

ESTUDO DO POSICIONAMENTO DE BARREIRAS LONGITUDINAIS NA VISIBILIDADE DE PROJETO EM RODOVIAS BIDIRECIONAIS

Érica Santos Matos

Ana Paula C. Larocca

Universidade de São Paulo

Escola Politécnica

Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO

A distância de visibilidade de parada deve ser garantida ao longo de toda a extensão de uma rodovia. Elementos da seção transversal podem se tornar obstruções que interferem nas distâncias de visibilidade do projeto. Este é o caso do uso de barreiras ao invés de canteiros centrais em rodovias bidirecionais, especialmente ao longo de curvas à esquerda. Desta forma, este trabalho analisa posicionamento de barreiras em cenário plano hipotético com uso simulações gráficas tridimensionais. O afastamento lateral da barreira, em relação à pista de rolamento, foi definido em função de cada velocidade de projeto e de cada raio da curva horizontal analisados. Os resultados obtidos por simulação foram comparados com modelo de afastamento de objetos fixos em curvas horizontais, presente nas normas nacionais. As diferenças encontradas indicam a viabilidade da metodologia utilizada, onde o projeto foi considerado como um todo, que se desenvolve tridimensionalmente.

ABSTRACT

Stopping Sight Distance must be guaranteed throughout of a highway. However, cross section elements can become obstructions which interfere on design sight distances. This occurs when barriers are used instead of medians on bidirectional highways, especially along left curves. Therefore, this paper analyzes the barriers placement on hypothetical plan scenario using three-dimensional graphics simulations. The lateral offset of the barrier in relation to the roadway was defined according to each design speed and each radius of the horizontal curve analysis. The simulation was compared with offset model of fixed objects on horizontal curves presents in national standards. The differences indicate the viability of the methodology used, where the project was considered as a whole, which develops three-dimensionally.

1. INTRODUÇÃO

A condição de visibilidade disponibilizada ao motorista é um dos fatores mais importantes para segurança e para a eficiência operacional de um veículo em uma dada via (DER-SP, 2006). No desenvolvimento do projeto a visibilidade deve ser utilizada como ponderador para a definição de parâmetros, dimensionamento e posterior validação da qualidade da via. Quando dispõe de uma distância de visibilidade adequada, o motorista tem condições de captar as informações sobre a via e sobre o tráfego, interpretá-las, imprimir ao veículo trajetória e velocidade adequadas, tomar decisões a tempo e com segurança, inclusive imobilizar o veículo ou mesmo realizar outro tipo de manobra adequado quando surge algum obstáculo inesperado à sua frente (DER-SP, 2006).

Os elementos da seção transversal adotada, no entanto, podem interferir nas distâncias de visibilidade de projeto. Este é o caso da adoção de barreiras no lugar de canteiros centrais, em rodovias bidirecionais. A barreira é utilizada como dispositivo de segurança, mas pode-se tornar obstrução à visibilidade da via quando posicionada inadequadamente, tornando o projeto deficiente. Logo, seu posicionamento deve compatibilizar suas funções de segurança e a manutenção das condições de visibilidade na via, sem agregar riscos ao motorista.

Leisch (1989) ressalta que o uso de barreiras de concreto em rodovias pode gerar inadequadas distâncias de visibilidade de parada, principalmente em curvas e em áreas próximas a pontes e túneis. Para o autor, uma solução seria aumentar o espaçamento entre a faixa de rolamento e a barreira, em que cada caso deve ser analisado individualmente visando uma solução ótima,

sem que haja comprometimento da visibilidade e segurança da via. AASHTO (2004) e Arndt (2010) fazem ressalvas quanto ao aumento do espaçamento. Se o espaçamento entre a faixa de rolamento e a barreira for superior a 3,6 m há possibilidade do refúgio ser utilizado para manobras de ultrapassagem, ou até mesmo como uma faixa de rolamento. Em ambos os casos, a função dessa área torna-se ineficaz ao seu propósito inicial.

Neste contexto, o intuito é investigar o posicionamento de barreiras rígidas para que não exista interferência na distância de visibilidade de parada necessária ao motorista durante o tráfego em determinada via. O cenário escolhido para análise são trechos de curvas à esquerda, onde a barreira tem maior probabilidade de obstruir a visibilidade, quando utilizada como separador físico. Aspectos inerentes às funções de segurança da barreira, como dimensionamento, material construtivo e outros, foram desconsiderados. A abordagem adotada neste trabalho foi o emprego de ferramentas gráficas computacionais para a geração de cenários hipotéticos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Distância de Visibilidade de Parada (DVP)

Ao tratar de projeto geométrico, a visibilidade está relacionada com distâncias mensuráveis: a Distância de Visibilidade de Parada (DVP), a Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (DVU) e a Distância de Visibilidade para Tomada de Decisão (DVTD). A primeira possui caráter obrigatório no qual o projeto deve garantir um valor mínimo a ser atendido em qualquer ponto da rodovia (Lamm, Psarianos e Mailaender, 1999; AASHTO, 2004). As demais possuem valores recomendados, que quando atendidos, elevam o padrão técnico da via. Neste estudo, apenas a DVP foi considerada, pois sua manutenção é condição primária para garantia de visibilidade mínima ao longo de uma dada via.

A Distância de Visibilidade de Parada é descrita como a soma de duas outras distâncias: a distância percorrida pelo veículo desde o instante que o motorista avista um obstáculo que necessite de parada e acione o sistema de freio (distância de percepção e reação) e a distância percorrida pelo veículo desde o início do acionamento dos freios até a parada total do veículo (distância de frenagem). Em síntese, a DVP é expressa como sendo a soma de duas parcelas:

$$DVP = d_1 + d_2 \quad (1)$$

em que d_1 : distância de percepção e reação; e
 d_2 : distância de frenagem;

A distância de percepção e reação (d_1) usualmente é definida em função de apenas dois parâmetros: a velocidade de projeto e o tempo de reação e percepção. Adota-se o tempo de 2,5 s nas normas nacionais, sem descrição da velocidade de projeto, em concordância com AASHTO (2004). A segunda parcela, a distância de frenagem (d_2) possui uma maior gama de variação: podem ser considerados parâmetros do projeto bem como parâmetros do veículo. A formulação considerada neste trabalho para o cálculo da Distância de Visibilidade de Parada é a mesma adotada pela AASTHO (2004) e pelo DER-SP (2006), em que:

$$DVP = 0,278 \times V \times t + \frac{V^2}{254 \times \left(\left(\frac{a}{9,81} \right) + i \right)} \quad (2)$$

Onde DVP : Distância de Visibilidade de Parada (m);
 V : Velocidade de projeto (km/h);

t : Tempo de percepção e reação (s);
 a : Taxa de desaceleração (m/s^2); e
 i : Declividade longitudinal da via (%).

A taxa de desaceleração é constante e igual a $3,4 \text{ m/s}^2$. Baseado na formulação acima, o DER-SP apresenta valores mínimos de DVP, supondo a condição de pavimento molhado e velocidade de percurso igual à velocidade de projeto (Tabela 1), que foram adotados neste trabalho.

Tabela 1: Valores Mínimos de Projeto para DVP (m).

Velocidade (km/h)	Declividade de Rampa		
	-6%	0%	6%
50	70	65	59
60	92	85	77
70	116	105	97
80	144	130	118
90	174	160	141
100	207	185	167
110	243	220	194
120	281	250	223

FONTE: Adaptado de DER-SP (2006).

O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999) apresenta formulação de DVP que considera o fator de atrito entre pneu pavimento ao invés da taxa de desaceleração como em AASHTO (2004) e DER-SP (2006). Além disso, a norma considera duas possibilidades para o cálculo de DVP utilizando velocidade média e a de projeto. A primeira traduz valores de DVP mínimos a serem atendidos, porém como há tendência dos motoristas em dirigir à velocidade próxima a de projeto, a norma apresenta uma segunda alternativa, em que se definem valores desejáveis de DVP em função da velocidade de projeto. A Figura 1 mostra os valores de DVP para as duas possibilidades do DNER e o valor considerado no estudo, para o caso de declividade nula. A formulação adotada assume valores mínimos de DVP que são intermediários as duas possibilidades do DNER (1999).

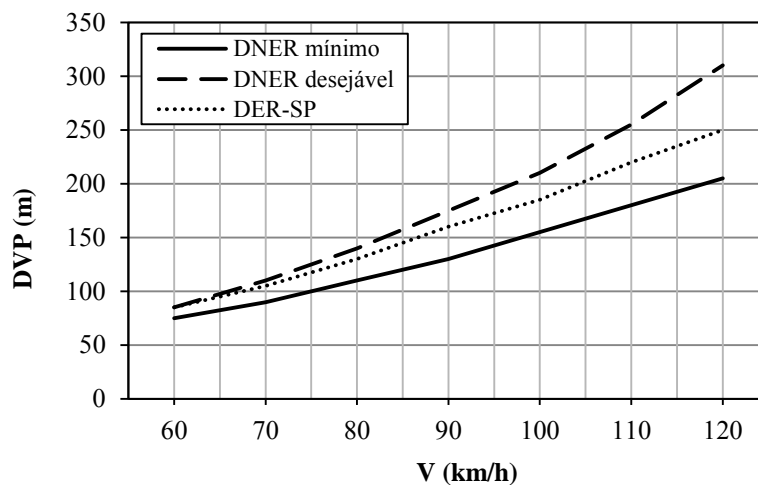


Figura 1: Comparação de valores de DVP entre DNER e DER-SP.

Por fim, as verificações de visibilidade resumem em considerar o fato que o motorista deve enxergar um objeto a uma dada distância necessária em toda extensão da via. Para análise é necessário considerar (a) uma distância mensurável – neste caso a DVP, (b) as características da posição do motorista e (c) características inerentes ao objeto que se pretende visualizar. O valor de 1,080 m é adotado para altura dos olhos do motorista (AASHTO, 2004; DER-SP, 2006; DNIT, 2010). Em relação ao objeto, DNER (1999) recomenda altura de 0,15 m ou maior para altura do objeto quando na análise de DVP. No estudo, adotou-se a altura do objeto igual a 0,60 m que corresponde à posição média das lanternas traseiras de um veículo leve, que segundo AASHTO (2004) é altura representativa de um objeto que apresenta risco ao motorista.

2.2. Visibilidade *versus* barreiras rígidas

O Manual de Projeto Geométrico do DNER, de 1999, apresenta a seguinte definição para barreira:

“Estrutura rígida, indeformável, geralmente de concreto, disposta longitudinalmente à pista com o objetivo de impedir que veículos desgovernados saiam da plataforma, choquem-se com objetos fixos ou invadam outras pistas adjacentes, e, ainda, desejavelmente, de reorientar o veículo para a trajetória correta com o mínimo de danos para o motorista e passageiros. Também denominado separador físico rígido”.

Por definição barreira é um dispositivo de segurança da via. Em segundo plano, a barreira pode ser empregada como separador físico, geralmente em casos onde não é possível a implantação de canteiros centrais devido a limitações da plataforma ou em casos de duplicação de rodovias, por exemplo. Em ambas as situações, a barreira se torna uma feição do projeto, que ocorre longitudinalmente e é passível de se tornar uma obstrução à visibilidade. Leisch (1989) foi um dos primeiros a indicar essa problemática, que ocorre principalmente em curvas. Duas décadas depois, ainda são escassos os trabalhos sobre o tema. Sanchez (1994) faz um estudo de visibilidade considerando barreiras, criando modelos digitais do trecho de estudo. Recentemente, Arndt (2010) apresenta novos questionamentos sobre possíveis alternativas dentre as quais propõe como solução a flexibilidade da parametrização em torno da DVP, de modo a assumir valores menos conservadores, principalmente quando na ocorrência de barreiras.

2. Visualização, Modelagem e Análise de Visibilidade

Projetos geométricos compreendem perfis horizontais, perfis verticais, perfis e seções transversais e longitudinais ao longo da extensão da obra viária. Devido a esta separação, há dificuldades em se visualizar o projeto integrado considerando suas peculiaridades técnicas e suas interferências sobre o meio. As técnicas de visualização tridimensional e modelagem começam a suprir tais dificuldades permitindo aos projetistas enxergarem o projeto final com objetividade. Em Engenharia de Transportes, a visualização pode ser compreendida como a representação estática ou simulação de informações espaciais e geométricas das condições reais ou alterações propostas em vias de transportes e seus impactos associados sobre seu entorno como maneira suficiente para expressar ao projetista a realidade da geometria do projeto desenvolvido e ao leigo a real extensão das melhorias (NCHRP, 2006). Além disto, seu uso permite subsidiar decisões de alterações no traçado, visando garantir melhores qualidades técnica e estética ao projeto viário (Hixon III, 2007).

O presente trabalho foi baseado em uma investigação gráfica – os resultados foram obtidos

através da geometria do modelo, e não por um equacionamento analítico. Esta abordagem é encontrada em diversos trabalhos sobre análises de visibilidade, concordância de alinhamentos ou prospectos das aplicabilidades da visualização no desenvolvimento de projetos, como visto em Sanchez (1994); Janikula e Garrick (2002); Han, Middleton e Clayton (2006); Kuhn e Jha (2010); Chou et al (2010). O ganho é a compreensão do projeto como um todo, verificando como os elementos se relacionam entre si. Na análise de visibilidade, por sua vez, é possível verificar se a DVP é garantida ao longo de todo o trecho de análise, mensurando a amplitude de áreas sem obstrução ou ainda, quando for o caso, indicando áreas oclusas ao campo de visão do motorista.

3. OBJETIVO

Estudar padrões para o posicionamento de barreiras em trechos de curvas à esquerda de rodovias bidirecionais, para que a DVP seja garantida em toda extensão da via, baseado na análise de simulações gráficas tridimensionais, para um cenário hipotético.

4. METODOLOGIA

Inicialmente, projetos viários arbitrários foram criados para subsidiar as análises em ambiente computacional. Deste modo, visou-se reconstruir as características reais de uma rodovia em ambiente virtual, tendo controle sobre modificações e alterações de parâmetros em virtude dos propósitos do estudo. A facilidade de alteração de um parâmetro em função de necessidades específicas, ainda na fase de projeto, foram ponderadores da escolha de simulações – o impacto das alterações sobre o projeto é reduzido. Na Figura 2 é apresentado um exemplo benéfico do emprego de simulações gráficas.

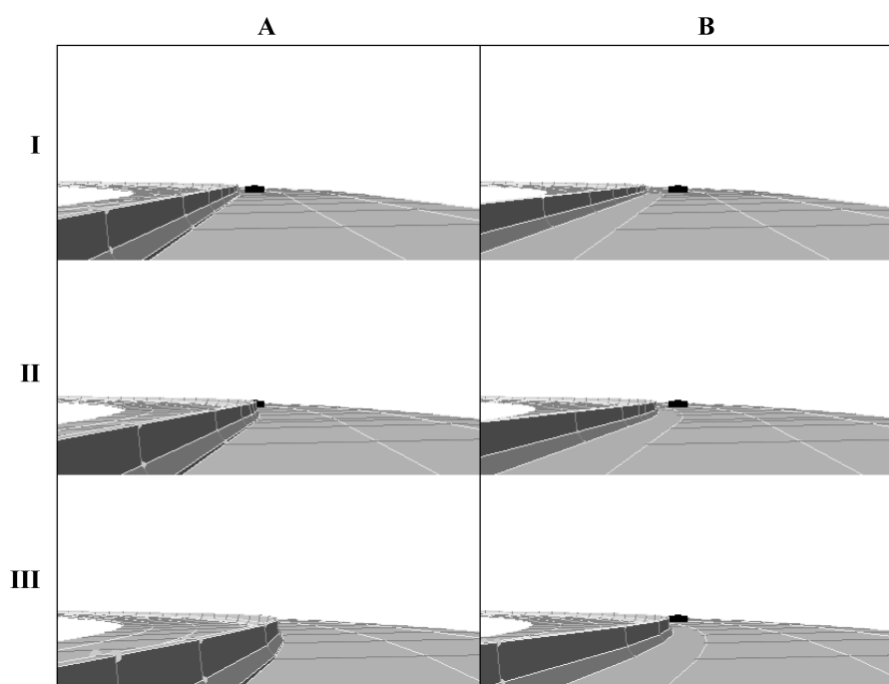


Figura 2: Exemplo de uso de simulação computacional para estudos de visibilidade.

A Figura 2 mostra a visualização do objeto em preto, a uma dada distância necessária – a DVP, em três instantes (I, II e III) durante a transição de trecho em tangente para trecho curvilíneo para dois projetos (A e B) com seções transversais distintas. O ideal é que o objeto

seja visto em qualquer ponto ao longo da trajetória garantindo que a DVP exista ao longo do trecho estudado. No caso (A) o objeto desaparece do campo de visão em (III-A) indicando a deficiência no traçado. Com uma pequena alteração na seção transversal em (B) – deslocamento da barreira para esquerda – o objeto é percebido pelo motorista e o problema de visibilidade é solucionado (III-B). Alternativas para a solução do problema podem ser consideradas como a redução da velocidade no trecho, alteração do valor do raio e do traçado. No contexto do trabalho, a alteração será imposta exclusivamente no espaçamento entre a barreira e a faixa de rolamento de modo a definir uma posição ótima, em que a DVP é garantida em toda a extensão analisada.

4.1. Hipóteses

Para a construção de cenários de estudo, as seguintes hipóteses foram impostas:

– *Rodovias de estudo*: rodovias bidirecionais em concordância com as classes 0 e I-A definidas pelo DNER (1999).

– *Velocidades de Projeto*: Valores de velocidade de projeto e de DVP em concordância com a tabela 1.

– *Geometria*: Curvas horizontais à esquerda, de raio variável entre 200 m e 2000 m, desenvolvidas em greide de declividade nula (0 % - plano). O ideal é que exista concordância entre as curvas horizontais e verticais, logo a consideração do greide uniforme foi uma simplificação adotada. Além disso, o critério de raio mínimo da curva horizontal foi empregado para cada velocidade analisada, sendo definido por:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 \times (f_{max} + e_{max})} \quad (3)$$

Onde R_{min} : Raio mínimo da curva horizontal (m);
 V : Velocidade de projeto (km/h);
 f_{max} : Fator de atrito lateral pneu-pavimento e;
 e_{max} : Superelevação máxima admissível.

A superelevação máxima admissível (e_{max}) neste estudo foi igual a 8%, compatível com os padrões de rodovias escolhidos. Os valores de fator de atrito lateral pneu-pavimentos são os pressupostos pelo DNER. Assim, sendo conhecidos a superelevação máxima admissível e os fatores de atrito lateral foi possível determinar os raios mínimos da curva horizontal para cada velocidade de projeto analisada (Tabela 2) e com isso de definir os valores mínimos de raios adotados neste estudo (múltiplos de cem).

Tabela 2: Raios Mínimos de Curva Horizontal Adotados

V (km/h)	60	70	80	90	100	110	120
f_{max}	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11
e_{max}	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
R_{min} calculado (m)	125	170	230	290	375	475	595
R_{min} adotado (m)	200	200	300	300	400	500	600

– *Seção transversal*: Pista dupla, em ambos os sentidos, divididas por barreira rígida e afastamento, este variável (pois se trata do valor estudado) em relação à borda interna da pista

de rolamento. Em casos que o raio da curva horizontal seja superior ao raio mínimo, é necessário dimensionar a superelevação, já que a ação da aceleração centrífuga diminui e não há necessidade da adoção do valor superelevação máxima (que ocorre quando o raio é mínimo). A hipótese considerada foi a redução gradual dos valores de superelevação, em função do aumento do raio, até atingir valor mínimo admissível, igual a 2% visando facilitar a drenagem das águas pluviais sobre a via. Portanto, as demais superelevações foram calculadas por:

$$e = e_{max} \times \left(\frac{2 \times R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R} \right) \quad (4)$$

Onde e : Superelevação a adotar;
 e_{max} : Superelevação Máxima admissível;
 R : Raio da Curva Horizontal (m) e;
 R_{min} : Raio mínimo calculado da curva horizontal relacionado com e_{max} para velocidade de projeto em questão (m).

– *Barreiras*: barreiras rígidas duplas com perfil New Jersey, de altura igual a 1,00 m.

4.2. Estruturação do Processo de Simulação

Na fase de simulação utilizou-se o programa AutoCAD Civil 3D 2011. O objetivo foi definir valores de afastamento lateral da barreira em relação à borda da pista de rolamento, para que a DVP fosse garantida em toda extensão da rodovia. O desenvolvimento das simulações obedeceu ao processo proposto, explicitado no algoritmo a seguir:

```

Sendo      Δ incremento constante (0,05 m);
            $a_L$  o valor do afastamento da barreira (m);
            $V(k)$  velocidade de projeto e  $V(k_{max})$  o valor máximo (km/h);
            $R(j)$  raio da curva horizontal e  $R(j_{max})$  o valor máximo (m);

Passo 1.   Geração do Modelo Digital do Terreno
Passo 2.   Geração do Modelo Digital do Projeto Viário
Passo 3.   Faça  $j = 1$ 
            $k = 1$ 
Passo 4.    $a_L(k, j) = 0$ 
           Enquanto  $V(k) \leq V(k_{max})$ 
             Se A DVP é satisfeita
               Armazene  $a_L(k, j)$ 
               Faça  $k = k + 1$ 
             Senão
                $a_L(k, j) = a_L(k, j) + \Delta$ ;
             Fim Se
           Fim Enquanto
Passo 5.   Se  $R(j) < R(j_{max})$ 
           Faça  $j = j + 1$ 
            $k = 1$ 
           Retorne ao Passo 4
           Senão
             Encerra a simulação
           Fim Se

```

Como resultado, definiu-se uma matriz de valores em que o afastamento lateral da barreira a_L é definido em função da velocidade de projeto V e do raio da curva horizontal R .

5. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

A criação de um modelo do terreno arbitrário foi necessária para o processo de simulação, cujo qual foi desprezado nas análises posteriores, já que os fatores considerados como obstrução foram oriundos apenas de elementos do projeto geométrico, sem incorporar taludes e outras modificações no relevo. Em relação ao traçado, o trecho de projeto elaborado possui extensão aproximada de 3 km, abrangendo duas tangentes fixas. As curvas de análise foram adequadas à estas duas tangentes, sem a adição de curvas de transição. Adotou-se um sistema métrico arbitrário de coordenadas e orientação, pois o interesse estava na posição relativa entre as feições no projeto viário.

O valor limítrofe para a definição do afastamento lateral da barreira foi de 2,5 m durante as simulações, valor inferior ao limite de 3,6 m sugerido por AASHTO (2004), porém representativo do ponto de vista construtivo. A precisão para a definição de cada afastamento foi de $\pm 0,05$ m. A garantia de DVP foi verificada a cada 10 metros ao longo do trecho de estudo.

A matriz definida para o afastamento lateral da barreira, no cenário plano, gerou 86 valores que foram organizados na forma de diagrama (Figura 3). As curvas para cada velocidade de projeto analisada tiveram comportamento similar: à medida que o raio da curva horizontal diminui, o valor de afastamento lateral da barreira tende a um valor máximo, e após isso decresce. A diferença das curvas é observada nos pontos de máximos, que variaram em função da velocidade de projeto de forma ordenada (maiores afastamentos para altas velocidades de projeto), não sendo superior ao limite adotado de 2,5 m. Uma justificativa ao decréscimo das curvas é que a altura dos olhos do motorista em relação ao objeto é ampliada devido ao aumento da superelevação (devido à diminuição do raio da curva horizontal), que por sua vez, eleva o objeto em relação à barreira. A composição geométrica gerada torna possível a visualização sobre a barreira pela parte interna da curva.

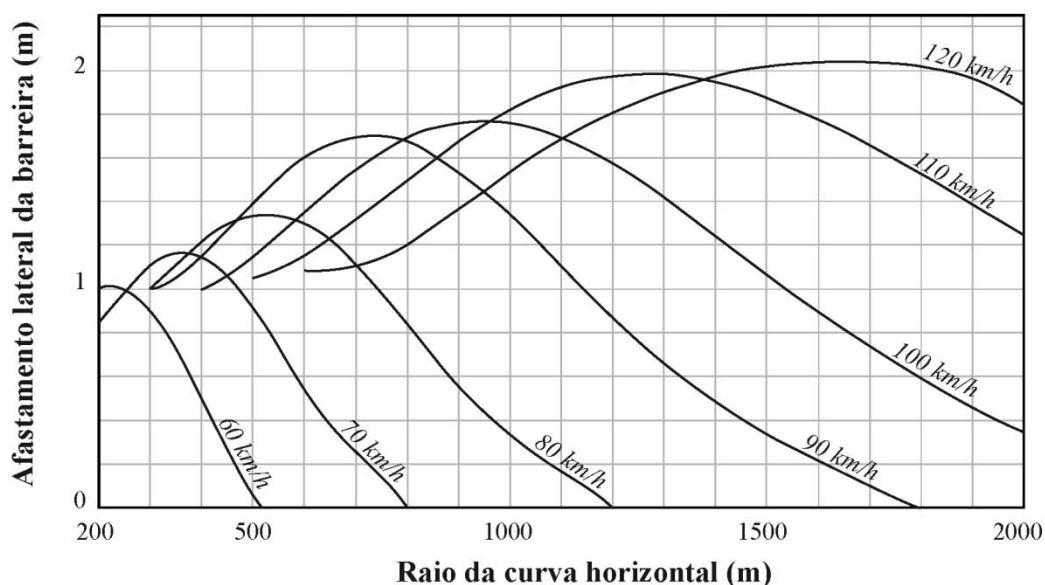


Figura 3: Diagrama relacionando o afastamento lateral da barreira em função do raio da curva horizontal e a velocidade de projeto, em um cenário plano.

6. ANÁLISE COMPARATIVA

Diversos manuais e normas apresentam parametrização para o afastamento de objetos fixos em curvas horizontais (AASTHO, 2004; DNER, 1999; DER-SP, 2006). Sendo assim, não haveria necessidade de simular a posição da barreira visto que já existem modelos para tal. Porém, a principal limitação destes modelos é o fato de tratarem da visibilidade no espaço bidimensional. A tridimensionalidade – onde realmente o projeto se desenvolve – é desprezada e os modelos são simplificados. Desta forma, sugere-se a integração da parcela tridimensional do projeto na análise de interferência à visibilidade. Os resultados obtidos de afastamentos oriundos desses modelos foram confrontados com os valores encontrados nas simulações realizadas, para validar a necessidade de analisar ou não o projeto em três dimensões no quesito visibilidade. O modelo utilizado para comparação foi o encontrado em manuais nacionais (DNER, 1999; DER-SP, 2006), representado no diagrama da Figura 4.

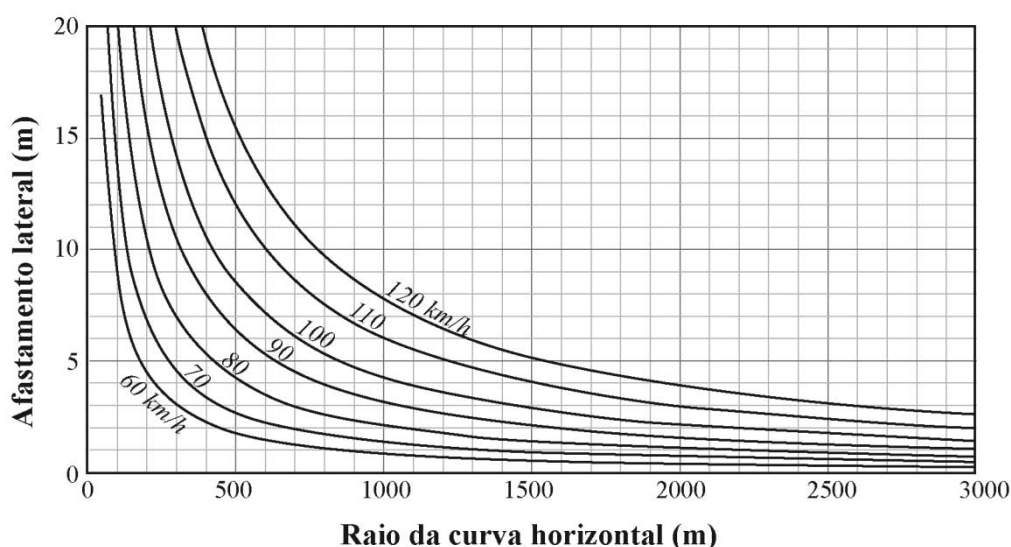


Figura 4: Afastamento Lateral de Objetos Fixos em Curvas (M), para velocidades de projeto de 60 a 120 km/h. FONTE: DER-SP (2006).

Este modelo (Figura 4) é sintetizado pela seguinte relação:

$$M = R \left(1 - \cos \frac{DVP}{2R} \right) \quad (5)$$

Onde M : Afastamento lateral de objetos fixos em curvas horizontais (m);
 DVP : Distância de Visibilidade de Parada (m); e
 R : Raio da curva horizontal (m);

A fórmula considera o afastamento em relação à trajetória do veículo. Nas simulações feitas o afastamento é mensurado a partir da borda externa da faixa de rolamento interna da curva. Portanto, uma mudança de referencial foi necessária. A Figura 5 apresenta os parâmetros envolvidos na transformação,

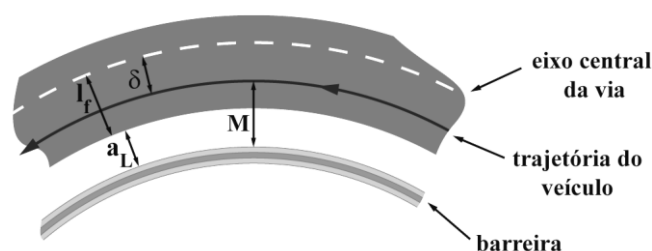


Figura 5: Parâmetros envolvidos na transformação de referencial.

Que são M : Afastamento lateral de objetos fixos em curvas horizontais (m);
 l_f : Largura da faixa de rolamento (m);
 δ : Posição da trajetória veículo em relação ao eixo da via (m); e
 a_L : Afastamento lateral da barreira (m);

Com artifícios algébricos é possível expressar o valor de M em função de a_L , já que os demais parâmetros são conhecidos. A largura da faixa de rolamento é de 3,6 m e a trajetória percorrida pelo veículo a ser considerada está deslocada de 2 m do eixo central da via. A seguinte relação é então definida:

$$a_L = M - 1,6 \text{ m} \quad (6)$$

Desta forma foi possível calcular o afastamento utilizando como modelo a equação (5) e comparar os valores obtidos com aqueles definidos para cada cenário simulado. A Tabela 3 apresenta parâmetros estatísticos, enquanto na Figura 6 é apresentada a representação gráfica, ambas relacionadas às diferenças encontradas entre simulação e modelo.

Tabela 3: Parâmetros estatísticos das diferenças entre simulação e modelo.

Média (μ)	-2,99 m
Desvio Padrão (σ)	$\pm 3,10$ m
Menor Diferença	-0,16 m
Maior Diferença	-13,68 m

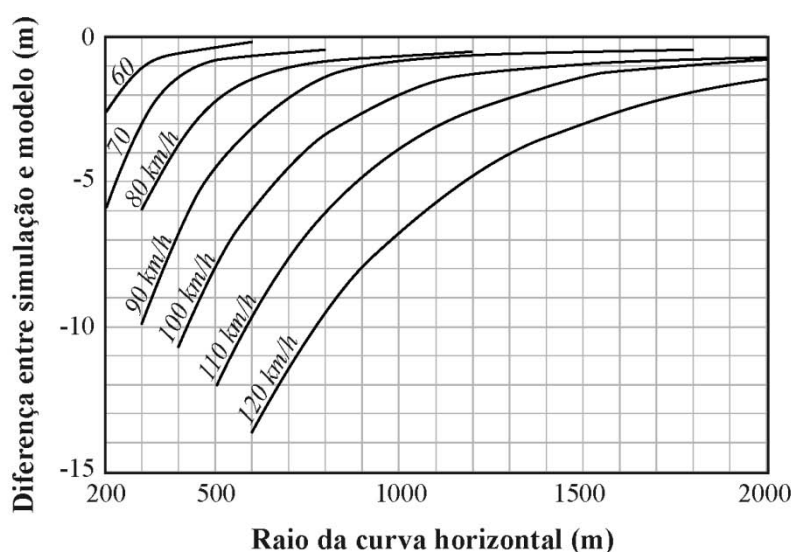


Figura 6: Diferenças entre os afastamentos definidos por simulação e pelo modelo da norma.

Em todos os casos, o valor proveniente da metodologia do estudo foi inferior ao valor proveniente do modelo das normas nacionais. Em projetos com raios menores, as diferenças são maximizadas, quando associadas a altas velocidades. Porém, à medida que o raio da curva horizontal aumenta, os valores de afastamento da simulação e do modelo tendem a coincidir, independente da velocidade de projeto adotada. É possível concluir que em ambientes restritos (raios pequenos) a consideração ou não da tridimensionalidade do projeto torna-se significativa no dimensionamento de elementos do projeto, como no caso, dos aspectos da seção transversal. No cenário simulado, a menor diferença foi observada na situação de raio da curva horizontal pequeno associado à baixa velocidade de projeto ($R = 600$ m; $V=60$ km/h); e a maior diferença ocorre quando alta velocidade de projeto ($V=120$ km/h) está relacionada a um raio da curva horizontal pequeno ($R = 600$ m).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições de visibilidade provêm da composição dos alinhamentos horizontal, vertical e da seção transversal e, portanto, qualquer alteração na geometria da via é capaz de modificar a visibilidade existente.

Nas simulações realizadas foi possível a análise da problemática – posicionamento de barreiras *versus* visibilidade – considerando a influência dos elementos de projeto em conjunto. A comparação com o modelo de afastamento de objetos fixos em curvas horizontais, presentes nas normas nacionais, indicou que os afastamentos definidos por simulação são sempre inferiores ao do modelo existente. Uma justificativa para estas diferenças é fundamentada no fato de que o modelo fornecido por DNER (1999) e DER-SP (2006) baseia-se na análise do alinhamento em planta, ou seja, bidimensionalmente. Neste modelo, os parâmetros que influenciam o posicionamento de objetos em curvas se restringem ao raio da curva horizontal e a DVP. No trabalho, em contrapartida, o projeto geométrico e análises são considerados tridimensionalmente, onde é possível utilizar a composição de feições no espaço em benefício do melhor posicionamento de elementos de projeto. Existem ressalvas quanto à redução do posicionamento de objetos em curvas. O caso analisado na simulação é específico para barreiras longitudinais, de dimensões fixas, enquanto o modelo das normas atende a qualquer tipo de objeto, inclusive de dimensões superiores às estudadas.

Os afastamentos definidos são recomendações iniciais para o posicionamento de barreiras quando considerada a garantia da DVP. Para o estabelecimento de padrões mais consistentes sugere-se para trabalhos futuros a ampliação do conjunto de hipóteses e a adoção de projetos viários mais complexos do que o simulado, com a consideração do impacto de curvas verticais côncavas e convexas, assim como de variações na declividade do greide, sobre a problemática de visibilidade e posicionamento de barreiras, além da definição de metodologia para posterior validação dos resultados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudos concedida, ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte no projeto Universal nº 470075/2010 e ao Departamento de Engenharia de Transportes (PTR) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) pelos recursos materiais disponibilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2004). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington DC, USA.
- Arndt, O. K.; Cox, R. L.; Lennie, S. C.; Whitehead, M. T. (2010) Provision of Sight Distance around Concrete

- Barriers and Structures on Freeways and Interchanges. *4th International Symposium on Highway Geometric Design*. Valencia, Espanha.
- Chou, A. T. M.; Pérez, V. M. F.; García, A. G.; Rojas, M. A. R. (2010). Optimal 3D Coordination to Maximize the Available Stopping Sight Distance in Two-lane Roads. *4th International Symposium on Highway Geometric Design*. Valencia, Espanha.
- DER-SP (2006). *Notas Técnicas de Projeto Geométrico*. Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo, Diretoria de Engenharia. São Paulo.
- DNER (1999). *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capitação Tecnológica. Rio de Janeiro.
- DNIT (2010). *Manual de Projeto Geométrico de Vias Urbanas*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro.
- Han, K.; Middleton, D.; Clayton, A. (2006). Enhancing Highway Geometric Design – Development of Interactive Virtual Reality Visualization with Open-Source Technologies. *Transportation Research Record*, n. 1980, p. 134-142.
- Hixon III, C. L. (2007). Visualization Issues for Transportation Agencies – Approaches and Challenges. *Transportation Research News*, n.252, p. 11-14.
- Janikula, T.; Garrick, N. W. (2002). Three-Dimensional Visualization Approach to Illustrating Esthetic Concepts for Highway Design. *Transportation Research Record*, n. 1796, p 35-40.
- Kuhn, W.; Jha, M. K. (2010). Methodology for Checking Shortcomings in the Three-Dimensional Alignment. *4th International Symposium on Highway Geometric Design*. Valencia, Espanha.
- Lamm, R.; Psarianos, B.; Mailaender, T. (1999). *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Leisch, J. P. (1989). Horizontal Sight Distance Considerations in Freeway and Interchange Reconstruction. *Transportation Research Record*, n. 1208, p. 80-84.
- NCHRP (2006). *NCHRP Synthesis – Visualization for Project Development: A Synthesis of Highway Practice*. National Cooperative Highway Research Program. Washington, USA.
- Sanchez, E. (1994). Three-Dimensional Analysis of Sight Distance on Interchange Connectors. *Transportation Research Record*, n. 1445, p. 101-108.

Érica Santos Matos (erica.matos@usp.br)

Ana Paula Camargo Larocca (larocca.ana@usp.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, 83 – Cidade Universitária – São Paulo, SP, Brasil