

Estudo sobre a viabilidade econômica e impactos urbanos no uso de lâmpadas LED (diodo emissor de luz) na iluminação pública da cidade de Curitiba

Study on the economic viability and urban impacts on the use of LED (light emitting diode) lamps in the public lighting in the city of Curitiba

*Andre Lezan Fernandes¹
Vanessa Ishikawa Rasoto²*

Resumo

Neste artigo apresentaremos um estudo sobre a viabilidade econômica da substituição das lâmpadas de vapor de sódio com equivalentes de LED na cidade de Curitiba-PR, Brasil. Foi utilizado para este estudo uma comparação entre os custos de cada solução e bem como a aplicação de indicadores TIR (taxa interna de retorno) e VPL (valor presente líquido) no projeto; ademais, este estudo apresenta os principais pontos que fazem da tecnologia LED um elemento de melhoria urbana e preservação ambiental; de maior eficiência energética e ao mesmo tempo capaz de gerar luz com menor poluição visual, a tecnologia LED tem uma série de vantagens sobre os outros tipos de mecanismos utilizados na iluminação das ruas de Curitiba na atualidade. Seu valor mais alto por unidade sobre as lâmpadas convencionais pode levar a uma ideia que a sua implementação não é financeiramente viável, no entanto, este estudo provou o contrário, é financeiramente viável implementar a tecnologia LED na substituição das lâmpadas de vapor de sódio na cidade de Curitiba.

Palavras-chave: Iluminação Pública. LED (Diodo Emissor de Luz). Curitiba.

Abstract

In this paper, we present a study on the economic feasibility of replacing the current sodium vapor lamps with LED equivalents in the city of Curitiba, Brasil. It was used for this study a comparison between the costs of each solution and the application of economic indicators IRR (internal rate of return) and NPV (net present value) in the project; additionally, this study presents the main points that make the LED technology an element of urban improvement and environmental preservation. More energy efficient and in the same time able to promote light with less visual pollution, the LED technology has a number of advantages over other types of mechanisms used in the street lighting of Curitiba nowadays. Its highest value per unit over the conventional bulbs may lead to an idea that its implementation is not financially viable, however this study proved the opposite, it is financial viable to implement the LED technology to replace vapor lamps of sodium in the city of Curitiba

Keywords: Public Lighting. LED (Light Emitting Diode). Curitiba.

¹ Mestrando em Planejamento e Governança Pública pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Bacharel em Administração pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *E-mail*: fernandes@alunos.utfpr.edu.br

² Doutora em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina. Docente do programa de Mestrado Profissional em Planejamento e Governança Pública da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *E-mail*: vrasoto@gmail.com

A busca constante por uma maior eficiência, bom uso dos recursos públicos e aumento do bem-estar nas cidades brasileiras tem sido amplamente estudada nos mais diversos níveis da administração do Estado brasileiro; o uso eficiente da energia elétrica também tem seu destaque nessa discussão. Busca-se, indo ao encontro com uma tendência observada a nível global, alcançar uma economia cada vez maior no gasto energético de equipamentos e sistemas que se utilizam de energia elétrica para o seu funcionamento, dentre os quais os aparatos de iluminação pública.

A iluminação pública representa, nos centros urbanos brasileiros, uma grande despesa para as administrações municipais; uma despesa que ao mesmo tempo é um elemento fundamental para o funcionamento das cidades, pois é fonte de segurança pública e bem-estar social. Sendo assim, a iluminação pública tende a constantemente crescer e ser ainda mais demandada pela população. O custeio desse sistema advém da COSIP (Contribuição para Custeio da Iluminação Pública), a qual foi promulgada pela Lei Complementar n. 63, de 11 de dezembro de 2007.

Não apenas a questão econômica, mas também a questão urbana é foco da discussão sobre a iluminação pública neste trabalho; A boa iluminação pública, como é de senso comum, contribui para que os espaços urbanos das cidades se tornem utilizáveis e transitáveis no período noturno, bem como dificultam ações criminosas nesse mesmo período. Não obstante a questão prática, outros aspectos relacionados ao embelezamento urbano e de construções notáveis, bem como conforto físico dos cidadãos também ganham destaque nos estudos sobre a iluminação pública.

O presente artigo tem como proposta realizar um estudo de viabilidade econômica, por meio de indicadores de resultados econômicos,

A tecnologia LED representa a mais nova tendência do setor de iluminação para construções ecologicamente corretas, com a finalidade de diminuir os gastos com energia elétrica e preservar o meio ambiente

sendo eles o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), na substituição das lâmpadas de vapor de sódio por lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*), diodo emissor de luz, na cidade de Curitiba, bem como debater os impactos urbanos e possibilidades que o uso de iluminação de maior eficiência podem trazer para a cidade de Curitiba, e a sua correlação com os princípios norteadores do Plano Diretor de Iluminação Pública (2011) da cidade.

A tecnologia LED, de acordo com Sousa et al. (2012), representa a mais nova tendência do setor de iluminação para construções ecologicamente corretas com a finalidade de diminuir os gastos com energia elétrica e preservar o meio ambiente.

Isso ocorre devido ao fato de as lâmpadas LED utilizarem uma potência menor de energia elétrica para gerar a mesma quantidade de luminosidade que outros tipos de lâmpada disponíveis no mercado. Castro et al. (2011) acrescentam ainda que os LEDs proporcionam também um baixo custo de manutenção e substituição, pois a vida média da lâmpada chega a 12 anos, com uma utilização média de 11 a 12 horas por dia – valor que supera significativamente a duração de

outros tipos de lâmpadas, tal como as incandescentes com vida útil aproximada de 2000 horas, as lâmpadas de sódio com vida útil aproximada de 18000 horas, as lâmpadas de mercúrio também com vida útil aproximada de 18000 horas e as fluorescentes com vida útil de aproximadamente 20000 horas (GIANELLI et al., 2009).

Segundo Gianelli et al. (2009), a tecnologia LED teve início nos anos 1960 com seu primeiro uso para emissão de luz visível em 1962. A partir de 1970 essa tecnologia passou a ser comercialmente viável e os primeiros LEDs de alta luminosidade surgiram em 1980 para a partir daí serem amplamente utilizados nas mais diversas aplicações. Os componentes básicos da lâmpada LED, ainda de acordo com Gianelli et al. (2009), são: a lente plástica protetora, o eletrodo com o fio de ouro e a conexão, juntamente com o dissipador de calor, o silicone de proteção e o chip LED propriamente dito.

Não obstante as vantagens de durabilidade e economia de energia, as lâmpadas LEDs representam ainda a “promessa verde” dentre as tecnologias que demandam baixa poluição e alta eficiência energética. Suas vantagens de menor consumo e maior durabilidade, comparadas a outras tecnologias, representam um menor impacto ambiental em seu uso, diminuindo a demanda por energia elétrica e conseqüentemente a necessidade de se ampliar os sistemas de produção de energia elétrica, dos quais, em sua maioria, causam algum tipo de dano ambiental em sua construção e ou operação.

Tendo em vista a sua alta eficiência energética e durabilidade, bem como os benefícios que o seu uso pode trazer para a preservação ambiental, é que se traz à tona no presente trabalho com o estudo da viabilidade econômica para se fazer o uso de lâmpadas LEDs na cidade de Curitiba, cidade amplamente conhecida por seu viés de “Cidade

Ecológica” e atenção a questões ecológicas e de sustentabilidade. O constante crescimento da cidade, bem como das cidades contemporâneas de maneira geral, aumentará a demanda por iluminação, sendo necessário se pensar no desenvolvimento sustentável, que, para Myszcuk (2016), diz respeito ao termo consolidado no Rio+10 de 2002, definido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer suas necessidades.

Essa preocupação da cidade de Curitiba com a questão de uma melhor iluminação pública é expressa no seu plano diretor de iluminação. O *Plano diretor de iluminação pública de Curitiba* (CURITIBA, 2011) traz em seu conteúdo um apanhado geral sobre a questão da iluminação pública na cidade de Curitiba, o seu histórico, inserção no plano de governo, conceitos relativos aos tipos de cores utilizadas – inclui-se a percepção das cores e o nível de temperatura que elas devem

Suas vantagens de menor consumo e maior durabilidade, comparadas a outras tecnologias, representam um menor impacto ambiental em seu uso

ter para serem confortáveis ao ser humano, bem como a eficiência energética de diferentes tipos de projetores de luz de diferentes alturas cada qual para uma utilização específica. O plano ainda apresenta soluções de iluminação pública que devem ser utilizados para os diversos eixos e áreas da cidade, onde, em linhas gerais, nota-se uma preocupação em fornecer maior luminosidade para os eixos integradores e monumentos públicos e menor luminosidade para vias secundárias e bairros residenciais. Não é citado, no entanto, o uso de lâmpadas de LED em substituição às lâmpadas de menor eficiência energética; percebe-se então, novamente, a necessidade de estudos relacionados ao tema que tenham aplicação na cidade de Curitiba, podendo servir de modelo para estudos em outras cidades similares.

Não obstante as características técnicas, o plano diretor ainda traz à tona o fato de a iluminação ser também um importante elemento urbanístico na cidade, podendo promover maior segurança pública, bem como destacar elementos de embelezamento e monumentos da cidade. Essa percepção de iluminação pública como elemento integrante do embelezamento e urbanismo da cidade é corroborada por Kimber et al. (2013), que afirmam em seu manual de iluminação LED para pequenas comunidades (*LED street lighting: a handbook for small communities*) que a iluminação por meio de lâmpadas LEDs apresenta maior uniformidade, visto que a iluminação é distribuída de forma mais homogênea e direcionada, bem como apresenta um espectro luminoso mais branco, facilitando a visão e diferenciação de cores pelo olho humano a noite.

A importância da iluminação pública e o seu uso teve o primeiro registro aproximadamente no século X, na Espanha, quando a cidade de Córdoba, capital do então império Mouro, onde instalou-se um sistema de iluminação nas principais vias da

cidade. Desde então muitas mudanças e evoluções foram ocorrendo com os sistemas de iluminação pública, utilizando como combustível óleos animais, gás e finalmente a partir do final do século XIX a energia elétrica como fonte geradora.

Outro fato destacado pelo manual de Kimber, A. et al. (2013) é o da poluição luminosa, que pode causar malefícios a saúde humana, porém, os projetores LED acabam sendo mais fáceis de serem ajustados de forma a não gerarem poluição visual. O desconforto causado pela iluminação pública convencional em edificações com janelas em baixa altura pode ser reduzido com o uso do LED, pois esse pode ser direcionado para iluminar apenas áreas abaixo da luminária, não ocorrendo a fuga de luminosidade para direções diversas atingindo áreas que não são de interesse que se receba iluminação.

A cidade de Nova Iorque nos Estados Unidos iniciou em 1999 um processo de atualização de suas lâmpadas de vapor de sódio por modelo mais eficientes, e de 2001 até 2009 converteu suas lâmpadas incandescentes da sinalização de trânsito por lâmpadas de LED, conseguindo uma redução do uso de energia de aproximadamente 80%. Atualmente a cidade continua a implementar novos projetos, visando aumentar a utilização de lâmpadas LEDs de alta eficiência energética em seus limites. O exemplo da cidade de Nova Iorque demonstra um interesse global em se buscar soluções de iluminação pública mais eficientes e adequadas para o uso em espaços de alta densidade populacional tal como os centros urbanos.

Como questão de pesquisa, buscou-se estudar a viabilidade econômica da substituição das atuais lâmpadas de vapor de sódio utilizadas na iluminação pública da cidade de Curitiba por suas equivalentes em LED, bem como novas alternativas para a iluminação pública e sua relação com as cidades de maneira geral. Nessa área do conhecimento há estudos que ligam ainda a melhoria da iluminação

pública com a redução da incidência de crimes e delitos. Os horizontes e possibilidades que o estudo sobre a iluminação pública oferece ao pesquisador é diverso, este trabalho limitou-se a traçar uma breve apresentação das possibilidades que a iluminação por meio de LEDs pode trazer, do ponto de vista econômico, ecológico e urbanístico para as cidades, em especial a cidade de Curitiba. Nas sessões seguintes é apresentado o estudo sobre a viabilidade econômica da implementação de tal tecnologia no sistema de iluminação pública da cidade de Curitiba.

1 Material e métodos

A fim de realizar o estudo da viabilidade econômica, realizou-se os cálculos de viabilidade econômica por meio dos indicadores de TIR (taxa interna de retorno) e VPL (valor presente líquido), comparando as lâmpadas de vapor de sódio em suas diferentes potências e suas equivalentes em LEDs em termos de capacidade de emissão de luz (Lúmen). Optou-se por não se realizar nenhuma análise financeira que considerasse a desvalorização das lâmpadas no tempo em razão de estas não terem valor de revenda para o ente público, sendo normalmente utilizadas até o fim de suas vidas úteis e posteriormente descartadas sem nenhum tipo de retorno financeiro.

A VPL, segundo Noronha (1987), tem como finalidade trazer para o presente o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento medindo o valor presente dos fluxos de caixa presente em um projeto ao longo de sua existência. A expressão matemática que representa a VPL está expressa a seguir.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

A TIR não tem como função avaliar a rentabilidade absoluta a certa taxa mínima de rentabilidade, mas sim encontrar a taxa intrínseca de rendimento

Nessa equação matemática o VPL representa o valor presente líquido, o FC o fluxo de caixa no período t ; o t é o n ésimo período de tempo que o dinheiro será investido; n é o número de período t ; e, i é o custo do capital ou taxa de atratividade. Se o VPL resultante for maior que zero, tem-se que o projeto é economicamente viável.

A TIR, taxa interna de retorno, é a taxa de retorno que o investimento proporcionará sobre o capital investido. A TIR não tem como função avaliar a rentabilidade absoluta a certa taxa mínima de rentabilidade, mas sim encontrar a taxa intrínseca de rendimento, onde não há ganho nem perda. Sua fórmula é demonstrada a seguir.

$$VPL = 0 = \text{Investimento Inicial} + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t}$$

Tem-se então que a TIR anula o VPL do fluxo de caixa do projeto, ela traz para o presente o valor dos lucros futuros equivalentes aos gastos no projeto. A regra para a tomada de decisão baseando-se na TIR é de que se a ela exceder o custo de oportunidade do capital o projeto é economicamente viável.

A coleta de dados do presente trabalho se deu por meio de pesquisas em periódicos especializados e em *sites* de empresas que vendem e fabricam os produtos analisados. Na fase de processamento, os dados foram digitados em planilha eletrônica Microsoft Excel® e, depois de compilados, realizaram-se os cálculos necessários para alcançar os objetivos propostos. A análise e a interpretação dos dados foram baseadas a partir dos resultados obtidos nos cálculos realizados e na bibliografia utilizada como base para o presente documento.

Para uma melhor compreensão dos cálculos realizados no presente trabalho, foi apresentada na TAB. 1 a lógica e o fluxo utilizados no exemplo do cenário da TAB. 3. Em todos os cenários desde trabalho utilizou-se da mesma lógica, sendo alterados apenas os valores das variáveis utilizadas.

TABELA 1 – Exemplo da lógica e fluxo utilizado para a realização dos cálculos

Exemplo da lógica utilizada para a realização dos cálculos			
Ano	Economia anual	Custo implementação	Comentários
1	R\$ 266.910,45	-R\$ 2.088.560,00	(valor de implementação do LED)
2	R\$ 266.910,45		* Economia anual somado à substituição das lâmpadas de sódio devido ao fim da vida útil [quantidade substituída x valor und] **Substituição multiplicada pelo residual de vida útil de 0,72 ano
3	R\$ 266.910,45		
4	R\$1.572.260,45*		
5	R\$ 266.910,45		
6	R\$ 266.910,45		
7	R\$ 266.910,45		
8	R\$ 1.572.260,45*		
9	R\$ 266.910,45		
10	R\$ 266.910,45		
11	R\$ 1.206.762,44**		
Taxa mínima de atratividade anual			
VPL			R\$ 2.898.059,48
TIR			29%

FONTE: Os autores (2017)

2 Resultados e discussão

A cidade de Curitiba, segundo dados do *Plano diretor de iluminação* (CURITIBA, 2011), tem em seus limites 140.588 luminárias, compostas em sua maioria por lâmpadas de vapor de sódio, as quais totalizam 131.197 unidades, sendo elas divididas em aproximadamente 52.214 lâmpadas de 70 watts, 30.050 de 100 watts, 12.137 de 150 watts, 20.608 de 250 watts e 16.188 de 400 watts, representando um gasto mensal aproximado de R\$ 1.531.954,00, algo próximo a R\$ 18,4 milhões gastos anualmente na operação do sistema.

Baseando-se nessas informações, buscaram-se os equivalentes de LEDs para as lâmpadas de vapor de sódio utilizadas atualmente pela cidade de Curitiba, bem como o seu custo médio unitário. Para tal média do valor unitário de cada lâmpada, selecionou-se o valor unitário encontrado em três fornecedores distintos para cada uma das potências de lâmpadas e com isso fez-se uma média simples, obtendo assim um valor médio. Tais valores podem sofrer alterações devido à escassez de fornecedores para algumas potências de lâmpadas e a não consideração da redução que uma compra em escala maior teria sobre o valor unitário de cada lâmpada. A TAB. 2 apresenta a equivalência das lâmpadas, bem como o valor médio de cada uma.

Destaca-se, porém, que foi pesquisado o preço da lâmpada apenas, o estudo leva em consideração a utilização dos mesmos bocais e postes já utilizados atualmente com as lâmpadas de vapor de sódio.

TABELA 2 – Equivalente média em watts e preço médio de lâmpadas de vapor de sódio e LEDs
continua

Vapor de sódio (Potên. em Watts)	Preço médio	Equivalente em LED (Potência em Watts)	Preço médio	Quant.
70 watts	R\$ 30,00	30 watts	R\$ 40,00	52214
100 watts	R\$ 26,00	50 watts	R\$ 70,00	30050

TABELA 2 – Equivalente média em watts e preço médio de lâmpadas de vapor de sódio e LEDs
conclusão

Vapor de sódio (Potên. em Watts)	Preço médio	Equivalente em LED (Potência em Watts)	Preço médio	Quant.
150 watts	R\$ 25,00	80 watts	R\$ 90	12137
250 watts	R\$ 30,00	100 watts	R\$ 100	20608
400 watts	R\$ 45,00	150 watts	R\$ 180	16188

FONTE: Os autores (2017) a partir de GE Lightning (2015)

Os dados de equivalência entre a luminosidade emitida por lâmpadas de vapor de sódio e LED foram obtidos por meio de pesquisas em fornecedores e fabricantes de lâmpadas LEDs, os quais disponibilizam tabelas e materiais publicitários divulgando a equivalência de suas lâmpadas LED com outros modelos de lâmpadas. É possível observar algumas pequenas divergências em tais materiais. Sendo assim, para fins do presente estudo, optou-se por utilizar uma média simples dos valores de equivalência encontrados.

A seguir são apresentadas as tabelas contendo a relação de custos, bem como o resultado dos cálculos de TIR e VPL para cada um dos cenários de substituição das lâmpadas de vapor de sódio por suas equivalentes em LED.

TABELA 3 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 70W por LED 30W
continua

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 70w e LED 30W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Potência	Watts	70	30
Quantidade	Unidades	52214	52214
Custo	Real (R\$)	25	40
Vida média	Horas	18000	50000
Consumo mensal (h*dia)	Horas x Dia	360	360
Custo	R\$/(KW/h)	0,35499	0,35499
Consumo de energia por hora	KW/h	0,07	0,03
Custo energia por hora	Real (R\$)	0,0248493	0,0106497

TABELA 3 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 70W por LED 30W
conclusão

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 70w e LED 30W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Consumo energia mensal	KW/h	25,2	10,8
Custo energia mensal	Real (R\$)	8,945748	3,833892
Custo energia final	Real (R\$)	R\$ 467.093,29	R\$200.182,84
Custo implementação		Já existente	R\$ 2.088.560,00
Economia anual			R\$266.910,45
Duração aproximada em anos do produto		4,2	11,6
Economia total com eletricidade no período da vida útil		-	R\$ 3.089.241,31
Número de substituições de vapor de sódio em relação a LED		2,78	-
Custo substituição (quantidade de substituições x custo unitário x valor unitário)		R\$ 3.625.972,22	
Custo total de energia ao longo da vida útil da Lâmpada LED		R\$ 5.406.172,29	R\$ 2.316.930,98
Custo total do sistema ao longo da vida útil da Lâmpada LED (Gasto energia + Substituição + implementação)		R\$ 9.032.144,51	R\$ 4.405.490,98
TIR do Projeto de substituição			29%
VPL do Projeto considerando taxa de atratividade de 10%			R\$ 2.898.059,48

FONTE: Os autores (2017)

Com a segunda TIR mais alta entre os cenários estudados e um VPL de 2.898.959,48, mostra-se viável do ponto de vista econômico a substituição das lâmpadas de vapor de sódio de 70W por seu equivalente em LED de 30W na cidade de Curitiba, Brasil.

TABELA 4 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 100W por LED 50W continua

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 100w e LED 50W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Potência	Watts	100	50
Quantidade	Unidades	30050	30050
Custo	Real (R\$)	26	70
Vida média	Horas	18000	50000
Consumo mensal (h*dia)	Horas x Dia	360	360
Custo	R\$/kW/h	0,35499	0,35499
Consumo de energia por hora	KW/h	0,1	0,05
Custo energia por hora	Real (R\$)	0,035499	0,0177495
Consumo energia mensal	KW/h	36	18
Custo energia mensal	Real (R\$)	12,77964	6,38982
Custo energia final	Real (R\$)	R\$ 384.028,18	R\$ 192.014,09
Custo implementação	Und x custo	Já existente	R\$ 2.103.500,00
Economia anual (Valor gasto anualmente com vapor de sódio - valor gasto anualmente LED)	R\$		R\$ 192.014,09
Duração aproximada em anos do produto (Vida útil em horas/ (uso mensal em horas)*12)		4,2	11,6

TABELA 4 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 100W por LED 50W conclusão

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 100w e LED 50W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Economia total com eletricidade no período da vida útil			- R\$ 2.222.385,31
Numero de substituições de vapor de sódio em relação a LED		2,78	-
Custo substituição (quantidade de substituições x custo unitário x valor unitário)		R\$ 2.170.277,78	
Custo total de energia ao longo da vida útil da Lâmpada LED		R\$ 4.444.770,63	R\$ 2.222.385,31
Custo total do sistema ao longo da vida útil da Lâmpada LED (Gasto energia + Substituição + implementação)		R\$ 6.615.048,40	R\$ 4.325.885,31
TIR do Projeto de substituição			15%
VLP do Projeto considerando taxa de atratividade de 10%			R\$ 1.672.189,37

FONTE: Os autores (2017)

Nota-se no estudo da substituição das lâmpadas de 100W por modelos de LED de 50W, bem como uma TIR de 15% e um VPL de 1.672.189,37 – o que se traduz na viabilidade econômica da substituição de tal modelo de lâmpada por seu equivalente em LED.

TABELA 5 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 150W por LED 80W continua

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 150w e LED 80W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Potência	Watts	150	80
Quantidade	Unidades	12137	12137
Custo	Real (R\$)	16	90
Vida média	Horas	18000	50000
Consumo mensal (h*dia)	Horas x Dia	360	360
Custo	R\$/ (KW/h)	0,35499	0,35499
Consumo de energia por hora	KW/h	0,15	0,08
Custo energia por hora	Real (R\$)	0,0532485	0,0283992
Consumo energia mensal	KW/h	54	28,8
Custo energia mensal	Real (R\$)	19,16946	10,223712
Custo energia final	Real (R\$)	R\$ 232.659,74	R\$ 124.085,19
Custo implementação		Já existente	R\$ 1.092.330,00
Economia anual			R\$ 108.574,54
Duração aproximada em anos do produto		4,2	11,6
Economia total com eletricidade no período da vida útil		-	R\$ 1.256.649,81
Número de substituições de vapor de sódio em relação a LED		2,78	-

TABELA 5 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 150W por LED 80W conclusão

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 150w e LED 80W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Custo substituição (quantidade de substituições x custo unitário x valor unitário)		R\$ 539.422,22	
Custo total de energia ao longo da vida útil da Lâmpada LED		R\$ 2.692.821,02	R\$ 1.436.171,21
Custo total do sistema ao longo da vida útil da Lâmpada LED (Gasto energia + Substituição + implementação)		R\$ 3.232.243,24	R\$ 2.528.501,21
TIR do Projeto de substituição			10%
VLP do Projeto considerando taxa de atratividade de 10%			R\$ 629.381,47

FONTE: Os autores (2017)

A substituição das lâmpadas de 150W por modelos em LED de 80W foi a que apresentou o menor VPL e a menor TIR entre as possibilidades estudadas, isso pode ter ocorrido devido ao menor número de lâmpadas de vapor de sódio utilizadas com tal potência. Ressalta-se, porém, que apesar de menor em relação aos outros cenários, a substituição das lâmpadas de vapor de sódio de 150W por equivalentes em LED de 80W mostrou-se economicamente viável.

TABELA 6 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 250W por LED 100 continua

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 250w e LED 100W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Potência	Watts	250	100
Quantidade	Unidades	20608	20608
Custo	Real (R\$)	30	89
Vida média	Horas	18000	50000
Consumo mensal (h*dia)	Horas x Dia	360	360
Custo	R\$/ (KW/h)	0,35499	0,35499
Consumo de energia por hora	KW/h	0,25	0,1
Custo energia por hora	Real (R\$)	0,0887475	0,035499
Consumo energia mensal	KW/h	90	36
Custo energia mensal	Real (R\$)	31,9491	12,77964
Custo energia final	Real (R\$)	R\$ 658.407,05	R\$ 263.362,82
Custo implementação		Já existente	R\$1834.112,00
Economia anual			R\$ 395.044,23
Duração aproximada em anos do produto		4,2	11,6
Economia total com eletricidade no período da vida útil		-	R\$4572.271,20
Número de substituições de vapor de sódio em relação a LED		2,78	-
Custo substituição (quantidade de substituições x custo unitário x valor unitário)		R\$ 1.717.333,33	
Custo total de energia ao longo da vida útil da Lâmpada LED		R\$ 7.620.452,00	R\$ 3.048.180,80

TABELA 6 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 250W por LED 100 conclusão

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 250w e LED 100W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Custo total do sistema ao longo da vida útil da Lâmpada LED (Gasto energia + Substituição + implementação)		R\$ 9.337.785,33	R\$ 4.882.292,80
TIR do Projeto de substituição		39%	
VLP do Projeto considerando taxa de atratividade de 10%		R\$ 2.845.960,98	

FONTE: Os autores (2017)

Para a substituição das lâmpadas de 250W por modelos de LED de 100W observa-se uma TIR de 39% e um VPL de 2.845.960,98, demonstrando assim a viabilidade econômica da substituição de tal modelo de lâmpada por seu equivalente em LED.

TABELA 7 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 400W por LED 150W continua

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 400w e LED 150W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Potência	Watts	400	150
Quantidade	Unidades	16188	16188
Custo	Real (R\$)	45	180
Vida média	Horas	18000	50000
Consumo mensal (h*dia)	Horas x Dia	360	360
Custo	R\$/ (KW/h)	0,35499	0,35499
Consumo de energia por hora	KW/h	0,4	0,15
Custo energia por hora	Real (R\$)	0,141996	0,0532485

TABELA 7 – Comparativo e viabilidade econômica substituição de vapor de sódio 400W por LED 150W conclusão

Comparativo Lâmpada Vapor de Sódio 400w e LED 150W			
Recursos	Unidades	Lâmpada Vapor de Sódio	Lâmpada LED
Consumo energia mensal	KW/h	144	54
Custo energia mensal	Real (R\$)	51,11856	19,16946
Custo energia final	Real (R\$)	R\$ 827.507,25	R\$ 310.315,22
Custo implementação		Já existente	R\$ 2.913.840,00
Economia anual			R\$ 517.192,03
Duração aproximada em anos do produto		4,2	11,6
Economia total com eletricidade no período da vida útil		-	R\$ 5.986.018,88
Numero de substituições de vapor de sódio em relação a LED		2,78	-
Custo substituição (quantidade de substituições x custo unitário x valor unitário)		R\$ 2.023.500,00	
Custo total de energia ao longo da vida útil da Lâmpada LED		R\$ 9.577.630,20	R\$ 3.591.611,33
Custo total do sistema ao longo da vida útil da Lâmpada LED (Gasto energia + Substituição + implementação)		R\$ 11.601.130,20	R\$ 6.505.451,33
TIR do Projeto de substituição			27%
VLP do Projeto considerando taxa de atratividade de 10%			R\$ 3.451.965,48

FONTE: Os autores (2017)

Quanto à análise total do projeto, temos que o VPL total do projeto ficou em R\$ 148.221,32 com uma TIR de 36%, mostrando assim que a realização dessa substituição das lâmpadas de vapor de sódio por equivalentes em LED, além de apresentar vantagens ecológicas e urbanísticas, é economicamente viável para a cidade de Curitiba.

Observa-se também que, nos cálculos representados nas tabelas anteriores, todos os cenários de substituição apresentaram um resultado positivo para troca das atuais lâmpadas de vapor de sódio por lâmpadas de LED. Salienta-se, porém, que não foram levados em consideração o valor de mão de obra para a substituição das lâmpadas de vapor de sódio e eventuais custos de adaptação ou troca dos atuais postes e elementos de iluminação pública que operam com as lâmpadas de vapor de sódio. Os valores de mercado considerados podem sofrer variações, tendo em vista alterações de câmbio e avanços nos processos produtivos, tecnológicos e barateamento de produção.

A taxa mínima de atratividade anual considerada para o cálculo da VPL foi de 10%, valor adotado pelos próprios autores e que corresponde a uma média encontrada atualmente em investimentos de baixo risco em instituições financeiras brasileiras. Os cálculos da VPL e TIR foram realizados por meio de planilha eletrônica de computador, sendo que a fins do presente trabalho não serão expostos o detalhamento dos cálculos realizados, mas sim apenas o resultado final obtido.

Conclusão

Conforme apresentado no presente trabalho, entende-se como viável a substituição das atuais lâmpadas de vapor de sódio por suas equivalentes em LED no sistema de iluminação pública na cidade de Curitiba. Não obstante as vantagens econômicas apresentadas por tal substituição, tem-se que a tecnologia LED representa um novo marco em eficiência energética para iluminação. A eficiência energética tem se mostrado como um dos objetivos mais desejados no início do século XXI, onde cada vez é maior o número de estudos apontando para um cenário caótico de escassez de recursos naturais devido à falta de controle do ser humano sobre a sua demanda de recursos naturais.

Se as vantagens econômicas e ecológicas não são já suficientes, temos que a iluminação LED pode fornecer uma maior qualidade na iluminação da cidade de Curitiba, proporcionando uma menor poluição visual, bem como uma iluminação mais adequada para o conforto humano e visibilidade noturna. Percebe-se, com os estudos realizados, a importância e a capacidade de promover alterações urbanas que a iluminação pública possui sobre as cidades, não sendo diferente o caso de Curitiba. Fazer o uso de uma iluminação mais eficiente e moderna pode ir ao encontro com as propostas e projetos que permeiam o plano diretor de iluminação da cidade, transformando espaços públicos que são evitados em períodos de pouca luminosidade em espaços utilizáveis e seguros no período noturno, promovendo assim uma melhoria na qualidade de vida da população que venha a fazer o uso de tais espaços no período noturno.

A tecnologia LED representa um novo marco em eficiência energética para iluminação. A eficiência energética tem se mostrado como um dos objetivos mais desejados no início do século XXI

Não sendo possível abarcar toda a literatura e ciência existentes sobre o tema aqui trabalhado, sugere-se estudos futuros sobre a iluminação urbana, a viabilidade econômica, bem como as potencialidades da iluminação LED no processo de reformulação do espaço urbano da cidade de Curitiba e em outras cidades similares.

Referências

CURITIBA. Lei complementar n. 63, de 11 de dezembro de 2007. ALTERA Dispositivos da lei complementar n. 46, de 26 de dezembro de 2002, que “institui no Município de Curitiba a contribuição para custeio da iluminação pública prevista no art. 149-A da Constituição da República”. **Diário Oficial do Município de Curitiba**, 11 dez. 2007. Disponível em: <<http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00083242.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2016.

CURITIBA. **Plano diretor de iluminação pública de Curitiba**: primeira fase. IPPUC; CITELUZ, 2011.

CASTRO, N. J. de et al. **Eficiência energética na iluminação pública e o plano nacional de eficiência energética**. Rio de Janeiro: GESEL, 2011. Disponível em: <<http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/tdse/TDSE42.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

GE LIGHTING. **Catálogo de produtos 2015**. São Paulo: General Electric Company, 2015. Disponível em: <http://www.gelighting.com/LightingWeb/br/images/catalogo-produtos-2015_tcm388-90024.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2016.

GIANELLI, B. F. et al. O emprego de tecnologia LED na iluminação pública: seus impactos na qualidade de energia e no meio ambiente. In: LATIN AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION – CLAGTEE, 8., 2009, Ubatuba. **Anais...** Ubatuba, 2009.

KIMBER, A. et al. **LED street lighting**: a handbook for small communities. Des Moines: IOWA Association of Municipal Utilities, 2013. Disponível em: <<http://archive.iamu.org/services/electric/efficiency/Street%20Lighting/StreetLightingHandbook.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

MYSZCZUK, A. P.; SOUZA, A. de. Brief considerations on the conflict between public environmental protection and economic development policies and their consequences for energy expansion in Brazil. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 305-335, maio/ago. 2016.

NORONHA, M. **Análise técnica**: teorias, ferramentas, estratégias. São Paulo: BM&F, 1987.

SOUSA, T. C.; FERRARI, L. de C. de B. Análise econômica da substituição de lâmpadas fluorescentes por tecnologia LED em uma empresa de manutenção de máquinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2012.

- Recebido em: setembro de 2016
- Aprovado em: junho de 2017