



Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB

Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos

Polo: Vila Flores

AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA LED PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
DE PALMAS - TOCANTINS

SIMÃO, Luís Augusto Alves ¹

GRIGOLETTI, Giane de Campos ²

RESUMO

A Iluminação Pública (IP) deve promover melhoria das condições de vida através do auxílio à proteção policial como forma de inibir a criminalidade, incentivo a prática de atividades físicas e convívio em sociedade. Entretanto, é necessário obter um sistema de IP eficiente que gere o mínimo de impactos ambientais e detenha o menor consumo possível de energia e ainda atender às normativas da NBR 5101:2012. O presente trabalho apresenta o histórico da IP bem como suas principais características, além disto este trabalho têm foco na IP de Palmas, ou seja, nas luminárias utilizadas na IP da cidade (Luminária Beta com lâmpadas a vapor metálico 400W, Luminárias Trópico com lâmpadas de vapor de sódio de 400W e Luminária LED BBE LU6). Adicionalmente neste trabalho se realiza testes de luminância entre os tipos de luminária/lâmpadas analisadas além do consumo de energia entre elas, além de estudar a viabilidade da expansão do projeto-piloto de luminárias LED existente na Avenida LO-19 para a cidade de Palmas.

Palavras-chave: iluminação pública, luminárias, LED.

¹ Engenheiro Eletricista. Universidade Federal São João Del-Rei, MG

² Doutora em Engenharia Civil. Professor(a) Orientadora. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

ABSTRACT:

The Public Lighting (IP) should promote improvement of living conditions through the aid of police protection as a way to inhibit the crime, encouraging physical activity and life in society. However, you must obtain an efficient IP system that generates minimal environmental impacts and holds the lowest possible power consumption and still meet the regulatory NBR 5101: 2012. This paper presents the IP history and its main features, additionally this work has focused on the palms of IP, ie, the luminaires used in the city of IP (Lamp Beta with metallic steam lamps, luminaires with Tropic 400W sodium vapor lamps of 400W and LED Luminaire BBE LU6) In addition this work is done luminance tests between the types of luminaire / lamps besides studying the energy consumption between them, in addition to studying the feasibility of expanding the existing LED luminaire pilot project in LO-19 Avenue to the city of Palmas.

1. INTRODUÇÃO

A existência de ambientes e vias iluminadas após o crepúsculo, possibilita a vida noturna, ou seja, propicia condições de locomoção e de lazer em momentos em que não há iluminação natural, e isto tornou-se essencial para a qualidade de vida nas cidades. A Iluminação Pública (IP) é de fundamental importância para o desenvolvimento social e econômico dos municípios e constitui-se num dos vetores importantes para a segurança pública dos centros urbanos, no que se refere ao tráfego de veículos e de pedestres e à prevenção da criminalidade.

Além disso, valoriza e ajuda a preservar o patrimônio urbano, embeleza o bem público e propicia a realização noturna de atividades como lazer, comércio, cultura e outras. E com isto, houve uma grande evolução no que se trata de IP.

Consequentemente esta evolução gerou uma melhora na qualidade de serviços prestados em relação à IP, e isto se tornou possível com o considerável aumento nos investimentos realizados, permitindo então, a inserção de novas tecnologias e até o desenvolvimento delas especificamente para o Brasil, podendo apontar a evolução na eficiência nos sistemas de IP e a redução do consumo de energia elétrica neste segmento.

Programas governamentais têm assumido um papel de suma importância

neste processo evolutivo da iluminação pública no Brasil, tal como as ações do PROCEL que financia a busca a sua eficiência tendo como mutuária as concessionárias, impulsionam e viabilizam tal evolução.

O ímpeto original para o desenvolvimento de uma IP eficiente dar-se-á com a necessidade de obter a capacidade de ir e vir em momentos noturnos ou de eventuais períodos de escurecimento, entretanto é papel dos gestores municipais buscarem formas eficientes de sistemas de IP. A Constituição Federal Brasileira de 1988 define no artigo 30 que compete aos municípios a responsabilidade sobre a realização de serviços públicos de interesse local, dentre eles a iluminação pública.

Em Palmas, a Prefeitura Municipal de Palmas é a responsável pela IP, através da Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos, responsável pela sua gestão e manutenção. As vias públicas são iluminadas por luminárias que são equipadas com dois tipos de lâmpadas (BRASIL, 1988):

Lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão (HPS).

Lâmpadas de multivapores metálicos em alta pressão (MH).

Além destes dois tipos de lâmpadas, Palmas possui um projeto-piloto para IP que prevê o uso de luminárias com tecnologia de diodos de emissão de luz LED. Neste projeto-piloto, uma das vias da cidade, a Avenida LO-19, teve suas luminárias equipadas com luminárias do tipo BBE LU6, que usa lâmpadas a LED. Entretanto neste projeto-piloto não houve um estudo aprofundado, a respeito da substituição das lâmpadas do tipo HPS e MH. Em outras palavras, não se realizou um estudo a respeito da distância ideal entre as luminárias e do comportamento das lâmpadas a LED frente às altas temperaturas características da região de Palmas.

O presente trabalho visa avaliar a efetividade deste projeto-piloto, discutindo suas vantagens e desvantagens, verificar a viabilidade de estender este projeto por outras vias públicas e praças da cidade de Palmas, mostrando a proporcionalidade de economia de energia por meios de técnicas estatísticas.

Também será realizada uma breve reflexão a respeito das consequências do descarte adequado das lâmpadas de vapor metálico e vapor de sódio, dos impactos ambientais associados à deposição dessas lâmpadas diretamente no solo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Torna-se cada vez mais evidente a necessidade de uma eficiente IP. Ao se observar a sociedade contemporânea percebe-se facilmente uma mudança ocorrida no que tange às atividades noturnas, antes inexistentes, as quais se tornaram habituais e rotineiras. Ou seja, a rotina das pessoas foi se alterando e as atividades exercidas foram se multiplicando. Hoje é praticamente impensável viver sem vida noturna.

Segundo Mascaró (2006, p. 31) “ilumina-se o ambiente à noite para alcançar certos objetivos sociais (ou econômicos), que incluem segurança, apoio ao desenvolvimento, destaque às áreas históricas ou espaços verdes públicos ou para enviar mensagens”.

Conseqüentemente é importante a qualidade de serviços prestados em relação a IP. Maiores investimentos têm sido realizados o que permitiu a inserção de novas tecnologias e até o desenvolvimento delas especificamente para o Brasil, podendo-se apontar a evolução na eficiência nos sistemas de IP e a redução do consumo de energia elétrica neste segmento (Coaton, 1997).

A implantação e a manutenção da IP são de responsabilidade das prefeituras municipais, como estabelece a Resolução Normativa nº 414 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010). Na cidade de Palmas a empresa responsável pela distribuição de energia elétrica é a Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins (ANEEL, 1999).

Segundo o artigo 149 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), a prefeitura pode instituir uma contribuição a ser cobrada da população para o custeio do serviço de iluminação pública na fatura de consumo de energia elétrica. Para tal, cada poder público municipal cria uma lei com o valor da contribuição, que depende da faixa de consumo de cada contribuinte. A lei tem que ser aprovada pela câmara de vereadores e enviada à concessionária para fazer a cobrança na conta de luz e repassar os valores às prefeituras.

A IP da cidade de Palmas usa em suas luminárias Beta com lâmpadas de Vapor Metálico de 400W e Luminárias Trópico com lâmpadas de Vapor de Sódio de 400W, além de ter um projeto-piloto de uma de suas principais avenidas a LO-19 com iluminação a LED utilizando luminárias do tipo BBE LU6.

As Figura 1, Figura 2 e Figura 3 apresentam os tipos de luminárias utilizadas na IP de Palmas.



Figura 1 – Luminária LED BBE LU-6 e fonte de alimentação.



Figura 2 – Montagem luminária modelo Beta.



Figura 3 – Luminária marca Trópico.

2.1. Diodos Emissores de Luz (LED)

A evolução das tecnologias para geração de luz tem sido constante ao longo das últimas décadas. As lâmpadas em LED por envolver uma tecnologia mais eficiente energeticamente, está começando a trazer impactos significativos em vários setores da economia. A sigla LED é uma designação em inglês, *Light Emmiting Diode* ou diodo emissor de luz e é basicamente um componente eletrônico formado através de uma junção p-n de um semicondutor.

A tecnologia também é conhecida por iluminação em estado sólido ou SSL (*Solid State Lighting*), devido à ausência de filamentos ou gases, mas sim, um pequeno chip semicondutor eletroluminescente, que na presença da corrente elétrica, emite a luz (Gois, 2008).

Historicamente o primeiro LED foi criado em 1960 por Nick Holonyak Jr. na empresa General Electric, desde então as lâmpadas a LED sofreu grande evolução como ilustra a Figura 4 (Gois, 2008).



Figura 4 - Exemplares de LED e sua evolução ao longo dos anos. Fonte: Gois (2008).

Com a evolução do LED ocorreu a melhora de sua qualidade o que gerou um relevante aumento de sua eficiência e eficácia, de forma a seguir a tendência natural das tecnologias difundidas no mercado, que é a redução dos preços com o tempo. Contudo, espera-se que a tendência do LED seja a diminuição do seu custo que hoje é elevado e quase inviável para as prefeituras.

Sobre o funcionamento das lâmpadas de LED, Žukauskas; Shur e Gaska (2002) afirmam:

A emissão de radiação pode ser maximizada através de processos de dopagem, no entanto, a recombinação nunca acontece sem o desprendimento de energia não radiante. Com isso, o balanço entre a energia radiante e não radiante produzida durante a recombinação determina a eficiência de um LED (Žukauskas *et al.* 2002.).

As características elétricas do LED são fatores que reforçam e viabilizam a sua utilização em vários tipos de sistemas elétricos ou qualquer outro equipamento

alimentado por baterias, como apresentar baixa tensão de condução, entre 2,5 V e 4 V, e operar com corrente contínua. Por isso, a intensidade luminosa do dispositivo é diretamente proporcional à sua corrente de polarização direta. Portanto, o controle da intensidade luminosa do LED pode ser feito através do controle da corrente (Rezende, 2004).

Entretanto, algumas características têm que ser tratadas com o máximo de atenção, tal como a temperatura de operação do LED que influencia seu funcionamento. Este semiconductor apresenta uma resistência com coeficiente de temperatura negativo. Com isto, a elevação da temperatura faz decorrer um decréscimo da resistência e, conseqüentemente, um aumento da corrente. Esta, por sua vez, provoca o aquecimento do LED. Por isso, a corrente deve ser controlada para que este ciclo tenha um limite, como mostra a Figura 5 (Bastos, 2011).

Devido a esse comportamento, o LED não pode ser conectado diretamente à rede elétrica, pois os sinais de tensão e corrente de operação são diferentes dos sinais fornecidos pela concessionária de energia elétrica. Então, se faz imprescindível o uso de um circuito auxiliar para adaptar esses sinais e restringir a corrente aplicada aos LEDs. Este circuito é versado como *driver* (Bastos, 2011).

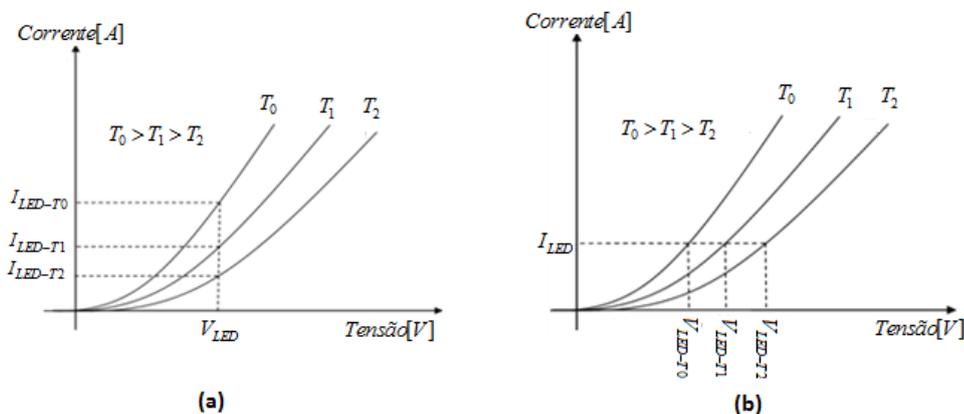


Figura 5 - Curva característica de um LED para diferentes temperaturas. (a) Variação da corrente com a temperatura com tensão constante (b) Variação da tensão com a temperatura com corrente constante.

O fluxo luminoso emitido por um LED é proporcional a corrente que o percorre. Portanto, em termos de aplicações em iluminação de modo geral a manutenção do nível de corrente durante o acionamento é desejável quando o fluxo luminoso emitido o nível de corrente não deve variar. Detalhadamente temos que:

A luz emitida pelo LED é monocromática e o comprimento de onda está relacionado ao tipo de material utilizado na composição do semiconductor. A

dopagem do cristal pode ser feita com gálio, alumínio, arsênio, fósforo, índio e nitrogênio. Esta variedade de elementos químicos e a combinação deles permitem a emissão de luz em uma ampla faixa do espectro. (Bullough 2003. p. 8).

O LED branco de alto brilho, destinado a iluminação em geral, pode ser classificado em duas categorias principais, a primeira contém os dispositivos que funcionam em elevados níveis de potência (correntes nominais típicas maiores que 300mA até 1,5 A), chamados de LED de alta potência (LEDs HP ou HP-LED); a segunda engloba os dispositivos que operam com baixos níveis de potência (correntes nominais típicas de 20mA), comumente chamado de LED de alto brilho (LED HB ou HB-LED) (Rodrigues *et al.*, 2011).

As diferenças construtivas entre estes dois tipos de LED são basicamente: o encapsulamento, o tamanho do chip semicondutor, o ângulo de abertura do feixe luminoso e a resistência térmica entre a pastilha e o dissipador (Guedes, 2010). No caso dos dispositivos de baixa potência, a dissipação é feita pelos próprios terminais, enquanto os LEDs HP possuem um dissipador (thermal heatsink) sob a pastilha.

Laubsch *et al.* (2010) apontam que uma das maiores vantagens do LED sobre outras tecnologias de lâmpadas é o seu longo tempo de vida, que pode chegar a 100.000 horas.

A vida útil de um LED é uma área de estudo muito delicada, onde é difícil gravar informações em diferentes ambientes, por estas informações serem obtidas em ensaios de duração de larga escala, e a extrapolação destes estudos não é algo tão comum. No entanto, é notório que a vida útil das lâmpadas a LED é superior a quaisquer outros tipos de lâmpadas utilizadas na iluminação pública (LAUBSCH *et al.*, 2010).

O uso de LED tem que atender as exigências das normas brasileiras. A principal norma brasileira referente aos requisitos do sistema de IP é a NBR 5101 (ABNT, 2012) que fixa os níveis mínimos de iluminância e uniformidade das vias de acordo com sua classificação, não limita a sua aplicação a uma determinada tecnologia de fonte de luz, e traz o método de verificação das iluminâncias para vias públicas e a classificação das luminárias quanto à sua distribuição luminosa.

Em Palmas, a IP a LED se dá com luminárias do tipo BBE LU6 – High Power LED Streetlight adquiridas junto a Bang-Bell Electronics Co. Ltd (BBE). A

Figura 6 mostra a disposição de luminárias em funcionamento em uma de suas principais avenidas cujo projeto está disponível no endereço eletrônico da BEE (2014).



Figura 6 - Disposição dos BBE LU6 – High Power LED na Avenida LO-19 de Palmas

Ao se tratar do tipo de luminárias usadas em Palmas, o fabricante disponibiliza algumas informações que podem ser usadas como parâmetro para avaliação deste tipo de tecnologia em relação as demais como pode ser visto na Tabela 1 (BBE, 2014).

Tabela 1 - Dados Elétricos da BBE LU6

MODELO	Número de LED's	Corrente LED (mA)	Potência Total (W)	Corrente Total (Amp)			
				120V	220V	230V	240V
LU6	168	350	210	1.69	0.937	0.9	0.86

Fonte: Bang-Bell Electronics Co. Ltd. Dados Elétricos da Luminária BBE LU6. Disponível em: <http://www.bbeled.com/products/led-street-lights/lus/>. Acesso em 25 de novembro de 2014.

A tabela acima apresenta os dados disponibilizados pelo fabricante para análise, os quais demonstram a eficiência da tecnologia quando comparada a outras em uso, tal como o baixo consumo de energia deste tipo de luminária.

2.2. Iluminação Pública e o meio ambiente

Um problema associado à IP é o risco de agressão ao meio ambiente e à saúde humana, envolvidos no manejo de lâmpadas que contêm mercúrio, principalmente na fase de descarte ao final de sua vida útil Schubert (2003). A

necessidade de políticas que garantem um meio ambiente ecologicamente equilibrado é resguardada pela Constituição Federal, que em seu artigo 225, diz:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL, 1988. p. 140)

Entretanto, a Lei de Crimes Ambientais, Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1988) estabelece que causar poluição que resulte em danos ao meio ambiente ou à saúde humana, seja pelo lançamento, processamento, armazenamento ou transporte de resíduos sólidos, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos, configura-se como crime ambiental, a importância de estimular mecanismos de descarte do lixo de IP por parte dos administradores públicos.

As lâmpadas para IP são, em quase sua totalidade, lâmpadas de descarga de alta pressão (*HID-High Intensity Discharge*) e como já apresentado, contêm elementos químicos, tóxicos, como o mercúrio, o cádmio e o chumbo, considerados altamente prejudiciais à saúde pública e ao meio ambiente (Rezende, 2004). A Tabela 2 indica a quantidade de mercúrio nas lâmpadas da IP (ABILUX, 2014).

Tabela 2 - Lâmpadas Usadas na Iluminação Pública

Lâmpadas contendo mercúrio	Variação de potências	Quantidade média de mercúrio	Variação das medidas de mercúrio por potência
Mista	160 W a 500 W	0,0017 g	0,011 g a 0,045 g
Vapor de Mercúrio	80 W a 1000 W	0,032 g	0,013 g a 0,080 g
Vapor de Sódio	70 W a 1000 W	0,019 g	0,015 g a 0,030 g
Vapor Metálico	35 W a 2000 W	0,045 g	0,010 g a 0,170 g

Fonte: adaptado de ABILUX, Associação Brasileira da Indústria da Iluminação. Acesso em 01/11/2014. Disponível em: abilux.com.br

Em Palmas a IP é feita com lâmpadas de vapor de sódio e vapor metálico, os quais pela análise da Tabela 2 contêm um alto índice de mercúrio. E a cidade de Palmas não possui um sistema de coleta específico para este tipo de material, e também não possui um local específico de armazenamento ou processamento das lâmpadas descartadas Mohan; Undeland e Robbins (1995).

Como o LED causa menos impactos ambientais em seu descarte, pois não possui em sua composição metais pesados como chumbo e mercúrio, não há

necessidade de um descarte especial como as lâmpadas fluorescentes, tornando-se uma tecnologia ambiental mais segura (NOGUEIRA *et al.*, 2012).

Assim como as lâmpadas incandescentes, as lâmpadas LED podem ter seus componentes separados e algumas peças podem ser enviadas para reciclagem, como o alumínio e o plástico. Em outras palavras, no caso do descarte de lâmpadas de LED não se pode realizar o descarte diretamente no solo por ter em seus componentes metais e plásticos, mas sua reciclagem é mais fácil e barata por não ter, em seus componentes, material tóxico. E com isto, não há necessidade da criação de uma política de coleta e separação específica para as lâmpadas de LED, e isto pelo âmbito ambiental é extremamente relevante.

3. OBJETIVOS

4. Objetivo geral

Este trabalho visa elucidar a importância do uso da forma mais eficiente de IP, comparando a efetividade do projeto-piloto de luminárias LED à iluminação convencional, apontando vantagens e desvantagens para cidade de Palmas como a proporcionalidade de economia de energia e as configurações necessárias para a otimização da alternância entre os tipos em estudo, objetivando salientar sua relevância em áreas como ambiental.

4.1. Objetivo específico

- Apresentar e comparar os tipos de luminárias utilizadas na IP em uso na cidade de Palmas.
- Levantar e comparar o consumo de energia elétrica da Avenida LO-19 antes e depois da implantação das luminárias LED.
- Levantar o consumo de energia elétrica da Avenida LO-27 e comparar com a Avenida LO-19.
- Levantar o destino dos componentes retirados das luminárias e analisar seus possíveis impactos ambientais associados a seu descarte.
- Verificar a viabilidade e expansão do Projeto-Piloto de Iluminação Pública de Luminárias a LED da Avenida LO-19 para as demais vias da cidade de Palmas.

5. METODOLOGIA

A Gerência de Projetos de Pesquisa Interdisciplinar (sigla IRPM do inglês *Interdisciplinary Research Project Management*) foi escolhida como metodologia de desenvolvimento deste trabalho que permitirá integrar todos os métodos e conceitos necessários para compreensão do fenômeno.

O IRPM foi definido por Letouze (2011) como uma estratégia de abordagem interdisciplinar para um problema real usando de gerenciamento de projetos o qual tem sua fundamentação no PMBOK (Project Management Body of Knowledge). Cujo conceito foi proposto por Pierrakos; Zilberberg e Anderson (2010).

A Figura 7 ilustra os passos do processo de produção, e descreve minuciosamente cada elemento e a ordem cronológica do uso do IRPM.



Figura 7 - A Investigação Interdisciplinar modelo de Gestão de Projeto.

Este método aplica o conceito de gerenciamento de projetos apresentados por Heldman e Mangano (2009) que consiste em cinco fases explicitadas na Figura 7 e detalhadas a seguir:

1. Iniciação: determinar os objetivos do projeto, as entregas e saídas de processos; documentar projeto restrições e suposições; definir a estratégia; identificar os critérios de desempenho; determinar necessidades de recursos; definir o orçamento e produzir uma documentação formal.

2. Planejamento: refinar projeto; criar uma estrutura de divisão de trabalho; desenvolver o recurso plano de manejo; aperfeiçoar estimativas de tempo e de custos, estabelecer controles de projeto; desenvolver o plano de projeto e obter a

aprovação do plano.

3. Execução: comprometer recursos; implementar recursos; gerenciar o progresso; comunicar o progresso e aplicar procedimentos de garantia de qualidade.

4. Controle: medir o desempenho; refinar os limites de controle; tomar ações corretivas; avaliar eficácia das ações corretivas; garantir a conformidade do plano; reavaliar os planos de controle; responder a evento de risco e monitorar a atividade do projeto.

5. Encerramento: obter a aceitação das entregas; documentar as lições aprendidas; facilitar o fechamento; preservar os registros de produtos e ferramentas para liberar recursos.

Na pesquisa na fase da **iniciação**, fez-se a análise da viabilidade de sua realização por parte das pessoas interessadas e a disponibilidade de acesso à documentação e material necessário, além de verificar sua relevância bem como definiu a forma de abordagem e o foco principal deste trabalho.

No **planejamento** procurou-se um local que tivesse as mesmas características físicas da Avenida LO-19 onde se encontra o projeto-piloto da IP de Palmas com luminárias LED. Após esta busca verificou-se que a Avenida LO-27 tinha as características almejadas, como medição individualizada, quantidade de postes, altura e espaçamento. A diferença se apresenta no tipo de lâmpada utilizado que nesse caso vapor de sódio.

Após esse processo se planejou a forma com que seriam feitas as comparações de consumo e os testes de luminância a serem realizados. Com isto agendou-se as datas nas quais os testes poderiam ser realizados, que necessitariam do apoio da Agência de Transito, Transporte e Mobilidade (ATTM), pois tal ação requer o bloqueio da avenida onde as medições ocorreriam, além do apoio da Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos cedendo caminhões e funcionários.

A **execução** se deu inicialmente obtendo as informações da infraestrutura da IP das Avenidas LO-19 e LO-27, as quais são ilustradas na Figura 8 e na Figura 9 respectivamente. A Figura 10 apresenta detalhadamente a malha de medição feita na LO-27.

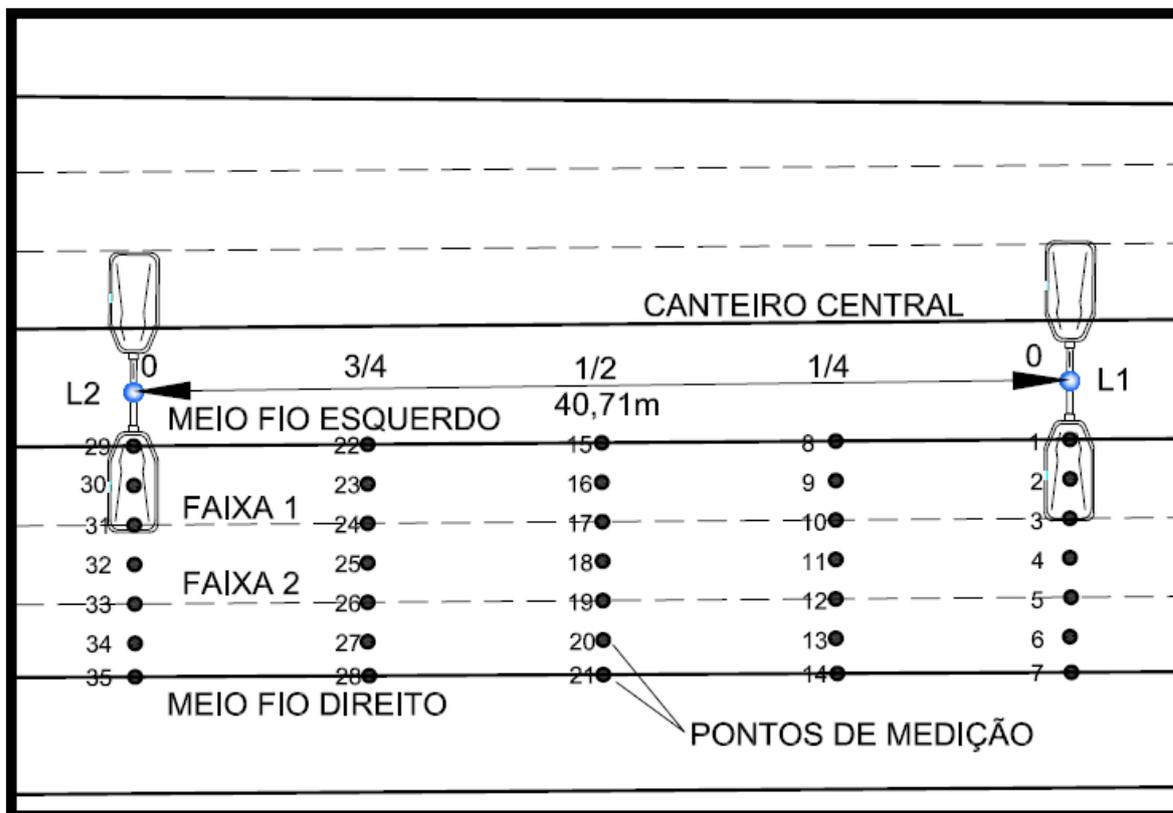


Figura 10 – Detalhe Malha de medição na av. LO-27.

Foram levantados dados sobre o consumo de energia elétrica da IP no trecho das vias em análise junto a Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas.

Entretanto, tal atividade apresentou algumas dificuldades, devido à mudança de gestores e de planejamento. O faturamento da IP de Palmas também sofreu algumas alterações, por exemplo, o Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) no qual eram feitos os faturamentos. Outro problema encontrado foi que a Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas não possui o detalhamento dos faturamentos em um banco de dados, ou seja, não se tem as informações detalhadas das contas do consumo de energia da IP de Palmas em mídia digital.

Com isto, foi realizada uma busca nos registros físicos da Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas do detalhamento destas contas, onde se constatou que os registros estão incompletos e defasados. A partir disto, realizou-se a digitalização dos dados obtidos das faturas relativas ao consumo de energia, fazendo-se inserção dado a dado em uma planilha eletrônica Excel.

Vale ressaltar que ao se tratar da Avenida LO-19 a Secretaria de

Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas detêm de forma ininterrupta os dados de fevereiro de 2010 a agosto de 2014 (quando foram requeridas tais informações) um total de 55 (cinquenta e cinco) meses. Tendo em vista que as instalações de luminárias LED começaram a ser realizadas em Julho de 2010, temos os dados de somente 5 (cinco) meses antes de iniciarem o processo de instalações das novas luminárias.

Para a Avenida LO-27 são de setembro de 2011 a agosto de 2014. Essa avenida foi escolhida para ser comparada com a LO-19, por possuir lâmpadas de vapor de sódio e considerou-se, que o conjunto de dados de 36 meses é satisfatório para o objetivo da pesquisa. Após o processo de coletar os dados necessários e realizar a digitalização dos mesmos, foi realizada a análise e síntese por meio de técnicas estatísticas e gráficas.

Posteriormente realizou-se as medições de iluminância na noite de 1 de outubro de 2014 na Avenida LO-27. Foi realizado o bloqueio de trânsito da via durante o período de teste. As medições de níveis de iluminância ocorreram em 35 pontos marcados entre os postes de sustentação das luminárias que tem a distância de 40 metros e 70 centímetros entre eles. A Avenida LO-19 bem como a Avenida LO-27 são vias de três faixas em cada um dos sentidos.

As medições foram feitas com um luxímetro da marca Lutron modelo LX-107. Os testes foram desenvolvidos analisando os três principais tipos de luminárias usadas na IP de Palmas.

O **controle** ocorreu em paralelo com as demais etapas, ou seja, conforme o decorrer do trabalho, realizava-se uma análise do andamento deste projeto, sempre mensurando os riscos de não realização das etapas nos prazos estipulados no planejamento buscando medidas para deter a suavização dos problemas que surgirão no transcorrer deste.

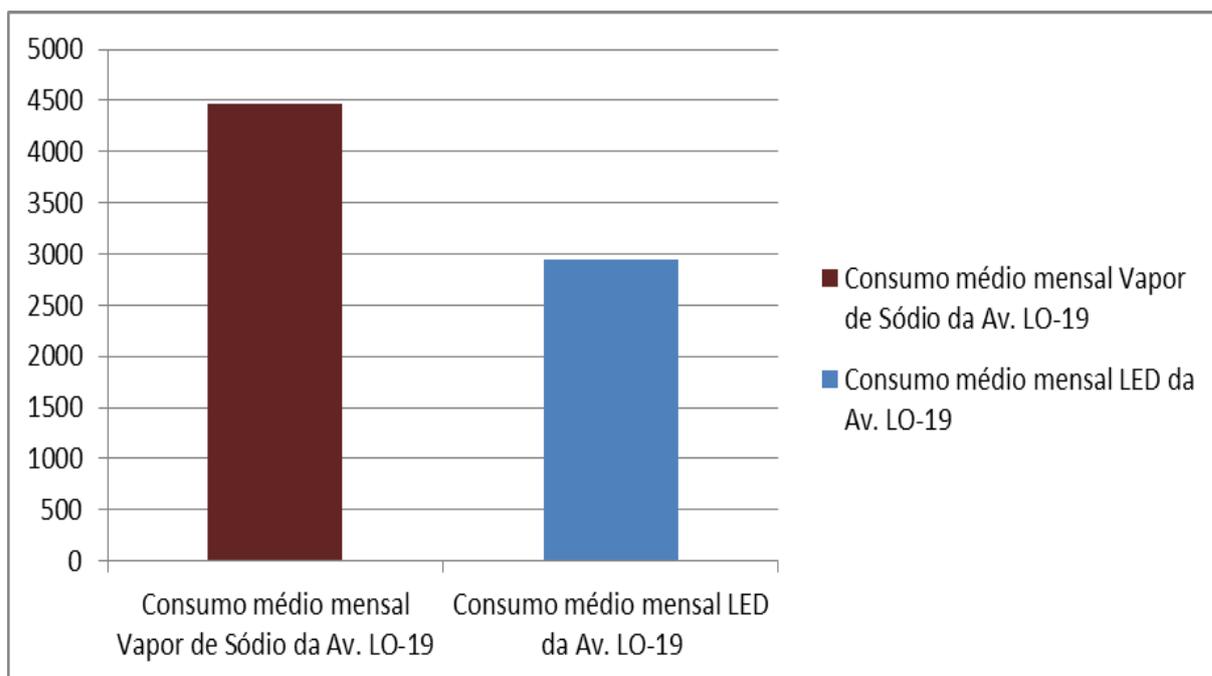
Por sua vez, o encerramento dessa etapa deu-se com a apresentação deste na banca, uma vez que é pretendido dar continuidade a essa pesquisa para obter o melhor sistema de IP possível para cidade de Palmas.

6. RESULTADOS

Dos três tipos de lâmpadas utilizados na IP de Palmas, a LED é o melhor no quesito ambiental, como já comentado anteriormente, pois não possui metais pesados em sua composição e alguns de seus componentes podem ser mais facilmente reciclados frente aos componentes das lâmpadas convencionais.

Durante o período de análise do consumo de energia elétrica na Avenida LO-19, de fevereiro de 2010 a agosto de 2014, que perfazem 1699 dias, consumidos 170.700 kWh o que corresponde a um consumo médio diário de 100,47 kWh/dia. Por sua vez o consumo na LO-27, analisado de setembro de 2011 a agosto de 2014 totalizando 1094 dias, seiscentos e cinco dias a menos que o total analisado na Avenida LO-19, apresentou um consumo de 197.217 kWh, correspondendo a uma média diária de consumo diário de 180,27 kWh/dia.

A substituição das luminárias a vapor de sódio por luminárias a LED ocorreu entre os meses de julho e agosto de 2010, por isso estes dois meses serão desconsiderados na análise do consumo de energia do antes e depois da mudança de luminárias. Com isto temos 5 meses a ser considerados antes da substituição, de fevereiro a junho de 2010. Neste período o consumo médio ao mês era de 4.474,6 kWh baixando para 2.950,83 kWh após a instalação das luminárias LED como mostra o gráfico comparativo da Figura 11.



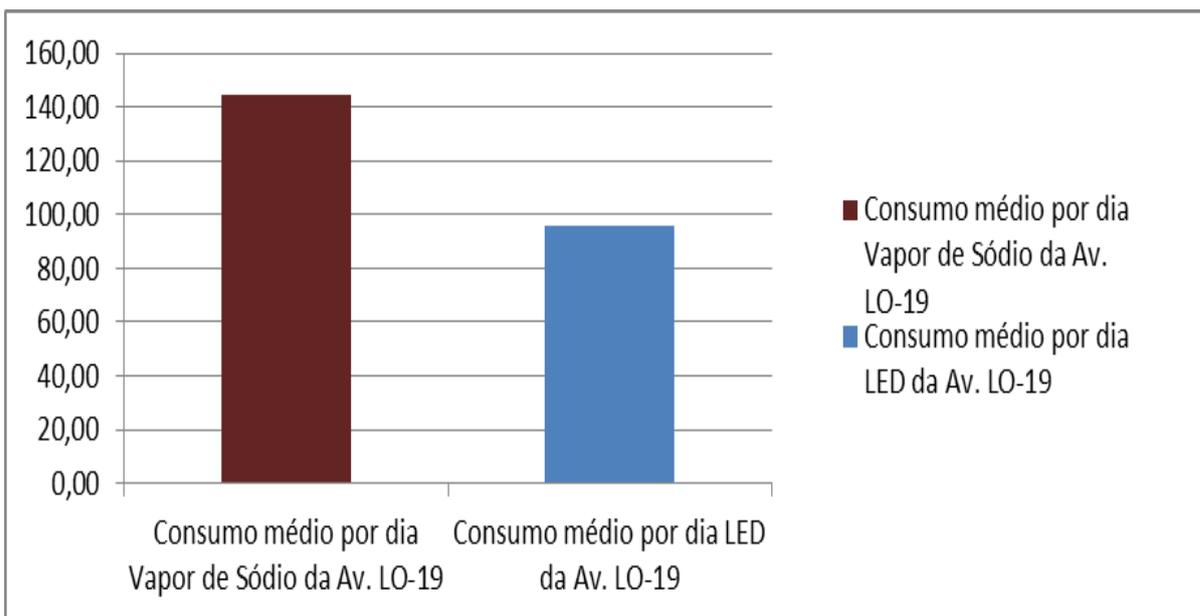


Figura 11 - Consumo médio mensal e diário na Av. LO-19 comparativo entre vapor de sódio e LED.

A comparação direta entre o consumo na LO – 19 e o consumo na LO – 27, no período de setembro de 2011 a agosto de 2014 é apresentado na Figura 12.

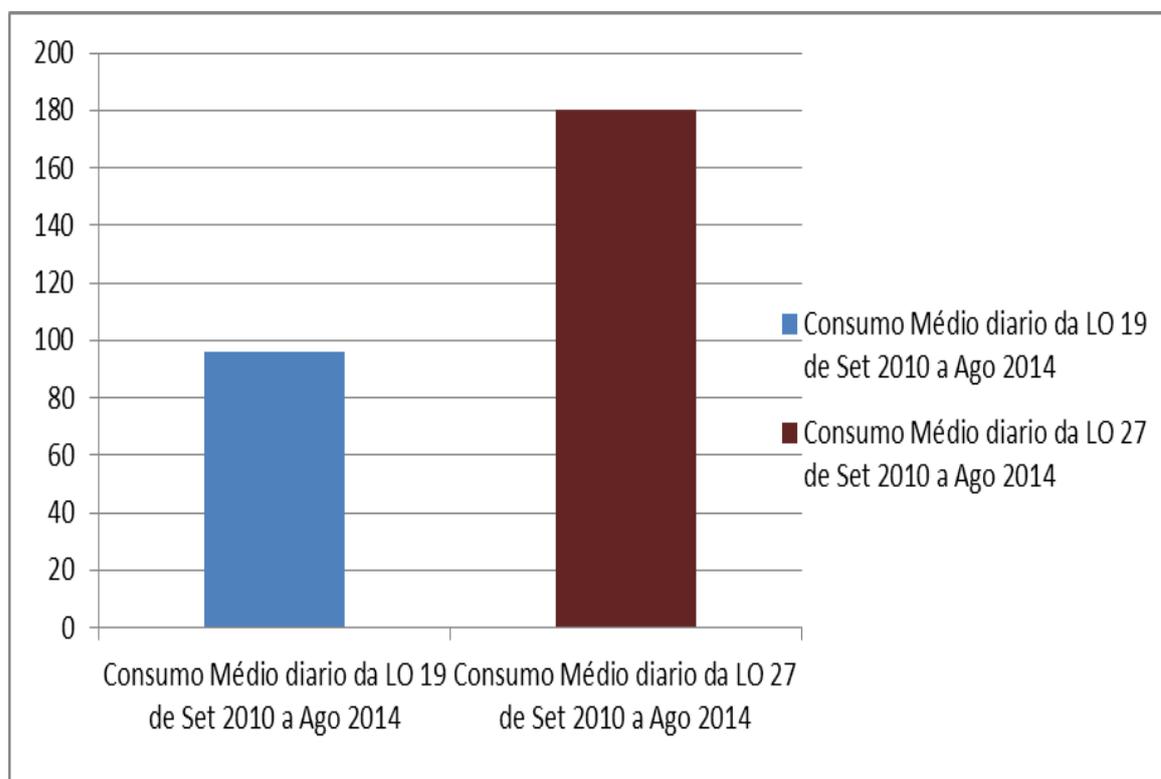


Figura 12 - Comparação do Consumo da IP da LO-19 e LO-27.

É possível ver que a média de consumo de energia diário das luminárias vapor de sódio é quase o dobro do consumo das luminárias a LED.

Pelas características já descritas da LO-27, a norma NBR 5101 (ABNT, 2012) determina que ela tenha:

- iluminância média mínima $E_{med} = 20$ lux e
- fator de uniformidade mínimo $U = E_{min} / E_{med} = 0,30$ ou 30%

Com as medições se obteve os valores para análise dos níveis em lux obtidos e disto saber se os valores das luminárias em teste corresponde com a norma NBR 5101 (ABNT, 2012).

O primeiro teste foi realizado com as luminárias LED as 20 horas e 30 minutos e os resultados encontrados são apresentados na Tabela 3. L1 e L2 são os postes selecionados, os valores números em sequência de 1 a 35 constituem a numeração do ponto distribuído conforme a distância entre L1 e L2 (fazendo jus a ABNT NBR 5101:2012), os valores em negrito são os níveis de iluminância, em lux, obtidos na medição em cada um dos pontos.

Tabela 3 - Números da Medição das Luminárias LED e níveis de iluminância atingidos.

AVENIDA LO-27 > LED LU6										
LAMPADA LED 168 W										
LUMINÁRIA MODELO LU-6 MARCA BBE LED										
DATA: 01/10/2014 HORA: 20:30										
	L1					L2				
	0		1/4		1/2		3/4		1	
	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)
BASE POSTE		31		43		3		29		30
MEIO FIO ESQ	1	58	8	30	15	8	22	31	29	54
MEIO FAIXA 1	2	43	9	24	16	7	23	29	30	31
FAIXA 1	3	35	10	20	17	4	24	25	31	29
MEIO FAIXA 2	4	23	11	14	18	4	25	19	32	17
FAIXA 2	5	10	12	6	19	3	26	9	33	7
MEIO FAIXA 3	6	4	13	3	20	2	27	4	34	2
MEIO FIO DIR	7	2	14	2	21	2	28	3	35	2

A segunda medição foi realizada no conjunto: lâmpadas de vapor metálico de 400W em luminárias do tipo Beta fabricada pela Tecnowatt às 21 horas e 30 minutos. Os valores obtidos nesta medição estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Números da Medição das Luminárias Beta com Lâmpada Vapor Metálico 400W e níveis de iluminância atingidos.

AVENIDA LO-27 > TECNOWATT - BETA										
LAMPADA VAPOR METALICO 400W LUMINÁRIA MODELO BETA MARCA TECNOWATT DATA: 01/10/2014 HORA: 21:30										
	L1					L2				
	0		1/4		1/2		3/4		1	
	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)
BASE POSTE		29		28		10		42		28
MEIO FIO ESQ	1	67	8	29	15	18	22	33	29	58
MEIO FAIXA 1	2	58	9	31	16	18	23	35	30	72
FAIXA 1	3	46	10	26	17	15	24	27	31	55
MEIO FAIXA 2	4	29	11	20	18	13	25	19	32	30
FAIXA 2	5	19	12	15	19	10	26	14	33	18
MEIO FAIXA 3	6	13	13	12	20	8	27	11	34	12
MEIO FIO DIR	7	12	14	10	21	8	28	8	35	10

A última medição se iniciou as 22 horas e 30 minutos, e foi realizada com lâmpadas de vapor de sódio de 400W inseridas em luminárias Trópico. Esta medição aconteceu por último pelo fato desta luminária ser do tipo utilizado na LO-27, avenida onde se realizou as medições, e com isto após o término dessa medição, não houve a necessidade de mais uma substituição. Os valores da iluminância deste tipo de luminária estão na Tabela 5.

Tabela 5 - Números da Medição das Luminárias Trópico com Lâmpada Vapor de Sódio 400W e níveis de iluminância atingidos.

AVENIDA LO-27 > TRÓPICO										
LAMPADA VAPOR DE SÓDIO 400W LUMINÁRIA MODELO TP-2001 MARCA TRÓPICO DATA: 01/10/2014 HORA: 22:30										
	L1					L2				
	0		1/4		1/2		3/4		1	
	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)	PT	Medição (lux)
BASE POSTE		57		39		20		35		88
MEIO FIO ESQ	1	56	8	27	15	24	22	34	29	93
MEIO FAIXA 1	2	69	9	22	16	21	23	31	30	84
FAIXA 1	3	49	10	17	17	18	24	25	31	64
MEIO FAIXA 2	4	38	11	14	18	17	25	22	32	47
FAIXA 2	5	27	12	12	19	11	26	17	33	35

MEIO FAIXA 3	6	17	13	11	20	10	27	13	34	24
MEIO FIO DIR	7	14	14	9	21	9	28	10	35	18

Com as medições dos níveis de iluminância, em lux, se obteve a iluminância média e mínima e a uniformidade para luminárias em estudo. Em relação aos dados da luminária LED temos os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Iluminância média e mínima e uniformidade para luminárias LED.

AVENIDA LO-27 > LED LU6	
LAMPADA LED 168 W	
LUMINÁRIA MODELO LU-6 MARCA BBE LED	
DATA: 01/10/2014 HORA: 20:30	
Emed	16,17 lux
Emin	2,0 lux
Emax	58,00 lux
U = Emin/Emed	12,37%

A tabela acima demonstra que os resultados obtidos nas medições com luminárias LED não são satisfatórios, mas este resultado era esperado. Tendo em vista que não foi realizado um projeto de instalação específico seguindo as normas sugeridas pela fabricante das luminárias, um fator determinante para isto é a distância entre os postes que deveria ser de aproximadamente 30 metros, e não os 40,71m que é a distância entre os postes no sistema de IP de Palmas. Isto aumentaria o valor para instalação da IP, pois isto aumentaria significativamente a quantidade de luminárias e postes necessários para fazer a iluminação.

Em relação aos dados da luminária LED temos os seguintes resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Iluminância Média e Mínima e Uniformidade Para Beta com Lâmpadas de Vapor Metálico.

AVENIDA LO-27 > TECNOWATT - BETA	
LAMPADA VAPOR METALICO 400W	
LUMINÁRIA MODELO BETA MARCA TECNOWATT	
DATA: 01/10/2014 HORA: 21:30	
Emed	25,11 lux
Emin	8,00 lux
Emax	72,00 lux
U = Emin/Emed	31,86%

Os resultados referentes à iluminância média e a uniformidade estão satisfazendo as recomendações da NBR 5101 (ABNT, 2012). Pode se concluir que as luminárias Beta com lâmpadas de vapor metálico de 400W se integram perfeitamente à infraestrutura existente hoje em Palmas, sem a necessidade de ajustes estruturais. Bem como a luminária Trópico em conjunto com as lâmpadas de vapor de sódio de 400W, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 - Iluminância média e mínima e uniformidade para luminária Trópico com lâmpadas de vapor de sódio 400W.

AVENIDA LO-27 > TRÓPICO	
LAMPADA VAPOR DE SÓDIO 400W	
LUMINÁRIA MODELO TP-2001 MARCA TRÓPICO	
DATA: 01/10/2014 HORA: 22:30	
Emed	28,83 lux
Emin	9,00 lux
Emax	93,00 lux
U = Emin/Emed	31,22%

Por sua vez para que haja a implantação de um projeto de IP é necessário que haja viabilidade em sua implantação, ou seja, para um projeto ser viável deve retornar o investimento financeiro utilizado na sua implantação. O retorno pode ser em dinheiro ou em benefícios para uma população ou empreendedor. Quando o retorno esperado é em dinheiro, normalmente, se espera que seja em valor superior ao empregado no início do projeto. O retorno acontece através do fluxo de benefícios futuros ao longo de um tempo estimado de vida útil mínimo do projeto. O tempo de retorno depende das taxas de juros associadas ao dinheiro inicialmente empregado para a construção e implantação do projeto e da capacidade de lucro que conseguir alcançar.

Os investimentos necessários para implantação de luminárias a Led na LO-19 estão associados principalmente com aquisição das luminárias LED. Para instalações novas com luminárias Led, o acréscimo de custo em relação às luminárias tradicionais é a diferença entre o custo da luminária Led e a luminária tradicional. Para a Avenida LO-19, o custo do investimento inicial mostrado na Tabela 9, é de R\$ 96.360,00 e de R\$72.358,28 a diferença entre a aquisição das luminárias tradicionais e a Leds, o que deixa claro o alto investimento necessário

para instalação de luminárias LED que é apontado como um dos maiores problemas para migração das IP a luminárias LED.

Tabela 9 - Custo Investimento Inicial AV. LO-19.

Luminária	Quantidade	Custo Unit (R\$)	Custo Total (R\$)
Luminária Tradicional - Vapor de Sódio 400W (Luminária + Reator + Lâmpada)	44,00	544,13	23.941,72
Luminária LED LU-6 168W	44,00	2.190,00	96.360,00
Diferença			72.358,28

O fluxo de benefícios é obtido pela redução de consumo de energia elétrica (E.E.) conforme mostra a Tabela 10, com R\$ 6.205,64 economizados, para um valor de R\$0,14/kWh.

Tabela 10 - Consumo e custo de energia elétrica.

Luminária	Potência (W)	Quantidade	Consumo E.E. (kWh/ano)	Custo E.E. (R\$)	Custo E.E. 12 anos(R\$)
Luminária Tradicional - Vapor de Sódio 400W (Luminária + Reator + Lâmpada)	440	44,00	84.797	11.871,58	142.458,96
Luminária LED LU-6 168W	210	44,00	40.471	5.665,94	67.991,28
Economia anual 12 anos (R\$)				6.205,64	74.467,68

A Figura 13 mostra, para os dados acima, o fluxo de benefícios esperados em 12 anos, o investimento inicial em Leds.

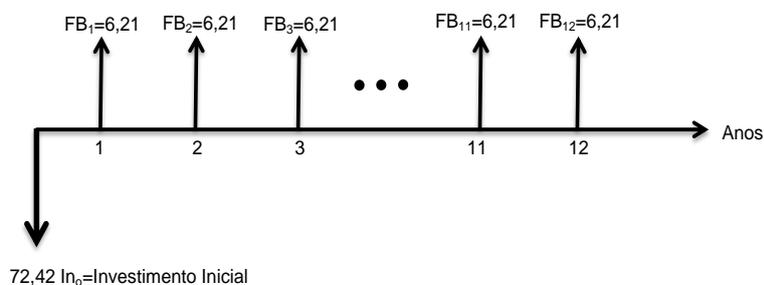


Figura 13 – Fluxo de benefícios (mil R\$).

O valor presente líquido (VPL) anual é mostrado na Tabela 11. Como se

pode ver, o retorno do investimento não acontece em 12 anos, ou seja, dentro da vida útil da luminária para uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 12% a.a..

Tabela 11 - VPL com juros de 12% a.a.

Método do valor presente líquido		
Investimento inicial (R\$)	-72.418,28	
Tempo (ano)	FB (R\$)	VPL(R\$)
1	6.205,64	-R\$ 59.712,08
2	6.205,64	-R\$ 55.295,03
3	6.205,64	-R\$ 51.351,23
4	6.205,64	-R\$ 47.829,99
5	6.205,64	-R\$ 44.686,01
6	6.205,64	-R\$ 41.878,90
7	6.205,64	-R\$ 39.372,54
8	6.205,64	-R\$ 37.134,73
9	6.205,64	-R\$ 35.136,68
10	6.205,64	-R\$ 33.352,71
11	6.205,64	-R\$ 31.759,87
12	6.205,64	-R\$ 30.337,70
TMA (%a.a.)	12%	

7. CONCLUSÕES

Da pesquisa realizada e dos resultados obtidos demonstra-se que a IP, vital para a sociedade, sendo parte indispensável para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, traz problemas ambientais. É cada vez mais necessário obter um sistema de iluminação pública eficiente e que tenha um baixo consumo de energia e demande pouca manutenção.

Neste trabalho foram apresentadas as definições e características da IP de Palmas bem como alguns de seus componentes. As características dos equipamentos que compõem a IP também foi elemento de discussão neste trabalho, por ser parte essencial e necessária além de ser bem vista por todas as partes interessadas, salientando que a iluminação pública é um bem comum e por isto a necessidade de ser gerida da melhor forma possível, utilizando os melhores mecanismos para a sociedade.

Demonstrou-se que, para as vias de Palmas com a atual disposição entre os

postes destinados a IP, as luminárias Beta com lâmpadas de vapor metálico e as luminárias Trópico munidas com lâmpadas a vapor de sódio apresentaram um melhor desempenho, por outro lado eles emitem uma maior poluição luminosa e detém um elevado índice de manutenção e consumo de energia.

Por sua vez, expandir o projeto-piloto implantado na Avenida LO-19 não se apresenta como uma solução viável, para melhorar a IP de Palmas em sua conjuntura atual, tendo em vista os resultados do teste de níveis de iluminância realizado. A implantação de luminárias LED não poderá utilizar os postes de IP hoje em uso em sua atual configuração, é necessário a criação de um novo sistema de IP para Palmas, não aproveitando quase nada do que hoje é existente. Essa ação elevaria ainda mais o custo de instalação de um sistema de IP com luminárias LED o que sem isto já apresenta um custo muito elevado comparativamente às tecnologias convencionais.

As luminárias com lâmpadas LED, nas análises realizadas sobre o consumo de energia, consomem aproximadamente a metade da energia elétrica das outras luminárias analisadas, e desde sua instalação em setembro de 2010 até agosto de 2014, o sistema LED da LO-19 necessitou de um único procedimento de manutenção, que foi a substituição da fonte de uma das luminárias que apresentou defeito. Outro fator importante é o menor impacto ambiental dessas luminárias cujo descarte gera impactos ambientais que podem ser resolvido no próprio município, diferente dos outros sistemas que requerem empresas especializadas para coleta e reciclagem dos componentes, em especial, do mercúrio usado nas lâmpadas.

Fazendo uma análise econômica financeira da instalação de luminárias LED demonstram um investimento inicial elevado, e um comparativo com os valores da economia de energia das luminárias LED obtidos neste trabalho é possível estimar que a viabilidade da implantação de uma IP com luminárias LED ocorra a partir do decimo segundo ano, fora do período de vida útil destas luminárias.

A IP está caminhando para o domínio do uso do LED, no entanto é necessário que os custos de instalação sejam diminuídos ou então que se desenvolvam luminárias que utilizem da estrutura física da IP já existente nas cidades. Essa busca por uma evolução nos elementos tangíveis a IP sem agredir o meio ambiente é mais que necessário, pois são inúmeros os benefícios gerados pela Iluminação Pública.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABILUX, Associação Brasileira da Indústria da Iluminação. Disponível em: <abilux.com.br> Acesso em 01/11/2014.

ABNT NBR 5101. **Iluminação Pública**. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução 456** de 29 de novembro de 2000, Artigo 64. 2000.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa** de 09 de setembro de 2010.

BASTOS, Felipe Carlos. **Análise da política de banimento de lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BBE. **Exemplos de projetos de luminárias LED**. Disponível em: <www.bbeled.com/cases/led-street-lighting/brazil/04.html> Acesso em 25 de novembro de 2014.

BRAGA, H. A. C.; RAGONE, J. C.; ABREU, S. R.; RODRIGES, M. C. B.; RIBEIRO, M. V.; PINTO, D. P. Uma Proposta de Redução de Custos no Gerenciamento e na Manutenção de Redes de Iluminação Pública. **IV Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica CITENEL**, Araxá, Novembro de 2007.

BRASIL, Constituição. Constituição da república Federativa do Brasil. 1988.

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

COATON, J. R.; MARSDEN, A. M. **Lamps and Lighting**. 4. ed. Londres: Arnold, 1997.

DAVIES, Thomas W.; BENNIE, Jonathan; GASTON, Kevin J. Street lighting changes the composition of invertebrate communities. **Biology letters**, p. rsbl20120216, 2012.

GUEDES, L. F. A. Reator eletrônico microcontrolado orientado a lâmpadas HID alimentado em onda quadrada de baixa frequência. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – **Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil**, 2010.

HELDMAN, K.; MANGANO V. PMP Project Management Professional Exam Review Guide. **John Wiley & Sons**, 2009.

IEC. IEC 61000-3-2 – Limits for Harmonics Current Emissions (equipment input current < 16 A per phase). **International Electrotechnical Commission**. 1995.

IES. LM-80 Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Light

Soureces. **Illuminating Engineering Society of North America**. 2008.

GOIS, A. **LEDs na Iluminação Arquitetural – 1º Edição**. Rio de Janeiro: Apostila da Biblioteca Virtual Lighting Now, 2008.

LAUBSH, A.; SABATHIL, M.; BAUR, J.; PETER, M.; HAHN, B. High-Power and High-Efficiency InGaN-Based Light Emitters. **IEEE Transactions on Electronic Devices**. Vol. 57, no. 1, pp. 79-87, January 2010.

LETOUZE, P. Interdisciplinary research project management. **International Proceedings of Economics Development & Research**, 14, 2011.

MASCARÓ, L. A iluminação de espaços urbanos. In:-. **História da iluminação pública artificial: sua evolução através do tempo**. 1. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2006. Cap. 2, p 27-42.

MOHAN, N; UNDELAND, T. M.; ROBBINS, W. P. Power Electronics: converters, applications and design. 2. ed. New York: **John Willey & Sons**, 1995

NOGUEIRA, F. J.; SILVA, E. S.; RODRIGUES, C. R. B. S.; CAMPOS, M. F. C.; PINTO, D. P.; BRAGA, H. A. C. Influência da Temperatura no Desempenho de Luminárias LED. In: **International Conference on Industry Applications (IEEE/IAS 10th INDUSCON)**, Fortaleza – CE 2012.

PIERRAKOS, O; ZILBERBERG, A; ANDERSON, R. Understanding undergraduate research experiences through the lens of problem-based learning: Implications for curriculum translation. **Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning**, 4(2), 2010.

PMBok. Guide to the project management body of knowledge. **Project Management Institute, Pennsylvania USA**, 2000.

REZENDE, S. M. Materiais e Dispositivos Eletrônicos. 2ª. Ed. São Paulo: **Livraria da Física**, 2004.

RODRIGUES, C. R. B. S. Contribuições ao Uso de Diodos Emissores de Luz em Iluminação Pública, tese de doutorado, **UFJF/PPGEE**, 2012.

RODRIGUES, C. R. B. S.; ALMEIDA, P. S.; JORGE, J. M.; SOARES, G. M.; PINTO, D. P.; BRAGA, H. A. C. Experimental Characterization Regarding Two Types Of Phosphor-converted White High-brightness LEDs: Low Power And High Power Devices. **Proc. of 11th COBEP**. Natal, RN: [s.n.]. 2011.

SCHUBERT, E. F. Light-Emitting Eiodes. 2. ed. Cambridge. **Cambridge University Press**, 2003.

TECNOWATT. **Projetos de Luminárias Tecnowatt**. Disponível em: <www.tecnowatt.com.br/index.php/projetos/luminaria-beta/> Acesso em 25 de novembro de 2014.

TRÓPICO. **Catálogo de Produtos 2011/2012**. Disponível em: < 27

<http://www.tropico.com.br/?p=produtos/>> Acesso em 25 de novembro de 2014.

ŽUKAUSKAS, A, M.; SHUR, S.; GASKA, R. **Introduction to Solid-State Lighting**.
1. ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.