

Análise de Viabilidade Econômica de Diferentes Topologias de Lâmpadas para Aplicação em uma Concessionária de Veículos

Economic Viability Analysis of Different Light Bulb Topologies for Application in a Vehicle Dealership

Ubiratan de Oliveira Pereira, Estudante do curso de Engenharia Elétrica, UNIJUÍ.

bira.oper@gmail.com

Daniela Rodrigues Weller, Estudante do curso de Engenharia Civil, UNIJUÍ.

dani-weller@hotmail.com

Resumo

Este artigo apresenta a análise de diferentes topologias de lâmpadas, selecionando a partir de suas características a mais adequada ao sistema de iluminação de uma concessionária de veículos, localizada no município de Ijuí, Rio Grande do Sul. A partir do equacionamento do consumo, em Watts (W), e do custo referente, em reais (R\$), é realizado o estudo comparativo entre o tipo de lâmpada utilizada atualmente e as topologias propostas levando em conta a vida útil e o investimento, resultando no custo financeiro de longo prazo e no consumo energético mais eficiente. Atualmente, estão instaladas lâmpadas à vapor metálico, as quais possuem alto fluxo luminoso, característica que só foi encontrado igualmente em determinados modelos de lâmpadas à LED, que mostraram-se mais onerosas inicialmente, porém representaram menor despesa para a empresa no longo prazo, além de causar menor impacto ambiental, visto a maior eficiência energética e vida útil mais longa.

Palavras-chave: Sistema de Iluminação; Consumo; Economia.

Abstract

This paper presents the analysis of different topologies of light bulbs, selecting from their characteristics the most adequate to the lighting system of a vehicle dealership, located at Ijuí, Rio Grande do Sul. From the consumption equation in Watts (W), and the related cost, in reais (R\$), the comparative study is carried out between the light bulb type currently used and the proposed topologies, taking into account the lifetime and the investment, resulting in the long-term financial cost and the most efficient energy consumption. Currently, metal halide lights are installed, which have a high luminous flux, a characteristic that was only found in certain models of LED lights, which are more expensive initially, but represented a lower expenditure for the company in the

long term, in addition to causing less environmental impact, since has higher energy efficiency and longer lifetime.

Keywords: *Lighting System; Consumption; Economy.*

1. Introdução

Lâmpadas incandescentes foram utilizadas por várias décadas, principalmente na iluminação residencial. No entanto, estas possuem baixa eficiência energética, sendo a maior parte da energia elétrica consumida – cerca de 90% – convertida em calor, enquanto apenas de 5% a 9% é convertida em luz visível, tendo vida útil de 750 horas (h) (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2008). Em ambientes comerciais e grandes áreas, como estádios e ginásios, as lâmpadas de vapor de mercúrio e posteriormente de vapor metálico (ou multivapores metálicos) foi fortemente utilizada e ainda é uma opção escolhida, devido ao menor consumo de energia e menor geração de calor, se comparadas com a anterior.

Já as lâmpadas fluorescentes, que por certo período foram a principal alternativa de substituição das incandescentes nas residências e ambientes comerciais (predominância da lâmpada no formato tubular), apresentam eficiência relativa em torno de 32% e vida útil próxima a 8.000 horas (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2017), sendo consideradas mais econômicas em comparação com a incandescente, porém com o agravante ambiental por utilizar metais poluentes em sua composição, assim como as de vapor metálico.

No início da década de 1960 surgiram os diodos emissores de luz (LEDs), utilizados inicialmente como dispositivos de indicação do estado de ligado ou desligado de aparelhos eletroeletrônicos. O desenvolvimento de LEDs com potência e luminosidade maiores, tornou possível a sua utilização em lanternas, luzes de emergência e até semáforos (BULLOUGH, 2003). Através da constante evolução do semicondutor, atualmente lâmpadas à LED a venda no mercado tem vida útil de aproximadamente 25.000 horas ou mais – o LED em si chega a alcançar o dobro de vida útil, mas devido aos componentes utilizados pelos fabricantes no acionamento desses, este tempo é reduzido (CAMPONOGARA et al., 2012; FORTUNATO, 2013). Entretanto, a iluminação através deste tipo de lâmpada já se mostra acessível economicamente para variadas aplicações, e é apontada como a opção mais viável na substituição de fluorescentes (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2012).

Os sistemas de iluminação representam importante quantidade do consumo de energia elétrica gerada no mundo, apontada como 19% do total (CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2013 apud INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2006). Portanto, é crescente a necessidade de substituição de equipamentos eletroeletrônicos e sistemas de iluminação ineficientes energeticamente, a fim não só de diminuir o consumo do sistema elétrico, mas também de reduzir o custo econômico do usuário. É significativa a intenção de investimento em sistemas mais econômicos, seja de aparelhos, iluminação (analisando a eficiência de lâmpadas de acordo

com o uso, por exemplo), ou mesmo geração de energia elétrica no local de consumo, caso dos painéis fotovoltaicos.

Diante do exposto, este artigo apresenta o estudo de viabilidade econômica da instalação de 6 (seis) diferentes tipos de lâmpadas no sistema de iluminação de uma concessionária de veículos na cidade de Ijuí, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, levando em conta inclusive o tipo de lâmpada utilizado atualmente – vapor metálico – a fim de determinar a solução mais viável para a empresa. O trabalho está disposto da seguinte forma. A Seção 2 abrange as características das lâmpadas utilizadas atualmente no sistema. A Seção 3 apresenta as diferentes topologias sugeridas para substituição do modelo atual. A Seção 4 mostra a análise comparativa entre as propostas para obtenção da viabilidade econômica, e por fim, na Seção 5 são comentadas as conclusões.

2. Análise do Sistema de Iluminação Atual

A revendedora de veículos na qual foi realizada a análise do melhor tipo de lâmpada para o sistema de iluminação, localiza-se em Ijuí, no Rio Grande do Sul e foi escolhida exatamente por pretender trocar todas as lâmpadas de vapor metálico utilizadas atualmente. A edificação analisada possui 780 m² totais, dividida em duas partes: a área de exposição dos carros onde, juntamente, estão dispostas as mesas de vendedores e da área administrativa; e a mecânica de revisão.

A lâmpada de vapor metálico é encontrada em potências em torno de 10 W até 18.000 W. Ela foi um aperfeiçoamento da lâmpada à vapor de mercúrio sob alta pressão, com a adição de iodetos metálicos, os quais ao serem contidos no tubo de descarga permitem a fabricação de diferentes cores de lâmpadas, que podem ser utilizadas em diversas aplicações, tais como lojas e supermercados; indústrias; espaços com áreas grandes, caso de estádios e ginásios, ou mesmo monumentos; além de aplicação no setor automotivo (lâmpadas de xenônio) (DIAS, 2004).

No intuito de avaliar o consumo do sistema de iluminação da empresa, foram observadas, primeiramente, os atributos das lâmpadas atuais, sendo 26 unidades à vapor metálico de 250 W de potência e 20.000 lm de fluxo luminoso, cada uma. Ao analisar as características descritas pelo fabricante, foi realizada a estimativa do consumo das mesmas em Watts (W) e consequentemente o valor econômico, em reais (R\$), e o percentual que isso representa na fatura mensal de energia elétrica. O sistema de iluminação permanece em funcionamento por 9 horas diárias de segunda-feira a sábado, sendo desligado apenas aos domingos e nos feriados, já que não há pausas maiores, como férias coletivas, por exemplo.

A eficiência desta lâmpada é de 80 lm/W, valor obtido a partir da relação do fluxo luminoso emitido por ela, em lúmens, e a potência consumida, em Watts. Para a soma do consumo total do conjunto das 26 lâmpadas dentro do sistema de iluminação, foi considerado não só a potência destas, mas além disso, a potência consumida pelos reatores, necessários para limitar a corrente no tubo para o valor adequado, considerando os ignitores incorporados internamente, os quais tem a função de gerar um pulso de tensão visando a partida das lâmpadas (COMPANHIA ENERGÉTICA DE GOIÁS, 2006).

Portanto, as grandezas consideradas foram 250 W relativos à lâmpada e 26 W referentes ao reator. Todos os cálculos realizados para estimar o consumo do sistema foram baseados em cartilha da Agência Nacional de Energia Elétrica (2017), assim, a partir da equação (1) foi obtida a potência total para o conjunto de 7.176 W, e o consequente consumo diário de 64,58 kWh, obtido a partir da equação (2).

$$P_T = n \cdot (P_L + P_R) \quad (1)$$

Sendo:

P_T - Potência total (W); n - N° de lâmpadas; P_L - Potência da lâmpada (W); P_R - Potência do reator (W).

$$C_{Td} = \frac{P_T \cdot h}{1000} \quad (2)$$

Sendo:

C_{Td} - Consumo total por dia (kWh); P_T - Potência total (W); h - Número de horas utilizadas ao dia.

O custo do consumo do sistema de iluminação, foi avaliado a partir da potência total do conjunto e do valor da fatura de energia elétrica para a região abastecida pelo Departamento Municipal de Energia de Ijuí (DEMEI), autarquia de geração e distribuição de energia elétrica na área urbana do município. Nesta análise atentou-se para as bandeiras tarifárias atribuídas pela ANEEL no período, sendo este acréscimo subtraído do valor total em avaliação, ficando a tarifa fixada em R\$ 0,7208, já considerada a tributação.

A empresa consumiu mensalmente 8.595 kWh de energia elétrica, em média, considerando um ano completo de leituras realizadas pelo DEMEI – outubro de 2016 a outubro de 2017. O pico de consumo ficou em 11.072 kWh no mês de janeiro de 2017 e durante o mês de julho do mesmo ano observou-se o menor valor, de 6.310 kWh, portanto, maior utilização de energia elétrica no verão e menor no inverno.

Considerando o período dos 12 meses analisados para a média de consumo de energia, ocorreram 14 feriados em Ijuí – nacionais, estaduais e municipais – porém 3 destes aos domingos. Portanto, foi descontado dos 365 dias do ano, os 11 feriados em dias úteis mais 53 domingos, resultando em 301 dias em que o conjunto de lâmpadas esteve em funcionamento. Como o sistema de iluminação não é alterado pela mudança das estações (e da temperatura), o consumo do conjunto é considerado fixo e calculado a partir da equação (3), independentemente da variação do gasto de energia elétrica no verão e inverno.

$$C_{Ta} = C_{Td} \cdot d \quad (3)$$

Sendo:

C_{Ta} - Consumo total anual (kWh); C_{Td} - Consumo total por dia (kWh); d - Número de dias de uso ao ano.

Com o valor de C_{Th} , de 7,176 kWh, já calculado na equação (2), multiplicou-se este pelas 9 horas e pelos 301 dias de funcionamento, obtendo-se o valor de 19.439,78 kWh de consumo anual do sistema de iluminação. A partir disto, foi obtido o consumo mensal médio, conforme a equação (4) e o custo do consumo mensal médio, a partir da equação (5).

$$C_{Mm} = \frac{C_{Ta}}{12} \quad (4)$$

Sendo:

C_{Mm} - Consumo mensal médio (kWh); C_{Ta} - Consumo total anual (kWh).

$$C_{tMm} = C_{Mm} \cdot Tf \quad (5)$$

Sendo:

C_{tMm} - Custo do consumo mensal médio (R\$); C_{Mm} - Consumo mensal médio (kWh); Tf - Tarifa considerando impostos (R\$).

Dividindo o consumo total anual pelos 12 meses analisados, chegou-se ao consumo médio mensal do conjunto de iluminação, fixado em 1.619,98 kWh, o que representa uma participação de aproximadamente 18,85% da média de 8.595 kWh de consumo. O gasto médio da concessionária de veículos com energia elétrica foi de aproximadamente R\$ 6.215,00, já considerando as mudanças no valor da tarifa durante o período analisado, portanto apenas o sistema de iluminação representa um custo médio próximo à R\$ 1.168,00, conforme exposto no Quadro 1.

Modelo 1	<i>Empalux MT22515 à Vapor Metálico Tubular</i>	Fluxo Luminoso	Temperatura de Cor	Vida Útil
		<i>20.000 lm</i>	<i>5.000 K</i>	<i>15.000 h</i>
 <i>26 unidades</i>	Potência Unitária		Potência Total	
	<i>250 W + 26 W (Reator)</i>		<i>7.176 W</i>	
	Consumo Mensal Médio		Custo do Consumo Mensal Médio	
	<i>1.619,98 kWh</i>		<i>R\$ 1.168,00</i>	
	Investimento Unitário		Investimento Total	
	<i>R\$ 130,00 (Lâmpada de R\$ 70,00 mais reator de R\$ 60,00).</i>		<i>R\$ 3.380,00</i>	

Quadro 1: Características da lâmpada utilizadas atualmente, de topologia Vapor Metálico. Fonte: Empalux, adaptado pelos autores.

O cálculo do custo de compra não levou em consideração as luminárias, visto já estarem instaladas no local, nem o valor do serviço de instalação, já que este último quesito também estaria associado as demais topologias de lâmpadas, portanto não havendo necessidade de considera-lo neste tipo de análise. Apenas considerou-se as lâmpadas e os respectivos reatores, criando um cenário onde todas seriam substituídas, num custo médio de mercado de R\$ 3.380,00.

3. Proposta de Novas Topologias de Lâmpadas

A edificação foi dividida nas duas partes existentes para a verificação do nível de iluminação necessário às atividades desenvolvidas na empresa, sendo a área maior (600 m²) o local de exposição dos veículos, onde também ficam os vendedores e a administração, e na área menor (180 m²) localiza-se a mecânica de revisão.

$$\Phi_{Total} = \frac{Emd}{Fu \cdot Fd} \cdot S \quad (6)$$

Sendo:

Φ_{Total} - Fluxo luminoso total (lm); Emd - Iluminância a partir da norma (lux); Fu - Fator de utilização; Fd - Fator de depreciação; S - Área de trabalho (m²).

Os valores do Fator de utilização (Fu) e Fator de depreciação (Fd) foram desconsiderados devido a este artigo não ter como meta analisar detalhadamente lumintotécnica aplicada a cada uma das lâmpadas para o local. Então, a expressão foi reduzida, conforme visto na equação (7).

$$\Phi_{Total} = Emd \cdot S \quad (7)$$

Para atividades do setor da mecânica deve ser mantida iluminância de 1.000 lux, enquanto que para a exposição dos carros e área de vendas e administração a iluminância deve ser de 500 lux (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), portanto a partir da equação (6) e reduzida na equação (7) foi mantido o número de 26 pontos de luz totais – 16 pontos na área de exposição e 10 pontos na área da mecânica – levando em conta 20.000 lm de fluxo luminoso por ponto, no mínimo, garantindo o desempenho e a segurança visual dos trabalhadores do local e ainda evidenciando os detalhes dos carros a venda.

O primeiro cenário proposto em substituição ao atual refere-se a aplicação de lâmpadas à LED, detalhado no Quadro 2, em mesma quantidade das lâmpadas originais, por apresentarem mesmo fluxo luminoso e formato da base, permitindo ser utilizada sem a troca das luminárias atuais. Como a potência desta lâmpada é menor em comparação a de vapor metálico – a qual também tem somada a perda do reator, que não é necessário em lâmpadas à LED – o consumo fica em torno de 58% menor, porém o valor para adquiri-la é superior.

Modelo 2	<i>Philips TrueForce High Bay LED</i>	Fluxo Luminoso	Temperatura de Cor	Vida Útil
		20.000 lm	6.500 K	25.000 h
 26 unidades	Potência Unitária		Potência Total	
	160 W		4.160 W	
	Consumo Mensal Médio		Custo do Consumo Mensal Médio	
	939,12 kWh		R\$ 677,00	
	Investimento Unitário		Investimento Total	
	R\$ 510,00		R\$ 13.260,00	

Quadro 2: Características da lâmpada para o primeiro cenário proposto para o sistema de iluminação, de topologia LED. Fonte: Philips, adaptado pelos autores.

Ainda seguindo a topologia de lâmpada à LED, a segunda proposta é a lâmpada de formato tubular. O modelo escolhido tem as características demonstradas no Quadro 3 e é produzido pela mesma fabricante das lâmpadas atuais. Não foi encontrado um produto com fluxo luminoso próximo aos 20.000 lm neste formato, portanto a simulação levou em conta a troca de luminárias para a aplicação deste modelo em maior quantidade.

Modelo 3	<i>Empalux TL65216 LED Tubular</i>	Fluxo Luminoso	Temperatura de Cor	Vida Útil
		6.500 lm	6.400 K	25.000 h
 78 unidades	Potência Unitária		Potência Total	
	65 W		5.070 W	
	Consumo Mensal Médio		Custo do Consumo Mensal Médio	
	1.144,55 kWh		R\$ 825,00	
	Investimento Unitário		Investimento Total	
	R\$ 450,00 (3 lâmpadas de R\$ 110,00, cada, mais 1 luminária de R\$ 120,00)		R\$ 11.700,00 (78 lâmpadas e 26 luminárias)	

Quadro 3: Características da lâmpada para o segundo cenário proposto para o sistema de iluminação, de topologia LED Tubular. Fonte: Empalux, adaptado pelos autores.

Para obtenção do nível de iluminação necessário, foi considerado a instalação de 26 novas luminárias, as quais suportam 3 lâmpadas cada uma, totalizando 78 lâmpadas e um fluxo luminoso de 19.500 lm por ponto. A lâmpada de formato tubular é principalmente utilizada no comércio e em escolas, por exemplo, onde a topologia fluorescente é dominante. Para o terceiro cenário proposto foi escolhida a lâmpada detalhada no Quadro 4, que assim como a anterior, é instalada em luminária diferente da atual.

Modelo 4	<i>GE T5 Long Last Fluorescente Tubular</i>	Fluxo Luminoso	Temperatura de Cor	Vida Útil
		<i>5.000 lm</i>	<i>4.000 K</i>	<i>36.000 h</i>
 <i>104 unidades</i>		Potência Unitária		Potência Total
		<i>54 W</i>		<i>5.616 W</i>
		Consumo Mensal Médio		Custo do Consumo Mensal Médio
		<i>1.267,81 kWh</i>		<i>R\$ 914,00</i>
		Investimento Unitário		Investimento Total
		<i>R\$ 320,00 (4 lâmpadas de R\$ 15,00, cada, mais 2 reatores de R\$ 55,00, cada e mais 1 luminária de R\$ 150,00)</i>		<i>R\$ 8.320,00 (104 lâmpadas, 52 reatores e 26 luminárias)</i>

Quadro 4: Características da lâmpada para o terceiro cenário proposto para o sistema de iluminação, de topologia LED Tubular. Fonte: General Electric, adaptado pelos autores.

Foram consideradas, portanto, 4 lâmpadas de 5.000 lm em cada luminária, totalizando os 20.000 lm por ponto. Também foram levados em conta 2 reatores por luminária, ou seja, cada um faz o controle relativo a duas lâmpadas. O conjunto totalizou, então, 104 lâmpadas, 52 reatores e 26 luminárias.

Algumas fabricantes ainda oferecem modelos conhecidos como luminárias industriais ou “high bay”, que são as mais indicadas para a aplicação na concessionária de veículos, visto o alto fluxo luminoso emitido por elas. Diferentemente do modelo Philips True Force High Bay LED (Modelo 2), o qual era uma lâmpada com base de rosca para ser instalado em luminária, os modelos desta subseção já possuem as lâmpadas à LED fixas na estrutura do produto, assim como ocorre nos modelos mais modernos de luminárias públicas externas.

Modelo 5	<i>SX Lighting SX-LE140 Industrial LED</i>	Fluxo Luminoso	Temperatura de Cor	Vida Útil
		<i>21.560 lm</i>	<i>5.000 K</i>	<i>80.000 h</i>
		Potência Unitária		Potência Total
		<i>140 W</i>		<i>3.640 W</i>
		Consumo Mensal Médio		Custo do Consumo Mensal Médio
		<i>821,73 kWh</i>		<i>R\$ 592,00</i>

	Investimento Unitário	Investimento Total
26 unidades	R\$ 1.100,00	R\$ 28.600,00

Quadro 5: Características da luminária para o quarto cenário proposto para o sistema de iluminação, de topologia (Industrial) LED. Fonte: SX Lighting, adaptado pelos autores.

O modelo do Quadro 5 possui a vida útil mais longa, entre todos as topologias apresentadas até então e a potência também tem valor interessante, de 140 W, se comparado as outras lâmpadas apresentadas, visto o fluxo luminoso que possui. O ponto negativo fica por conta do preço deste produto. Igualmente para a luminária apresentada no Quadro 6, a qual tem preço para compra ainda mais alto, mas por outro lado também entrega bom fluxo luminoso com consumo de potência razoável.

Modelo 6	<i>ECP HB-S0</i> <i>Industrial LED</i>	Fluxo Luminoso	Temperatura de Cor	Vida Útil
		20.000 lm	5.700 K	50.000 h
 26 unidades		Potência Unitária		Potência Total
		175 W		4.550 W
		Consumo Mensal Médio		Custo do Consumo Mensal Médio
		1.027,16 kWh		R\$ 740,00
		Investimento Unitário		Investimento Total
		R\$ 1.500,00		R\$ 39.000,00

Quadro 6: Características da luminária para o quinto cenário proposto para o sistema de iluminação, de topologia (Industrial) LED. Fonte: ECP, adaptado pelos autores.

4. Viabilidade Econômica

Para a análise financeira dos diferentes tipos de lâmpadas, inicialmente foram contabilizadas as 9 horas diárias durante 301 dias do ano de funcionamento do sistema de iluminação (não considerada oscilação do número de dias úteis em diferentes anos). O tempo, em horas, de vida útil das lâmpadas foi dividido por este valor e ainda multiplicado por um fator de uso/desgaste de 0,95, ou seja, diminuído 5% do tempo de funcionamento informado pelo fabricante, finalizando na obtenção da vida útil dos produtos em anos, conforme detalhado no Quadro 7, nos quais os valores foram arredondados.

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Vida útil	5 anos	8 anos	8 anos	12 anos	28 anos	17 anos
Investimento Inicial	R\$ 3.380,00	R\$ 13.260,00	R\$ 11.700,00	R\$ 8.320,00	R\$ 28.600,00	R\$ 39.000,00

Investimento Periódico	R\$ 3.380,00	R\$ 13.260,00	R\$ 8.580,00	R\$ 4.420,00	R\$ 28.600,00	R\$ 39.000,00
------------------------	--------------	---------------	--------------	--------------	---------------	---------------

Quadro 7: Vida útil, em anos – considerado a partir do tempo de funcionamento na empresa – para cada topologia de lâmpada analisada. Fonte: Elaborado pelos autores.

O Quadro 7 também demonstra os valores financeiros dos investimentos necessários para instalação das lâmpadas. Analisou-se um período de 30 anos de utilização do sistema de iluminação, sendo o valor do investimento inicial, considerado no “ano 0 (zero)”, e os investimentos periódicos a cada período de vida útil. Tomando como exemplo as lâmpadas Empalux TL65216 LED Tubular (Modelo 3) e GE T5 Long Last Fluorescente Tubular (Modelo 4), o investimento inicial leva em conta o preço das luminárias para instalação, visto o modelo existente ser diferente, porém a cada período apenas as lâmpadas devem ser trocadas e por isso o investimento periódico tem valor mais baixo.

No período de 30 anos de análise não foi levada em consideração porcentagem de acréscimo na tarifa de energia elétrica, assim como taxas que influenciassem o preço das lâmpadas ao decorrer dos anos, visto que esta mudança influenciaria num aumento do valor final em todos os modelos. Portanto, mesmo com a permanência dos valores fixos, é possível ainda analisar qual o modelo de lâmpada é mais viável economicamente. O Quadro 8 apresenta os valores finais da análise, somados os investimentos iniciais e periódicos com o custo do consumo de energia elétrica durante este período.

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Investimento Total	R\$ 23.660,00	R\$ 53.040,00	R\$ 37.440,00
Custo do Consumo Total de Energia	R\$ 420.480,00	R\$ 243.720,00	R\$ 297.000,00
Custo Final	R\$ 444.140,00	R\$ 296.760,00	R\$ 334.440,00
	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Investimento Total	R\$ 17.160,00	R\$ 57.200,00	R\$ 78.000,00
Custo do Consumo Total de Energia	R\$ 329.040,00	R\$ 213.120,00	R\$ 266.400,00
Custo Final	R\$ 346.200,00	R\$ 270.320,00	R\$ 344.400,00

Quadro 8: Custo final para cada topologia de lâmpada analisada, considerando o longo prazo. Fonte: Elaborado pelos autores.

Como pode ser visto, o conjunto de Lâmpadas Empalux MT22515 à Vapor Metálico (Modelo 1), mesmo não necessitando da adição de investimento inicial em luminárias, como se faz necessário nos modelos LED tubular e fluorescente tubular, representa o maior custo financeiro de longo prazo para a empresa entre todos os modelos avaliados. A Lâmpada Philips TrueForce High Bay LED (Modelo 2), que também utiliza a luminária existente, apresentou um bom custo final, quase R\$ 150.000,00 menor que o modelo atual, mas a lâmpada que oferece vida útil mais longa, a SX Lighthing SX-140 Industrial LED (Modelo 5), foi o destaque entre todos os modelos avaliados. Além de ser uma luminária

metálica com as lâmpadas já fixas na estrutura, o que facilita a instalação, o custo de longo prazo ficou em R\$ 270.320,00, o mais baixo entre todas as topologias.

5. Considerações Finais

Entre todas as soluções propostas para o sistema de iluminação da concessionária de veículos, os modelos que apresentavam valor de investimento inicial maior – High Bay LED e Industrial LED – foram justamente os que mostraram-se mais eficientes energeticamente e apresentaram maior vida útil, resultando num custo aproximadamente 40% menor em comparação as lâmpadas à vapor metálico, no longo prazo.

Para empresas desse porte, tamanho investimento inicial para a troca de todo o conjunto de lâmpadas é um complicador a ser levado em conta, mas a modificação gradual do sistema pode ser uma boa opção, pois além de oferecerem maior eficiência, gerando não somente economia de eletricidade e conseqüentemente de custo financeiro para a concessionária de veículos, também causam menor impacto ambiental decorrente da redução do consumo energético, e da menor poluição ocasionada pelo descarte das lâmpadas LED, em comparação as demais topologias.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). **Poupe Star**. Brasília, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

BULLOUGH, J. D. **Lighting answers: LED Lighting Systems**. National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Vol. 7, Issue 3, 2003.

CAMPOGARA, D., FERREIRA, G. F., VIZZOTTO, W. D., CAMPOS, A., DALLA COSTA, M. A. **Conexão de Conversores com Processamento Parcial e Energia Aplicada à Alimentação de LEDs**. In: XIX Congresso Brasileiro de Automática – CBA 2012, Campina Grande, p. 3337-3343, 2012.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Nota Técnica referente à eficiência luminosa de produtos LED encontrados no mercado brasileiro**. Florianópolis, 2013.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE GOIÁS. **Norma Técnica CELG. NTC-51: Reator para Lâmpada de Vapor de Sódio Alta Pressão. Especificação**. Goiânia, 2006.

DIAS, C. C., As Lâmpadas e a Física. **Mundo Físico**. Joinville, 2004. Disponível em <<http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=1&idSubSecao&idTexto=2>>. Acesso em 10 novembro 2017.

FORTUNATO, M. **Ensure Long lifetimes from Electrolytic Capacitors: a Case Study in LED Light Bulbs. Application Note 5591**, Maxim integrated Products, Inc., 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Eficiência Energética – Por que Desperdiçar Energia?**. Brasil, 2008. Disponível em <http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia>. Acesso em 20 outubro 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Informação ao Consumidor. **Lâmpada Fluorescente Compacta**. Brasil, 1998. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/fluorescentes.asp>>. Acesso em 21 outubro 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Light's Labour's Lost. Policies for Energy-efficient Lighthing**. France, 2006. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/light2006.pdf>>. Acesso em 05 novembro 2017.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Savings Potential of Solid-State Lighting in General Illumination Applications**. [S.l], 2012.