

USO EFICIENTE DA ENERGIA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO EXTERNA

Belayne Marchi (belaynez@hotmail.com); Cristiano Gomes Casagrande (casagrandejf@yahoo.com.br); Maria Teresa Gomes Barbosa (teresa.barbosa@engenharia.ufff.br)

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia (UFJF) - Brazil

Palavras chave: Eficiência Energética, Fotometria, Iluminação pública

A humanidade ao longo do tempo, vem desenvolvendo formas de iluminação artificial. A luz é uma fonte de energia bastante necessária, que permite realização de inúmeras tarefas. Um ambiente com luz adequada, proporciona conforto visual, bem-estar, segurança e eficiência. Ao anoitecer, quando se precisa dispor de fontes de luzes artificiais, exigirá certo consumo de energia, acarretando um custo econômico e em especial impacto ambiental.

O uso eficiente da energia elétrica é um tema relevante e se torna essencial para o desenvolvimento sustentável, a medida que propostas de minimizar o desperdício de energia surgem, e assim favorecendo a preservação do meio ambiente. Atualmente, os projetistas de sistemas de iluminação externa, não consideram que a percepção da luz feita pelo olho humano, tenha respostas visuais distintas, e conseqüentemente produzem iluminação acima do necessário, gastando mais energia, consumindo mais recursos naturais.

Ao se ajustar a fotometria usada nos projetos luminotécnicos, ou seja, ajustar a quantidade de luz visível emitida por qualquer fonte luminosa, a fim de que o nível de iluminação seja realmente condizente com a verdadeira sensação de claridade, esta se buscando maior eficiência no uso da energia. Nesse contexto, pode-se mencionar a questão da eficiência energética como um dos motivadores centrais para este estudo, que tem como objetivo avaliar comparativamente projetos de iluminação convencionais em vias de iluminação pública, e com a fotometria corrigida, com auxílio de software de simulação.

Assim, junto aos conceitos que norteiam uma construção sustentável, propor diretrizes para promoção da eficiência energética e trazer benefícios tais como contribuição à sustentabilidade do setor energético, desenvolvimento social e econômico assim como benefícios ambientais.

1. INTRODUÇÃO: OS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Desde os tempos mais primórdios, a iluminação sempre teve papel relevante para a humanidade, que ao longo do tempo, busca maneiras de dispor de iluminação durante a noite ou em espaços confinados sem iluminação natural. Várias tecnologias de iluminação estão cada vez mais sendo desenvolvidas, e a partir do século XIX, com a revolução industrial, a eletricidade se expandiu por todo o planeta. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2015), entre 2015 a 2040, a necessidade de utilização de energia no mundo deverá crescer um terço. Dados muito preocupantes, uma vez que 81% da energia consumida mundialmente provém de três fontes não renováveis como petróleo, carvão mineral e gás (EPE, 2018).

Grande parte de toda energia elétrica consumida no mundo é empregada em iluminação artificial, a estimativa atual, é que de toda a energia elétrica produzida no mundo, 30% aproximadamente seja utilizada para a produção de iluminação artificial, o que nos alerta que qualquer avanço no sentido de aprimorar os sistemas de iluminação atuais e assim fazer melhor uso da energia, utilizando-a de forma mais eficiente, são ganhos muito

positivos nos impactos econômicos e principalmente ambientais. O gasto com iluminação artificial representa uma grande fatia nos gastos energéticos do país, que chega bem próximo a 34% de toda energia elétrica consumida no Brasil (EPE, 2018), e portanto, tem uma elevada contribuição ao impactos econômicos e ambientais.

Logo, um tópico importante e essencial para o desenvolvimento sustentável são buscar alternativas e reformas na reestruturação da energia junto a projetos para a redução do consumo de energia elétrica. Principalmente, pela atenção dada a diminuição dos recursos naturais ao longo dos anos, com as inúmeras consequências climáticas ao redor do mundo devido ao seu mal-uso. Assim, minimizando o desperdício de energia favorece-se a preservação do meio ambiente, além de produzir significativos impactos econômicos e ambientais como preservação de mananciais de água potável, no manejo do ciclo hidrológico das regiões e da não emissão de CO₂ na atmosfera.

Portanto, a estrutura energética de um país é um segmento de cunho estratégico por interferir diretamente na economia, sua autossuficiência é desejável, assim como produção de energia a baixos custos e uso de tecnologias mais eficientes. Na iluminação pública, há cerca de 50 anos se usam lâmpadas de descarga em alta pressão (HID – do inglês High Intensity Discharge), que representam 95% dos pontos de iluminação pública no Brasil, segundo levantamento feito pela Eletrobrás (ELETROBRAS, 2017). Em comparação com as lâmpadas incandescentes ou fluorescentes, já há evolução, pois as HID são bem mais eficientes que suas antecessoras.

Assim, na busca de produtos cada vez mais eficientes, o LED (lighting emitting diodes), aparece como um grande avanço tecnológico no momento, e vem ganhando espaço nas aplicações de iluminação em geral, que vem em ritmo crescente de evolução. Tudo isso devido a suas características de elevada eficácia luminosa, elevado índice de reprodução de cor, elevada resistência mecânica e longa vida útil, podendo chegar até 100.000 horas, (Laubsch et al, 2010). Além de todos esses aspectos, os LEDs agridem menos o meio ambiente, pois não contêm gases tóxicos em seu interior como os que estão presentes nas lâmpadas de descarga em alta pressão.

Além de todos esses benefícios mencionados em relação ao LED, quando se considera que o olho humano tem diferentes respostas visuais para vários tipos de ambiente e níveis de luminosidade, pode-se aumentar ainda mais sua eficiência em comparação com outras fontes de iluminação (Helene et al, 2011). Detaca-se portanto, que a percepção do indivíduo sobre o ambiente é de fundamental importância na elaboração de um projeto de iluminação, dispondo de luz suficiente para iluminar todo ambiente, porém sem desperdiçar energia dispondo mais que o necessário para a iluminação.

Uma superfície que está sendo iluminada, reflete uma intensidade luminosa que se divide em várias áreas visíveis para os olhos. A luminância pode ser descrita como a quantidade de luz, que passa através ou é refletida a partir de uma superfície em um certo ângulo e indica o quanto de energia luminosa pode ser percebida pelo olho humano. Em ambientes bem iluminados, com altos níveis de luminância, a sensibilidade da visão humana responde ao regime fotópico. Opostamente, quando a luminância é muito baixa, ou um ambiente com iluminação mínima, tem-se o regime escotópico (Casagrande, 2016).

A fotometria clássica no entanto, está baseada na sensibilidade da visão sob o regime fotópico, porém, em ambientes externos de iluminação, como encontrado em ruas e estacionamentos por exemplo, podemos trabalhar com condições intermediárias da visão (mesópicas). Portanto, ao se corrigir a grandeza fotométrica, possibilita que o nível de iluminação realmente seja condizente com a verdadeira sensação de claridade, ou seja, continuar iluminando com a mesma qualidade de antes, mas sem iluminar mais que a visão

humana é capaz de enxergar, dessa forma então é possível que o consumo de energia para iluminar seja reduzido.

Desse modo, o objetivo desse trabalho é comparar projetos de iluminação em vias públicas que utilizam o sistema convencional (fotópico), com projetos que priorizam a fotometria mesópica. Ao se ajustar o nível de luminância nos projetos de iluminação, reduz-se a demanda de energia, conseqüentemente há redução de custos e melhor emprego à energia e seus serviços. Assim o tema motivador central desse trabalho, é a eficiência energética em sistemas de iluminação pública

2. RESPOSTA VISUAL NA FOTOMETRIA MESÓPICA

Os projetos de iluminação visam fornecer iluminação artificial satisfatória para os usuários. Um ambiente munido de luz artificial, provoca estímulos visuais em termos de quantidade, qualidade e distribuição da luz. O olho humano faz parte de um sistema óptico complexo, e tem diferentes respostas conforme a luz ambiente. É um órgão refinado, apto a gravar e processar imagens por meio da incidência de luz e converte-la em sinais elétricos enviados ao cérebro. É constituído de células sensoriais, nervos, músculos, grupo de lentes e fluidos lacrimais (Helene et al, 2011).

A íris é a parte mais visível do olho, e coordena a passagem de luz para seu interior, alterando o tamanho da pupila, que pode dilatar ou reduzir de acordo com a incidência de luz. Os raios luminosos ao atravessarem a pupila, atingem a retina onde a imagem é formada. A retina contém células fotossensíveis que captam os estímulos luminosos, denominadas cones e bastonetes. Os cones, aglomerados na região central da retina, tem menor sensibilidade à luz, no entanto apresentam melhor resposta visual na percepção das cores. Já os bastonetes, apesar de serem mais sensíveis à luz, não reconhecem as cores, mas dão a percepção de claro e escuro, em condições de baixa luminosidade, com mais contrastes do cenário visual.

É necessário ressaltar que por o olho humano comportar-se de maneiras diferentes de acordo com as condições de luminosidade, as células fotorreceptoras responderão de acordo com esse ambiente de iluminação, sempre uma célula sendo predominante à outra, ou seja, cones prevalecendo sobre bastonetes ou vice versa. Nesse caso, por exemplo, quanto maior for a incidência de luz sobre a pupila, mais contraída ela se encontrará, e dessa forma, a luz ao invés de se expandir pelo globo ocular, irá atravessar a pupila como um feixe de luz focalizado na região central da retina. Assim, como os cones estão concentrados na região central do olho, as células se sobressairão sobre os bastonetes, permitindo boa definição e diferenciação das cores.

Dessa forma, onde há grande incidência de luminosidade, a sensibilidade do olho responderá à visão fotópica. Opostamente, na redução da incidência de luz, ocorre a dilatação da pupila, permitindo que a luz atravesse de forma mais ampla, preenchendo toda retina. Em consequência, os bastonetes predominarão sobre os cones, dando sensação de claridade, contraste, mas sem percepção de cor, ou visão escotópica (Nogueira et al, 2014), (Maggi et al, 2012).

Assim, quando os ambientes estão com alto e baixo nível de iluminação, eles podem ser definidos como ambientes em regime de operação fotópicos e escotópicos respectivamente. Já na visão mesópica, é um estágio de transição entre a visão fotópica e escotópica por se entrar numa faixa intermediária. Nesse regime, o sistema visual combina sinais entre cones e bastonetes e essas interações podem modificar a experiência perceptiva e alterar quase todos os aspectos do processamento visual, incluindo a detecção visual, observado na maioria dos ambientes noturnos de iluminação de tráfego e trânsito. (Rodrigues, 2012)

As curvas de sensibilidade espectral relativa ao olho humano para esses regimes de operação foram reformuladas segundo a CIE, 2010 (Commission Internationale de l'Éclairage, Comissão Internacional de Iluminação), vide figura 1. A sensibilidade visual depende da luminosidade e do comprimento de onda (cor), visível de 380 nm (alta frequência) a 780 nm (baixa frequência).

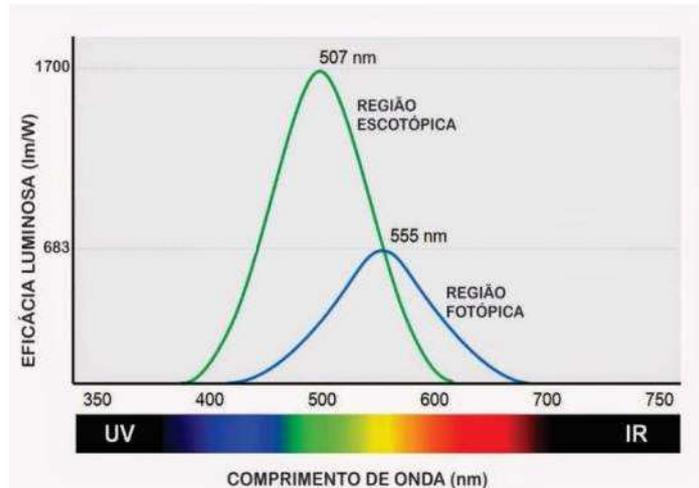


Figura 1 - Curvas de sensibilidade espectral (Harrold, 2003)

3. ADAPTAÇÃO DA FOTOMETRIA PARA CONDIÇÃO MESÓPICA

O fluxo luminoso é fundamentado na resposta visual humana correspondente ao regime fotópico desde a década de 20. A CIE vem discutindo padrões para fotometria clássica, para ambientes fechados, onde se necessita de luz artificial em seu interior e bons níveis de luminância. É justificável usar esse padrão de resposta visual se considerar somente a parte interna, porém em ambientes externos, como no caso de iluminação pública, pode não se aplicar, por ser uma situação onde o olho responde melhor a condição mesópica, com uma sensação de clareza mais condizente com a realidade e maior eficiência.

Uma adaptação da fotometria convencional, onde a condição mesópica fosse considerada resolveria o problema. Contudo, o uso desses modelos é bastante complexo, e a faixa entre escotópico e fotópico, existem múltiplos valores de luminância, o que resultaria em múltiplos sistemas de adaptação de grandezas, o que dificultaria a interpretação dos resultados. Além disso, utilizam-se equipamentos que são calibrados para operar na visão fotópica, o que resultaria em mais correções nos resultados das medições para fazer a medição fotométrica.

Conclui-se então, que pela imensa dificuldade em usar modelos mesópicos, é mais viável buscar outras soluções a fim de contornar essas dificuldades, usando modelos mais simples. Todavia, até mesmo modelos mais simplificados exigem a determinação do fator S/P, definido como a razão entre o fluxo luminoso de uma fonte de luz escotópica, e o fluxo luminoso de eficácia espectral fotópica (Casagrande, 2016).

Essa relação, é extremamente necessária para todos os sistemas que fazem a conversão de luminância, e precisam corrigir as grandezas fotométricas, tanto para o sistema mesópico ou se aproximar da região escotópica, sendo portanto, item fundamental para que as adaptações sejam concebidas.

Porém, os equipamentos de medição fotométricos são muitos sofisticados e onerosos, de difícil acesso, disponíveis geralmente em laboratórios de pesquisa avançada, como a esfera integradora ou goniofotômetro (Poikonen et al, 2010), o que torna mais difícil a obtenção do fator S/P, que pode variar bastante de acordo com o tipo de lâmpada, do fabricante, da potência e temperatura de cor.

No entanto, (Casagrande, 2016), propôs uma equação que fornece a relação S/P, utilizando parâmetros disponibilizados pelos fabricantes de lâmpadas disponíveis em catálogos ou em suas embalagens, como a temperatura de cor correlatada (TCC) e do índice de reprodução de cor (IRC), eliminando então a necessidade de se recorrer a equipamentos especiais, além de ser aplicável a qualquer tipo de lâmpada.

A expressão é uma alternativa bastante interessante para obtenção da razão S/P, de forma simples e sem recorrer aos onerosos equipamentos fotométricos especializados:

$$S/P = -1,886 \times 10^{-8} (TCC)^2 + 4,311 \times 10^{-7} (TCC)(IRC) + 6,430 \times 10^{-5} (IRC)^2 + 3,590 \times 10^{-4} (TCC) + 1,247 \times 10^{-3} (IRC) - 0,114 \quad (1)$$

Onde:

- S/P: razão entre o fluxo luminoso escotópico e fotópico
- TCC: temperatura de cor correlatada (K)
- IRC: índice de reprodução de cor (%)

Um método existente, utilizado para fazer a conversão de unidades fotópicas para diferentes condições mesópicas, está proposto em tabela fornecida pela CIE 191:2010, que faz adaptações a partir de multiplicadores estabelecidos, conforme a tabela 1. São selecionados valores, de acordo com a luminância do ambiente em cd/m^2 e a relação S/P obtida através da expressão acima.

Tabela 1 – Fatores de correção percentuais para luminância efetiva

S/P	LUMINÂNCIA FOTÓPICA (cd/m^2)									
	0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	3	5
0,25	-75%	-52%	-29%	-18%	-14%	-9%	-6%	-5%	-2%	0%
0,45	-55%	-34%	-21%	-13%	-10%	-6%	-4%	-3%	-2%	0%
0,65	-31%	-20%	-13%	-8%	-6%	-4%	-3%	-2%	-1%	0%
0,85	-12%	-8%	-5%	-3%	-3%	-2%	-1%	-1%	0%	0%
1,05	4%	3%	2%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
1,25	18%	13%	8%	5%	4%	3%	2%	1%	1%	0%
1,45	32%	22%	15%	9%	7%	5%	3%	3%	1%	0%
1,65	45%	32%	21%	13%	10%	7%	5%	4%	2%	0%
1,85	57%	40%	27%	17%	13%	9%	6%	5%	3%	0%
2,05	69%	49%	32%	21%	16%	11%	8%	6%	3%	0%
2,25	80%	57%	38%	24%	19%	12%	9%	7%	4%	0%
2,45	91%	65%	43%	28%	22%	14%	10%	8%	4%	0%
2,65	101%	73%	49%	31%	24%	16%	12%	9%	5%	0%

4. METODOLOGIA

Será apresentado abaixo para o caso em estudo, projetos de iluminação simulados em software livre, um feito para iluminação em vias públicas pelo método convencional, e posteriormente, para efeito de comparação outro projeto que priorizou a fotometria mesópica. Para as simulações, foi utilizado o software de design em iluminação Dialux, juntamente com arquivos e catálogos disponíveis pela PHILIPS LIGHTING.

As simulações dos projetos foram todos baseados pela norma ABNT NBR 5101, de 2012, que é a principal norma brasileira referente aos requisitos do sistema de IP no Brasil. Ela fixa os requisitos mínimos necessários para a iluminação de vias públicas, os quais são destinados a propiciar segurança aos tráfegos de pedestres e veículos. De acordo com a

classificação do fluxo e do tipo de via, ela pertencerá a uma determinada classificação de iluminação.

Para o estudo em questão, foi utilizado um condomínio fictício, vide figura 2, com uma rua principal de acesso, considerada via local, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas, com velocidade máxima de 30 km/h, com 7 m de largura e 2 pistas de rolamento, vide figura 3. Foram inseridos postes com 10m de altura, distantes 30 m entre eles, e distante 45 cm em relação a via.



Figura 2. Desenho esquemático do condomínio

Para o condomínio fictício simulado, a via principal de entrada foi considerada de tráfego leve, e sendo uma via local, é pertencente a classe de iluminação V5, com iluminância média mínima de 5 lux e fator de uniformidade mínimo de 0,2 e uma luminância média mínima de 0,5 cd/m².

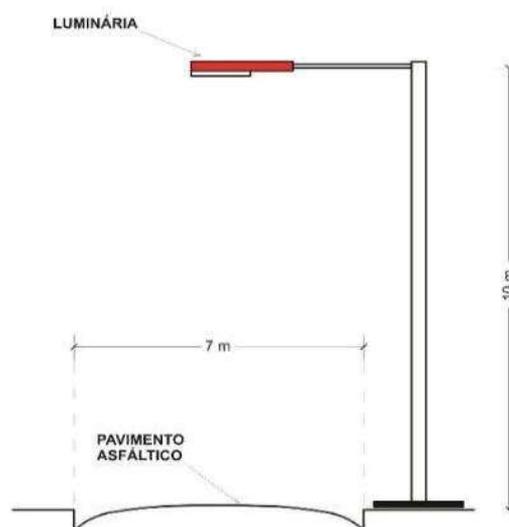


Figura 3. Desenho esquemático do perfil da rua

Inicialmente, os projetos foram adequados segundo a fotometria convencional (Fotópica) e posteriormente, pela fotometria mesópica, para cada tipo de luminária, resultando um total de quatro simulações.

Para a simulação dos projetos, utilizou-se dois tipos de lâmpadas: vapor de sódio em alta pressão (HPS, do inglês high pressure sodium) e LED (light-emitting diode, ou diodo emissor de luz), ambas pertencentes ao catálogo da Philips, SON TPP70W e LED55-3S-740. Foram adotadas luminárias clássicas, a com vapor de sódio de 70 W, TCC 1900K, IRC 25% e fluxo

luminoso de 6.600 lm. A luminária LED de 44W, TCC 4000K, IRC 70 % e fluxo luminoso de 5.500 lm.

5. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Nas duas primeiras simulações, usando a fotometria clássica, os resultados foram:

- HPS - Luminância fotópica de $0,50 \text{ cd/m}^2$, iluminância média de 6,92 lux e eficácia luminosa aproximada 82,5 lm/W;
- LED - Luminância fotópica de $0,56 \text{ cd/m}^2$, iluminância média de 7,50 lux e eficácia luminosa aproximada 125 lm/W;

Todas duas luminárias atingiram o critério estabelecido pela norma, que estabelece níveis mínimos de luminância a $0,50 \text{ cd/m}^2$ e iluminância de 5 lux. Para a adaptação na fotometria utilizando o sistema mesópico, foi calculado o fator S/P utilizando os parâmetros disponibilizados pelos fabricantes das lâmpadas. O resultados foram 0,592 para as lâmpadas de vapor de sódio e 1,543 para as luminárias LED.

Para então usar a tabela de conversão proposta pela CIE, utilizamos os seguintes dados:

- LUMINÁRIA HPS – Fator S/P 0,592 e luminância Fotópica de $0,50 \text{ cd/m}^2$
- LUMINÁRIA LED – Fator S/P 1,543 e luminância Fotópica de $0,56 \text{ cd/m}^2$

Como os valores da luminância estão bem perto de $0,5 \text{ cd/m}^2$, foi adotado esse valor na utilização da tabela. No entanto, o fator o S/P calculado para ambas luminárias (0,592 e 1,543), não estão disponíveis diretamente na tabela, portanto, os multiplicadores de correção foram obtidos por meio de interpolação dos valores disponíveis na tabela. Vide figura 4:

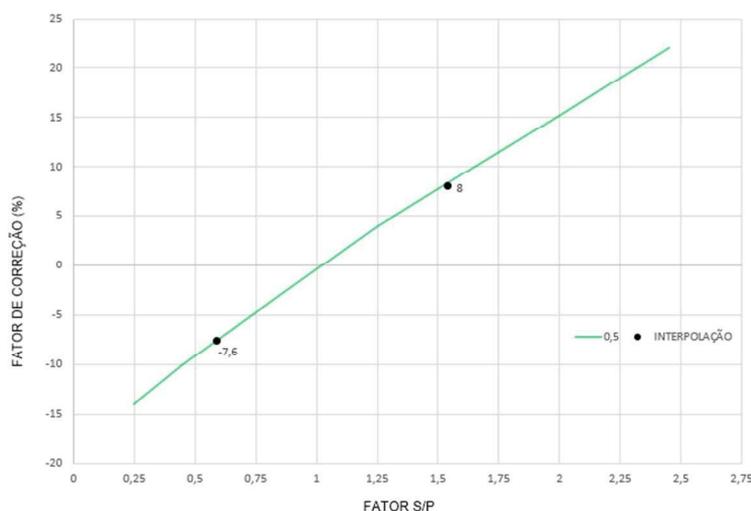


Figura 4. Interpolação de valores S/P

Logo, baseado nos dados da tabela da CIE, a obtenção dos valores interpolados dos multiplicadores de correção foram -7,6% para as luminárias de Sódio e 8,0 % para a de LED, que serão utilizados para a terceira e a quarta simulação, na condição de fotometria mesópica.

A segunda simulação foi realizada de forma semelhante ao projeto anterior (fotometria clássica). Com os valores do fator de correção, obteve-se os novos valores dos fluxos luminosos. Na luminária de vapor de sódio, o fluxo luminoso passou de 6.600 para 6.098 lm, e quando simulado novamente no software, a iluminância média passou de 6,92 para 6,39 lux, um percentual de 7,6% a menos. Ao mesmo tempo, na luminária LED, o fator de

correção do fluxo luminoso passou de 5.500 para 5.940 lm, e a iluminância média era de 7,5 lux e depois 8,1 lux, um percentual de 8% a mais.

Assim, ao se comparar o fluxo luminoso efetivo, e o corrigido para condições mesópicas, é possível perceber que quando a tecnologia empregada são as luminárias de vapor de sódio, há uma redução dos níveis de iluminância. Por sua vez, ao se aplicar a correção mesópica no projeto com luminárias LED, visualiza-se um aumento dos níveis de iluminância na via pública. Vide a tabela 2 comparativa:

Tabela 2 – Fatores de correção percentuais para luminância efetiva

Lâmpada	Fotometria	Fluxo Luminoso (lm)	Iluminância Média (lux)	Eficácia Luminosa (lm/W)	Luminância Fotópica Média (cd/m ²)	Fator de Correção
HPS (70 W)	Fotópica (convencional)	6.600	6,92	82,5	0,50	-7,6%
	Mesópica (efetiva)	6.098	6,39	87	-	
LED (44 W)	Fotópica (convencional)	5.500	7,5	125	0,56	8,0%
	Mesópica (efetiva)	5.940	8,1	135,4	-	

Ao se fazer uma avaliação geral do desempenho de ambas as tecnologias usadas, é importante observar que além do ganho de 8,0% que as luminárias LED apresentaram considerando a visão mesópica, a potência da lâmpada é de apenas 44 W, uma redução de 37% quando se comparado a lâmpada de vapor de sódio de 70 W. O estudo mostrou, portanto, que na visão mesópica, o olho humano está enxergando na realidade 8,0% a mais do que necessitaria com as luminárias LED, e 7,6 % a menos nas lâmpadas de vapor de sódio. Na prática, pode-se dizer que as luminárias LED pode ser dimerizada em 8% a menos, de forma a manter o mesmo fluxo luminoso que era efetivamente percebido nas luminárias de vapor de sódio, ou ainda optar por outra luminária LED com menos potência ainda. Essa dimerização proporcionaria uma economia adicional de energia elétrica.

6. CONCLUSÃO

Foi apresentado neste trabalho simulações com software livre de projetos luminotécnicos em iluminação pública. As luminárias utilizadas foram as de vapor de sódio e de LED, ambas baseados na norma de iluminação pública NBR 5101. Foi demonstrado através dos resultados obtidos, como é importante se considerar a visão mesópica em projetos de iluminação pública e avaliar se a troca de uma tecnologia de iluminação por outra é vantajosa. Assim foram feitas comparações entre as características fotométricas de cada sistema, onde se constatou que as luminárias LED de menor potência podem substituir de forma eficiente as luminárias de vapor de sódio de maior potência. Embora a lâmpada de vapor de sódio de 70W tenha um fluxo luminoso maior que a luminária LED de 44W, ao se corrigir pra visão mesópica, essa diferença praticamente se equiparou, além e principalmente ao se considerar que a iluminância média no projeto utilizando a luminária LED é bem superior e apresentou maior eficácia luminosa.

Desse modo, uma forma de melhorar a eficiência energética do sistema elétrico no país, pode ser fazendo uso da correção das grandezas fotométricas, que além de permitir uma melhor eficiência na iluminação, também pode refletir na economia. Quando se opta por uma tecnologia mais satisfatória para a iluminação pública, isso reflete diretamente em um custo menor na conta de energia elétrica. Isso acontece porque consegue-se reduzir o fluxo

luminoso da lâmpada mantendo a mesma iluminância da condição fotópica clássica, usada na condição mesópica. Assim, uma opção seria a substituição por lâmpadas de potência menor, mas desde que possuam o fluxo luminoso efetivo (mesópico) equivalente, ou pode-se reduzir a potência da luminária por dimerização (diminuição do fluxo luminoso da lâmpada para a iluminância adequada).

É perceptível que ações de conservação de energia podem ser implantadas, através das variáveis tecnológicas existentes. A substituição por luminárias LED por exemplo, pode ser inserida no planejamento energético nacional em diferentes níveis, através de políticas públicas. Como demonstrado nos resultados, onde se tem regiões de baixa luminosidade, há ganhos reais da inserção do sistema mesópico em projetos de iluminação pública.

Por fim, é importante observar que existe uma tendência mundial na produção de energia elétrica, que vem cada vez mais necessitando atender uma crescente demanda de consumo dos usuários. No Brasil, só a iluminação pública é responsável por aproximadamente 8,2% do consumo total de energia elétrica produzida (EPE, 2018). Assim sendo, é relevante contribuir para uma melhor eficiência energética através de ações de incentivo, que viabilizem a diminuição e mudança nos hábitos de consumo, e também o uso de tecnologias que consomem energia de forma mais racional.

Como conclusão final, a parcela que a iluminação pública ocupa no consumo total de energia elétrica nos países, é uma parte bastante relevante, o que a torna de suma importância, não só para a economia dos gastos públicos, mas também para a redução do consumo de recursos ambientais em nível mundial. Portanto, uma adequação a essa nova tecnologia é um desafio que países dispostos a mudança podem enfrentar na busca de um ambiente construído mais sustentável.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, N. (2012). 5101. Iluminação pública—Procedimento.
- Casagrande, C. G. (2016). *Desafios da iluminação pública no Brasil e nova técnica de projetos luminotécnicos fundamentada na fotometria mesópica*.
- CIE 191-2010. *Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance*, (2010).
- ELETROBRAS/PROCEL, *Programa Nacional de Conservação de Energia – Procel*, 2018. Disponível em: <
http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2018/docs/Procel_rel_2018_web.pdf>
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanco Energético Nacional*. 2017. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf
- Harrold, R., & Mennie, D. (Eds.). (2003). *IESNA Lighting Ready Reference: A Compendium of Materials from the IESNA Lighting Handbook: Lighting Fundamentals, Vision and Color, Light Sources, Illuminance Selection and Design Guide, Calculation Data and Design Guide, Energy Management Considerations, Lighting Economics, Definitions*. Illuminating Engineering Society of North America.
- Helene, O., & Helene, A. F. (2011). *Alguns aspectos da óptica do olho humano*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(3), 3312.
- IEA, *International Energy Agency. Energy and Climate Change – World Energy Outlook Special Report*, 2015. Disponível em:
<<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>>
- Laubsch, A., Sabathil, M., Baur, J., Peter, M., & Hahn, B. (2010). *High-power and high-efficiency InGaN-based light emitters*. *IEEE transactions on electron devices*, 57(1), 79-87.

- Maggi, T., Dalla Costa, M. A., Furlanetto, C. A., DOS SANTOS, A. S., & Toss, M. (2012). *Estudo do Fluxo Luminoso Necessário para Luminárias de Iluminação Pública de LEDs*. In XIX Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2012), Campina Grande–Paraíba, Setembro de 2012.
- Nogueira, F. J., Silva, E. S., Braga, M. F., Campos, M. F. C., Casagrande, C. G., Braga, H. A. C. *Retrofit Envolvendo Luminárias LED no Sistema de Iluminação Pública: Estudo de Caso da Universidade Federal de Juiz de Fora*. XII Conferência Latino-Americana de Iluminação LUXAMÉRICA 2014. Juiz de Fora, 2014.
- PHILIPS LIGHTING. In: www.lighting.philips.com, access in 12/11/2018
- Poikonen, T., Manninen, P., Kärhä, P., & Ikonen, E. (2010). *Multifunctional integrating sphere setup for luminous flux measurements of light emitting diodes*. *Review of Scientific Instruments*, 81(2), 023102.
- Rodrigues, C. R. B. S. (2012). *Contribuições ao uso de diodos emissores de luz em iluminação pública*.