

Nota Técnica 275

Intensidade Luminosa de Foco Semafórico a LED com Pictograma

Ming, Sun H.
Anselmo, Márcio A.
Carmo, José Antônio D. P.
Duarte, Tadeu L.
Fernandes, Marcelo A.
Lopes, Denise L.
Santos, Alexandre F.
Tarricone, Nilvio A.
Toledo, Wilson V.
Ueta, Paulo S.

Junho de 2022



APRESENTAÇÃO

Trata o presente trabalho sobre a intensidade luminosa de focos semafóricos a LED com pictograma, em especial de focos semafóricos com pictogramas seta e bicicleta.

O presente trabalho considera as seguintes Normas da ABNT:

- ABNT NBR 7995:2013 Sinalização Semafórica – Grupo Focal Semafórico em Alumínio, doravante designado por ABNT (2013) [1].
- ABNT NBR 15889:2019 Sinalização Semafórica Viária — Módulo Semafórico com Base em Diodos Emissores de Luz (LED) — Requisitos e Métodos de Ensaio, doravante designado por ABNT (2019) [2].

Verifica-se que a Norma ABNT (2019) [2] adota os valores das intensidades luminosas das especificações do ITE (*Institute of Transportation Engineers*). Por isso, este estudo também levou em consideração a seguinte Especificação do ITE:

- *Vehicle Traffic Control Signal Heads – Light Emitting Diode (LED) – Vehicle Arrow Traffic Signal Supplement*, doravante designado por ITE (2006) [4].

A especificação ITE (2006) [4] é uma especificação sobre grupo focal de 300 mm com pictograma seta.

O presente estudo foi feito com base na Especificação do ITE de 2006 [4] sobre grupo focal de 300 mm com pictograma seta.

Os valores da intensidade luminosa do grupo focal de 200 mm e de 300 mm (ambos sem pictograma) foram obtidos no documento “LED *Circular Signal Module Specification and Requirements Checklist 8*” (200 mm) and 12” (300 mm) *Balls October 20, 2008*”, doravante designado como LED Circular [7], o qual reproduz os dados da Especificação ITE (2005) [5].

Com relação ao grupo focal de pedestre, as especificações do ITE consideradas no presente trabalho foram:

- *Performance Specification of the Institute of Transportation Engineers – Pedestrian Traffic Control Signal Indications – Part 2: Light Emitting Diode (LED) – Pedestrian Traffic Signal Modules* de 2004, doravante designada como ITE *Pedestrian Part 2* (2004) [12] e
- *Performance Specification of the Institute of Transportation Engineers – Pedestrian Traffic Control Signal Indicators – Light Emitting Diode (LED) Signal Modules* de 2010, doravante designada como ITE *Pedestrian* (2010) [13].

Destaca-se que a documentação do ITE analisada neste trabalho foi substituída por:

- ITE LED Circular Signal Supplement Purchase Specification (June/2005), doravante designado como ITE (2005) [5].
- *Vehicle Traffic Control Signal Heads – Part 3: Light Emitting Diode (LED) Vehicle Arrow Signal Modules – A Purchase Specification (January/2008)*, doravante designado como ITE (2008) [6].
- *Pedestrian Traffic Control Signal Indicators-Light Emitting Diode (LED) Signal Modules (February/2011)* [8].

A Especificação Técnica da CET pertinente é:

- ET-SE-23 – Módulos de Iluminação Baseados em Diodos Emissores de Luz – Módulos LED – Rev. 01, 10/11/2011. SSI/CET, doravante designado como CET (2011) [3]

Além da documentação mencionada, também foi analisada a Norma Australiana AS 2144:2014 – *Traffic Signal Lanterns*, doravante designada como AS (2014) [14], no que concerne aos requisitos de intensidade luminosa e luminância.

2. INTRODUÇÃO

A Norma ABNT (2019) [2], que trata dos requisitos dos grupos focais a LED de 200 mm, não especifica as intensidades luminosas para focos com pictogramas seta e bicicleta¹ (em grupo focal com 3 focos, com a função de visibilidade a distância).

Ressalta-se que também não constam nas especificações do ITE os requisitos de intensidade luminosa para grupo focal de 200 mm com pictograma seta e para o grupo focal de ciclista. O ITE só apresenta dados de intensidade luminosa para o grupo focal com pictograma seta de 300 mm (a CET só usa o pictograma seta em foco de 200 mm).

A Especificação da CET (2011) [3] não faz menção às intensidades luminosas requeridas para os focos com pictogramas seta e bicicleta.

Assim, não há referências normativas para as intensidades luminosas de focos com pictograma seta e com pictograma de bicicleta¹ (em grupo focal com 3 focos, com a função de visibilidade a distância).

Sabe-se que nos focos semafóricos a LED, o pictograma é obtido pela disposição dos LEDs. Assim, os focos com pictograma possuem menos LEDs que os focos sem pictograma. Com menos LEDs, apresentam intensidade luminosa menor. Mas, quanto menor?

Dessa forma, o problema consiste em saber qual deve ser a intensidade luminosa para o foco LED com pictograma (pictograma seta e pictograma bicicleta), conhecendo-se a intensidade luminosa do foco sem pictograma.

¹ A referência à intensidade luminosa de grupo focal de ciclista que se encontra na Norma ABNT (2019) [2] refere-se à intensidade luminosa para grupo focal de ciclista com 2 focos, equiparado ao grupo focal de pedestres. Maiores detalhes sobre a intensidade luminosa do foco de ciclista podem ser vistos na Seção 7 do presente trabalho.

3. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é fazer o registro de uma memória do estudo realizado com o intuito de sugerir uma solução de caráter provisório, enquanto não for estabelecida uma Norma definindo a intensidade luminosa dos focos com pictograma.

A solução sugerida é baseada na identificação de uma premissa teórica da qual decorre a relação entre as intensidades luminosas do foco com pictograma e do foco sem pictograma, conforme descrita na Seção 6.

Com base na relação identificada na Seção 6, é apresentada uma proposta para a determinação da intensidade luminosa do foco de 200 mm com pictograma seta na Seção 7.

Com relação ao grupo focal de ciclista, a Norma ABNT (2019) [2] apresenta as intensidades luminosas para um grupo focal de dois focos com formato quadrado, equiparado ao grupo focal de pedestre, modelo esse já alterado pelo CTB em 09/04/2014 (Resolução Nº 483/14). Maiores detalhes sobre o grupo focal de ciclista se encontram na Seção 8.

Deve-se ressaltar que a constatação da veracidade da premissa teórica foi baseada apenas nas Especificações do ITE, sendo desejável a sua ratificação por meio de outras especificações ou normas. Apesar disso, considera-se que os resultados alcançados neste estudo são sólidos o suficiente para permitir a formulação da sugestão apresentada, uma vez que as Especificações do ITE são amplamente adotadas nos Estados Unidos e Canadá, sendo inclusive a base para a ABNT (2019) [2] e CET (2011) [3].

Na Seção 9, é feita uma análise da Norma Australiana AS (2014) [14] sobre os requisitos de intensidade luminosa e luminância, especialmente em relação aos focos com pictogramas.

4. CONCEITOS BÁSICOS

Para a compreensão do presente trabalho é necessário que o leitor tenha conhecimento e domínio dos conceitos de fluxo luminoso, intensidade luminosa e luminância.

4.1 Fluxo luminoso

Fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa. Trata-se da radiação total da fonte de luminosidade (em todas as direções) entre os limites de comprimento de onda do espectro visível (380 e 780nm).^{2,3} O fluxo luminoso é medido em lúmen, cujo símbolo é "lm".

4.2 Intensidade luminosa

A intensidade luminosa é o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto² e é medida em candelas, cujo símbolo é "cd". A intensidade luminosa sempre é associada a uma direção, isto é, a um ângulo vertical e a um ângulo horizontal.

Aqui, cabe esclarecer qual é a relação que existe entre lúmen e candela. Um lúmen é o fluxo luminoso dentro de um cone de um esferorradiano, emitido por um ponto luminoso com intensidade de uma candela².

O esferorradiano (símbolo: sr) é a unidade de medida padrão no Sistema Internacional de Unidades para quantificar ângulos sólidos. Equivale ao ângulo sólido formado por um cone tal que a área da esfera de raio unitário, cujo centro fica no ápice deste cone, tenha o valor de um metro quadrado⁴.

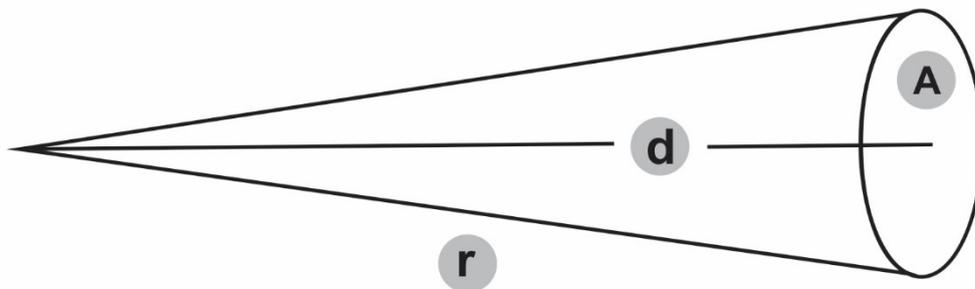


Figura 1 – Ângulo sólido
(Figura extraída de Jiang (2004) [10])

² Fonte: <https://www.powerlume.com.br/lumen-candela-e-lux-conceitos-basicos/>

³ O Wikipedia (https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_vis%C3%ADvel) coloca o espectro visível convencional entre 400 nm (extremo violeta) e 750 nm (extremo vermelho).

⁴ Fonte: Wikipedia: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Esferorradiano#:~:text=O%20esterradiano%20\(s%C3%ADmbolo%3A%20sr\),valor%20de%20um%20metro%20quadrado.](https://pt.wikipedia.org/wiki/Esferorradiano#:~:text=O%20esterradiano%20(s%C3%ADmbolo%3A%20sr),valor%20de%20um%20metro%20quadrado.)

Na Figura 1, A é a área da superfície do detector e d é a distância entre a fonte luminosa e o detector. O ângulo sólido w pode ser calculado como:

$$w = \frac{A}{d^2}$$

$$A = 1 \text{ m}^2 \text{ e } d = 1 \text{ m} \rightarrow w = 1 \text{ esferorradiano}$$

Segundo Jiang (2004) [10], a intensidade luminosa não pode ser medida diretamente. Ela pode ser calculada dividindo o fluxo luminoso em lúmens pelo ângulo sólido. O fluxo luminoso pode ser obtido pela relação com a potência radiante⁵

$$F = \int 683 \times P_\lambda \times S_\lambda \times d\lambda$$

onde F é o fluxo luminoso, P_λ é a potência radiante de comprimento de onda λ e S_λ é a função de eficácia luminosa espectral fotópica⁶ de comprimento de onda λ . Quando forem obtidos o fluxo luminoso (em lúmens) e o ângulo sólido w , pode ser calculada a intensidade luminosa (em candelas).

A intensidade luminosa não é visível ao olho humano, isto é, os raios de luz não são percebidos pelo olho humano, a menos que sejam refletidos em uma superfície e aí transmitem a sensação de claridade aos olhos. Essa sensação de claridade é chamada de Luminância.⁷

4.3 Luminância

A luminância também pode ser definida como a “quantidade de emissão de luz, que passa através ou é refletida em uma determinada superfície em um certo ângulo. É ela também que indica o quanto de energia luminosa pode ser percebida pelo olho humano”⁸.

Como a luminância é a quantidade de luz (intensidade luminosa) emitida por uma fonte luminosa que passa através de uma área ou que é refletida em uma superfície, ela é medida em candelas por metro quadrado (cd/m^2), isto é:

$$L = \frac{I}{A}$$

Onde:

L = luminância, em cd/m^2

I = intensidade luminosa, em cd

A = área da superfície iluminada, em m^2

⁵ A potência radiante (ou fluxo radiante) é definida como a potência total de radiação emitida por uma fonte, transmitida através de uma superfície ou incidente sobre uma superfície. Fonte: https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Grandezas_e_unidades_radiom%C3%A9tricas

⁶ A eficácia luminosa é uma medida de quão bem uma fonte de luz produz luz visível. Nem todos os comprimentos de onda da luz são igualmente visíveis ou igualmente eficazes para estimular a visão humana, devido à sensibilidade espectral do olho humano. Por exemplo, a radiação nas partes infravermelha e ultravioleta do espectro é inútil para a iluminação. A eficácia luminosa de uma fonte é o produto de quão bem ela converte energia em radiação eletromagnética e quão bem a radiação emitida é detectada pelo olho humano. Fonte: [https://stringfixer.com/pt/Luminous_efficacy#:~:text=Efic%C3%A1cia%20luminosa%20da%20radia%C3%A7%C3%A3o,-Explica%C3%A7%C3%A3o&text=Esta%20C3%A9%20uma%20fun%C3%A7%C3%A3o%20padronizada,condi%C3%A7%C3%B5es%20brilhantes%20\(%20vis%C3%A3o%20fot%C3%B3pica%20\).&text=A%20efic%C3%A1cia%20luminosa%20fot%C3%B3pica%20da,de%20555%20nm%20\(verde\).](https://stringfixer.com/pt/Luminous_efficacy#:~:text=Efic%C3%A1cia%20luminosa%20da%20radia%C3%A7%C3%A3o,-Explica%C3%A7%C3%A3o&text=Esta%20C3%A9%20uma%20fun%C3%A7%C3%A3o%20padronizada,condi%C3%A7%C3%B5es%20brilhantes%20(%20vis%C3%A3o%20fot%C3%B3pica%20).&text=A%20efic%C3%A1cia%20luminosa%20fot%C3%B3pica%20da,de%20555%20nm%20(verde).)

⁷ Fonte: <https://www.vivadecora.com.br/pro/iluminacao/conceitos-luminotecnicos/>

⁸ Fonte: <https://www.glight.com.br/blog/diferenca-entre-luminancia-e-iluminancia/#:~:text=A%20ilumin%C3%A2ncia%20se%20refere%20a,diferen%C3%A7a%20na%20reflex%C3%A3o%20da%20luz.>

4.4 Brilho

Segundo *Finley* (2003) [11], “brilho” é um termo subjetivo que se refere ao atributo de sensação de luz pelo qual um estímulo parece ser mais ou menos intenso ou emitir mais ou menos luz. A luminância pode ser entendida aproximadamente igual a “brilho”. A luminância não é afetada pela distância

Luminância é a qualidade mensurável da luz que mais se aproxima do brilho, o qual não se pode medir objetivamente. O brilho pode ser apenas percebido⁹.

4.5 Visibilidade e legibilidade do foco semafórico com pictograma

A palavra visibilidade significa: condição, atributo do que é ou pode ser visível, ser percebido pelo sentido da visão. O termo legibilidade significa qualidade do que é legível. Legível quer dizer que se pode ler; que está escrito em caracteres nítidos.

Visível é o que pode ser visto. Legível é o que pode ser lido ou entendido. De forma geral, visibilidade e legibilidade não são equivalentes.

É suficiente que um foco semafórico sem pictograma seja visível. Não há problema de legibilidade. A luz colorida é, ela própria, a mensagem a ser transmitida. Portanto, basta que a luz seja visível para que a mensagem seja recebida. Enxergando-se a luz, entende-se a mensagem. Neste caso, visibilidade e legibilidade se confundem.

Já no caso do foco com pictograma, visibilidade e legibilidade são coisas distintas. Um foco com pictograma pode ser visível, mas não legível, isto é, percebe-se a sua luz, mas não o contorno da figura, o que torna o pictograma ilegível. De fato, para que o pictograma seja legível, é necessário que se perceba com nitidez o contorno do desenho. A legibilidade do pictograma é afetada pela distância. Quanto maior é a distância, menos legível se torna o pictograma.

Note que, para aumentar a legibilidade do pictograma (para torná-lo legível a uma distância maior), não adianta aumentar a intensidade luminosa. Ao contrário, uma intensidade luminosa excessiva faz “explodir” o pictograma, fazendo com que a figura perca toda a nitidez do seu contorno, tornando-a ilegível.

A legibilidade do pictograma está relacionada com o seu tamanho e contraste (luminância em relação à luz ambiente). Mantido constante o contraste, para aumentar a legibilidade é necessário aumentar o tamanho do pictograma. Aumentando o tamanho, o pictograma fica legível a uma distância maior. Por exemplo, o pictograma seta em um foco de 300 mm é legível a uma distância maior do que a seta em um foco de 200 mm.

Fazendo-se uma analogia com o PMV (Painel de Mensagem Variável), tem-se que, para tornar legível a mensagem do PMV a uma distância maior, é necessário aumentar o tamanho da letra¹⁰.

Outro exemplo prático é o de quem está em uma consulta com o oftalmologista. Uma letra pequena pode não estar legível, mas aumentando o seu tamanho ela fica mais legível.

⁹ Fonte: <https://www.xrite.com/blog/luminance-and-brightness-what-is-the-difference#:~:text=Luminance%20describes%20the%20amount%20of,the%20light%20hitting%20the%20desk.&text=Luminance%20is%20the%20measurable%20quality,We%20can%20only%20perceive%20it.>

¹⁰ Conforme o item 5.1.2 da NEMA TS 4-2005, a altura do caractere e a distância de legibilidade estão proporcionalmente relacionadas.

A equação que corresponde à acuidade visual 20/20 da Carta de *Snellen* é conhecida como “*rule of thumb*” (regra do polegar), oferecendo uma regra prática em que cada polegada na altura do caractere corresponde a 50 pés na distância máxima de legibilidade.

Fonte: Boletim Técnico n° 57 – Painéis de Mensagens Variáveis – PMV. <http://www.cetsp.com.br/media/386976/bt057.pdf>.

5. CÁLCULO DA INTENSIDADE LUMINOSA

A Norma ABNT (2019) [2] e a Especificação ITE de 2005 [5] apresentam as intensidades luminosas para ângulos verticais na faixa de +12,5° a -22,5° e ângulos horizontais na faixa de ±2,5° a ±22,5°, em passos de 5°.

Para ângulos fora dos valores tabelados na Norma ABNT (2019) [2] ou na Especificação ITE de 2005 [5], é possível calcular os valores das intensidades luminosas usando-se expressões apropriadas. O documento LED Circular [7] fornece as expressões necessárias para esse cálculo.

Nas condições de -40°C a +74°C e alimentação elétrica de 60 ± 3 Hz AC e tensão na faixa de 80 a 135 VAC RMS, a intensidade luminosa mínima requerida pode ser calculada conforme o seguinte procedimento:

- a) Calcular o fator de intensidade luminosa vertical $f(I_{Vert})$ para a faixa de ângulos verticais de +12,5° a -27,5°, usando as seguintes equações:

Para ângulos verticais $\theta_{Vert} > -2,5^\circ$:

$$f(I_{Vert}) = 0,05 + 0,9434 \times e^{-\left(\frac{\theta_{Vert}+2,5}{5,3}\right)}$$

Para ângulos verticais $\theta_{Vert} \leq -2,5^\circ$:

$$f(I_{Vert}) = 0,26 + \left(\frac{\theta_{Vert}}{143}\right) + 0,76 \times \left[e^{-0,02(\theta_{Vert}+2,5)^2}\right]^{(-0,07\theta_{Vert})}$$

- b) Calcular o fator de intensidade luminosa horizontal $f(\theta_{Horiz})$ para a faixa de ±27,5° (27,5° esquerda a 27,5° direita):

$$f(I_{Horiz}) = 0,05 + \left[0,95 \times e^{\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta_{Horiz}}{11}\right)^2\right)}\right]$$

- c) Selecionar o valor da intensidade luminosa mínima apropriado para o tamanho da lente do foco (200 mm ou 300 mm) e para a cor requerida, para o ângulo vertical de $\theta_{Vert} = -2,5^\circ$ e ângulo horizontal de $\theta_{Horiz} = 0^\circ$ (Intensidade luminosa de pico), $I_{(-2,5;0)}$, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Valor da intensidade luminosa de pico (ângulo vertical de -2,5° e ângulo horizontal de 0°)

FOCO	$I_{(-2,5;0)}$	
	200mm (cd)	300mm (cd)
Vermelho	165	365
Amarelo	410	910
Verde	215	475

- d) Multiplicar o fator de intensidade luminosa vertical pelo fator de intensidade luminosa horizontal e arredondar para duas casas decimais. Multiplicar o resultado pelo valor da intensidade luminosa de pico $I_{(-2,5;0)}$ para a cor e tamanho da lente. O valor resultante deve ser arredondado para o inteiro mais próximo.

$$I_{(\theta_{Vert}, \theta_{Horiz})} = [f(I_{Vert}) \times f(I_{Horiz})] \times I_{(-2,5;0)}$$

A Especificação CET (2011) [3] adota alguns ângulos não constantes nas tabelas da Norma ABNT (2019) [2] ou no ITE (2005) [5] para focos semafóricos de 200 mm sem pictograma, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de intensidade luminosa constantes na Especificação CET (2011) [3]

Ângulo vertical (grau)	Ângulo horizontal (grau)	Intensidade luminosa (cd)		
		Vermelho	Amarelo	Verde
-2,5	±2,5	162	402	211
-5	±10	107	267	140
-10	±20	20	49	26
-15	±20	7	16	9

O único ângulo da Tabela 2 que consta na ABNT (2019) [2] e no ITE (2005) [5] é aquele que corresponde a -2,5° vertical e ±2,5° horizontal. Para essa combinação de ângulos, os valores da CET (2011) [3] coincidem com os da ABNT (2019) [2] e ITE (2005) [5].

Os demais ângulos da Tabela 2 não constam nas tabelas ABNT (2019) [2] e no ITE (2005) [5]. Calculando as intensidades luminosas para esses ângulos, usando-se o procedimento de LED Circular [7], chega-se exatamente aos valores da Tabela 2.

6. IDENTIFICAÇÃO DA RELAÇÃO EXISTENTE ENTRE A INTENSIDADE LUMINOSA DO FOCO SEM PICTOGRAMA COM A INTENSIDADE LUMINOSA DO FOCO COM PICTOGRAMA

6.1 Algumas ideias sobre a intensidade luminosa do módulo LED com pictograma

Um pressuposto geral é que a intensidade luminosa de um módulo LED com pictograma deve ser inferior à intensidade luminosa de um foco equivalente sem pictograma.

Intuitivamente, pode-se perceber que:

- O módulo com pictograma contém menos LEDs que o módulo sem pictograma (supondo LEDs iguais e sem o uso de difusor). Portanto, deve ter menor intensidade luminosa.
- A intensidade luminosa do módulo com pictograma tem uma área iluminada menor do que a área iluminada do módulo sem pictograma. Para intensidades luminosas iguais, o brilho do foco com pictograma será maior que o brilho do foco sem pictograma. Para manter o mesmo brilho, o foco com pictograma deve ter uma intensidade luminosa menor.

A Tabela 3 é um exemplo hipotético de uma especificação que não é consistente com a realidade, pois não obedece ao pressuposto acima. A Tabela 3 mostra um quadro comparativo entre os valores das intensidades luminosas dos focos de 200 mm com pictograma e os valores do foco sem pictograma constantes numa determinada especificação hipotética.

Tabela 3 – Comparação de valores de intensidade luminosa em um exemplo hipotético

Ângulo vertical (graus)	Ângulo horizontal (graus)	Módulo 'seta' 200mm (cd)		Módulo sem 'seta' 200mm (cd)	
		Vermelho	Verde	Vermelho	Verde
-2,5	+2,5	159	209	162	211
-5	+10	80	95	107	140
-10	+20	10	18	20	26
-15	+20	12	11	7	9

Analisando a Tabela 3:

- Ângulo vertical de $-2,5^\circ$ e ângulo horizontal de $\pm 2,5^\circ$: as intensidades luminosas do módulo com seta são da mesma magnitude e são similares às intensidades luminosas do módulo sem seta. Isso significa que o brilho do módulo com seta é mais intenso, podendo perder a legibilidade (o brilho pode ser tão intenso que não se enxergue mais o contorno do pictograma), principalmente à noite.
- Ângulo vertical de -15° e ângulo horizontal de $\pm 20^\circ$: a intensidade luminosa do módulo "seta" verde é maior do que a intensidade luminosa do módulo sem "seta". Isso significa que o módulo "seta" verde deve ter LEDs de maior potência para essa combinação de ângulos do que os LEDs do módulo sem "seta".

Se a intensidade luminosa do módulo "seta" fosse maior para todos os ângulos, então significaria que o módulo "seta" deve ter mais LEDs do que o módulo sem seta (sem o uso de difusor), embora a sua área seja menor, ou então que os LEDs devem ser de maior potência.

Essa análise indica que os valores de intensidade luminosa do módulo “seta” da Tabela 3 não são coerentes quando comparados com a intensidade luminosa do módulo sem “seta”.

6.2 Relação entre a intensidade luminosa do foco de 300 mm com pictograma seta e a intensidade luminosa do foco de 300 mm sem pictograma

A primeira pista para a identificação de uma relação que possa existir entre a intensidade luminosa do foco sem pictograma com a intensidade luminosa do foco com pictograma está na Especificação do ITE (2006) [4], que, no seu item 4.1.1.1, estabelece que, para o foco LED de 300 mm:

Para módulos LED de sinalização de tráfego com seta, que se destinam a ser usados em uma orientação específica, multiplique os requisitos de intensidade luminosa para um foco circular de LED de 300 mm da cor apropriada, conforme descrito na Seção 4.1 do VTCHS LED Circular Signal Supplement, por um fator de 0,16.

O “VTCHS LED Circular Signal Supplement” mencionado acima se refere à Especificação ITE (2005) [5].

A Tabela 4 mostra os percentuais da intensidade luminosa de grupo focal de 300 mm com seta em relação à intensidade luminosa de grupo focal de 300 mm sem pictograma seta. Pode-se verificar que os percentuais giram em torno de 16%.

Tabela 4 – Intensidade luminosa de grupo focal de 300 mm (sem seta e com seta)

Ângulo vertical, em graus	Ângulo horizontal, em graus (direita e esquerda)	Vermelho			Amarelo			Verde		
		200 mm ITE 2005 (*)	300 mm ITE 2005 (*)	200 mm / 300 mm ITE 2005	200 mm ITE 2005 (*)	300 mm ITE 2005 (*)	200 mm / 300 mm ITE 2005	200 mm ITE 2005 (*)	300 mm ITE 2005 (*)	200 mm / 300 mm ITE 2005
+12.5	2.5	17	37	46%	41	91	45%	22	48	46%
	7.5	13	29	45%	33	73	45%	17	38	45%
+7.5	2.5	31	69	45%	78	173	45%	41	90	46%
	7.5	25	55	45%	62	137	45%	32	71	45%
	12.5	18	40	45%	45	100	45%	24	52	46%
+2.5	2.5	68	150	45%	168	373	45%	88	195	45%
	7.5	56	124	45%	139	309	45%	73	162	45%
	12.5	38	84	45%	94	209	45%	49	109	45%
	17.5	21	47	45%	53	118	45%	28	62	45%
-2.5	22.5	12	26	46%	29	64	45%	15	33	45%
	2.5	162	358	45%	402	892	45%	211	466	45%
	7.5	132	292	45%	328	728	45%	172	380	45%
	12.5	91	201	45%	226	501	45%	118	261	45%
	17.5	53	117	45%	131	291	45%	69	152	45%
-7.5	22.5	28	62	45%	70	155	45%	37	81	46%
	27.5	15	33	45%	37	82	45%	19	43	44%
	2.5	127	281	45%	316	701	45%	166	366	45%
	7.5	106	234	45%	262	582	45%	138	304	45%
	12.5	71	157	45%	176	391	45%	92	204	45%
-12.5	17.5	41	91	45%	103	228	45%	54	119	45%
	22.5	21	47	45%	53	118	45%	28	62	45%
	27.5	12	26	46%	29	64	45%	15	33	45%
	2.5	50	110	45%	123	273	45%	65	143	45%
	7.5	40	88	45%	98	218	45%	52	114	46%
-17.5	12.5	28	62	45%	70	155	45%	37	81	46%
	17.5	17	37	46%	41	91	45%	22	48	46%
	22.5	8	18	44%	21	46	46%	11	24	46%
	27.5	5	11	45%	12	27	44%	6	14	43%
	2.5	23	51	45%	57	127	45%	30	67	45%
-22.5	7.5	18	40	45%	45	100	45%	24	52	46%
	12.5	13	29	45%	33	73	45%	17	38	45%
	17.5	7	15	47%	16	36	44%	9	19	47%
	22.5	3	7	43%	8	18	44%	4	10	40%
-27.5	2.5	17	37	46%	41	91	45%	22	48	46%
	7.5	13	29	45%	33	73	45%	17	38	45%
	12.5	10	22	45%	25	55	45%	13	29	45%
	17.5	5	11	45%	12	27	44%	6	14	43%
	2.5	12	26	46%	29	64	45%	15	33	45%
	7.5	8	18	44%	21	46	46%	11	24	46%

(*) Minimum Maintained Luminous Intensity Values – Per the VTC SH LED Circular Signal Supplement, June 27, 2005

(**) Não é a última versão (última versão = Janeiro/2008)

Qual seria a razão ou a lógica por trás do fator 0,16? A resposta a essa questão pode ser encontrada no documento (Bullough et al, 1999) [9]. Este documento explica que a semelhança entre o brilho e a conspicuidade:

“... é esperada porque a natureza simples e invariável da paisagem contra a qual o semáforo é visto torna a conspicuidade equivalente à visibilidade, que é determinada pela **luminância** do foco semafórico e, portanto, seu brilho.”

Note que o título do artigo (Bullough et al, 1999) [9] é: “*Luminous Intensity for Traffic Signals: A Scientific Basis for Performance Specifications*”, isto é: “Intensidade Luminosa para Semáforos: Uma base científica para Especificações”. Trata-se do Relatório de um projeto realizado com o objetivo de avaliar focos semafóricos a LED de diferentes intensidades luminosas, em relação a focos com lâmpada incandescente da mesma cor e que atende às especificações de intensidade luminosa para foco de 200 mm do *Institute of Transportation Engineers* (ITE, 1985).

Ainda nesse artigo, pode-se ler:

“... o brilho do foco semafórico de cada cor segue uma relação linear com o logaritmo da **luminância** do foco.”

Desses dois trechos do artigo, pode-se depreender que a visibilidade do semáforo está relacionada diretamente à luminância. De fato, como foi visto na Seção 4 deste trabalho, o que é percebido pelo olho humano é a luminância e não a intensidade luminosa.

O objetivo é que o semáforo com pictograma seta tenha a mesma visibilidade e conforto visual que o semáforo sem seta, então, pode-se concluir que ambos devem ter a mesma luminância.

Dessa forma, o foco de 300 mm com seta deve ter a mesma luminância do foco de 300 mm sem seta.

Assim, pode-se escrever que:

$$L_{300 \text{ seta}} = L_{300} = \frac{I_{300 \text{ seta}}}{A_{300 \text{ seta}}} = \frac{I_{300}}{A_{300}} \quad (1)$$

Onde:

$L_{300 \text{ seta}}$ = Luminância do módulo LED de 300 mm com pictograma seta em cd/m^2

L_{300} = Luminância do módulo LED de 300 mm sem pictograma em cd/m^2

$I_{300 \text{ seta}}$ = Intensidade luminosa do módulo LED de 300 mm com pictograma seta em cd

I_{300} = Intensidade luminosa do módulo LED de 300 mm sem pictograma em cd

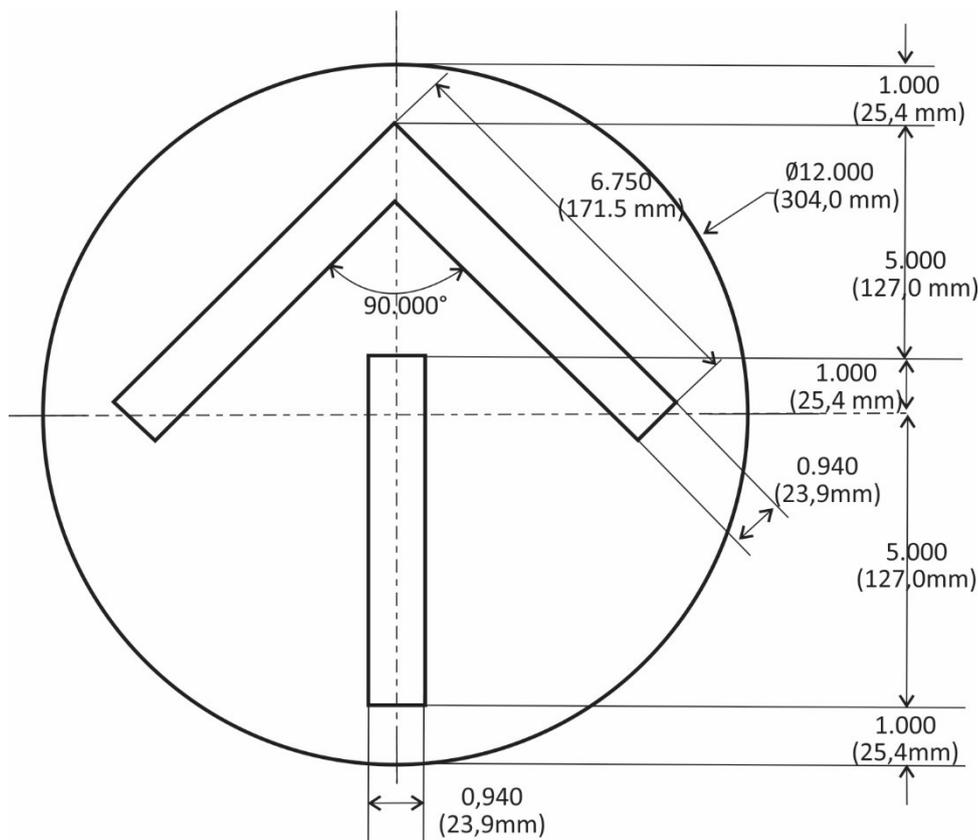
$A_{300 \text{ seta}}$ = Área da lente do módulo LED de 300 mm com pictograma seta em mm^2 (área da seta)

A_{300} = Área da lente do módulo LED de 300 mm sem pictograma em mm^2 (raio de 150 mm)

A Expressão (1) pode ser reescrita como:

$$\frac{I_{300 \text{ seta}}}{A_{300 \text{ seta}}} = \frac{I_{300}}{A_{300}} \implies \frac{I_{300 \text{ seta}}}{I_{300}} = \frac{A_{300 \text{ seta}}}{A_{300}} \quad (2)$$

O desenho da seta do módulo LED de 300 mm é aquele que consta na Figura 2 (*Figure 1* da Especificação do ITE 2006 [4]).



General Configuration of LED Vehicle Arrow Traffic Signal Icon
(Dimensions are shown in inches and (mm))

Figura 2 – Layout da seta do foco de 300 mm – ITE 2006 [4]

Da Figura 2 acima, pode-se calcular que a área da seta no módulo de 300 mm, conforme o *layout* do ITE 2006 [4], é:

$$A_{300 \text{ seta}} = 4.098,85 + 4.098,85 - 571,21 + 3.642,36 = 11.268,85 \text{ mm}^2$$

A área da lente do módulo LED de 300 mm sem pictograma é:

$$A_{300} = \pi \times 150^2 = 70.685,83 \text{ mm}^2$$

Então, a Expressão (2) passa a ser:

$$\frac{I_{300 \text{ seta}}}{I_{300}} = \frac{A_{300 \text{ seta}}}{A_{300}} = \frac{11.268,85}{70.685,83} = 15,94\%$$

Isto é, para ter a mesma luminância, a intensidade luminosa do módulo LED de 300 mm com pictograma seta deve ser 15,94% da intensidade luminosa do módulo LED de 300 mm sem pictograma. Esse percentual é bastante próximo do fator 0,16 do item 4.1.1.1 do ITE (2006) [4].

Observação 1: Pelo desenho da Figura 1, o raio da lente é de 152,4 mm (e não 150 mm), o que está dentro da tolerância de $\pm 5\%$. Considerando o raio de 152,4 mm, a relação passa a ser de 15,44% (em vez de 15,94%).

Observação 2: A Especificação ITE (2006) [4] não é a última vigente. A última edição é ITE (2008) [6].

6.3 Relação entre a intensidade luminosa do módulo LED de 200 mm e a do módulo LED de 300 mm (ambos sem pictograma)

Considerando que o foco de 200 mm deve ter a mesma luminância do foco de 300 mm (ambos sem pictograma), então pode-se escrever que:

$$L_{200} = L_{300} = \frac{I_{200}}{A_{200}} = \frac{I_{300}}{A_{300}} \quad (3)$$

Onde:

L_{200} = Luminância do módulo LED de 200 mm em cd/m^2

L_{300} = Luminância do módulo LED de 300 mm em cd/m^2

I_{200} = Intensidade luminosa do módulo LED de 200 mm em cd

I_{300} = Intensidade luminosa do módulo LED de 300 mm em cd

A_{200} = Área da lente do módulo LED de 200 mm em mm^2 (raio de 100 mm)

A_{300} = Área da lente do módulo LED de 300 mm em mm^2 (raio de 150 mm)

A Expressão (3) pode ser reescrita como:

$$\frac{I_{200}}{A_{200}} = \frac{I_{300}}{A_{300}} \Rightarrow \frac{I_{200}}{I_{300}} = \frac{A_{200}}{A_{300}} = \frac{\pi 100^2}{\pi 150^2} = \left(\frac{2}{3}\right)^2 = 44,44\%$$

Isso quer dizer que a relação entre a intensidade luminosa entre o módulo LED de 200 mm em relação ao de 300 mm deve ser de 44,44% para que a luminância seja igual.

A Tabela 5 mostra os percentuais da intensidade luminosa do grupo focal de 200 mm em relação à intensidade luminosa do grupo focal de 300 mm, ambos sem pictograma. Pode-se verificar que os percentuais giram em torno de 45%, resultado muito próximo de 44,44%.

Tabela 5 – Intensidade luminosa de grupo focal de 200 mm e de 300 mm (ambos sem pictograma)

Ângulo vertical, em graus	Ângulo horizontal, em graus (direita e esquerda)	Vermelho			Amarelo			Verde		
		200 mm ITE 2005 (*)	300 mm ITE 2005 (*)	200 mm ITE 2005 / 300 mm ITE 2005	200 mm ITE 2005 (*)	300 mm ITE 2005 (*)	200 mm ITE 2005 / 300 mm ITE 2005	200 mm ITE 2005 (*)	300 mm ITE 2005 (*)	200 mm ITE 2005 / 300 mm ITE 2005
+12.5	2.5	17	37	46%	41	91	45%	22	48	46%
	7.5	13	29	45%	33	73	45%	17	38	45%
+7.5	2.5	31	69	45%	78	173	45%	41	90	46%
	7.5	25	55	45%	62	137	45%	32	71	45%
	12.5	18	40	45%	45	100	45%	24	52	46%
+2.5	2.5	68	150	45%	168	373	45%	88	195	45%
	7.5	56	124	45%	139	309	45%	73	162	45%
	12.5	38	84	45%	94	209	45%	49	109	45%
	17.5	21	47	45%	53	118	45%	28	62	45%
	22.5	12	26	46%	29	64	45%	15	33	45%
-2.5	2.5	162	358	45%	402	892	45%	211	466	45%
	7.5	132	292	45%	328	728	45%	172	380	45%
	12.5	91	201	45%	226	501	45%	118	261	45%
	17.5	53	117	45%	131	291	45%	69	152	45%
	22.5	28	62	45%	70	155	45%	37	81	46%
	27.5	15	33	45%	37	82	45%	19	43	44%
-7.5	2.5	127	281	45%	316	701	45%	166	366	45%
	7.5	106	234	45%	262	582	45%	138	304	45%
	12.5	71	157	45%	176	391	45%	92	204	45%
	17.5	41	91	45%	103	228	45%	54	119	45%
	22.5	21	47	45%	53	118	45%	28	62	45%
	27.5	12	26	46%	29	64	45%	15	33	45%
-12.5	2.5	50	110	45%	123	273	45%	65	143	45%
	7.5	40	88	45%	98	218	45%	52	114	46%
	12.5	28	62	45%	70	155	45%	37	81	46%
	17.5	17	37	46%	41	91	45%	22	48	46%
	22.5	8	18	44%	21	46	46%	11	24	46%
	27.5	5	11	45%	12	27	44%	6	14	43%
-17.5	2.5	23	51	45%	57	127	45%	30	67	45%
	7.5	18	40	45%	45	100	45%	24	52	46%
	12.5	13	29	45%	33	73	45%	17	38	45%
	17.5	7	15	47%	16	36	44%	9	19	47%
	22.5	3	7	43%	8	18	44%	4	10	40%

Ângulo vertical, em graus	Ângulo horizontal, em graus (direita e esquerda)	Vermelho			Amarelo			Verde		
		200 mm ITE 2005 (*)	300 mm ITE 2005 (*)	200 mm ITE 2005 / 300 mm ITE 2005	200 mm ITE 2005 (*)	300 mm ITE 2005 (*)	200 mm ITE 2005 / 300 mm ITE 2005	200 mm ITE 2005 (*)	300 mm ITE 2005 (*)	200 mm ITE 2005 / 300 mm ITE 2005
- 22.5	2.5	17	37	46%	41	91	45%	22	48	46%
	7.5	13	29	45%	33	73	45%	17	38	45%
	12.5	10	22	45%	25	55	45%	13	29	45%
	17.5	5	11	45%	12	27	44%	6	14	43%
- 27.5	2.5	12	26	46%	29	64	45%	15	33	45%
	7.5	8	18	44%	21	46	46%	11	24	46%

(*) Dados do ITE (2005) [5] obtidos no documento "LED Circular Signal Module Specification and Requirements Checklist 8" (200 mm) and 12" (300 mm) Balls October 20, 2008" [7]

Um exemplo que pode ilustrar por que a relação das intensidades luminosas é equivalente à relação entre as áreas iluminadas é o caso dos focos cuja fonte luminosa era de lâmpada incandescente e a cor do semáforo era obtida por meio do uso de lentes coloridas. O pictograma era obtido por meio de máscaras, onde a luz só passava na área do pictograma que era translúcida. Na parte não translúcida da máscara, a luz era perdida. Assim, apenas parte da luz emitida era vista pelo usuário. Qual era a porcentagem da luz que era visível? Intuitivamente, é possível pensar que quanto maior é a área do pictograma, maior é a quantidade de luz visível. Assim, é bastante razoável supor que a porcentagem da luz visível (em relação à quantidade total de luz emitida) é equivalente à proporção da área do pictograma em relação à área total do foco.

6.4 Intensidade luminosa do grupo focal de pedestre conforme a especificação do ITE

Outra constatação de que a premissa proposta de que focos com diferentes áreas iluminadas devem ter a mesma luminância para manter a mesma visibilidade e conspicuidade pode ser verificada nos documentos ITE *Pedestrian Part 2* (2004) [12] e ITE *Pedestrian* (2010) [13].

O grupo focal de pedestre especificado pelo ITE é composto por um único foco, no qual estão os pictogramas "Walking Person" e "Hand" (ou "Upraised Hand").

O documento ITE *Pedestrian Part 2* (2004) [12] especifica 4 tamanhos de foco de pedestre, conforme mostra o Quadro 1.

Dimensions of Signal Sizes

Class	Message Bearing Surface Height X Width	Crosswalk Length ¹	Minimum Message Size Height X Width
1	229mm x 229mm (9" x 9")	≤18.2m (≤60')	152mm x 89mm (6" x 3.5")
2	305mm x 305mm (12" x 12")	>18.2m (>60')	229mm x 134mm (9" x 5.25")
3	406mm x 457mm (16" x 18")	>18.2m (>60')	297mm x 178mm (11" x 7")
4	406mm x 457mm (16" x 18")	>18.2m (>60')	305mm x 190mm (12" x 7.5")

Quadro 1 – Dimensões do foco de pedestre do documento ITE *Pedestrian Part 2* (2004) [12]

Os pictogramas estão mostrados na Figura 3.

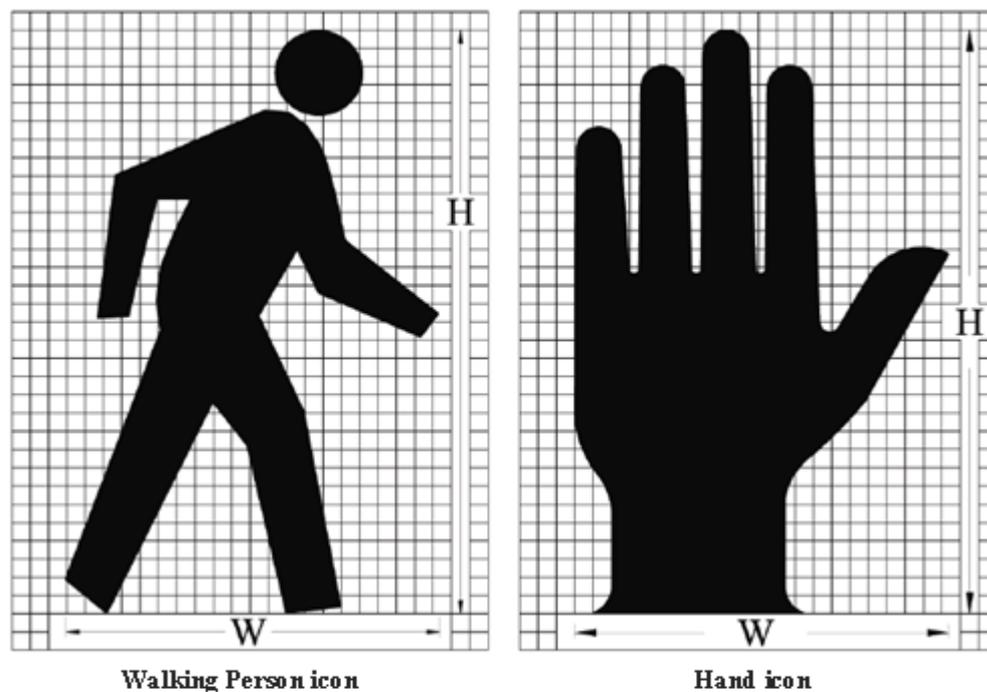


Figura 3 – Pictogramas de do foco de pedestre do documento ITE *Pedestrian Part 2* (2004) [12]

As dimensões da área envolvente dos pictogramas estão na terceira coluna do Quadro 1.

Em vez de especificar a intensidade luminosa para cada um dos tamanhos, a Norma ITE especifica a luminância (para o eixo de referência), que é comum a todos os tamanhos:

- *Walking person*: 2.200 cd/m² (cor branca)
- *Hand*: 1.400 cd/m² (cor "portland orange")

A intensidade luminosa de cada foco pode ser obtida multiplicando a luminância pela área do pictograma.

O documento ITE *Pedestrian* (2010) [13] especifica 3 tamanhos de foco de pedestre (a classe 4 do Quadro 1 foi suprimida nesta versão do ITE), incluindo o contador regressivo, conforme mostra o Quadro 2.

Dimensions of Signal Sizes

Class	Message Bearing Surface Height X Width	Crosswalk Length ¹	Minimum Message Size Height X Width	
			Walking Person and Upraised Hand Icons	Countdown Display
1	229 mm x 229 mm (9" x 9")	≤18.2 m (≤60')	152 mm x 89 mm (6" x 3.5")	229 mm x 178 mm (9" x 7")
2	305 mm x 305 mm (12" x 12")	>18.2 m (>60')	229 mm x 134 mm (9" x 5.25")	229 mm x 178 mm (9" x 7")
3	406 mm x 457 mm (16" x 18")	>18.2 m (>60')	297 mm x 178 mm (11" x 7")	229 mm x 178 mm (9" x 7")

Quadro 2 – Dimensões do foco de pedestre do documento ITE *Pedestrian* (2010) [13]

Os valores da luminância foram mantidos:

- *Walking person*: 2.200 cd/m² (cor branca)
- *Hand*: 1.400 cd/m² (cor "portland orange")

Os valores da intensidade luminosa, em candelas, obtidos multiplicando-se a luminância pela área iluminada, estão mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Intensidade luminosa de focos de pedestre da Especificação do ITE
Pedestrian Part 2 (2004) [12]**

Classe	Dimensões do pictograma (mm)		Área do pictograma (mm ²)		Intensidade luminosa (cd)	
	Altura	Largura	"Walk"	"Hand"	"Walk"	"Hand"
1	152	89	5.202,3	7.710,2	11,4	10,8
2	229	134	11.808,2	17.500,5	26,0	24,5
3	297	178	20.315,1	30.155,5	44,7	42,2
4	305	190	22.186,7	33.026,3	48,8	46,2

Maiores detalhes sobre o cálculo e sobre os pictogramas "walk" e "hand" das mencionadas especificações do ITE se encontram no Anexo, no final deste trabalho.

6.5 Luminância do grupo focal de pedestre conforme ABNT (2019) [2] e CET (2011) [3]

Foi visto no item 6.4 que a Especificação do ITE não estabelece valores de intensidade luminosa para cada um dos 4 tamanhos do foco de pedestre, mas um único valor de luminância, comum a todos eles. Com base na luminância, foram feitos cálculos para a determinação das correspondentes intensidades luminosas.

As Especificações ABNT (2019) [2] e CET (2011) [3] estabelecem o oposto, isto é, fornecem os valores da intensidade luminosa, mas não a luminância, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de intensidade luminosa para o grupo focal de pedestre conforme ABNT (2019) [2] e CET (2011) [3]

Ângulo vertical (grau)	Ângulo horizontal (grau)	Intensidade luminosa (cd)	
		Vermelho	Verde
-5	0	110	102
	± 15	46	43
	± 25	14	13

Pode-se, então, efetuar o exercício oposto, isto é, calcular a luminância a partir dos valores da intensidade luminosa.

Os pictogramas de pedestre conforme o *layout* de ABNT (2013) [1] estão mostrados na Figura 4.

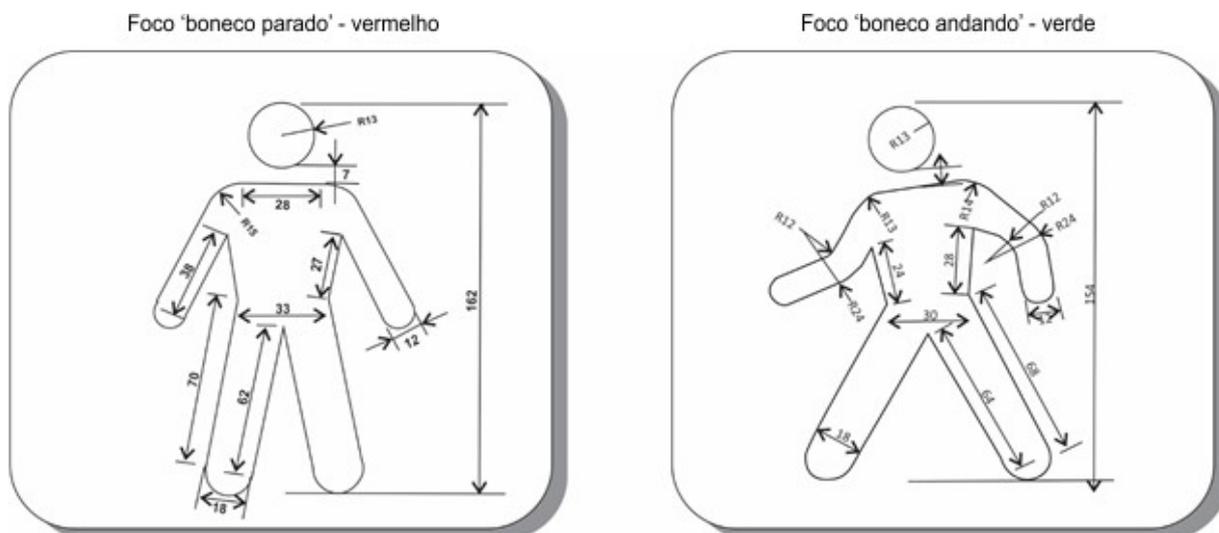


Figura 4 – Layout dos pictogramas de pedestre conforme ABNT (2013) [1]

Para a determinação dos valores da luminância, basta calcular a área dos pictogramas, o que pode ser feito com a ajuda do AUTOCAD. A luminância é obtida dividindo-se a intensidade luminosa da Tabela 7 pela área do pictograma.

As áreas dos pictogramas, calculados com o programa AUTOCAD, resultaram em:

Pedestre andando (verde) – 6.481,17 mm²

Pedestre parado (vermelho) – 6.595,81 mm²

Efetuada os cálculos, são obtidos os valores de luminância da Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de luminância do grupo focal de pedestre de acordo com os valores de intensidade luminosa especificados por ABNT (2019) [2] e CET (2011) [3]

Ângulo vertical (grau)	Ângulo horizontal (grau)	Intensidade luminosa (cd)		Luminância (cd/m ²)	
		Vermelho	Verde	Vermelho	Verde
-5	0	110	102	16.677	15.738
	±15	46	43	6.974	6.635
	±25	14	13	2.123	2.006

Note-se que os valores da luminância assim obtidos não podem ser comparados com os valores da luminância da Especificação do ITE, pois as cores são diferentes. Enquanto o ITE trabalha com a cor branca (*Walking person*) e a cor “Portland orange” (*Hand*), a ABNT (2013) [1] e CET (2011) [3] usam as cores vermelha (boneco parado) e verde (boneco andando). A sensibilidade do olho humano é diferente para cada frequência (cor) do espectro visível.

7. DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE LUMINOSA DO FOCO DE 200 mm COM PICTOGRAMA SETA

Ainda considerando que, para ter a mesma visibilidade e conforto visual, o foco de 200 mm com seta deve ter a mesma luminância do foco de 200 mm sem pictograma, pode-se escrever que:

$$L_{200 \text{ seta}} = L_{200} = \frac{I_{200 \text{ seta}}}{A_{200 \text{ seta}}} = \frac{I_{200}}{A_{200}} \quad (4)$$

Onde:

$L_{200 \text{ seta}}$ = Luminância do módulo LED de 200 mm com pictograma seta em cd/m^2

L_{200} = Luminância do módulo LED de 200 mm sem pictograma em cd/m^2

$I_{200 \text{ seta}}$ = Intensidade luminosa do módulo LED de 200 mm com pictograma seta em cd

I_{200} = Intensidade luminosa do módulo LED de 200 mm sem pictograma em cd

$A_{200 \text{ seta}}$ = Área da lente do módulo LED de 200 mm com pictograma seta em mm^2 (área da seta)

A_{200} = Área da lente do módulo LED de 200 mm sem pictograma em mm^2 (raio de 100 mm)

A Expressão (4) pode ser reescrita como:

$$\frac{I_{200 \text{ seta}}}{A_{200 \text{ seta}}} = \frac{I_{200}}{A_{200}} \implies \frac{I_{200 \text{ seta}}}{I_{200}} = \frac{A_{200 \text{ seta}}}{A_{200}} \quad (5)$$

O desenho da seta do módulo LED de 200 mm, adotado pela CET, é aquele que consta na Norma ABNT (2013) [1], conforme a Figura 5a (Figura B.2 da ABNT (2013) [1]).

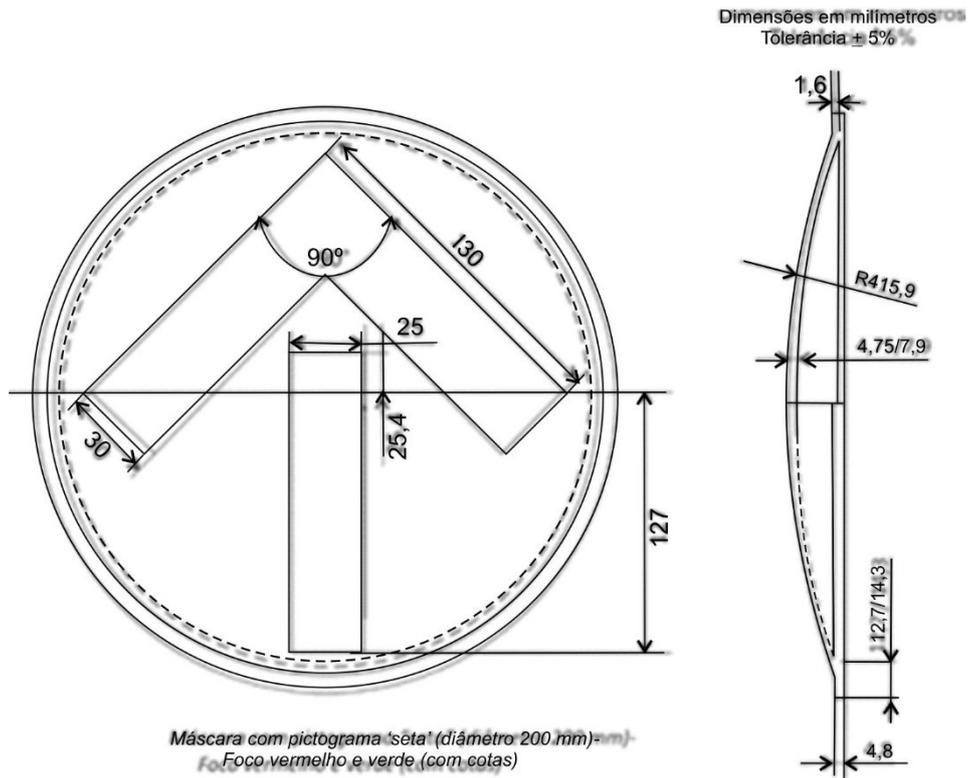


Figura 5a – Layout da seta da ABNT (2013) [1]

Observação: O *layout* do pictograma seta da ABNT (2013) [1] é diferente do *layout* do pictograma seta do ITE (com área proporcionalmente maior do que a área do desenho do ITE).

Observação: Na Figura 5a, a cota de 127 mm está indicada de forma equivocada.

A Figura 5b mostra o *layout* da seta com a indicação da cota de 127 mm devidamente corrigida.

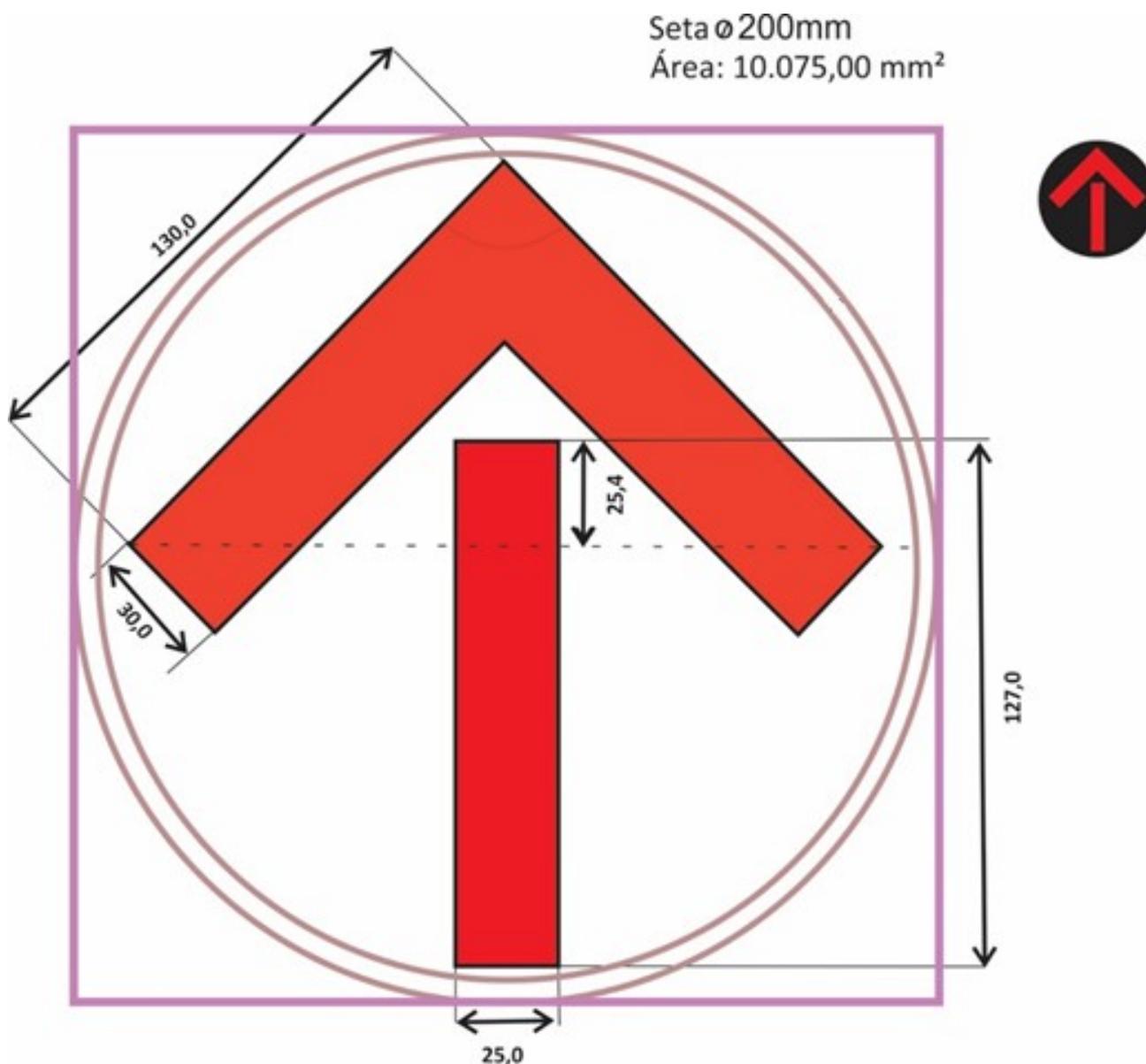


Figura 5b – Layout do pictograma seta com a correção da cota de 127 mm

O *layout* das Figuras 5a e 5b se referem à máscara com pictograma seta e não ao pictograma obtido diretamente pela disposição dos LEDs. Para o propósito deste trabalho, supõe-se que o *layout* formado pela disposição dos LEDs seja igual ao desenho da máscara.

Da Figura 5b, pode-se calcular que a área da seta no módulo LED de 200 mm, conforme o *layout* da ABNT (2013) [1], é:

$$A_{200 \text{ seta}} = 10.075,00 \text{ mm}^2$$

A área da lente do módulo LED de 200 mm sem pictograma (raio de 100 mm) é:

$$A_{200} = \pi \times 100^2 = 31.415,93 \text{ mm}^2$$

Então, a Expressão (5) passa a ser:

$$\frac{I_{200 \text{ seta}}}{I_{200}} = \frac{A_{200 \text{ seta}}}{A_{200}} = \frac{10.075,00}{31.415,93} = 32,07\%$$

Considerando o *layout* da Figura 5b pode-se concluir que a intensidade luminosa do foco de 200 mm com seta deve ser 32% da intensidade luminosa do foco de 200 mm sem pictograma.

8. GRUPO FOCAL DE CICLISTA

A Norma ABNT (2019) [2] trata o grupo focal para ciclista do mesmo modo como o grupo focal de pedestre, isto é, dois focos (vermelho e verde) com formato quadrado. A Tabela 9 mostra as intensidades luminosas requeridas para o grupo focal de pedestre e de ciclista.

Tabela 9 – Intensidade luminosa para grupo focal de pedestre e de ciclista – ABNT (2019) [2]

Ângulo vertical (graus)	Ângulo horizontal (graus)	Intensidade luminosa (cd)			
		Pedestre		Ciclista	
		Vermelho	Verde	Vermelho	Verde
-5	0	110	102	110	102
	±15	46	43	46	43
	±25	14	13	---	---

Pela Tabela 9, verifica-se que é dado para grupo focal do ciclista exatamente o mesmo tratamento dado ao grupo focal de pedestre (com exceção do ângulo horizontal de ±25°, cujos valores não estão especificados).

Entretanto, a bicicleta é um veículo e apresenta um comportamento totalmente distinto do pedestre. Enquanto o pedestre fica parado na calçada observando o seu foco na calçada oposta, o ciclista precisa visualizar o foco semafórico à distância, em movimento de aproximação. Essa dinâmica, envolvendo velocidade e frenagem, acarreta a necessidade de um tempo para parar na mudança do direito de passagem. Daí a necessidade do foco amarelo no grupo focal de ciclista, cujo tempo deve ser dimensionado de forma a permitir uma parada segura.

Tanto isso é verdade que a Resolução do CONTRAN Nº 483/14 de 09/04/2014 alterou o grupo focal de ciclista para o formato circular, com 3 focos: vermelho, amarelo e verde.

Do exposto, conclui-se que a intensidade luminosa estabelecida na ABNT (2019) [2] para o foco de ciclista não pode ser aplicada para o grupo focal de ciclista com 3 focos.

Seguindo o mesmo raciocínio de que o foco com pictograma de bicicleta deve ter a mesma luminância do foco veicular sem pictograma, tem-se:

$$L_{200 \text{ bicicleta}} = L_{200} = \frac{I_{200 \text{ bicicleta}}}{A_{200 \text{ bicicleta}}} = \frac{I_{200}}{A_{200}} \quad (6)$$

Onde:

$L_{200 \text{ bicicleta}}$ = Luminância do módulo LED de 200 mm com pictograma bicicleta em cd/m²

L_{200} = Luminância do módulo LED veicular de 200 mm sem pictograma em cd/m²

$I_{200 \text{ bicicleta}}$ = Intensidade luminosa do módulo LED de 200 mm com pictograma bicicleta em cd

I_{200} = Intensidade luminosa do módulo LED veicular de 200 mm sem pictograma em cd

A_{200} = Área da lente do módulo LED veicular de 200 mm sem pictograma em mm² (raio de 100 mm)

Então, pela Expressão (8), tem-se:

$$I_{200 \text{ bicicleta}} = I_{200} \times \frac{2.532,25}{31.415,93} = 8,06\% \times I_{200}$$

Ou seja, a intensidade luminosa do foco de ciclista de 200 mm deve ser igual a 8% da intensidade luminosa do foco veicular de 200 mm sem pictograma.

9. ANÁLISE DA NORMA AUSTRALIANA AS (2014) [14]

9.1 Metodologia e premissas

A análise a seguir se refere apenas à parte relativa aos requisitos para os valores (máximo e mínimo) de intensidade luminosa e luminância dos focos, em particular daqueles com pictograma.

Nesta Seção, os pictogramas são designados como “símbolos”, para manter a mesma terminologia usada na Norma AS (2014) [14] (“symbols”).

A Norma Australiana AS (2014) [14] classifica os grupos focais em dois tipos:

- a) **General purpose lantern: para distância de visibilidade a 100 m e com lente de 200 mm;**
- b) **Extended range lantern: para distância de 240 m e lente de 300 mm.**

Os valores especificados pela Norma AS (2014) [14] são válidos apenas para a tecnologia de LEDs AlInGaP e InGaN de 5 mm e incluem:

- a) **A previsão de redução na emissão de luz ao longo de 100.000 horas para o vermelho e verde e de 100.000 horas para o amarelo (operando apenas a 10% do tempo);**
- b) **A previsão de redução na emissão de luz devido ao acúmulo de sujeira nas superfícies ópticas.**

Portanto, os valores especificados se referem a valores iniciais (foco novo). Não são valores que devem ser mantidos ao longo da vida útil (100.000 horas).

Em contraposição à Norma Australiana, as especificações do ITE (ITE (2005) [5], ITE (2006) [4] e ITE *Pedestrian* (2010) [13]) se referem a valores que devem ser **mantidos** por um período de 60 meses.

Os valores especificados na Norma AS (2014) [14] para a intensidade luminosa de grupos focais veiculares foram baseados nos estudos de Fisher e Cole (1974) [15] (para focos “*general purpose*”) e de Hulscher (1975) [16] (para focos “*extended range*”), bem como nas seguintes premissas:

- a) **O grupo focal deve ser visível a 100 m de distância, no centro da via e a 1,5 m acima da superfície (“*general purpose*”) e a 240 m de distância, na extremidade da via e a 1,5 m da superfície (“*extended range*”);**
- b) **O intervalo de limpeza nas superfícies ópticas não é mais que uma vez por ano.**

Na Norma Australiana, os valores de intensidade luminosa para grupos focais veiculares a LED foram obtidos a partir dos valores para lâmpadas incandescentes, reproduzidos na Tabela 10, os quais foram baseados em extensos estudos e pesquisas.

Tabela 10 – Valores mínimos de intensidade luminosa para lâmpada incandescente da Norma Australiana AS (2014) [14] (em cd)

Ângulo vertical	Ângulo horizontal	Vermelho/Verde		Amarelo	
		200 mm	300 mm	200 mm	300 mm
0	0	200	600	500	1500
0	±2,5	---	600	---	1500
0	±5	200	200	500	500
0	±10	100	100	250	250
1,5	0	---	600	---	1500
3	0	200	200	500	500
3	±7,5	100	100	250	250
5	0	100	100	250	250
5	±20	15	15	37,5	37,5
7,5	±15	25	25	62,5	62,5
10	0	25	25	62,5	62,5
15	±25	15	15	37,5	37,5
20	0	15	15	37,5	37,5

Os valores da Tabela 10 já consideram um fator de perda de 25% devido ao efeito combinado de acúmulo de sujeira nas superfícies ópticas e à perda de fluxo luminoso ao longo da vida útil.

Os valores foram especificados para as seguintes condições:

- a) A luminância do ambiente (“background sky”) é igual a 10.000 cd/m²;
- b) A altura do grupo focal não excede a 6 m;
- c) O grupo focal não está afastado (lateralmente) mais de 6 m da linha de direção do veículo;
- d) O grupo focal é dotado de anteparo.

Para a obtenção dos valores de intensidade luminosa para focos a LED, a partir dos valores para lâmpada incandescente, foram consideradas as seguintes condições:

- a) Perda de 20% devido ao acúmulo de sujeira nas superfícies ópticas para todas as cores (vermelho, amarelo e verde);
- b) Perda de 27% para vermelho e amarelo devido à perda do fluxo luminoso ao longo de 100.000 horas de operação;
- c) Perda de 32% para verde devido à perda do fluxo luminoso ao longo de 100.000 horas de operação.

Assim, o valor da intensidade luminosa de grupo focal veicular a LED é obtido, a partir dos valores da Tabela 10, pela seguinte expressão:

$$I_{LED} = \frac{F_{INC}}{F_{SLED} \times F_{TLED}} \times I_{INC} \quad (9)$$

Onde:

F_{INC} = Fator de perda (combinado) devido à sujeira e ao tempo de lâmpada incandescente, estimado em 0,75 (25% de perda);

I_{INC} = Valor de intensidade luminosa de lâmpada incandescente da Tabela 10, correspondente ao ângulo, cor e tamanho de lente;

F_{SLED} = Fator de perda do LED devido à sujeira, estimado em 0,80 (20% de perda), para todas as cores (vermelho, amarelo e verde);

F_{TLED} = Fator de perda médio devido ao tempo de uso (vida útil de 100.000 horas), estimado em 0,73 (27% de perda) para vermelho e amarelo e em 0,68 (32% de perda) para o verde.

Todos os fatores de perda relativos a focos a LED são específicos para LEDs AlInGaP e InGaN de 5 mm.

Aplicando-se a Expressão 9, podem ser obtidos, a partir dos valores da Tabela 10, os valores iniciais mínimos de intensidade luminosa para focos veiculares a LED (específicos para a tecnologia AlInGaP e InGaN de 5 mm), conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Valores iniciais mínimos de intensidade luminosa para focos a LED da Norma Australiana AS (2014) [14] (em cd)

Ângulo vertical	Ângulo horizontal	Vermelho		Amarelo		Verde	
		200 mm	300 mm	200 mm	300 mm	200 mm	300 mm
0	0	250	750	520	1560	275	825
0	±2,5	---	750	---	1560	---	825
0	±5	250	250	520	520	275	275
0	±10	125	125	260	260	138	138
-1.5	0	---	750	---	1560	---	825
-3	0	250	250	520	520	275	275
-3	±7,5	125	125	260	260	138	138
-5	0	125	125	260	260	138	138
-5	±20	19	19	39	39	21	21
-7.5	±15	31	31	65	65	34	34
-10	0	31	31	65	65	34	34
-15	±25	19	19	39	39	21	21
-20	0	19	19	39	39	21	21

Observa-se da Tabela 11 que os valores de intensidade luminosa para 200 e 300 mm são iguais para todos os ângulos diferentes de 0° vertical e 0° horizontal (a Norma não fornece o valor de intensidade luminosa para o ângulo 0° vertical e $\pm 2.5^\circ$ horizontal para lente de 200 mm e $-1,5^\circ$ vertical e 0° horizontal).

Para o ângulo de 0° vertical e 0° horizontal, a relação de intensidade luminosa de 200 mm em relação a de 300 mm é de 1:3 (0,3333), enquanto que a relação de áreas é de 0,4444.

Todos esses valores têm origem nos valores da Tabela 10, referentes aos valores para lâmpada incandescente.

Isso significa que, pela Norma Australiana, admite-se uma luminância menor para o foco veicular de 300 mm em relação a do foco de 200 mm. Portanto, não é seguida a premissa de que os focos devem ter a mesma luminância.

A Tabela 12 faz uma comparação dos valores mínimos de intensidade luminosa do foco veicular da Norma Australiana com os do ITE.

Tabela 12 – Comparação dos valores de intensidade luminosa da Norma Australiana com os do ITE (em cd)

Ângulo vertical	Ângulo horizontal	Vermelho				Amarelo				Verde			
		AS		ITE		AS		ITE		AS		ITE	
		200 mm	300 mm	200 mm	300 mm	200 mm	300 mm	200 mm	300 mm	200 mm	300 mm	200 mm	300 mm
0	0	250	750	106	234	520	1560	262	582	275	825	138	304
0	$\pm 2,5$	---	750	102	226	---	1560	254	564	---	825	133	295
0	± 5	250	250	96	212	520	520	238	528	275	275	125	276
0	± 10	125	125	71	157	260	260	176	391	138	138	92	204
-1.5	0	---	750	137	303	---	1560	340	755	---	825	178	394
-3	0	250	250	165	365	520	520	410	910	275	275	215	475
-3	$\pm 7,5$	125	125	132	292	260	260	328	728	138	138	172	380
-5	0	125	125	157	347	260	260	390	865	138	138	204	451
-5	± 20	19	19	36	80	39	39	90	200	21	21	47	105
-7.5	± 15	31	31	56	124	65	65	139	309	34	34	73	162
-10	0	31	31	89	197	65	65	221	491	34	34	116	257
-15	± 25	19	19	3	7	39	39	8	18	21	21	4	10
-20	0	19	19	20	44	39	39	49	109	21	21	26	57

Os valores de intensidade luminosa do ITE indicados na Tabela 12 foram calculados para os ângulos constantes na Norma Australiana usando-se as expressões da Seção 5.

Era de se esperar que os valores do ITE fossem inferiores aos da Norma Australiana pelo fato de os valores da Norma Australiana estarem superdimensionados no início de operação (foco novo), pois contêm uma provisão para a perda de luz ao longo de 100.000 horas de funcionamento, enquanto que os valores do ITE foram especificados com a hipótese de que devem ser mantidos, sem nenhuma perda, ao longo de 60 meses de operação. Essa hipótese seria válida apenas para os focos de 200 mm, uma vez que a Norma Australiana mantém a mesma intensidade luminosa mínima para os dois tamanhos de foco. Isso acarreta uma luminância menor para os focos de 300 mm. O ITE mantém a mesma luminância para os dois tamanhos de focos, o que faz com que os valores de intensidade luminosa tendam a ser maiores que os da Norma Australiana para os focos de 300 mm.

Entretanto, causa estranheza que, pela Tabela 12, alguns valores (em azul para a Norma Australiana e amarelo para ITE) não seguem a hipótese aventada, pois os valores do ITE são superiores aos da Norma Australiana para focos de 200 mm.

9.2 Símbolos

A Norma Australiana considera dois grupos de símbolos:

- a) **Símbolos em focos veiculares**
- b) **Símbolos em focos de pedestre e ciclista**

Além do símbolo “seta”, a Norma Australiana utiliza vários outros símbolos em focos veiculares.

Para os símbolos, são especificados valores de luminância (em vez de intensidade luminosa).

É especificado a mesma faixa de valores de luminância (mínimo e máximo) para todos os símbolos em focos veiculares (Tabela 13) e outra faixa de valores (mínimo e máximo) para focos de pedestre e ciclista (Tabela 14). Nesse sentido, observa-se que o ITE também especifica um único valor mínimo de luminância para 4 tamanhos de focos de pedestre.

Qual seria a razão para a utilização de intensidade luminosa para focos veiculares sem símbolos e da utilização de luminância (em vez da intensidade luminosa) para os focos com símbolos?

A explicação poderia ser que, para focos veiculares sem símbolos admite-se intensidades luminosas iguais (portanto, luminâncias diferentes), enquanto que para focos com símbolos admite-se luminâncias iguais (portanto, intensidades luminosas diferentes).

Na Norma Australiana, para os focos de pedestre e ciclista, os símbolos devem ser obtidos com o uso de máscaras e a luz deve ser vista por meio de difusor.

A medição da luminância em focos com símbolos deve ser feita da seguinte forma:

- a) **Símbolos em focos com o uso de difusor**

A medição de luminância deve ser feita em pontos previamente definidos, em círculos de diâmetro entre 10 e 20 mm (exceto para foco de ciclista) e entre 5 e 10 mm para foco de ciclista. Por exemplo, para o símbolo seta em foco com difusor, a medição de luminância deve ser feita nos locais indicados na Figura 7.

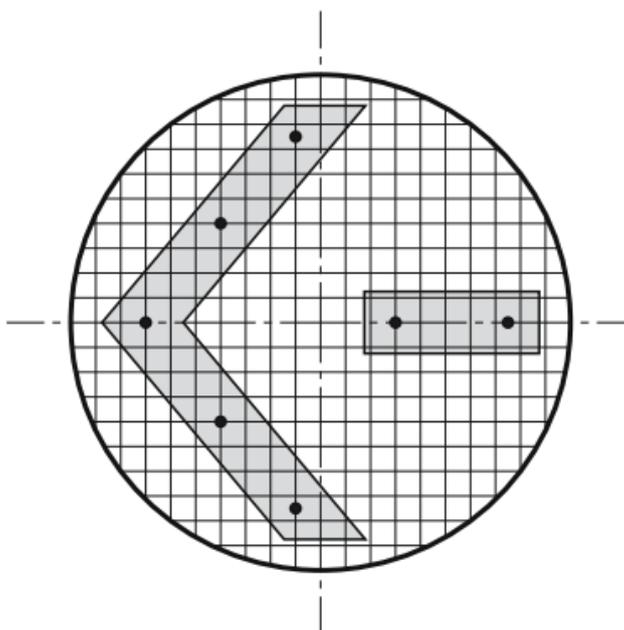


Figura 7 – Locais de medição de luminância para o símbolo seta

b) Símbolos em focos sem o uso de difusor

A luminância deve ser calculada pela expressão:

$$Luminância = \frac{Intensidade\ luminosa\ (\acute{a}ngulo\ \theta)}{\acute{A}rea\ do\ s\acute{í}mbolo \times \cos \theta} \quad (10)$$

Onde:

θ = o ângulo entre a direção de visão e o eixo do feixe de luz ou o eixo geométrico, conforme o caso.

O produto “Área do símbolo $\times \cos \theta$ ” corresponde a uma “área aparente”, vista sob um ângulo θ .

A Expressão 10 vem confirmar o acerto do cálculo de luminância de focos com símbolos, utilizado nas Seções 6, 7 e 8, fazendo-se apenas a observação de que os cálculos efetuados naquelas Seções se referem apenas quando a área do símbolo é visto na normal à superfície do foco ($\cos \theta = 1$).

A Tabela 13 mostra os valores mínimo e máximo de luminância para os símbolos em focos veiculares.

Tabela 13 – Valores (mínimo e máximo) de luminância para focos veiculares com símbolos (em cd/m²)

Ângulo vertical	Cor	Ângulo horizontal			
		0°		± 15°	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
0°	Vermelho	5.000	9.000	1.500	9.000
	Amarelo	10.400	22.500	3.120	22.500
	Verde	5.500	9.000	1.650	9.000
-10°	Vermelho	1.500	9.000	1.500	9.000
	Amarelo	3.120	22.500	3.120	22.500
	Verde	1.650	9.000	1.650 </td <td>9.000</td>	9.000

Quando for usado difusor, a variação de luminância não pode ser maior que 6:1.

A Tabela 14 mostra os valores (mínimo e máximo) de luminância para focos de pedestre e ciclista nas direções (0°; 0°), (0°; ± 15°), (- 15°; 0°), (- 15°; ± 15°).

Tabela 14 – Valores (mínimo e máximo) de luminância para focos de pedestre e ciclista (em cd/m²) para os ângulos (0°; 0°), (0°; ± 15°), (- 15°; 0°), (- 15°; ± 15°)

Cor	Mínimo	Máximo	Médio (*)
Vermelho	625	3.000	1.250
Amarelo	1.300	7.500	2.600
Verde	685	3.000	1.370

(*) Valor médio em cada direção das medidas feitas em cada ponto de medição mostrados nas Figuras 8 (pedestre) e 9 (bicicleta).

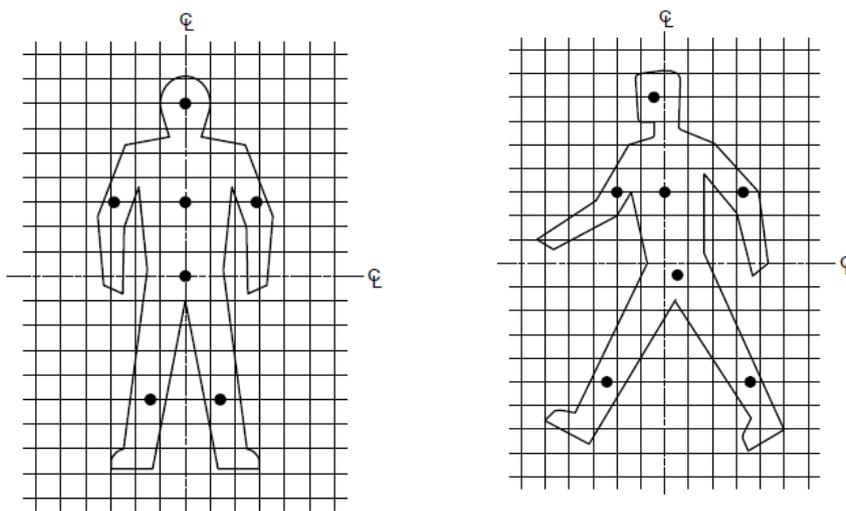


Figura 8 – Locais de medição de luminância dos focos de pedestre

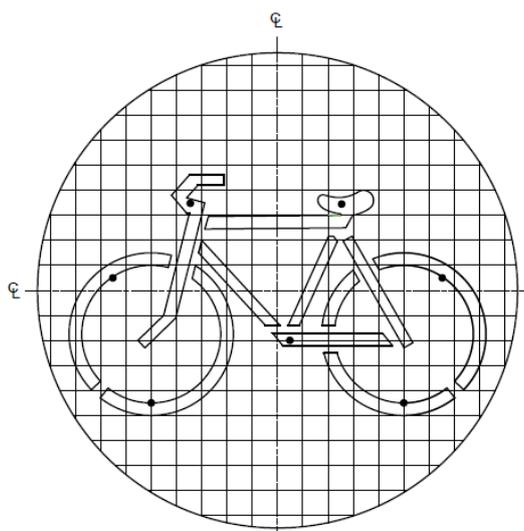


Figura 9 – Locais de medição de luminância do foco de ciclista

9.3 Comparação de valores de luminância e intensidade luminosa entre focos com símbolos e focos sem símbolos

A Tabela 15 mostra os valores mínimos de luminância e de intensidade luminosa na direção do eixo geométrico (0° vertical e 0° horizontal) para os focos de pedestre, de ciclista, seta e focos veiculares sem símbolo.

Tabela 15 – Comparação dos valores mínimos de luminância e intensidade luminosa na direção do eixo geométrico (0° vertical e 0° horizontal) para os focos de pedestre, de ciclista, seta e focos veiculares sem símbolo da Norma AS (2014) [14]

Focos		Cor	Luminância (cd/m ²)	Área (m ²)	Int. Lum. (cd)
Pedestre	<i>stand</i>	Vermelho	625	0,00616	4
	<i>walk</i>	Verde	685	0,00589	4
Ciclista		Vermelho	625	---	---
		Amarelo	1300	---	---
		Verde	685	---	---
Seta	200	Vermelho	5000	0,00749	37
		Amarelo	10400	0,00749	78
		Verde	5500	0,00749	41
	300	Vermelho	5000	0,01638	82
		Amarelo	10400	0,01638	170
		Verde	5500	0,01638	90
S/símbolo	200	Vermelho	7957	0,03142	250
		Amarelo	16550	0,03142	520
		Verde	8752	0,03142	275
	300	Vermelho	10610	0,07069	750
		Amarelo	22068	0,07069	1560
		Verde	11671	0,07069	825

Os valores em amarelo são os valores fornecidos pela Norma Australiana, enquanto que os valores em verde são calculados. Não foram calculados os valores de intensidade luminosa para os focos de ciclista, pois a Norma não forneceu a área do símbolo da bicicleta.

Pela Tabela 15, percebe-se que a luminância de focos de pedestre e de ciclista são muito inferiores aos focos veiculares sem símbolo. Da mesma forma, a intensidade luminosa de focos com o símbolo seta é bastante inferior aos valores do foco veicular sem símbolo.

A Tabela 16 mostra os valores mínimos de intensidade luminosa do foco de pedestre e do foco veicular com símbolo seta (200 mm), comparando com os valores do foco veicular sem símbolo (200 mm).

Tabela 16 – Comparação dos valores mínimos de intensidade luminosa (na direção do eixo geométrico), em cd, dos focos de pedestre e do foco veicular com símbolo seta (200 mm) em relação ao foco veicular sem símbolo (200 mm).

Cor	S/símbolo		Pedestre				Seta			
	Valores		Valores		%		Valores		%	
	Área	Intens. Lum.	Área	Intens. Lum.	Área	Intens. Lum.	Área	Intens. Lum.	Área	Intens. Lum.
Vermelho	0,03142	250	0,00616	4	19,61%	1,60%	0,00749	37	23,84%	14,80%
Amarelo	0,03142	520	---	---	---	---	0,00749	78	23,84%	15,00%
Verde	0,03142	275	0,00589	4	18,75%	1,45%	0,00749	41	23,84%	14,91%

A Tabela 17 mostra os valores mínimos de luminância do foco de pedestre, de ciclista e do foco veicular com símbolo seta (200 mm), comparando com os valores do foco veicular sem símbolo (200 mm).

Tabela 17 – Comparação dos valores mínimos de luminância, em cd/m², do foco de pedestre, de ciclista e do foco veicular com símbolo seta (200 mm), comparando com os valores do foco veicular sem símbolo (200 mm)

	S/símbolo	Pedestre		Ciclista		Seta	
	Valor	Valor	%	Valor	%	Valor	%
Vermelho	7957	625	7,85%	625	7,85%	5000	62,84%
Amarelo	16550	---	---	1300	7,85%	10400	62,84%
Verde	8752	685	7,83%	685	7,85%	5500	62,84%

10. CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente estudo podem ser resumidas conforme segue.

- a) **Existe atualmente uma lacuna normativa sobre os valores mínimos requeridos para a intensidade luminosa de focos semafóricos a LED com pictogramas seta e bicicleta.**
- b) **Intuitivamente percebe-se que a intensidade luminosa de foco com pictograma deve ser menor que a intensidade luminosa do foco sem pictograma pelo fato de ter menos LEDs. A questão consiste em saber o quanto deve ser menor.**
- c) **É adotada a premissa de que, para ter a mesma visibilidade e conspicuidade, os focos semafóricos devem ter a mesma luminância, independentemente de ter ou não pictograma.**
- d) **De acordo com essa premissa, conclui-se que a proporção das intensidades luminosas deve ser igual à proporção das áreas iluminadas.**
- e) **O trabalho mostrou as seguintes comprovações da veracidade da premissa adotada:**
 - A relação das intensidades luminosas do foco de 300 mm com pictograma seta (*layout* do ITE 2006 [4]) em relação ao foco de 300 mm sem pictograma é aproximadamente igual à proporção das respectivas áreas: cerca de 16%.
 - A relação das intensidades luminosas do foco de 200 mm em relação ao foco de 300 mm (ambos sem pictograma) é aproximadamente igual à proporção das respectivas áreas: cerca de 45%.
 - O documento ITE *Pedestrian Part 2* (2004) [12] especifica 4 tamanhos de foco de pedestres. Em vez de especificar a intensidade luminosa para cada um deles, é definida uma luminância comum a todos os 4 tamanhos do foco. Isso mostra que os focos devem ter a mesma luminância, independentemente do tamanho da área iluminada.
- f) **Seguindo a premissa adotada, concluiu-se que o foco de 200 mm com pictograma seta deve ter uma intensidade luminosa equivalente a 32% da intensidade luminosa do foco de 200 mm sem pictograma (adotando-se o *layout* da ABNT (2013) [1]).**
- g) **Ainda de acordo com a premissa adotada, a intensidade luminosa do foco de 200 mm com pictograma de bicicleta deve ser equivalente a 8% da intensidade luminosa do foco de 200 mm sem pictograma (adotando-se o *layout* da ABNT (2013) [1]).**
- h) **Considerações sobre a Norma Australiana AS (2014) [14]**
 - Não foi possível fazer nenhuma conclusão plausível na comparação dos valores de intensidade luminosa de focos de 200 mm em relação aos de 300 mm (os valores são iguais, com exceção do ângulo 0° vertical e 0° horizontal). A única conclusão possível é que a Norma AS não especifica a mesma luminância para focos veiculares sem símbolos com diferentes dimensões (200 mm e 300 mm).
 - A luminância dos focos com símbolos sem difusor é calculada pela razão entre a intensidade luminosa e a área do símbolo, o que vem a confirmar o acerto dos cálculos feitos nas Seções anteriores (6, 7 e 8), exceto pelo fato de haver faltado na metodologia proposta a menção de que a área considerada era uma “área aparente”, vista na mesma direção da intensidade luminosa. Assim, o correto é ajustar a área conforme o ângulo de visão θ , isto é, pelo $\cos \theta$.

- Outro fato a observar é que a Norma Australiana especifica valores de luminância quando há variação do tamanho da área iluminada (como é o caso de símbolos) no lugar de intensidade luminosa. O ITE também usa um único valor mínimo de luminância para 4 tamanhos de foco de pedestres.
- A Norma AS estabelece valores inferiores de luminância para focos de pedestre, ciclista e seta em relação ao foco veicular sem símbolo.
- Atenta-se para o fato de que na Norma Australiana são especificados valores para 13 ângulos para focos veiculares sem símbolos (Tabela 11), enquanto para focos com símbolos (veiculares – Tabela 13, pedestres e ciclistas – Tabela 14) são especificados valores para apenas 4 ângulos. Isso talvez possa ser explicado pelo fato de que as visualizações de focos com símbolos são mais relevantes os ângulos frontais, diferente do foco veicular sem símbolo, que tem que estar num campo maior de visão.

i) Com relação à premissa de que todos os focos veiculares devem ter a mesma luminância, da análise realizada neste trabalho conclui-se que:

- O ITE segue a premissa de que todos os focos, de 200 ou 300 mm, contenham ou não o pictograma seta, devam ter a mesma luminância (em termos de valores mínimos).
- A Norma Australiana não segue essa premissa para focos de 200 e 300 mm, porém determina a mesma faixa de valores (mínimo e máximo) de luminância para focos veiculares com símbolos e uma outra faixa de valores (mínimo e máximo) para a luminância de focos de ciclistas e de pedestres.

j) Tendo em vista que a ABNT (2019) [2] e a CET (2011) [3] adotam os valores normatizados pelo ITE para focos veiculares sem pictograma, é razoável supor que a premissa (seguida pelo ITE) também possa ser estendida pela CET para os focos veiculares com pictograma seta e para focos de ciclistas.

k) Os valores mínimos de intensidade luminosa estipulados pelo ITE foram especificados com a hipótese de que devem ser mantidos, sem nenhuma perda, ao longo de 60 meses de operação. Por outro lado, os valores mínimos de intensidade luminosa estipulados pela Norma Australiana são superdimensionados no início de operação (foco novo), pois contêm uma provisão para a perda de luz ao longo de 100.000 horas de funcionamento. A Especificação CET (2011) [3] adota os valores do ITE e, portanto, devem ser mantidos ao longo de 60 meses de operação. Entretanto, devido a dificuldades práticas de verificação da manutenção desses valores ao longo de 60 meses, recomenda-se aplicar um coeficiente de segurança, prevendo uma eventual perda de eficiência ao longo da vida útil, similarmente ao adotado pela Norma Australiana.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem:

- à Silvana Di Bella Santos e Rosângela Yooko S. Nakajima da SPP (Superintendência de Planejamento e Projetos) pelo auxílio no cálculo das áreas dos pictogramas em AUTOCAD, sem o qual não teria sido possível a conclusão do trabalho;
- ao Manoel Messias G. de Almeida, Vladimir Sanches Caruso e Fernando Jorge Godwin da SSI (Superintendência de Engenharia de Sinalização) pelo apoio nos estudos.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR 7995:2013 Sinalização Semafórica – Grupo Focal Semafórico em Alumínio
- [2] ABNT NBR 15889:2019 Sinalização Semafórica Viária — Módulo Semafórico com Base em Diodos Emissores de Luz (LED) — Requisitos e Métodos de Ensaio
- [3] ET-SE-23 – Módulos de Iluminação Baseados em Diodos Emissores de Luz – Módulos LED – Rev. 01, 10/11/2011. SSI/CET
- [4] *Purchase Specification of the Institute of Transportation Engineers – Vehicle Traffic Control Signal Heads – Light Emitting Diode (LED) – Vehicle Arrow Traffic Signal Supplement. Prepared by Joint Industry and Traffic Engineering Council Committee. Version: April 3, 2006*
- [5] ITE LED *Circular Signal Supplement Purchase Specification (June/2005)*
- [6] *Vehicle Traffic Control Signal Heads – Part 3: Light Emitting Diode (LED) Vehicle Arrow Signal Modules – A Purchase Specification (January/2008)*
- [7] LED *Circular Signal Module Specification and Requirements Checklist 8” (200 mm) and 12” (300 mm) Balls October 20, 2008*
http://www.signalcontrol.com/tech_papers/dialight/Dialight_Circular_LED_Modules_Spec_10-20-08.pdf
- [8] *Pedestrian Traffic Control Signal Indicators-Light Emitting Diode (LED) Signal Modules (February/2011)*
- [9] Bullough, J. D.; Boyce, P. R.; Bierman, A.; Conway, K. M.; Huang, K.; O'Rourke, C. P.; Hunter, C. M.; Nakata, A.: *Luminous Intensity for Traffic Signals: A Scientific Basis for Performance Specifications*. Lighting Research Center – Rensselaer Polytechnic Institute, 1999 NY. Final Report to LumiLeds Lighting, U.S., LLC (A Joint Venture of Agilent Technologies and Philips Lighting)
https://www.researchgate.net/publication/28763560_Luminous_Intensity_for_Traffic_Signals_A_Scientific_Basis_for_Performance_Specifications/link/0fcfd507bf1ff33fb7000000/download
- [10] Jiang, Zhaoning: *Luminous Intensity Measurements for LED Related Traffic Signals and Signs*. A Thesis submitted to the Department of Electrical and Computer Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, The Florida State University FAMU-FSU College of Engineering, 2004
- [11] Finley, Melisa D.; Holick, Andrew J.: *Visibility Performance Requirements and Testing Procedures for Pedestrian Signal Heads*. Report No. FHWA/TX-04/O-4447-1. Texas Transportation Institute, September 2003.
- [12] *Performance Specification of the Institute of Transportation Engineers – Pedestrian Traffic Control Signal Indications – Part 2: Light Emitting Diode (LED) – Pedestrian Traffic Signal Modules. Prepared by Joint Industry and Traffic Engineering Council Committee. Adopted: March 19, 2004*
- [13] *Performance Specification of the Institute of Transportation Engineers – Pedestrian Traffic Control Signal Indicators – Light Emitting Diode (LED) Signal Modules. Prepared by the LED Committee of the Traffic Engineering Council. August 4, 2010*

- [14] *Australian Standard – AS 2144:2014 – Traffic Signal Lanterns*. Standards Australia Committee LG-006, Road Traffic Signals
- [15] Fisher, A. J.; Cole, B. L.: *The Photometric Requirements of Vehicular Traffic Signal Lanterns*. Proceedings of Australian Road Research Board, 1974, Vol. 7, No. 5, p. 246-265.
- [16] Hulscher, F. R.: *Photometric Requirements for Long Range Road Traffic Light Signals*. Australian Road Research, 1975, Vol. 7, No. 5, p. 226 246.

ANEXO

PICTOGRAMAS ITE “WALKING PERSON” E “HAND” PARA FOCOS SEMAFÓRICOS DE PEDESTRES

A Norma ITE *Pedestrian Part 2* (2004) [12] que trata de pictogramas para focos de pedestres prevê 4 tamanhos (classes) para altura e largura destes pictogramas, conforme a Figura A-1.

Dimensions of Signal Sizes

C l a s s	Message Bearing Surface	Crosswalk Length ¹	Minimum Message Size
	Height X Width		Height X Width
1	229mm x 229mm (9" x 9")	≤18.2m (≤60')	152mm x 89mm (6" x 3.5")
2	305mm x 305mm (12" x 12")	>18.2m (>60')	229mm x 134mm (9" x 5.25")
3	406mm x 457mm (16" x 18")	>18.2m (>60')	297mm x 178mm (11" x 7")
4	406mm x 457mm (16" x 18")	>18.2m (>60')	305mm x 190mm (12" x 7.5")

Figura A-1 – Quadro com as dimensões dos focos com pictogramas “walk” e “hand”

Notar que esses valores não são proporcionais, inclusive em relação ao desenho base (Figura A-2).

Máscara com pictograma “bicicleta” (diâmetro 200 mm) – Foco vermelho e verde (com cotas)

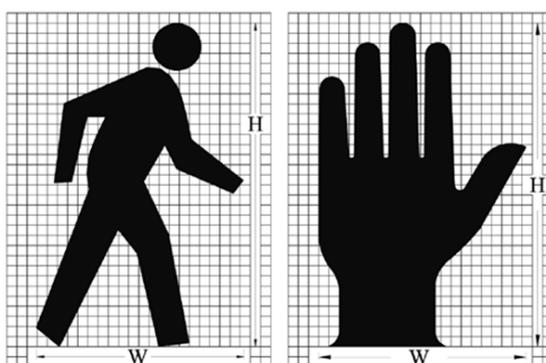


Figure 1—Walking Person icon

Figure 2—Hand icon

Figura A-2 - Desenhos base dos pictogramas em quadricula conforme Norma ITE.

Foram consideradas duas possibilidades para essa não proporcionalidade:

- A primeira possibilidade, e mais remota, é que haja uma imprecisão ou erro na tabela da Norma ITE.

- A segunda possibilidade é que a Norma ITE parte do desenho base (imagem sobre a quadriculada) da Figura A-2 para depois chegar às imagens adequando aos tamanhos propostos na tabela da Figura A-1. Levando em conta essa segunda opção, desenhou-se os pictogramas em AUTOCAD.

Para se chegar aos desenhos conforme os valores da tabela desenhou-se a altura proporcional ao desenho base, e a largura desproporcional ao desenho base para seguir os valores da tabela.

Os desenhos de cada classe, desta forma, serão proporcionalmente diferentes com uns mais largos e outros mais finos em relação ao desenho base (Figura A-3).

Classe 1

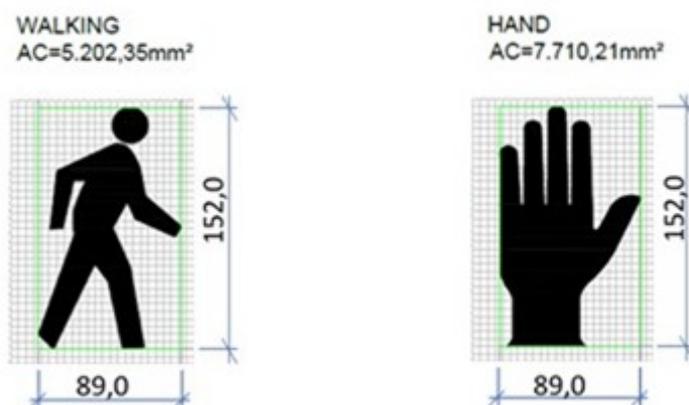


Figura A-3a – Pictogramas ajustados da Classe 1

Classe 2

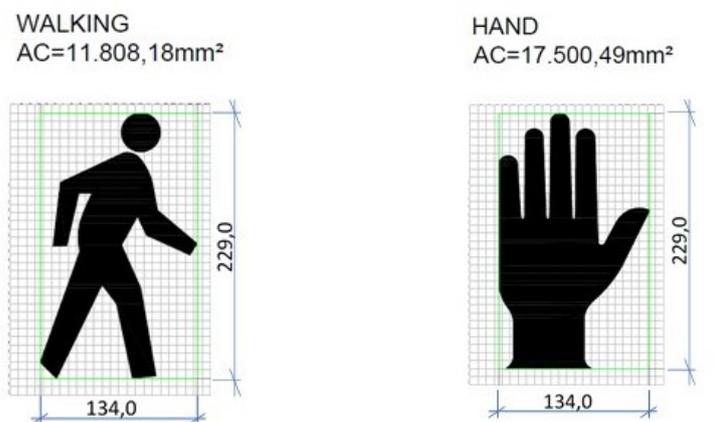
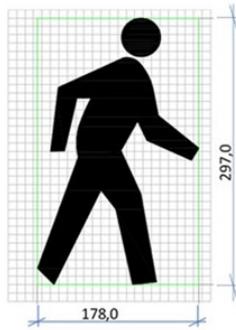


Figura A-3b – Pictogramas ajustados da Classe 2

Classe 3

WALKING
AC=20.315,12mm²



HAND
AC=30.155,48mm²

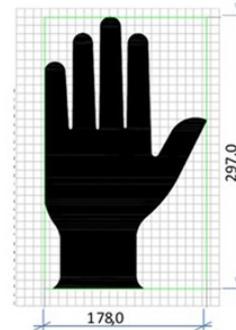
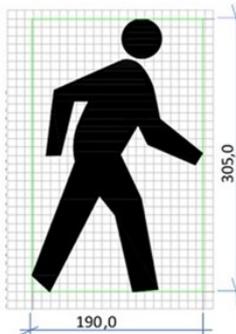


Figura A-3c – Pictogramas ajustados da Classe 3

Classe 4

WALKING
AC=22.186,69mm²



HAND
AC=33.026,33mm²

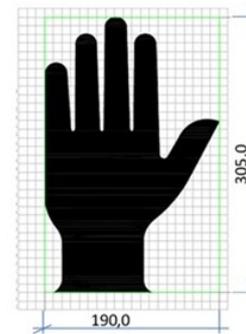


Figura A-3d – Pictogramas ajustados da Classe 4

Para ângulo da normal à superfície (0° vertical e 0° horizontal), a Norma ITE indica os seguintes valores mínimos de luminância:

	Luminância (cd/m ²)
Walking person	2.200
Hand	1.400

Figura A-4 – Valores de luminância

A partir desses valores de luminância, é possível calcular o valor mínimo da intensidade luminosa para os pictogramas “Walking Person” e “Hand” em cada uma das classes.

Classe	Dimensões do pictograma (mm)		Área do Pictograma (mm ²)		Intensidade Luminosa (cd)	
	Altura	Largura	“Walk”	“Hand”	“Walk”	“Hand”
1	152	89	5.202,3	7.710,2	11,4	10,8
2	229	134	11.808,2	17.500,5	26,0	24,5
3	297	178	20.315,1	30.155,5	44,7	42,2
4	305	190	22.186,7	33.026,3	48,8	46,2

Figura A-5 – Intensidade luminosa de cada classe