SUSTENTABILIDADE E EFICÁCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO VIÁRIA: MÉTODO DE MEDIÇÃO

Sustainability and energy effectiveness in road lighting:
Method of measurement

CARVALHO, Fernanda Souza

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

TREVISAN, Simone Martins

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Resumo: A iluminação pública não é um elemento coadjuvante no planejamento das cidades, mas sim uma relevante ferramenta para a valorização de espaços urbanos, contemplando o comércio e o lazer que podem ser promovidos no período da noite. Porém é de estrema importância que haja um bom projeto, desde a escolha da lâmpada, da luminária e do paisagismo para que possa contribuir para um desenvolvimento social e econômico com qualidade, obstando a criminalidade e auxiliando a organização do sistema viário municipal. Com o uso consciente de tecnologias existentes, pode-se ainda propiciar uma redução do impacto ambiental e fortalecendo a sustentabilidade com o consumo consciente, a utilização de materiais que não agridam o meio ambiente e a redução de gastos energéticos. Contudo as escolhas tecnológica embasadas em dados parciais, ou manipulados por grupos econômicos, podem levar a escolhas equivocadas, especialmente no âmbito público. Este é o caso das novas luminárias de LED, onde a antiga prática utilizada nas lâmpadas convencionais cuja análises eram feita através da quantificação de Lumens, Candelas, ou eficiência não pode mais ser aplicada pois, devemos ter como base a eficácia na iluminação na aplicação efetiva de iluminação pública.

Palavras-chave: Eficácia luminosa; Iluminação Pública, Sustentabilidade.

Abstract: Public lighting is not a supporting element in the planning of cities, but rather a relevant tool for the valorization of urban spaces, aiding the

ISSN 1679-8902

commerce and leisure that can be promoted in the evening. However, it have to have a good project, since the lamp selection, light fixture and landscaping so that it can contribute to a social and economic development with quality, preventing crime and helping the organization of the city. With the conscious use of existing technologies, it can also provide a reduction of environmental impact and strengthen sustainability with conscious consumption, use of environment harmless materials and reducing energy costs. Although, technological selection based on partial data or manipulated by economic groups, can lead to misguided choices, especially in the government. This is the case of new LED luminaires, where the old manner used in conventional lamps which analysis was done by the quantification of Lumens, Candelas, or efficiency can no longer be applied because, we must be based on effective lighting in the effective application Lighting.
Keywords: Light Efficacy; Public Lighting, Sustainability.

Introdução

As vias públicas são elementos muito relevantes na vida da população e devem ser consideradas e estruturadas por planejadores urbanos que almejam melhorar a qualidade de vida da população. Neste viés a iluminação pública é primordial para a segurança e a acessibilidade das pessoas, possibilitando melhoria nas relações sociais. Para aprofundar essas correlações, é necessário incluir o meio ambiente e o fator econômico, uma vez que essas melhorias relacionadas a eficácia energética na iluminação pública, traria benefícios relacionados a sustentabilidade. A favor de projetos relacionados as chamadas Smart Cities, que são implementadas em diversas partes do mundo, onde se identifica uma necessidade de readequação do setor energético visando integrar fontes renováveis à matriz energética (CORREIA, W. F.,2014).

A forma mais essencial de conseguir esses benefícios é a substituição dos materiais obsoletos que estão sendo utilizados na iluminação de vias públicas, o que melhoraria efetivamente o ato de iluminar, reduzindo o consumo em energia elétrica e propiciando mais atrativos à utilização das cidades no período noturno. Porém qual é o tipo de iluminação mais condizente com essas expectativas?

ISSN 1679-8902

Há diversos estudos e programas que buscam ou propõe soluções para a implantação de lâmpadas que produzem a melhor iluminação com o menor custo, como por exemplo o Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes, o PROCEL/RELUZ e o Programa de Eficiência Energética (PEE), regulamentados pela Aneel, sendo esses programas do ano 2000. Ressaltando que o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF) de 2010 informa que ainda existe uma possibilidade de haver redução em torno de 9% da demanda e na economia de energia relacionada a energia pública (Ministério de Minas e Energia-MME, 2010).

Dentre vários casos, o que é mais comumente difundido e defendido como a melhor tecnologia para substituir as lâmpadas de vapor de mercúrio, seria as lâmpadas de LED e não as lâmpadas de vapor de sódio (DOS SANTOS, T.S, 2015). Essa teoria estima uma economia de aproximadamente 50% de redução do consumo de energia elétrica devido seu baixo consumo.

E há outras vantagens como o fato da lâmpada de LED ser ecologicamente correta, pois não utiliza metais pesados em sua composição como o mercúrio, nem gases tóxicos. Há estudos de que o convertimento para a tecnologia LED diminuiria 50% das emissões de CO_2, com a justificativa para o Projeto de Lei nº 169/2015 de Sorocaba. Portanto não há, também, contaminação do solo com o descarte das lâmpadas LED, isso pode ser comprovado na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que não estabeleceu a obrigatoriedade de implantação de sistemas de logística reversa para lâmpadas de LED, assim como determina para outros tipos de lâmpadas poluentes.

Esses gases que estão dentro da lâmpada metálica evaporam e perdem em torno de 30% de luz em sua vida de 16.000 horas em média. Enquanto o LED mantém seu fluxo luminoso estável em até 70% em sua vida útil, que facilmente atinge mais de 50.000 horas. Além de possuir uma maior duração do que as lâmpadas metálicas, o LED necessita de menos manutenção e substituições, promovendo economia ao Município.

Lâmpadas metálicas e de sódio necessitam de reatores para sua ignição e funcionamento, enquanto as lâmpadas de LED possuem um chip

ISSN 1679-8902

para serem acionadas, portanto possuem um rápido acionamento caso ocorra algum tipo de oscilação mantendo as vias mais iluminadas e seguras. E, por ser uma luz eletrônica, o LED permite o gerenciamento e monitoramento remoto.

Outro fator muito importante, que envolve a qualidade de vida e a segurança das pessoas que frequentam os espaços públicos é a necessidade de se consideram o funcionamento do olho humano no período da noite. No período de transição de vespertino para noturno acontece a visão mesópica até chegar a visão escotópica no período da noite, ou seja, a transição em que os olhos dos seres humanos passam a perceber melhor os espectros de luz branca ou fria (como a Lua) ou invés das cores amareladas (como o Sol).

Como as lâmpadas de vapor de sódio, mais utilizadas na atualidade, produzem cores amarelas, o resultado final da visão é limitado, resultando, em muitos casos, atropelamentos, assaltos, além da própria perda da qualidade de enxergar cores. O LED emana uma luz de cor branca otimizando a visão humana. É possível verificar esse acontecimento na Figura 01 a seguir, do estudo da Copel (2012) em que é apresentado o mesmo local sob as mesmas condições, porém à esquerda a iluminação é feita por lâmpadas de LED com índice de reprodução de cor (IRC) alto[7], e à direita com lâmpadas vapor de sódio que possuem baixo[8] IRC, ficando evidente a perda na qualidade de identificar as cores desta segunda imagem.



[7] Os IRCs são considerados alto acima de 70%.
[8] Os IRCs são considerados baixos quando inferior a 40%.

ISSN 1679-8902

Figura 01 – Comparativo entre duas fontes luminosas com diferentes IRC's.
Fonte: COPEL e GE – General Eletric (2011).

Até esta etapa do estudo, pode-se enumerar diversas vantagens do LED em relação as lâmpadas de vapor de sódio, porém o objetivo deste trabalho é alertar sobre a questão da eficiência da lâmpada de LED que é menor do que a lâmpada de vapor de sódio, como exposto no gráfico 01, em que é possível verificar que a eficiência da lâmpada de vapor de Sódio pode ser de 80 a 150 lm/W enquanto a lâmpada de LED pode ser de 70 a 130 lm/W. Portanto em relação a produtividade, em que tem-se mais luz com menos energia elétrica, a lâmpada de vapor de sódio é mais eficiente.

Entretanto, para as melhorias propostas em relação a sustentabilidade e aumento da qualidade do uso do espaço coletivo é necessário ter a máxima eficácia com a obtenção de todos objetivos, o qual só será alcançado com a utilização de uma luminária que potencialize a iluminação com a lâmpada de LED.

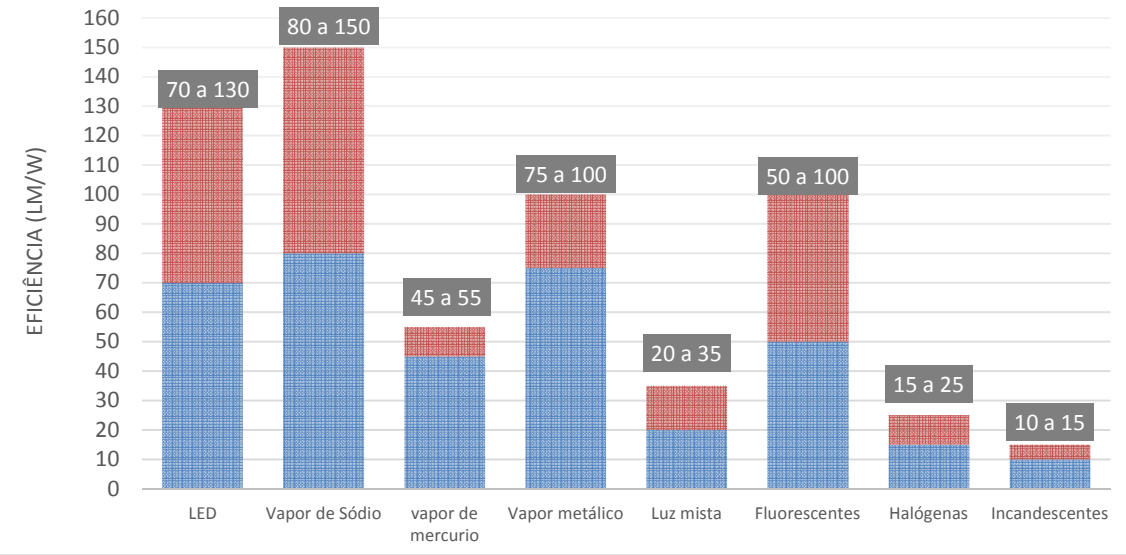

Gráfico 01 – Comparativo entre lâmpadas diferentes, para a verificação da eficiência em lumens / Watt.
Fonte: COPEL e GE – General Eletric (2011).

A explicação acima vai na contramão do senso comum, onde a utilização à LED pode gerar economias de 50 % na iluminação pública, uma vez que o LED é sempre menos eficiente que as lâmpadas de vapor de sódio. Entretanto a economia é verdadeira, como observado em Los Angeles onde a

ISSN 1679-8902

economia chegou a 60%, mas essa economia não é intrínseca do LED, ela só é obtida através de um correto projeto óptico.



Figura 02 – À esquerda, via iluminada com vapor metálico e à direita via pública iluminada com Luminárias com lâmpadas à LED. Projeto sustentável, com 60% de economia, iluminação mais homogênea gerando mais segurança aos usuários.

Fonte: http://gizmodo.com/led-streetlights-will-change-hollywood-and-make-every-c-1514840416 (2013).

A tecnologia à LED possui luz direcional, enquanto as lâmpadas de vapor metálico e de sódio devido ao seu tamanho não permitem um direcionamento eficaz da luz, iluminando de forma mais descontrolada o seu entorno podendo ocorrer iluminação excessiva em áreas que não necessitavam ou não deviam ser tão iluminadas e regiões com pouca luz no leito da rua ou calçada. Outro fator importante na aplicação do LED é a possibilidade do controle óptico, através de lentes, propiciando a iluminação mais precisa, mais uniforme e com menos zebramento[9]. Portanto observamos a necessidade de não se preocupar apenas com o tipo de lâmpada utilizada, mas também realizar uma verificação nos modelos de luminárias existentes, averiguando a possibilidade de otimizar essas potencialidades da lâmpada de LED.

[9] Zebramento é o nome popularmente dado aos pontos escuros que podem ser verificados nas vias, que ocorre no intervalo de espaçamento de um poste à outro.

ISSN 1679-8902

Desta explicação, observa-se a importância da análise do padrão de distribuição de luz para classificar a real eficácia das Luminárias que utilizam LED.

No caso de Luminárias a LED não é indicado, a simples classificação, utilizando a mesma metodologia usada para classificar Geladeiras com Letras A, B, C, D (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE), pois se não analisarmos o padrão de distribuição luminoso estaremos afixando uma classificação totalmente errônea, onde a substituição por luminárias a LED poderá gastar mais energia elétrica que as luminárias a lâmpada, mesmo recebendo classificação “A”.

Por exemplo, a luminária da figura 03, não possui lente ótica em frente ao LED e por isso gera uma iluminação menos eficaz do que uma Lâmpada HID, mesmo que receba uma Letra “A” na ENCE.



Figura 03 – Exemplo de iluminação com baixa qualidade na distribuição de luz.
Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Outro exemplo a seguir, em que a luminária da figura 04, possui lente ótica projetada para a iluminação pública, apresentando uma eficácia total maior.

ISSN 1679-8902

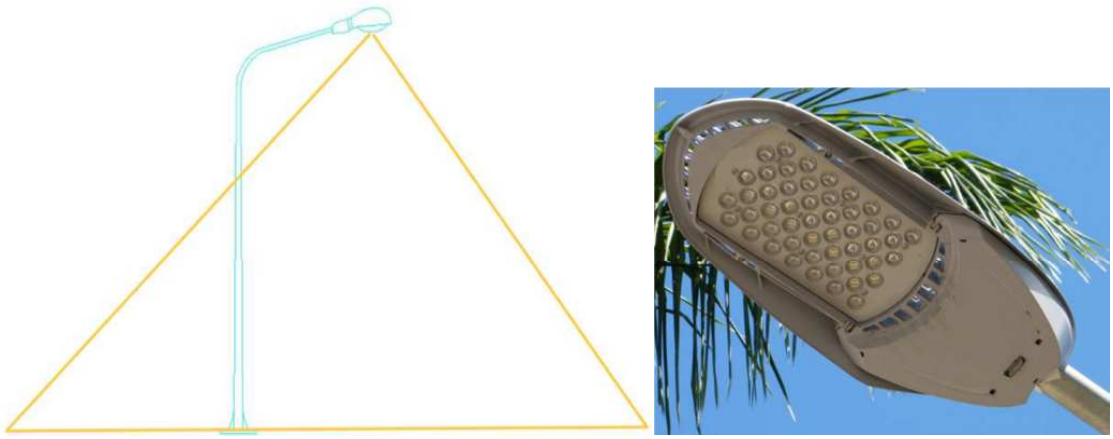

Figura 04 – Exemplo de iluminação com maior distribuição de luz.
Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Portanto não é possível avaliar com precisão, as luminárias a LED, sem a determinação da inclusão de um padrão de distribuição luminosa que possa aproveita a luz direta da lâmpada, e aumentar a eficiência do sistema, em função da possibilidade de direcionamento da luz emitida pelo LED.

A partir disso tem-se a criação de um método que possa medir a eficácia energética para luminárias de iluminação viária que será proposto neste trabalho. A finalidade desse método é a determinação da eficácia energética da luminária, a partir das medições de intensidade luminosa corretamente dirigida aos pontos de interesse e da potência elétrica consumida.

No conceito de **eficácia energética** verificaremos a razão entre a energia elétrica fornecida à luminária e a energia luminosa devidamente entregue em uma região do plano equivalente um trecho de rua abaixo da luminária. O método baseia-se na definição de uma aplicação em área alvo pré-definida (Área Padrão Virtual, ou APV) para que todas as luminárias, dirigidas a iluminação pública possam ter uma classificação equivalente, levando em conta a importância de se ter uma iluminação mais consistente nas vias.

Objetivo

Objetiva-se demonstrar que a utilização das Luminárias de estado sólido, conhecidas por Luminárias a LED necessitam de uma forma de avaliação diferenciada de suas antecessoras, bem como propor uma

ISSN 1679-8902

metodologia adequada para correta avaliação na aplicação como luminária viária e outras áreas públicas.

Sem esta correta avaliação, os órgãos e departamentos públicos, responsáveis por definir os equipamentos de iluminação pública, ficam sujeitos a equívocos, dada a complexidade do assunto.

Estes equívocos, envoltos na nobre ação de renovar a tecnologia e reduzir o impacto energético, podem surtir o efeito contrário, mantendo o consumo energético nos mesmos níveis e produzindo um efeito colateral de escurecimento das praças, calçadas, e vias carroçáveis, afetando a segurança e conforto da população.

Metodologia

A metodologia norteadora é a de pesquisa aplicada, objetivando "resolver problemas ou necessidades concretas e imediatas" (Appolinário, 2004), devido a iminência de produzir dados concretos para aplicação de seus fins, para "contribuir para fins práticos, visando à solução mais ou menos imediata do problema encontrado na realidade" (Barros e Lehfeld, 2000).

Para tanto, padronizou-se uma área de abrangência física em que os cálculos são considerados: a Área Padrão Virtual (APV). A definição da APV foi estabelecida embasada na necessidade real da iluminância presente de forma eficaz nas vias públicas. Apresenta-se os cálculos que, alternativamente, podem ser feitos pelo programa de computador de código aberto, CAPEL – Cálculo em Área Padrão da Eficácia Energética, que pode ser baixado gratuitamente em https://sourceforge.net/projects/capel-streetlight/, desenvolvido para o presente trabalho.

Definições

1.1. **Medições de intensidade luminosa (candelas)**: Estas medições são realizadas em direções definidas por dois ângulos, normalmente chamados de horizontal e vertical (ou C e Gama, respectivamente), conforme consta na Portaria n.º 20, de 15 de fevereiro de 2017 do Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia – INMETRO.

ISSN 1679-8902

Angulos horizontais (Planos C): 0° - 5° - 10° - 15° - 20° - 25° - 30° - 35° - 40° - 45° - 50° - 55° - 60° - 65° - 70° - 75° - 80° - 85° - 90° - 95° - 100° - 105° - 110° - 115° - 120° - 125° - 130° - 135° - 140° - 145° - 150° - 155° - 160° - 165° - 170° - 175° - 180° - 185° - 190° - 195° - 200° - 205° - 210° - 215° - 220° - 225° - 230° - 235° - 240° - 245° - 250° - 255° - 260° - 265° - 270° - 275° - 280° - 285° - 290° - 295° - 300° - 305° - 310° - 315° - 320° - 325° - 330° - 335° - 340° - 345° - 350° - 355 °.

Angulos verticais (Gama, ou ɣ): 0º - 5º - 10º - 15º - 17,5º - 20º - 22,5º - 25º - 27,5º - 30º - 32,5º - 35º - 37,5º - 40º - 42,5º - 45º - 46º - 47º - 48º - 49º - 50º - 51º - 52º - 53º - 54º - 55º - 56º - 57º - 58º - 59º - 60º - 61º - 62º - 63º - 64º - 65º.

A montagem da luminária para a fotometria deve corresponder à montagem em suporte horizontal ou vertical, de acordo com o tipo da luminária. Adicionalmente, no caso de luminárias com regulagem de ângulo elevação (Tilt), a fotometria deve ser feita na regulagem de ângulo indicada pelo fabricante, que constará obrigatoriamente no relatório de ensaio e etiqueta do produto como “Ângulo elevação (Tilt) = ”.

1.2. Parâmetros da APV:

- Altura de montagem = 7,00m;
- Limite Longitudinal Esquerdo: = -12m;
- Limite Longitudinal Direito: = 12m;
- Largura Transversal = 7,0m;
- Limite comprimento do afastamento (Braço) = 1,5m
- Área total = 168m²

Nesta área padrão virtual a luminária ficaria suspensa a 7m de altura.

ISSN 1679-8902

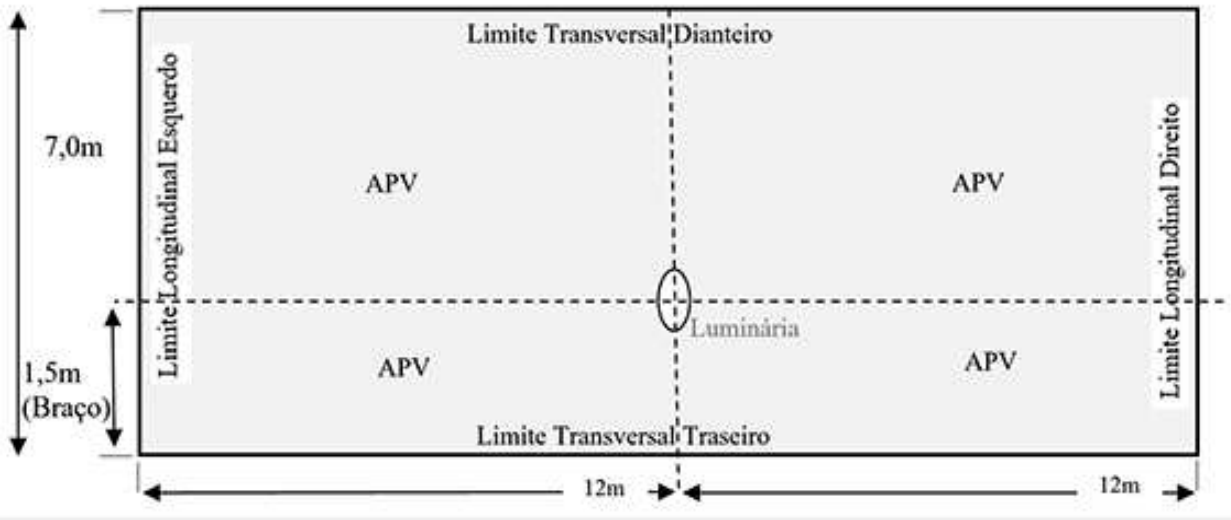

Figura 04 – Representação da Área Padrão Virtual. Vista superior

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O Fabricante pode requerer utilização de Braço com dimensão inferior a 1,5m, até nulo, que constará obrigatoriamente no relatório de ensaio e etiqueta do produto como “Afastamento máximo (Braço) = ”.

2. Calculo da Eficácia luminosa

2.1. Calculos de Iluminância:

2.1.1. Para esta medição de eficácia luminosa, descarta-se os pontos que incidam fora do Área Padrão Virtual. Dos pontos incidentes na APV calcula-se a iluminância (lux) de cada ponto, para tal, basta dividir o valor obtido de intensidade (cd) pelo quadrado da distância entre a luminária e o ponto de incidência. O valor obtido deve ser corijido, dividindo-se o resultado pelo coseno do ângulo vertical em questão (ɣ). Assim:

Iluminância (lx) = (Intensidade*cos ɣ)/distancia²

2.1.2. Com os valores de iluminância desta grade de pontos incidentes na APV calcula-se a média aritimética de todos os pontos, denominada média inicial (Imed-ini). Deve-se gerar uma planilha com estes pontos;

Imed-ini (lx)=Σ Iluminancia APV / Quantidade de pontos APV

2.1.3. Toma-se o valor minimo de iluminância.

ISSN 1679-8902

2.1.4. Calcula-se o máximo valor admitido de iluminância (Imax), este valor deverá ser 3 vezes o valor da média inicial (Imed-ini).

2.2. Calcula-se a média final:

A. Em toda a grade (planilha) se algum ponto superar Imax, seu valor deverá ser limitado a este, portanto o valor da celula será substituido por Imax.

B. A partir desta nova planilha, com valores máximos limitados a Imax, uma nova média aritmética (Imed2) é calculada.

C. O Valor mínimo obtido em lux (Imin) não pode ser inferior a 20% de Imed2. Caso Imin seja inferior a 20%, Imed2 deve ser reduzida proporcionalmente para que esta relação seja satisfeita, gerando portanto a média final (Imed-Final).

Experimentalmente observa-se que luminárias com bons projetos óticos obtêm valores acima de 300mlux/Watt, enquanto as que não tem a correta atenção a este item do projeto obtêm valores abaixo de 150mlux/Watt.

O valor obtido no resultado final do calculo acima (Imed-Final) é o Fator de Mérito da Luminária, que leva em conta a verdadeira capacidade do conjunto ótico cumprir sua verdadeira função, qual seja, iluminar as vias públicas, ou seja a Eficácia da luminária.

Este fator de mérito tem que ser levado em conta pelos administradores que definem a compra dos itens para iluminação pública como a verdadeira maneira de diminuir o consumo de energia elétrica.

Dispensar esta avaliação transformar uma ação louvável em uma realidade contrária aos objetivos.

Considerações Finais

Há diversas formas de comparar as fontes de luz que podem variar em custo, sustentabilidade, a vida útil da lâmpada, entre outros. Sendo mais amplamente utilizado o critério quanto a eficiência Lúmen/Watt ou Lux/Watt, que significa a quantidade de luz por unidade de potência, servindo de

ISSN 1679-8902

norteador para novos projetos e reformulação da iluminação pública. Entretanto, é necessário aplicar o método de padronização de medição da eficácia obtida a partir do conjunto lâmpada e luminária.

A escolha do LED é a fonte de luz mais acertada que deverá contar com a melhor luminária para distribuir a luz de acordo com as solicitações de projeto e normas com o objetivo de trazer uma melhor iluminação para a sociedade, com mais segurança, menos pontos que atrapalhem a visão de quem está dentro do automóvel ou eliminar esses pontos que possam auxiliar a utilização de materiais ilícitos.

Pode-se chegar à conclusão que uma luminária com melhor projeto ótico poderá ser levemente mais cara, porém com a otimização energética, o município brevemente estará economizando em energia elétrica, manutenção e contribuindo com a sustentabilidade local.

Referências Bibliográficas

APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico.** São Paulo: Atlas, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101: Iluminação pública.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANAEEL). Disponível em: http://www.aneel.gov.br/. Acesso em: 04 ago. 2016.

BARROS, A. J. S. e LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica.** 2 Ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BRABER, W. "**LED working principles, electric, thermal and optical characteristics",** apresentado no LED4Europe Event 2007, Brussels, Belgium, 2007.

BRASIL. (2010) Lei nº 12.305/10 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em: 10 dez. 2016.

DOS SANTOS, T.S.; BATISTA, M.C.; POZZA, S.A.; ROSSI, L.S**.; Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais**. Engenharia Sanitaria e Ambiental. Volume 20, Issue 4. Limeira, otu. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA-INMETRO, **Portaria n.º 20**, de 15 de fevereiro de 2017

ISSN 1679-8902

LABORATÓRIO DE ILUMINAÇÃO. **LED - o que é, e como funciona. 2012.** Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/led/dica36.htm>. Acesso em: 26 Janeiro 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA-MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética** - Versão Consulta Pública. Brasília, 2010.

MANUAL DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA. **COPEL DISTRIBUIÇÃO – Companhia Paranaense de Energia**. Paraná, 2012.

ORTH, K. **"Cities realize the advantages of LEDs",** LEDs Magazine Technology and applications of light emitting diodes. Jun. 2008.

OWEN, B. **"Ready, Set, Glow! Let the L Prize Competition Begin.",** LEDS Magazine Technology and applications of light emitting diodes. Ago. 2008.

PROCEL RELUZ. Eletrobrás. **Iluminação Pública no Brasil.** Disponível em: http://www.eletrobras.com/elb/main.asp?TeamID={EB94AEA0-B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57}. Acesso em: 14 out. 2016.

SANTOS, Talía Simões dos et al . **Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 20, n. 4, p. 595-602, Dec. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000400595&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 jan. 2017.

CORREIA, W. F.; FERREIRA, V. H.; FIGUEIREDO, V. N.; FORTES, M. Z.; OLIVEIRA, L. B.; PACHECO, O. L.C.; VILACA, N.M.C.A.A.; **Smart City – Caso Da Implantação Em Búzios**. Revista SODEBRAS –Volume 9 – N° 98. Rio de Janeiro, fev. 2014

Breve Currículo dos autores:

CARVALHO, Fernanda Souza

Mestranda na Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (Tecnologia/Ciência dos Materiais). Graduação em Engenharia Civil pela Faculdade Anhanguera de Jundiaí (2004).

TREVISAN, Simone Martins

Formada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Paulista (UNIP) em 2004. Especialista em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela Uninter em 2015. Cursando Pós-graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade como aluna especial da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

sicatrevisan@gmail.com

ISSN 1679-8902