

Nota Técnica 268

Visibilidade de Grupo Focal Específico para Ciclistas

Anselmo, Márcio A.
Carmo, José Antônio D. P.
Duarte, Tadeu L.
Fernandes, Marcelo A. F.
Lopes, Denise L.
Ming, Sun H.
Nahas, Caio R. F.
Santos, Alexandre F.
Souza, Cláudio P. A.
Tarricone, Nílvio A.
Ueta, Paulo S.

Dezembro 2020



1. Introdução

À medida em que as cidades brasileiras vão instalando infraestrutura para acomodar um número cada vez maior de ciclistas, a instalação de semáforos específicos para bicicletas surge como uma necessidade de projeto. Entretanto, a despeito de já haver farto material sobre projeto de infraestrutura cicloviária, não existe ainda uma cultura técnica consolidada para o projeto de sinalização semafórica específica para bicicletas. Na cidade de São Paulo, apesar da instalação crescente de ciclovias e ciclofaixas, já com uma extensa quilometragem, o que se vê é que a infraestrutura semafórica específica para ciclistas ainda carece de aprimoramento. Em particular, a questão relativa à visibilidade dos grupos focais específicos para ciclistas merece uma melhor atenção nos projetos.

Um exemplo disso está ilustrado na Figura 1. Nessa Figura, o ciclista que respeitar a sinalização, parando na linha de retenção, não terá uma visão adequada e confortável do semáforo, pois não há um grupo focal para bicicleta na esquina posterior (há apenas um grupo focal antecipado, o qual está praticamente atrás da linha de retenção).



Figura 1 - Exemplo da disposição do grupo focal antecipado em relação à linha de retenção para ciclistas (Fonte: Google Street View)

O presente trabalho tem por objetivo apresentar os elementos necessários para a elaboração de projetos que contemplem uma adequada visibilidade dos grupos focais pelos ciclistas.

A visibilidade do grupo focal específico para ciclistas deverá ser avaliada sob os seguintes aspectos: visibilidade a distância com a bicicleta em movimento; e visibilidade com a bicicleta parada na linha de retenção.

Para o cálculo de visibilidade a distância e a partir da linha de retenção, é necessário o conhecimento de valores típicos de parâmetros como velocidade, tempo de percepção e reação, desaceleração, coeficiente de atrito, altura da vista do ciclista etc. Para a determinação desses valores, foi realizada uma pesquisa na literatura internacional, visto que não foram encontradas referências de todos os parâmetros na bibliografia nacional.

Deve-se destacar que os critérios de visibilidade que serão tratados no presente trabalho somente são aplicáveis para a condição do ciclista na aproximação semafórica. Para as situações em que o movimento de ciclista é realizado em uma travessia (semelhante à travessia de pedestres), os critérios de visibilidade aqui tratados não são aplicáveis.

2. Pesquisa na literatura internacional

2.1 Manual da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), *Guide for the Development of Bicycle Facilities*, (2012) [1]

O Manual da AASHTO (2012) [1] traz a Tabela 3-2, reproduzida em tradução livre na Tabela 1:

Tabela 1 - Critérios Básicos de Performance [1]

Tipo de ciclista	Característica	Valor
Ciclista adulto típico em posição vertical (posição de passeio)	Velocidade, aproximação plana	13 - 24 km/h
	Velocidade, aproximação em declive	32 - 50 km/h
	Velocidade, aproximação em aclave	8 - 19 km/h
	Tempo de percepção e reação	1 - 2,5 s
	Aceleração	0,5 - 1,5 m/s ²
	Coeficiente de atrito, pavimento seco	0,32
	Desaceleração (pavimento seco)	4,8 m/s ²
Ciclista reclinado (posição de corrida)	Desaceleração (pavimento molhado (redução de eficiência de 50 - 80%))	2,4 - 3,0 m/s ²
	Velocidade, aproximação plana	18 - 29 km/h
	Aceleração	1,0 - 1,8 m/s ²
	Desaceleração	3,0 - 4,0 m/s ²

No Manual da AASHTO (2012) [1], a Tabela 4-3 - Tempo Mínimo de Verde para Ciclista Usando Tempo de Travessia a Partir do Repouso (*Bicycle Minimum Green Time Using Standing Bicycle Crossing Time*) traz os seguintes dados:

- Tempo de percepção e reação de 1,0 segundo e aceleração da bicicleta de 0,5 m/s².

Na Tabela 5-4 - Distância Mínima de Visibilidade para Parada (*Minimum Stopping Sight Distance*), consta o seguinte dado:

- Coeficiente de atrito de 0,16 (para uma bicicleta típica).

Na mesma página consta a informação de que o coeficiente de atrito para um ciclista típico é 0,32 para pavimento seco e 0,16 para pavimento molhado.

Observa-se que AASHTO (2012) [1] considera 1,0 segundo para tempo de percepção e reação na mudança do sinal vermelho para verde (quando o ciclista está parado na linha de retenção) ou quando o ciclista que está em movimento, decide prosseguir na mudança do sinal de verde para amarelo. Já para o ciclista em movimento que tenha decidido parar, o tempo recomendado de percepção e reação para a frenagem é de 2,5 segundos.

Na Tabela 4-4 - Tempo Considerando a Distância de Frenagem para a Bicicleta em Movimento (*Rolling Bicycle Crossing Time Considering Braking Distance*), o Manual da AASHTO (2012) [1] fornece uma expressão para o cálculo de distância de parada (*Braking Distance*) - Expressão (1) abaixo, que é similar à Expressão (5) no item 3 adiante, exceto por não considerar a inclinação da aproximação. Nesta Tabela, consta o valor para a desaceleração em pavimento molhado de 1,5 m/s².

$$X = T_{pr} \times v + \frac{v^2}{2a_{ad}} \quad (1)$$

Onde:

X = Distância para parada, em m;

v = velocidade do ciclista, em m/s;

T_{pr} = tempo de percepção e reação do ciclista, em s;

a_{ad} = desaceleração, em m/s².

No entanto, na Tabela 5-4 - Distância Mínima de Visibilidade para Parada (*Minimum Stopping Sight Distance*), o Manual fornece uma expressão para o cálculo de distância de visibilidade para parada (*Stopping Sight Distance*), Expressão (2), também reproduzida no item 3 adiante. Essa expressão considera um tempo de percepção e reação para frenagem de 2,5 segundos e está definida em função do coeficiente de atrito (em vez da taxa de desaceleração) e da inclinação (greide) da aproximação. Essa expressão não é específica para a visibilidade do grupo focal, mas para qualquer objeto ou interferência na pista (buraco na pista ou pedra, por exemplo), conforme ilustrado na Figura 2.

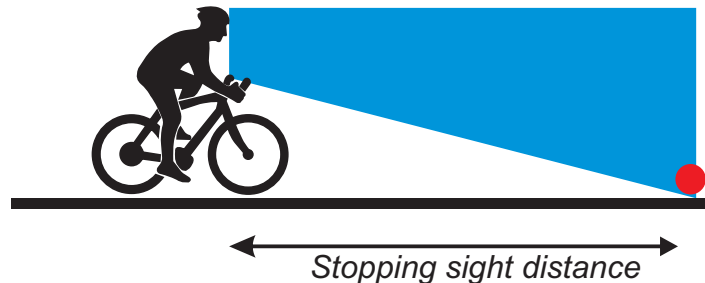


Figura 2 - Figura ilustrativa de visibilidade a distância
 Fonte: Figura adaptada de SUSTRANS Design Manual - Handbook for Cycle-Friendly Design (2014) [6]

$$X = \frac{v^2}{254(f \pm i)} + \frac{v}{1,4} \quad (2)$$

Sendo:

X = Distância mínima de visibilidade para parada, em m;

v = velocidade do ciclista, em km/h;

f = coeficiente de atrito ($f=0,32$ para pavimento seco e $f=0,16$ para pavimento molhado);

i = inclinação da via na aproximação, em m/m, sendo " + " em acíves e " - " em declíves.

O Manual assume que a altura típica da vista de um ciclista adulto é 4,5 pés (1,4 m).

Por outro lado, consta a Figura 3-1, que mostra uma altura da vista do ciclista de 1,5 m.

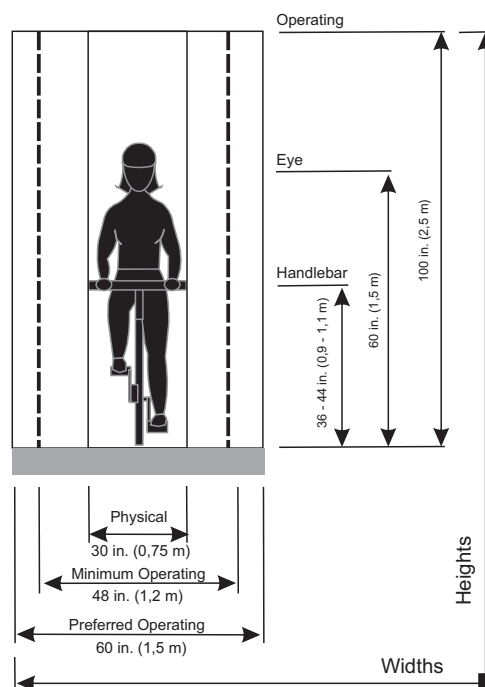


Figura 3 - Figura 3.1 do Manual da AASHTO (2012) [1] Espaço Operacional do Ciclista (Bicyclist Operating Space)

2.2 *Bike Intersection Design - Seattle Streets Illustrated (2017) [2]*

No Manual de Seattle (2017) [2] consta a seguinte tabela, para velocidade de 17 mph (27,4 km/h) e tempo de percepção e reação de 1 segundo:

Tabela 2 - Distância de visibilidade para parada (*Stopping Sight Distance*)

Greide	Distância de visibilidade para parada
Aproximação plana (0%)	90 ft (27,4m)
Aproximação em declive ($\geq 5\%$)	125 ft (38,1 m)

2.3 *Traffic Signs Manual - Chapter 6 - Traffic Control (2019) [3]*

O *Traffic Signs Manual (2019) [3]* é um Manual do Departamento de Transporte (*Department for Transport*) do Reino Unido, onde o item 12 - *Facilities for Pedal Cycle Traffic* é dedicado à sinalização semafórica para ciclistas.

A Tabela 12-1 desse Manual mostra os valores para aceleração e velocidade:

Tabela 3 - Parâmetros de Projeto para Ciclistas
(Table 12-1 - Design Parameters for Cyclists)

Parâmetro	Valor	Greide
Aceleração	0,5 m/s ²	< 3% active
	0,4 m/s ²	$\geq 3\%$ active
Velocidade	20 km/h	< 3% active
	15 km/h	$\geq 3\%$ active

Note-se que na Tabela 3 são definidos parâmetros apenas para condições em active, por tratar-se de movimento da bicicleta a partir do repouso.

2.4 *Traffic Signal Guidelines for Bicycles. Transportation Association of Canada, Final Report (2004) [4]*

Nesse Relatório consta a informação de que a velocidade de cruzeiro típica de ciclistas está na faixa de 15 a 25 km/h, com um valor médio de 20 km/h.

No Apêndice B, consta a informação de que o valor típico da aceleração de ciclistas é de 0,5 m/s².

Ainda no Apêndice B, foram adotados os seguintes valores para o cálculo do tempo de amarelo para ciclistas:

- Tempo de percepção e reação: 1,0 segundo
- Velocidade: 7,4 m/s (26,6 km/h)
- Desaceleração: 2,44 m/s²

Ainda no Apêndice B, no cálculo do tempo de vermelho de limpeza, foi adotado como valor da velocidade 4,7 m/s (16,9 km/h).

É interessante observar aqui que são adotados dois valores de velocidade: 7,4 m/s para o cálculo do tempo de amarelo e um valor mais baixo para o cálculo do tempo de vermelho de limpeza (4,7 m/s). Essa prática de adotar valores diferentes de velocidade para o tempo de amarelo e para o tempo de vermelho de limpeza é ainda mais importante para o entreverdes veicular, como mencionado no item 12 da Nota Técnica 266 - Uma Análise Crítica do Manual Brasileiro de Sinalização - Volume V.

2.5 *Guide to Road Design - Part 6A: Paths for Walking and Cycling - Austroads (2017) [5]*

Nesse Manual australiano, consta que é recomendável que a ciclovia ou ciclofaixa seja projetada para uma velocidade de pelo menos 30 km/h sempre que possível.

Pode-se encontrar nesse Manual a mesma fórmula da AASHTO (2012) [1] para a distância de visibilidade para parada (*Bicycle Path Stopping Sight Distance*), Expressão (2), com base em um tempo de percepção e reação de 2,5 segundos, onde a altura da vista do ciclista é assumida como sendo de 1,4 m e a altura do objeto é zero (isto é, o objeto está na pista, por exemplo, buracos ou pedras).

2.6 *SUSTRANS Design Manual - Handbook for Cycle-Friendly Design (2014) [6]*

Nesse Manual, consta a seguinte tabela de visibilidade a distância (Tabela H.5).

Tabela 4 - Parâmetros de Projeto para Trecho - Tráfego Livre
(Table H.5 Link Design Parameters - Traffic Free)

Tipo de via	Velocidade de projeto	Distância mínima de visibilidade(1)	Distância de visibilidade em movimento (2)	Raio mínimo de curvatura	
Percurso do ciclista	20 mph (32,2 km/h)	25 m	80 m	25 m	
Acesso local	12 mph (19,3 km/h)	15 m	50 m	15 m	

1. Acrescentar 50% para vias não pavimentadas.
2. Distância de visibilidade em movimento é a distância que o ciclista precisa enxergar à frente para se sentir seguro e confortável quando estiver pedalando.

2.7 *Cycling Aspects of Austroads Guides - Austroads (2014) [7]*

Nesse Manual australiano consta a informação de que ciclistas pedalam tipicamente a velocidades entre 20 km/h a 30 km/h, embora possam alcançar até 50 km/h em descidas.

Na Figura 4. 18 desse Manual, consta que a altura típica da vista do ciclista é 1,4 m.

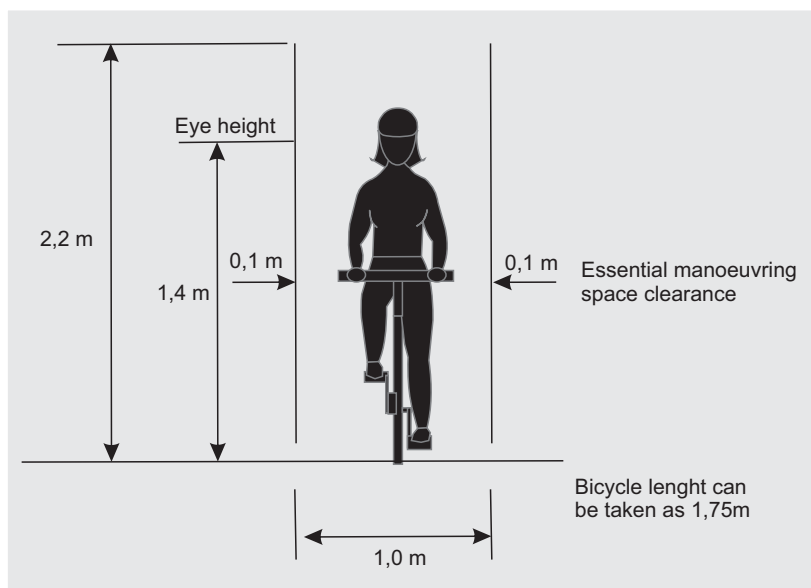


Figura 4 - Altura da Vista do Ciclista ao Solo (Figure 3.1 Cyclist Envelope).
Fonte: *Cycling Aspects of Austroads Guides - Austroads (2014) [7]*

Nesse Manual encontra-se a Figura 7.4, referente a um gráfico que mostra a distância de visibilidade em função da velocidade e da inclinação da via.

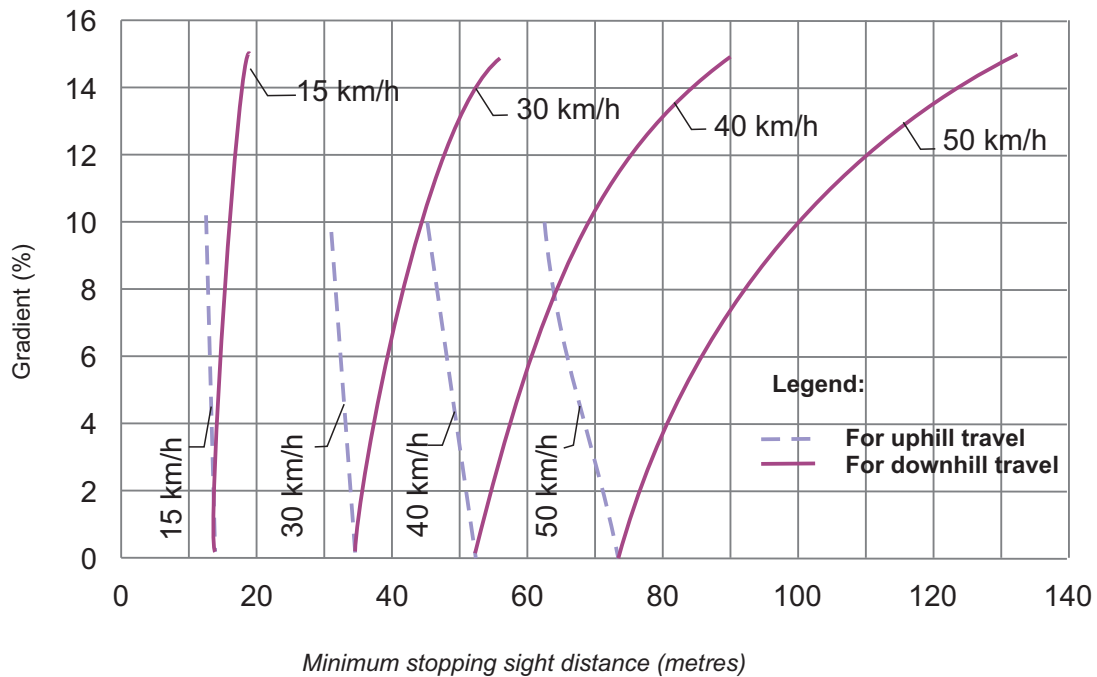


Figura 5 - Distância Mínima de Visibilidade para Parada (Figure 7.4 - Minimum Stopping Sight Distance for Cyclists)

No gráfico, pode-se observar que, para uma via plana (greide = 0%) e velocidade de 30 km/h, é necessária uma distância de visibilidade de cerca de 35 m.

O Manual fornece a seguinte orientação: é recomendável que a linha de retenção para ciclistas seja avançada em dois metros em relação à linha de retenção para veículos, de forma que os que querem fazer a conversão à direita (à esquerda na Austrália) possam perceber os ciclistas que estão aguardando o sinal verde, conforme mostra a Figura 6. Se não for possível a manobra de conversão à direita, então não é necessário esse avanço de linha de retenção para ciclistas.

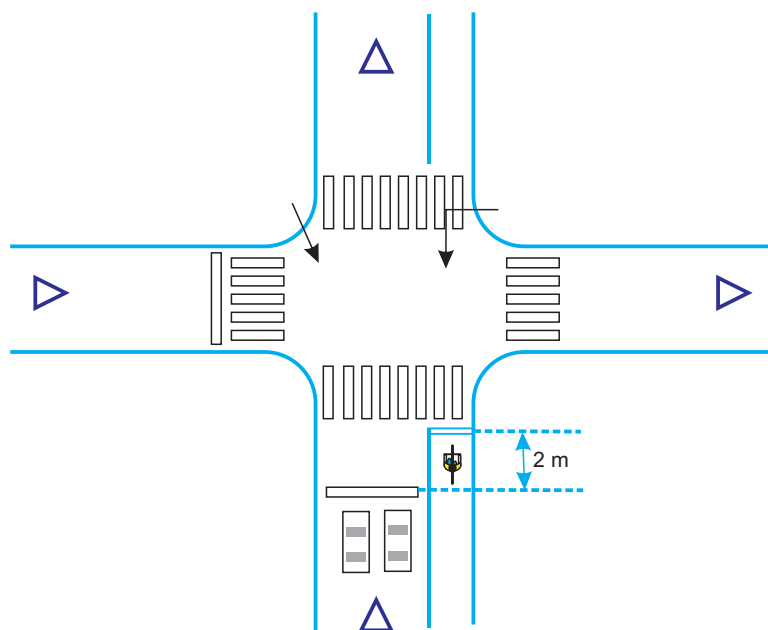


Figura 6 - Avanço da linha de retenção de ciclistas em relação à linha de retenção para veículos quando há conflito com veículos que convergem à direita

2.8 Manual de Sinalização Urbana - Espaço Cicloviário - Critérios de Projeto - Volume 13, Revisão 0 - CET (2014) [8]

Da Figura 2.1 desse Manual é possível deduzir que a altura da vista do ciclista é inferior a $2,25 - 0,25 = 2,00$ m.

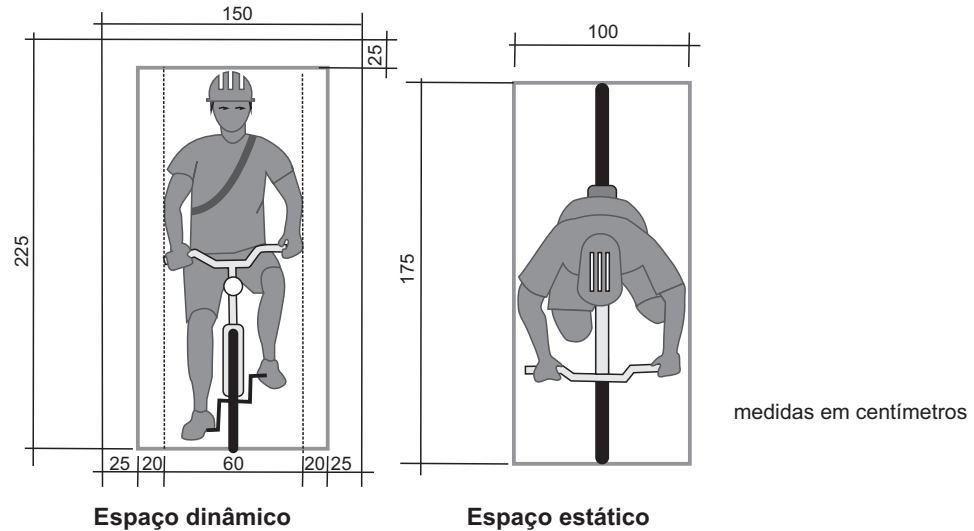


Figura 7 - Figura 2.1 - Dimensões do ciclista. Fonte: MSU Espaço Cicloviário [8]

2.9 Methodology for Estimating Bicyclist Acceleration and Speed Distributions at Intersections (2013) [9]

Neste artigo é reportado que uma pesquisa [10] identificou uma larga faixa de valores de velocidade em cidades da América do Norte, variando de 2,2 a 18,7 pés/segundo (2,4 a 20,5 km/h).

O artigo também reporta que Manuais como os da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), Caltrans (*California Department of Transportation*) e NACTO (*National Association of City Transportation Officials*) recomendam que, na ausência de dados, seja adotado o valor de 15 pés/segundo (16,5 km/h) como um valor default para a velocidade do ciclista.

O artigo ainda informa que uma pesquisa concluiu que, em programações semafóricas para ciclistas, a velocidade assumida era de 18,7 pés/segundo (20,5 km/h).

2.10 Bicycle-Specific Signals: Results from a State-of-the-Practice Review [10]

O artigo informa que AASHTO recomenda valores default para o tempo de percepção e reação (T_{pr}) de 1 segundo, velocidade de 14,7 pés/segundo (16,1 km/h) e aceleração de 1,5 pés/s² (0,46 m/s²).

O artigo também menciona que o Manual holandês CROW [11] sugere valores para a velocidade de 20 km/h, aceleração de 0,8 a 1,2 m/s², desaceleração de 1,5 m/s² e tempo de percepção e reação de 1 segundo.

O artigo ainda cita que o Manual canadense da TAC (*Transportation Association of Canada*) considera que a velocidade de cruzeiro típica de ciclistas é de 20 km/h.

2.11 Operational Guidance for Bicycle-Specific Traffic Signals in the United States (2013) [12]

O Relatório atribui a AASHTO (2012) [1] a seguinte Expressão para a distância mínima de visibilidade para parada (*Minimum Stopping Sight Distance*):

$$S = PRT \times V + \frac{V^2}{30(f \pm G)} \quad (3)$$

Onde:

PRT é o tempo de percepção e reação, assumido como 2,5 s;

f é o coeficiente de atrito assumido como 0,16;

G é a inclinação da via.

O Relatório não esclarece qual é a unidade de V e de S na Expressão (3) (na Expressão (2), a velocidade está expressa em km/h e a distância em metros).

A expressão correspondente da AASHTO (2012) [1] para a Expressão (2) com unidades em pés e em mph é (tempo de percepção e reação de 2,5 s):

$$S = \frac{V^2}{30(f \pm G)} + 3,67V \quad (4)$$

A Expressão (3) do Relatório difere das Expressões (2) e (4), apresentadas na Tabela 5-4 - *Minimum Stopping Sight Distance* da AASHTO (2012) [1].

O Relatório informa que o Manual CROW [11] estabelece os seguintes valores para o cálculo de temporização semafórica para ciclistas:

- Velocidade: 20 km/h
- Aceleração: 0,8 a 1,2 m/s²
- Desaceleração: 1,5 m/s²
- Tempo de percepção e reação: 1 s

De acordo com a pesquisa realizada, o Relatório conclui que nos Estados Unidos os grupos focais veiculares são instalados na esquina posterior (a não ser que haja problemas de visibilidade). Essa prática foi seguida para grupos focais para ciclistas. Cerca de 19% nos Estados Unidos e 64% das instalações no Canadá têm grupo focal para ciclistas tanto na esquina posterior como na anterior (antecipado). Não foram encontrados pela pesquisa grupos focais para ciclistas apenas na esquina anterior nos Estados Unidos. Grupos focais antecipados são mais comuns na Europa (geralmente com dimensões e altura menores).

2.12 *Design Speeds and Acceleration Characteristics of Bicycle Traffic for Use in Planning, Design and Appraisal* [13]

Os resultados desse estudo indicam que a velocidade 85 percentil numa via plana é de 22 km/h e para vias com declividade de 3% é de 25 km/h.

O artigo recomenda que seja adotado um valor de 25 km/h para vias com declividade menor que 3%, mas devem ser consideradas velocidades até 35 km/h para declividades maiores.

2.13 *Ontario Traffic Manual - Book 12A - Bicycle Traffic Signals Guide (2018)* [14]

O Manual de Ontario (Canadá) recomenda os seguintes valores:

- Tempo de percepção e reação para início de movimento: 1 s
- Tempo de percepção e reação para a frenagem: 2,5 s
- Velocidade: 14 a 20 km/h
- Aceleração: 1 m/s²
- Desaceleração: 3 m/s²

Na mesma página, o Manual ainda fornece uma tabela com valores de outras fontes:

Tabela 6 - Valores recomendados por outras fontes

Parâmetro	Fonte	Valor
Velocidade	NACTO ²	14 ft/s (15,4 km/h)
Velocidade, plano	NACTO ²	13 – 24 km/h
Velocidade, plano	California	14,7 ft/s (16,1 km/h)
Velocidade	TAC	20 km/h
Velocidade	CROW	20 km/h
Velocidade, declive	AASHTO (2012) ¹	32 – 50 km/h
Velocidade aclone	AASHTO (2012) ¹	8 – 19 km/h
Tempo de percepção e reação	AASHTO (2012) ¹	1,0 e 2,5 s
Tempo de percepção e reação	CROW	1 s
Desaceleração, pavimento seco	AASHTO (2012) ¹	4,8 m/s ²
Desaceleração, pavimento molhado	AASHTO (2012) ¹	2,4 – 3,0 m/s ²
Desaceleração	CROW	1,5 m/s ²
Aceleração	AASHTO (2012) ¹	0,5 – 1,5 m/s ²
Aceleração	CROW	0,8 – 1,2 m/s ²

1 - *Guide for the Development of Bicycle Facilities*, AASHTO, 2012

2 - *Urban Bikeway Design Guide*, NACTO, 2012

2.14 Guia Global de Desenho de Ruas (*Global Street Design Guide*) [15]

Neste Guia pode-se encontrar o seguinte trecho sobre a velocidade de bicicletas:

"Os percursos em bicicletas são realizados a diferentes velocidades, dependendo de sua finalidade, da distância total de trajeto, do grau de confiança do ciclista e da instalação utilizada. Crianças pequenas pedalam a velocidades mais baixas do que um ciclista que faz entregas, assim como visitantes pedalam de forma diferente de moradores e trabalhadores locais. Desenhe faixas para ciclismo que comportem usuários em velocidades variadas. Ofereça proteção suficiente das faixas de tráfego¹, levando em consideração os diferenciais de velocidade e volumes de veículos. Bicicletas elétricas que transitam até 20 km/h muitas vezes também utilizam as ciclofaixas. Desenhe faixas mais amplas ao longo de corredores viários de grande volume para permitir que os ciclistas velozes possam ultrapassar os mais lentos."

Consta neste Guia a seguinte Figura, que mostra a relação entre a velocidade do ciclista e a função da viagem.

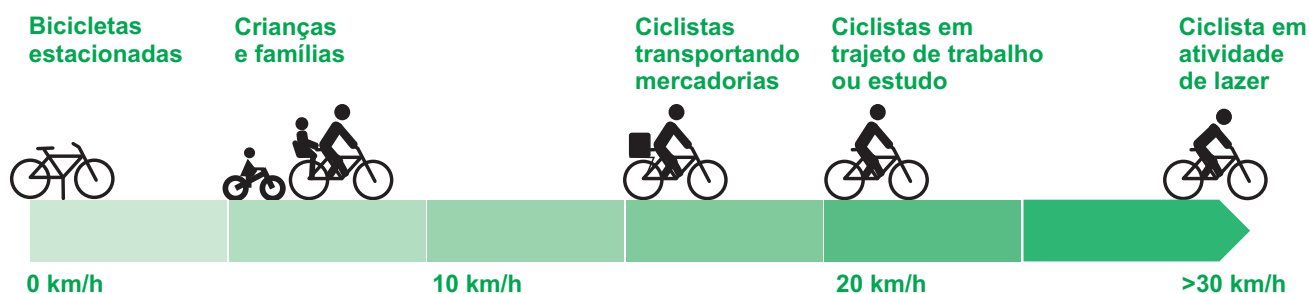


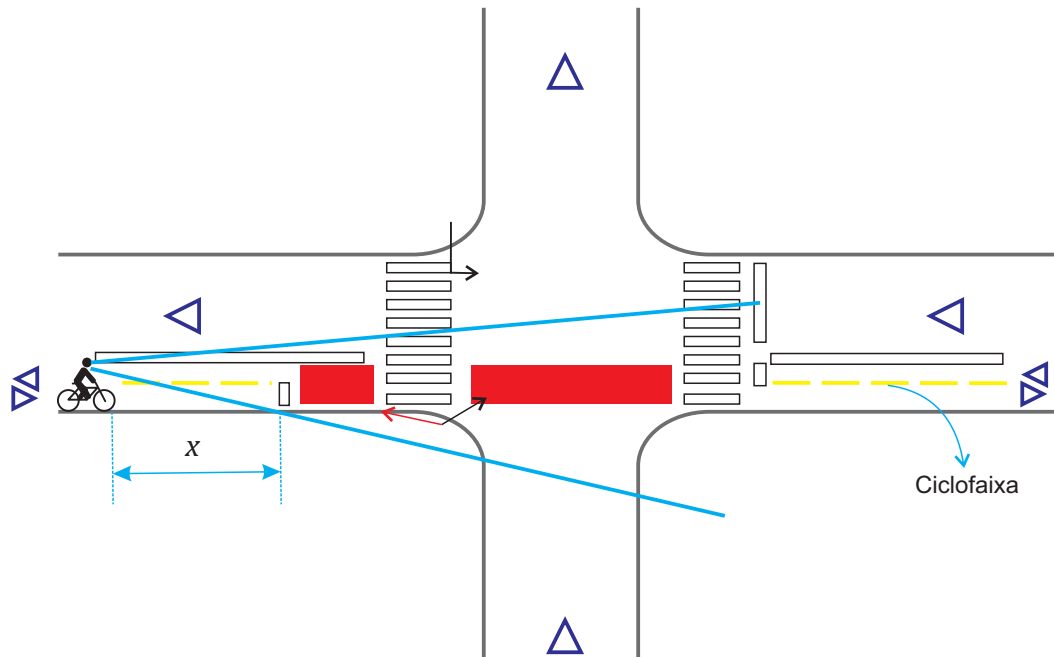
Figura 8 - Relação entre a velocidade e a função do ciclista. Fonte: [15]

Na Figura 8, pode-se verificar que a velocidade das bicicletas pode ultrapassar 30 km/h.

¹ Ajustado para o texto original em inglês: "Provide sufficient protection from travel lanes".

3. Visibilidade a distância

A visibilidade a distância está relacionada diretamente à segurança, pois está associada ao tempo que o ciclista leva para parar o seu veículo ao avistar a mudança da indicação luminosa da cor verde para a amarela. O ciclista deve ter a visão do grupo focal a uma distância no mínimo igual à distância que ele irá percorrer desde o início da frenagem até a imobilização completa da bicicleta na linha de retenção, Figura 9.



X = Distância mínima de visibilidade para parada
= distância para parar na linha de retenção desde o início da frenagem

Figura 9 - Distância mínima de visibilidade para parada

Na Figura 9, o ciclista deve ter a visão do grupo focal quando ele estiver, no mínimo, a uma distância X da linha de retenção. A distância X é a distância a ser percorrida desde o início da frenagem até a parada total da bicicleta na linha de retenção. Se o ciclista não tiver visão do grupo focal a essa distância quando o sinal mudar para o amarelo, ele não conseguirá parar com segurança na linha de retenção. Essa distância pode ser calculada usando-se cinemática elementar, considerando-se uma frenagem constante. A expressão é a mesma usada para veículos motorizados, Expressão (5):

$$X = vT_{pr} + \frac{v^2}{2(a_{ad} \pm ig)} \quad (5)$$

Sendo:

X = Distância mínima de visibilidade para parada, em m;

v = velocidade do ciclista, em m/s;

T_{pr} = tempo de percepção e reação do ciclista, em s;

a_{ad} = desaceleração, em m/s²;

i = inclinação da via na aproximação, em m/m, sendo "+" em aclives e "-" em declives;

g = aceleração da gravidade, em m/s².

O Manual da AASHTO (2012) [1] recomenda ainda a seguinte expressão para o cálculo de distância mínima de visibilidade para parada (*Minimum Stopping Sight Distance*), considerando um tempo de percepção e reação para frenagem de 2,5 segundos:

$$X = \frac{v^2}{254(f \pm i)} + \frac{v}{1,4} \quad (2)$$

Sendo:

X = Distância mínima de visibilidade para parada, em m;

v = velocidade do ciclista, em km/h;

f = coeficiente de atrito ($f = 0,32$ para pavimento seco e $f = 0,16$ para pavimento molhado);

i = inclinação da via na aproximação, em m/m, sendo " + " em aclives e " - " em declives.

Conforme já mencionado no item 2.1 deste trabalho, a Expressão (2) não é específica para a visibilidade do semáforo, mas, sim, para a visibilidade de qualquer objeto na pista que possa oferecer algum risco ao ciclista.

Os parâmetros necessários para o cálculo de X nas Expressões (2) e (5) são: v , T_{pr} , a_{ad} e f . A variável i depende das características de cada local.

Se considerarmos os valores mais conservadores da pesquisa feita no item 2, podem ser obtidos os resultados mostrados nas Tabelas 7 e 8, usando-se as Expressões 5 e 2, respectivamente, para velocidades de 10, 20 e 30 km/h:

Tabela 7 - Valores de distância de visibilidade de parada (Expressão 5)

Fonte	v (km/h)	T_{pr} (s)	a_{ad} (m/s ²)	x (m)	Pavimento
[1]	10	2,5	4,8	8 (*)	Seco
		2,5	3	8 (**)	Molhado (1)
		2,5	1,5	10	Molhado (2)
	20	2,5	4,8	17	Seco
		2,5	3	19	Molhado (1)
		2,5	1,5	24	Molhado (2)
	30	2,5	4,8	28	Seco
		2,5	3	32	Molhado (1)
		2,5	1,5	44	Molhado (2)

(*) O valor obtido no cálculo foi de 7,7. Com o arredondamento foi para 8.

(**) O valor obtido no cálculo foi de 8,2. Com o arredondamento foi para 8.

(1) Valor de a_{ad} da Tabela 3-2 da AASHTO (2012) [1]

(2) Valor de a_{ad} da Tabela 4-4 da AASHTO (2012) [1]

Tabela 8 - Valores de distância de visibilidade de parada (Expressão 2)

Fonte	v (km/h)	f	x (m)	Pavimento
[1]	10	0,32	8	Seco
		0,16	10	Molhado
	20	0,32	19	Seco
		0,16	24	Molhado
	30	0,32	33	Seco
		0,16	44	Molhado

Os valores de X nas Tabelas 7 e 8 foram calculados considerando-se aproximações planas.

Para aproximações em declive, a distância de visibilidade de parada deverá ser reavaliada caso a caso, considerando-se a declividade e a velocidade (que geralmente é maior em declives acentuados).

4. Visibilidade a partir da linha de retenção

A linha de retenção deverá ser demarcada na ciclovia ou ciclofaixa de forma que o ciclista, parado na linha de retenção aguardando o sinal verde, tenha uma visão confortável do grupo focal a ele destinado. Por "visão confortável" quer-se dizer que o grupo focal deve estar no cone de visão natural do ciclista, sem que ele precise ficar "procurando" pelo grupo focal.

Observe que, quando o ciclista compartilhar o grupo focal veicular, essa visibilidade está normalmente assegurada, pois os grupos focais veiculares geralmente estão instalados após a interseção (considerando-se que não haja interferências visuais).

Da mesma forma, se houver um grupo focal específico para ciclistas instalado após a interseção (na esquina posterior), a distância de visibilidade a partir da linha de retenção também está assegurada (considerando-se que não haja interferências visuais).

A visibilidade a partir da linha de retenção deverá ser considerada quando houver apenas um grupo focal específico para ciclistas, instalado na esquina anterior (antecipado), Figura 10.

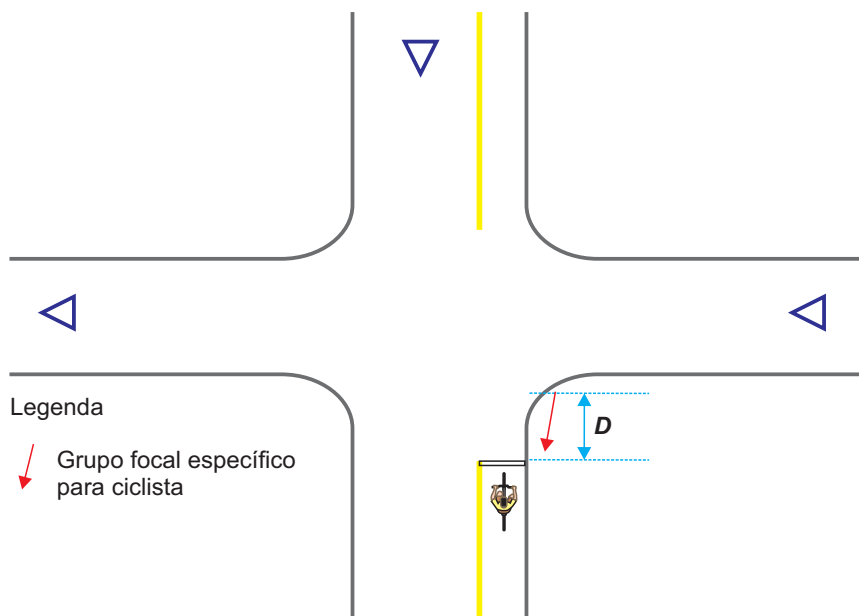


Figura 10 - D = distância de visibilidade do grupo focal a partir da linha de retenção

Considere agora a Figura 11:

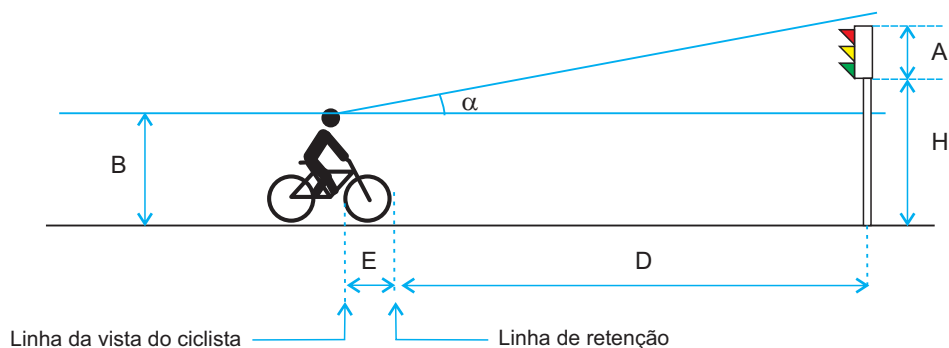


Figura 11 - Visibilidade a partir da linha de retenção

Considerando-se um cone de visão α , pode-se obter a Expressão (6) usando-se trigonometria elementar:

$$D = \frac{H - B + A}{\text{tg}\alpha} - E \quad (6)$$

Onde:

D é a distância da linha de retenção até a coluna onde está instalado o grupo focal, em m;

H é a altura da base inferior do grupo focal até o solo, em m;

B é a altura da vista do ciclista, em m;

A é o comprimento do grupo focal, em m ($A = 0,80$ m);

E é a distância da frente da bicicleta até a vista do ciclista, assumida como sendo aproximadamente igual ao diâmetro de uma roda aro 26" ($E = 0,665$ m).

O cone de visão α pode ser obtido dos parâmetros visuais da Norma ABNT NBR 9050:2015. O ângulo de alcance visual no plano vertical (pessoa em pé e sentada) está mostrada na Figura 12.

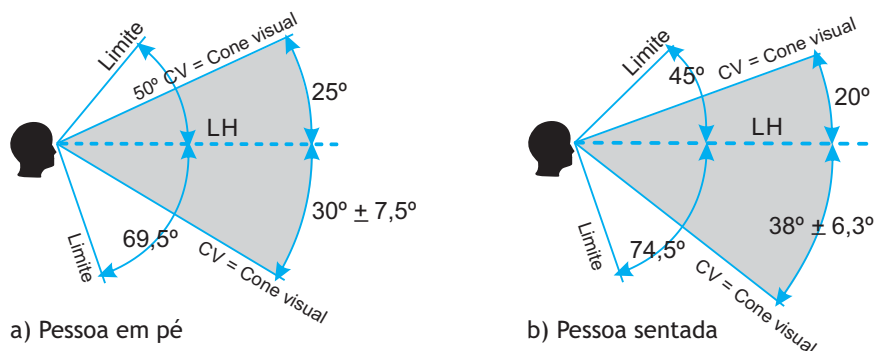


Figura 12 - Ângulo visual no plano vertical

Na Figura 12, LH é a linha do horizonte, relacionada com a altura dos olhos e CV é o cone visual correspondente à área de visão apenas com o movimento inconsciente dos olhos.

Apenas a título de exemplo, para a determinação da distância de visibilidade a partir da linha de retenção D , será considerado que o grupo focal específico para ciclistas seja instalado na altura de $H = 2,39$ m (igual à altura livre do grupo focal veicular fixado em coluna) ou $H = 1,75$ m (igual à altura livre do grupo focal de pedestres).

O parâmetro da Expressão (6) que falta definir para o cálculo da distância de visibilidade a partir da linha de retenção D é a altura da vista do ciclista B .

Da Expressão (6), pode-se verificar que quanto maior for B , menor será a distância D .

Para a determinação do valor de B podem ser consideradas 3 possibilidades:

- Da Figura 3.1 - *Cyclist Envelope* do *Manual Cycling Aspects of Austroads Guides - Austroads (2014)* [7] (Figura 4 do presente trabalho), pode-se verificar que a altura da vista do ciclista ao solo é de $B = 1,40$ m.
- Da Figura 2.1 do MSU Volume 13 - Espaço Cicloviário (Figura 7 do presente trabalho) verifica-se que a altura do topo do capacete do ciclista até o solo é de 2,00 m. Considerando-se uma distância estimada de 0,15 m entre o topo do capacete e a vista do ciclista, deduz-se que $B = 2,00 - 0,15 = 1,85$ m.
- O ciclista parado na linha de retenção, aguardando a abertura do semáforo, normalmente fica numa posição em que um pé fica apoiado no solo, conforme mostra a Figura 13:



Figura 13 - Posição do ciclista parado na linha de retenção em que um pé fica apoiado no solo

Nesta posição, a altura do ciclista pode ser considerada aproximadamente igual à sua estatura. Considerando a estatura média de um brasileiro urbano, do gênero feminino, de 1,656 m (Fonte: IBGE POF 2008-2009) e considerando que a distância entre o topo da cabeça até a vista do ciclista seja de 0,10 m, deduz-se que a altura da vista do ciclista parado na linha de retenção seja aproximadamente igual a $B = 1,66 - 0,10 = 1,56$ m.

A partir dos valores de B , obtidos nas letras "a", "b" e "c" acima, pode-se construir a Tabela 9, considerando-se os cones de visão de $\alpha = 20^\circ$ e $\alpha = 25^\circ$ ($tg20^\circ = 0,363970$ e $tg25^\circ = 0,466308$).

Tabela 9 - Visibilidade a partir da linha de retenção

	H (m)	A (m)	B (m)	E (m)	D (m)
20°	1,75	0,80	1,40 (*)	0,665	2,5
	2,39	0,80	1,40 (*)	0,665	4,3
	1,75	0,80	1,85 (**)	0,665	1,3
	2,39	0,80	1,85 (**)	0,665	3,0
	1,75	0,80	1,56 (***)	0,665	2,1
	2,39	0,80	1,56 (***)	0,665	3,8
25°	1,75	0,80	1,40 (*)	0,665	1,8
	2,39	0,80	1,40 (*)	0,665	3,2
	1,75	0,80	1,85 (**)	0,665	0,8
	2,39	0,80	1,85 (**)	0,665	2,2
	1,75	0,80	1,56 (***)	0,665	1,5
	2,39	0,80	1,56 (***)	0,665	2,8

(*) Valor mais conservador.

(**) Valor obtido da Figura 2.1 do MSU Volume 13 - Espaço Cicloviário (Figura 7 do presente trabalho), considerando-se uma distância de 0,15 m entre o topo do capacete e a vista do ciclista: $2,00 - 0,15 = 1,85$ m.

(***) Valor obtido considerando a posição do ciclista parado na linha de retenção em que um pé fica apoiado no solo.

Observação:

Em algumas cidades existem dispositivos denominados "bikers rest" que auxiliam o ciclista a se apoiar enquanto aguarda abertura do semáforo, conforme mostram as Figuras 14 e 15. A construção de "biker rest" nas ciclovias e ciclofaixas pode ajudar a aumentar o respeito à linha de retenção pelos ciclistas. Para tanto, é importante que esses dispositivos não sejam instalados para além da linha de retenção.



Figura 14 - Biker rest
Fonte: <https://ciclovivo.com.br/arq-urb/mobilidade/bikers-rest-serve-de-apoio-enquanto-ciclista-aguarda-no-semáforo/>



Figura 15 - Biker rest
Fonte: <http://www.thecityfixbrasil.org/2012/03/09/duas-rodas-e-salto-alto-10-licoes-das-melhores-cidades-para-se-pedalar/>

Deve-se observar que, quando houver conflito entre veículos que fazem conversão à direita com os ciclistas na ciclofaixa, é recomendável que a linha de retenção para ciclistas esteja avançada em relação à linha de retenção para veículos, conforme a recomendação feita no Manual australiano *Cycling Aspects of Austroads Guides - Austroads (2014)* [7] (ver a Figura 6 no item 2.7 do presente trabalho).

Quando o conflito com os veículos que convergem à direita for muito significativo, além do avanço da linha de retenção, pode ser justificada a instalação de um grupo focal específico para ciclistas para permitir a configuração de um grupo semafórico separado G2 para o movimento dos ciclistas, de forma a antecipar a abertura do seu verde em relação ao movimento veicular (*Leading Interval*), com o intuito de permitir o escoamento das bicicletas antes do início do movimento veicular de conversão à direita, conforme mostra a Figura 16.

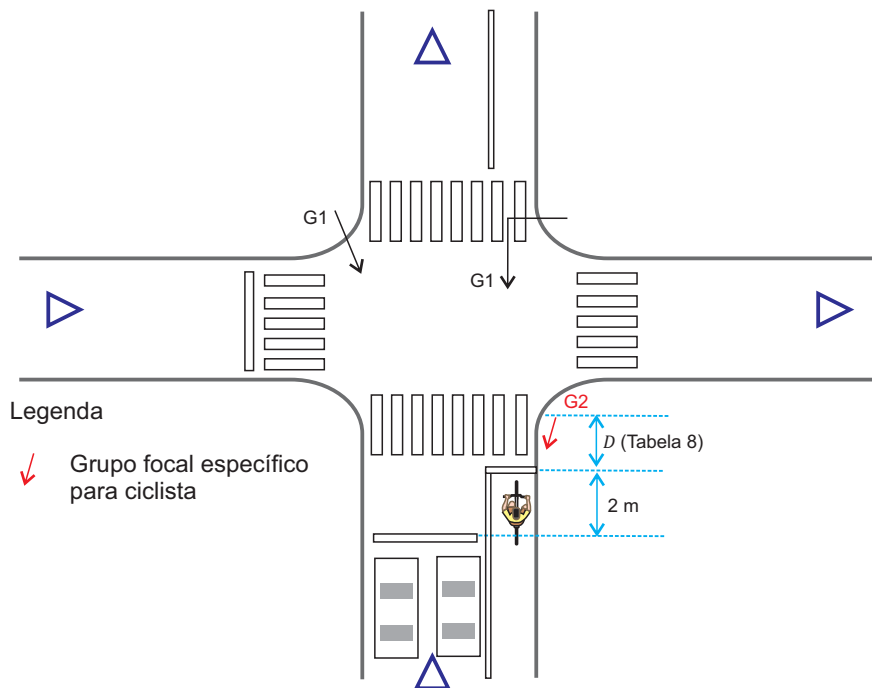


Figura 16 - Configuração de grupo semafórico separado para o movimento de ciclistas, além do avanço da linha de retenção

Na Europa é muito comum o uso de grupo focal para ciclistas antecipado. Para resolver o problema de visibilidade a partir da linha de retenção, sem a necessidade de recuá-la, é usado um grupo focal menor, instalado em uma altura inferior à altura dos grupos focais convencionais, conforme mostra a Figura 17.



Figura 17 - Grupo focal com dimensões e altura menores para permitir a visibilidade a partir da linha de retenção. Fonte: Google - Londres, Reino Unido

5. Conclusões e recomendações

Apesar de já haver uma infraestrutura com significativa quilometragem de ciclofaixas e ciclovias na cidade de São Paulo, o que se verifica é que o aspecto de visibilidade do grupo focal específico para ciclistas nem sempre é contemplado nos projetos. Essa deficiência pode ser explicada pela carência de normas, manuais ou documentos técnicos sobre esse tópico específico que possam dar a devida orientação aos projetistas.

Dessa forma, para suprir essa deficiência e oferecer subsídios técnicos para a elaboração de futuros manuais, o objetivo do presente trabalho foi o de trazer os elementos necessários para a elaboração de um projeto semaforico adequado no que concerne à visibilidade de grupo focal específico para ciclistas.

Por falta de estudos e pesquisas nacionais, os valores típicos dos parâmetros necessários para o cálculo das distâncias de visibilidade foram obtidos por meio de uma pesquisa na literatura internacional, com os seguintes resultados:

Visibilidade a distância: conforme as Tabelas 7 e 8 (para aproximação plana). Para aproximações em declive acentuado, é necessário recalcular essa distância.

Visibilidade a partir da linha de retenção (distância da linha de retenção até o grupo focal): conforme a Tabela 9.

Os resultados foram obtidos considerando-se os valores mais conservadores, em favor da segurança.

No caso de visibilidade a partir da linha de retenção, é importante destacar que o recuo da linha de retenção para ciclistas (para manter a distância adequada em relação ao grupo focal) só é necessário nas seguintes condições:

- a) Quando não é possível o compartilhamento dos grupos focais veiculares; e
- b) Quando só há um grupo focal específico para ciclistas, instalado próximo à linha de retenção (antecipado).

REFERÊNCIAS

- [1] AASHTO. *Guide for the Development of Bicycle Facilities*, 4th ed. Washington, D.C., (2012).
- [2] *Bike Intersection Design - Seattle Streets Illustrated* (2017).
<https://streetsillustrated.seattle.gov/design-standards/bicycle/bike-intersection-design/>
- [3] *Traffic Signs Manual - Chapter 6 - Traffic Control* (2019). Published for the Department for Transport under Licence from the Controller of Her Majesty's Stationery Office.
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/851465/dft-traffic-signs-manual-chapter-6.pdf
- [4] *Traffic Signal Guidelines for Bicycles*. Transportation Association of Canada, Ottawa, Ontario, Final Report (2004).
- [5] *Guide to Road Design - Part 6A: Paths for Walking and Cycling - Austroads, Second Edition* (2017).
- [6] *SUSTRANS Design Manual - Handbook for Cycle-Friendly Design - April 2014*.
- [7] *Cycling Aspects of Austroads Guides - Austroads, Second Edition* (2014).
- [8] *Manual de Sinalização Urbana - Espaço Cicloviário - Critérios de Projeto, Volume 13, Revisão 0 - CET* (2014).
- [9] *Figliozi, Miguel; Wheeler, Nikki; Monsere, Christopher, M.: Methodology for Estimating Bicyclist Acceleration and Speed Distributions at Intersections, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2387, 2013, pp. 66-75.*
- [10] *Thompson, S. R., C. M. Monsere, M. Figliozi, P. Koonce, and G. Obery. Bicycle-Specific Signals: Results from a State-of-the-Practice Review. Presented at 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2013.*
- [11] *Design Manual for Bicycle Traffic* (R. de Groot, ed.), CROW, Ede, Netherlands, 2007.
- [12] *Monsere, Christopher; Figliozi, Miguel A.; Thompson, Sam; Paulsen, Kirk. Operational Guidance for Bicycle-Specific Traffic Signals in the United States - Final Report SPR 747 OTREC 2102FG* (2013).
https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1195&context=cengin_fac
- [13] *Parkin, John; Rotheram, Jonathon. Design Speeds and Acceleration Characteristics of Bicycle Traffic for Use in Planning, Design and Appraisal. Article in Transport Policy · September 2010.*
- [14] *Ontario Traffic Manual - Book 12A - Bicycle Traffic Signals Guide - March 2018*.
- [15] *Guia Global de Desenho de Ruas (Global Street Design Guide). Initiative, National Association of City Transportation Officials. Tradução de Daniela Tiemi Nishimi de Oliveira. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2018.*