ancoragem entre si e entre partes fixas. Essas peças móveis poderiam também ser usadas para redirecionar o trânsito no caso de remanejamento (*Foto 5*).



FOTO 5 - Barreiras pré-moldadas usadas para redirecionamento do trânsito

10.1.4 Via Imigrantes - São Paulo-Santos (SP)

Nesta rodovia foram construídas barreiras com *perfil GM*, porém, sem a parte designada como meio-fio.

Segundo alguns autores, isso pode ter o efeito de cunha, ajudando o veículo a subir pela barreira.

Embora essa modificação não seja recomendável, o perfil tem mostrado desempenho satisfatório. Sabe-se de acidente em que o veículo subiu pela barreira e arrancou o balaustre, porém sem consequência grave; talvez a falta do meio-fio tenha facilitado essa ocorrência (*Foto 6*).



FOTO 6 - Barreira *perfil GM*, na Via Imigrantes (SP)

10.1.5 Via Régis Bittencourt - BR-116 - São Paulo-Curitiba

Nesta rodovia há um trecho de quase 8 km, dotado de barreira com *perfil GM*, em peças pré-moldadas, com o topo mais largo para acomodar as bases de postes de iluminação. As peças foram colocadas no solo mas não fixas entre si. Notam-se muitas marcas de pneus, nenhum caso de travessia, apenas um acidente de um caminhão que se chocou com pequeno ângulo com a barreira e, depois de percorrer cerca de 30 m com uma roda sobre o perfil, bateu contra um dos postes e capotou, sem nenhum ferido grave (os 4 ocupantes sofreram ferimentos generalizados). Nessa mesma rodovia, aproximadamente entre o km 90 e o km 110, existem barreiras com *perfil NJ*, à beira de um precipício, onde se observam muitas marcas de pneus, no entanto sem registros de ocorrência (*Foto 7*).



FOTO 7 - Barreira *perfil GM*, na Via Régis Bittencourt-BR-116 trecho São Paulo/Curitiba

10.1.6 Outros casos

Há inúmeros casos de barreiras de segurança de concreto, mas evidentemente, a sua citação se tornaria repetitiva e talvez, até, monótona.

Num relance rápido seria oportuno mencionar a Serra do Rio do Rastro, entre Lauro Müller (SC) e São Joaquim (SC), onde a barreira oferece segurança aos veículos em despenhadeiros com alturas entre 300 m e 700 m.

Na Via Anchieta-Cubatão (SP), as barreiras foram feitas com o *perfil New Jersey*, porém com altura de 1,50 m, para atender também à finalidade de impedir (ou pelo menos dificultar muito...) a travessia de pedestres em locais perigosos.

10.2 Experiência Estrangeira

Até algum tempo sabia-se de muitas barreiras instaladas nos Estados Unidos, dos quais, a Califórnia parece que liderava.

No entanto, presentemente, na Europa se vê barreiras com o mesmo *perfil New Jersey*, pré-moldadas ou moldadas *in loco*, em vários países como, Portugal, Espanha, Itália, França e outros.

Na América do Sul, a Argentina tem usado muito esse dispositivo.

As *Fotos 8, 9, 10 e 11* mostram algumas dessas barreiras.



FOTO 8 - Experiência estrangeira (Itália)



FOTO 9 - Experiência estrangeira (França)



FOTO 10 - Experiência estrangeira (Portugal)



FOTO 11- Experiência estrangeira (Estados Unidos)

Na *Foto 12* é mostrado um *perfil NJ* em alumínio, usado nos E.U.A., no caso de uma ponte em que havia limitação de peso.

FOTO 12 - *Perfil NJ* em alumínio



11 COMENTÁRIOS FINAIS

Neste trabalho foram mencionados e referidos vários estudos sobre barreiras de segurança.

A norma NBR 7942 adotou um perfil que, além de ser o resultado de muitos estudos e experiências, se mostrou muito eficiente no campo.

Alterações nesse perfil podem levar a resultados indesejáveis como, aliás muitos ensaios mostraram, como, por exemplo, a simples mudança do ângulo da rampa de 55° para 60°. Não obstante essa observação, vê-se alguns casos, como as barreiras construídas na Avenida Nove de Julho e na Avenida Santo Amaro, em São Paulo (SP), como divisória das faixas exclusivas para ônibus, em que esse ângulo foi muito aumentado, reduzindo-se, assim a largura da base; dessa forma a barreira ficou menos resistente e mais exposta a impacto com veículos (*Foto 13*).



FOTO 13 - Barreiras divisórias de faixas exclusivas para ônibus - São Paulo (SP)

Já foi mencionado o caso da ponte Rio-Niterói em que a barreira apresenta perigosas aberturas — interrupções — com topos expostos.

Outro problema é o do início dos trechos de barreiras em que se tem um topo exposto semelhante ao caso das interrupções. Nesses casos, conforme a NBR 7942, recomenda-se que a barreira se inicie com um perfil de transição, conforme é mostrado na *Foto 14* e que esse perfil se inicie o mais distante possível da borda do pavimento.

Em bifurcações de vias também surgem topos perigosos, pois nesses pontos se inicia um trecho de barreira, mas a solução, nesses casos seria um dissipador de energia, de perfis metálicos, tambores vazios ou cheios de água, blocos de concreto celular etc. (*Foto 15*).



FOTO 14 - Perfil de transição

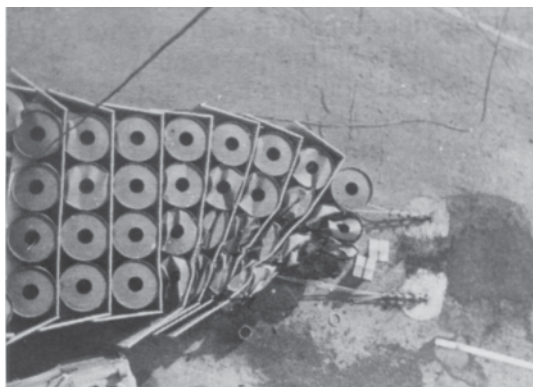


FOTO 15 - Dissipador de energia de tambores vazios após impacto

Não se recomenda o início do perfil a partir de largura nula, que forma como que uma lâmina, como pode ser visto em São Paulo, na bifurcação do Elevado Costa e Silva, na saída para a Avenida Treze de Maio.

12 CONCLUSÕES

As barreiras de concreto em uso têm apresentado um excelente desempenho, o que permite as conclusões seguintes:

- a) Não há limitação quanto ao uso da barreira de concreto, mesmo para velocidades maiores do que 100 km/h e ângulos de impacto até cerca de 30°.

Aproximadamente 80% dos impactos de veículos com esses dispositivos ocorrem com ângulos não maiores do que 15°.

- b) A barreira de concreto tem a vantagem de ser praticamente indestrutível, dispensando qualquer reparo após ocorrências estando, portanto, permanentemente em serviço.
- c) Os estudos e experiências, referidos neste trabalho, bem como as observações de campo, levam a concluir pela adoção do *perfil NJ*, como aliás foi feito pela NBR 7942.
- d) Ainda com base nos estudos e experiências realizados, recomenda-se a rigorosa observância das características do perfil e demais disposições da barreira, conforme NBR 7942. Estão nesse caso dimensões, continuidade, transições de largura, inícios etc.
- e) O uso de barreira de concreto é especialmente recomendado no caso de canteiros centrais estreitos. Esse dispositivo não exige grande largura e também não produz no motorista aquela sensação que o obrigaria a manter-se a uma distância maior da barreira.
- f) É interessante observar que nos ensaios, o comportamento das barreiras tem mostrado um desempenho menos desfavorável do que nos casos reais. Aparentemente a explicação se deve ao fato de que os ensaios são feitos sem motorista e o carro, após o impacto fica completamente desgovernado, ao passo que nos casos reais, o motorista recupera o controle do carro e o reconduz com segurança à pista. Isso é corroborado principalmente na comparação do desempenho das barreiras *tipo GM*: nos ensaios, com carros pequenos, o resultado chega a ser desastroso, o que se observa na realidade.

No entanto, acreditamos ser prudente a segurança adicional apresentada pelo *perfil NJ*.

Referências Bibliográficas

1. AYRE, Robert S., ABRAMS, Joel I. Dynamics of guardrail systems. *Highway Research Board, Proc.*, Washington, D.C., v.33, p.201-9, 1954.
2. _____. Dynamics of highway guardrails: laboratory experiments (I). *Highway Research Board, Proc.*, Washington, D.C., v.34, p.162-72, 1955.
3. _____, HILGER, Milton A. Dynamics of highway guardrails: laboratory experiments (II). *Highway Research Board, Proc.*, Washington, D.C., v.35, p.237-50, 1956.
4. BEATON, J.L. Full scale tests of concrete bridge rails subjected to automobile impacts. *Highway Research Board, Proc.*, Washington, D.C., v.35. p.251-67. 1956.
5. _____, FIELD, Robert N. Dynamic full-scale tests of median barriers. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Board. *Pavement edge markings, shoulders and medians*. Washington, D.C., 1960. (Bul.266)
6. _____, MOSKOWITZ, K. Median barriers: one year's experience and further controlled full-scale tests. *Highway Research Board, Proc.*, Washington, D.C., v.41, p.433-8. 1962.
7. _____, NORDLIN, Eric F. Dynamic tests of corrugated metal beam guardrail. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Guardrails, barriers and sign supports*. Washington, D.C., 1967. (Bul.174)
8. BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Projeto de normas e especificações para barreiras, defensas, telas anti-ofuscantes e separadores de trânsito*. Brasília, 1975.
9. BRANCO, A.M. *Acidentes rodoviários, sinalização e segurança*. São Paulo : s.c.p., 1972.
10. BRONSTAD, Maurice E., KIMBALL, C.E. *Concrete safety shape research*. San Antonio : Southwest Research Institute, 1976.
11. CICHOWSKI, William G., SKEELS, Paul C., HAWKINS, W.R. Appraisal of guardrail installations by car impact and laboratory tests. *Highway Research Board, Proc.*, v.40, p.137-78, 1961.
12. CORRÊA, Wanderley G. *Barreira central de concreto diminui acidentes de trânsito*. São Paulo : ABCP, 1971. (Cimento e Concreto nº 2)
13. CROSBY, John R. Cross - median accident experience on the New Jersey Turnpike. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Board. *Pavement edge markings, shoulders and medians*. Washington, D.C., 1960. (Bul.266)
14. AS DEFENSAS da Imigrantes. *Correio Brasiliense*, n.6, p.14, Jul. 1976.

15. DENEUVILLE, B. Barrières normales de sécurité sur ouvrages d'art. *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes*, v.50, n.523, p.73-84, Sept. 1976.
16. DUNLAP, Duane F. Barrier-curb redirection effectiveness. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Traffic safety barriers and lighting supports*. Washington, D.C., 1973. (Bul.460)
17. _____. Curb-guardrail vaulting evaluation. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Traffic safety barriers and lighting supports*. Washington, D.C., 1973. (Bul.460)
18. ESTADOS UNIDOS. Highway Research Board. National Cooperative Highway Research Program. *Location, selection and maintenance of highway traffic barriers*. Washington, D.C., 1971. (NCHRP n° 118)
19. ESTADOS UNIDOS. Transportation Research Record. *Roadside hazards and safety improvements*. Washington, D.C., 1975. (Bul. 543)
20. FRANCK, R.J. Design and shape analysis of coast steel guardrail post. *Highway Research Board, Proc.*, v.40, p.125-36, 1961.
21. GALLER, S. Barriers on urban highways. *Modern Concrete*, Chicago, v.30, n.5, p.150-70, Sept. 1975.
22. GIAVOTTO, V. Mathematical model for impact tests on crash barriers. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Traffic safety barriers and lighting supports*. Washington, D.C., 1973. (Bul. 460)
23. GRAHAM, M.D., BURNETT, William C., GIBSON, John L. New highway barriers: the practical application of theoretical design. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Guardrails, barriers and sign supports*. Washington, D.C., 1967 (Bul. 174)
24. HIRSCH, I.J., POST, G.R., HORN, L.J. *Concrete median barrier can restrain and redirect large trucks*. Skokie : PCA, 1973. (RP 213.01P)
25. HURD, F.W. Accident experience with traversable medians of different widths. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Board. *Median design: effect on traffic behavior*. Washington, D.C., 1956. (Bul.137)
26. INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO. *Barreras de seguridad de hormigón para carreteras*. Buenos Aires, s.d.
27. JURKAT, Peter M., STARRETT, James A. Automobile: barrier impact studies using scale model vehicles. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Guardrail, barriers and sign supports*. Washington, D.C., 1967. (Bul.174)
28. KEESE, Charles J., SCHLEIDER, Robert H. Correlation of design and operational characteristics of expressways in Texas. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Board. *Traffic behavior as related to several highway design features*. Washington, D.C., 1957. (Bul.170)

29. LOKKEN, Edwin C. *Concrete safety barrier applications*. Skokie : Portland Cement Association, 1969. (TA 001.01P)
30. _____. Concrete safety barrier design. *Transportation Engineering Journal, ASCE*, v.100, TE1, p.151-68, Feb. 1974.
31. _____. *Construction of the concrete safety barrier*. Skokie : Portland Cement Association. 1972.
32. _____. *Portland precast concrete safety barriers*. Skokie : Portland Cement Association, s.d. (RP 214.01P)
33. LUNDSTROM, Louis C. et alii. A bridge parapet designed for safety: General Motors proving ground circular test track project. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Geometric design and barriers rails*. Washington, D.C., 1965. (Bul.83)
34. _____, SKEELS, Paul C. Full-scale appraisals of guardrail installations by car impact tests. *Highway Research Board, Proc.*, Washington, D.C., v.38, p.353-5, 1959.
35. McALPIN, George W. et alii. Development of analytical procedure for prediction of highway barrier performance. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Geometric design and barriers rails*. Washington, D.C., 1965. (Bul.83)
36. McFARLAND, W.F., WALTON, N.E. Economic and accident potential analysis of roadway lighting alternatives. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Visibility*. Washington, D.C., 1971. (Bul. 377)
37. MICHELSON, Irving et alii. Dynamic tests of automobile passenger restraining devices. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Highway safety*. Washington, D.C., 1963. (Bul. 4)
38. MICHIE, J.D., CALCOTE, L.R. *Location, selection, and maintenance of highway guardrails and median barriers*. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Board. Washington, D.C., 1968. (NCHRP Report 54)
39. _____, BRONSTAD, Maurice E. *Guardrail performance and design*. Washington, D.C., Highway Research Board, 1971. (NCHRP Report 115)
40. MOSKOWITZ, K., SCHAEFER, W.E. California median study: 1958. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Board. *Pavement edge markings, shoulders and medians*. Washington, D.C., 1960. (Bul.266)
41. NORDLIN, Eric F. et alii. Dynamic tests of the California type 20 bridge barrier rail. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Design of traffic safety barriers*. Washington, D.C., 1971. (Bul. 343)
42. NORDLIN, Eric F., FIELD, Robert N. Dynamic tests of steel box beam and concrete median barriers. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Guardrails, median barriers and sign and light supports*. Washington, D.C., 1968. (Bul. 222)

43. _____, HACKETT, R.P. Dynamic full-scale impact tests of bridge barrier rails. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Geometric design and barriers rails*. Washington, D.C., 1965.
44. _____, STOKER, J. Robert. *Dynamic tests of concrete median barrier*. Sacramento : Dept. of Public Works. 1967.
45. NORDLIN, Eric F., HACKETT, Raymond D., FOLSOM, John J. Dynamic tests of California type 9 bridge barrier rail and type 8 bridge approach guardrail. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Bridges, foundations, and retaining walls*. Washington, D.C., 1970. (Bul. 302)
46. PAAR, H.G. Crash-barrier research and application in the Netherlands. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Traffic safety barriers and lighting supports*. Washington, D.C., 1973.
47. PIGGOT, Robert W., LOKKEN, Edwin C. *The skape of safety on North American highways*. Skokie : PCA, 1974. (TA 035.01P)
48. PITTSBURGH freeway gets beauty treatment. *Engineering News-Record*, New York, v.179, p.24-5. Dec. 7. 1967.
49. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). *Concrete shoulders*. Skokie, 1975. (IS 185.01P)
50. _____. *Highway safety barriers: questions and answers*. Skokie, s.d. (CR 032.01P)
51. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). *New Jersey white concrete barrier curb*. Skokie, 1967. (M 10008.01)
52. POST, Edward R., HIRSCH, Teddy, HAYES, Gordon G. Vehicle crash test and evaluation of median barriers for Texas highways. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Traffic safety barriers and lighting supports*. Washington, D.C., 1973. (Bul. 460)
53. _____, NIXON, John F. Truck tests on Texas concrete median barrier. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Traffic barriers and lighting supports*. Washington, D.C., 1973. (Bul. 460)
54. ROSS JR., Hayes E. et alii. Warrants for guardrails on embankments. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Traffic safety barriers and lighting supports*. Washington, D.C., 1973. (Bul. 460)
55. SACKS, William Louis. Effect of guardrail in a narrow median upon Pennsylvania drivers. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Geometric design and barriers rails*. Washinaton. D.C., 1965. (Bul. 83)
56. SAFETY concrete. *Precast Concrete*, London, v.7, n.3, p.127, Mar. 1976.
57. LA SECURITÉ sur les routes. *Ciments & Chaux*, Paris, n.664, p.30-2, Jan. 1977.

58. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard specification for precast concrete barrier; C825-76. In: _____. *Cook of ASTM standards*. Philadelphia, 1976. v.16
59. STOCKER, Arthur J., IVEY, Don L., HIRSH, T.J. Full-scale crash tests of the fragmenting - Tube-type energy - absorbing bridge rail. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Bridges, foundations, and retaining walls*. Washington, D.C., 1970. (Bul. 302)
60. STONEX, K.A. Roadside design for safety. *Highway Research Board, Proc.*, Washington, D.C., v.39, p.120-56, 1960.
61. _____, SKEELS, P.C. Development of crash research techniques at the General Motors proving ground. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Highway safety*. Washington, D.C., 1963. (Bul. 4)
62. TERAGIN, A. Driver behavior as affected by objects on highway shoulders. *Highway Research Board, Proc.*, v. 34, p.463-2, 1955.
63. TELFORD, Edward I., ISRAEL, Rudolph J. Median study: California. *Highway Research Board, Proc.*, Washington, D.C., v.32, p.208-31, 1953.
64. VALDES GONZALES-ROLDAN, Antonio et alii. *Ingenieria de trafico*. Madrid : Dossat, 1971. p.713-7
65. YOUNG, Ronald D., POST, Edward R., ROSS JR., Hayes E. Simulation on vehicle impact with Texas concrete median barrier: test comparisons and parameter study. In: ESTADOS UNIDOS. Highway Research Record. *Traffic safety barriers and lighting supports*. Washington, D.C., 1973. (Bul. 460)
66. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *Guide for selecting, locating, and designing traffic barriers*. Washington, D.C., 1977.
67. BARRERAS de seguridad pré-fabricadas en hormigón para auto-pistas y vias de circulación rapida. *Cemento Hormigón*, v.49, n.534, p.625-9, Jun. 1978.
68. ESTADOS UNIDOS. Federal Highway Administration. Offices of Research and Development. *Concrete median barrier research*. Washington, D.C., 1976. (Report n.FHWA-RD-77-4)
69. ESTADOS UNIDOS. Transportation Research Record. *Vehicle barrier systems*. Washington, D.C., 1976. (Bul. 566)
70. ROSS, Hayes E. *Impact performance and a selection criterion for Texas median barriers*. Austin : Texas Transportation Institute, 1974. (Research Report 140-8)
71. SLIPFORMER changes shape on the go. *Highway and Heavy Construction*, New York, v.121, n.8, p.30-1, Aug. 1978.

72. TROUTBECK, R.J. A review of the literature of full-scale tests on safety barriers and energy attenuators. *Australian Road Research*, Victoria, v.6, n.1, p.30-42, Mar. 1976.
73. ZIMMER, Donald C. *Accident experience before and after installation of concrete median barrier*. Illinois Tollway. Washington, D.C., Transportation Research Board, 1978.
74. JEHU, V.J., PEARSON, L.C. *Impact of european cars and a passengers coach against shaped concrete barriers*. London, Transport and Road Research Laboratory, 1977. (TRRL - Laboratory Report 801)
75. CONCRETE median barriers saving lives and dollars. *Concrete Construction*, Chicago. v. 24. n.72. Jan. 1979.
76. ESTADOS UNIDOS. Dept. of Transportation. Federal Highway Administration. *Concrete median barriers and parapets*. Washington, D.C. : International Road Federation, 1971. (FHWA Notice)



Sede:

Av. Torres de Oliveira, 76 - Jaguaré - 05347-902-São Paulo/SP
Tel.: (11) 3760-5300 - Fax: (11) 3760-5320
DCC 0800-0555776 - www.abcp.org.br

Escritórios Regionais:

Pernambuco	- Tel: (81) 3092-7070 - Fax: (81) 3092-7074
Distrito Federal	- Tel./Fax: (61) 3327-8768 e 3328-7776
Minas Gerais	- Tel./Fax: (31) 3223-0721
Rio de Janeiro	- Tel: (21) 2531-1990 - Fax: (21) 2531-2729
São Paulo	- Tel: (11) 3760-5374 - Fax: (11) 3760-5320
Paraná	- Tel: (41) 3353-7426 - Fax: (41) 3353-4707

Representações Regionais:

Ceará:	- Tel./Fax: (85) 3261-2697
Bahia	- Tel./Fax: (71) 3354-6947
Santa Catarina	- Tel./Fax: (48) 3322-0470
Rio Grande do Sul	- Tel./Fax: (51) 3395-3444
Mato Grosso e Mato Grosso do Sul	- Tel./Fax: (67) 3327-2480
Espírito Santo	- Tel./Fax: (27) 3314-3601