



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM SOCIOBIODIVERSIDADE E TECNOLOGIAS
SUSTENTÁVEIS (MASTS)**

ALYSSON CHRISTIAN DIAS CUNHA

**EFICIENTIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA
CIDADE DE BATURITÉ UTILIZANDO TECNOLOGIA LED E
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

REDENÇÃO - CE

2019

ALYSSON CHRISTIAN DIAS CUNHA

**EFICIENTIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA
CIDADE DE BATURITÉ UTILIZANDO TECNOLOGIA LED E
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial para qualificação.

**Orientador: Prof. Dr. Cícero Saraiva
Sobrinho**

**Coorientador: Prof. Dr. Herminio Miguel de
Oliveira Filho**

REDENÇÃO - CE

2019

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Cunha, Alysson Christian Dias.

C977e

Eficientização do parque de iluminação pública da cidade de Baturité utilizando tecnologia e energia solar fotovoltaica / Alysson Christian Dias Cunha. - Redenção, 2019.
64f: il.

Dissertação - Curso de Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis, Mestrado Acadêmico Em Sociobiodiversidade E Tecnologias Sustentáveis, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Saraiva Sobrinho.

Coorientador: Prof. Dr. Herminio Miguel de Oliveira Filho.

1. LED. 2. ENERGIA FOTOVOLTAICA. 3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. I.
Título

CE/UF/BSP

CDD 621.47

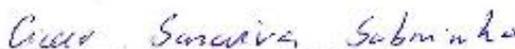
ALYSSON CHRISTIAN DIAS CUNHA

**EFICIENTIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE BATURITÉ
UTILIZANDO A TECNOLOGIA LED E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis.

Aprovada em: 05/09/2019

BANCA EXAMINADORA



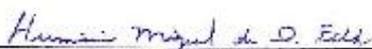
CICERO SARAIVA SOBRINHO

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira
(UNILAB - Presidente) – ORIENTADOR



CARLOS ALVARADO ALCÓCER

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira
(UNILAB - Examinador Interno)



HERMINIO MIGUEL DE OLIVEIRA FILHO

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira
(UNILAB - Examinador Externo ao Programa)

Aos meus pais,
A minha família e
Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Sobretudo a Deus, por me abençoar a todo momento.

Aos meus pais Francisco Cicero Cunha Vieira e Francisca Dias Cunha, pelo apoio, dedicação e amor oferecido.

A minha namorada Amanda Larissa Lima Ramos pela paciência, compreensão, companheirismo, motivação e pelo apoio irrestrito.

Aos meus colegas de pós-graduação por todo empenho, persistência e dedicação e pelo laço de amizade que foi construído.

Aos meus professores por se empenharem, dedicarem e se esforçarem por toda minha pós-graduação para que fosse possível a realização deste sonho. Em especial, ao Professor Dr. Cícero Saraiva Sobrinho e o professor Dr. Herminio Miguel Oliveira Filho, por proporcionarem a oportunidade de realizar esta pesquisa e orientar para a conclusão deste trabalho.

A todos que fazem parte do corpo técnico do MASTS (Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis) que sempre me ajudaram quando solicitados.

Enfim, a todos aqueles que acreditaram na minha vitória.

“Se ainda vale a matemática que me ensinaram, dois números negativos multiplicados resulta num número positivo. Espero que perda de tempo ao quadrado seja um grande ganho de tempo.”

(Humberto Gessinger)

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma simulação de eficiência energética da cidade de Baturité-CE, Brasil, a partir do retrofit da iluminação pública (IP), juntamente com a implantação de um sistema de minigeração solar fotovoltaica. A cidade em estudo está situada na macrorregião do maciço de Baturité, aproximadamente a 90 km da capital cearense, Fortaleza. Portanto, foi realizado uma análise de viabilidade financeira ao se utilizar tecnologia LED em seu parque de IP e verificar os impactos que a mesma pode trazer a cidade. Além do uso do LED projetou-se usinas solar fotovoltaicas com o intuito de compensar os gastos com energia elétrica do parque de iluminação pública de Baturité e apresentar as vantagens do uso desse tipo de fonte de geração de energia elétrica, demonstrando o tempo de retorno do investimento. Junto a Prefeitura de Baturité buscou-se identificar as características de seu parque de iluminação, verificando os tipos de luminárias existentes e suas respectivas potências. Por meio da equivalência de fluxo luminoso das luminárias existentes, realizou-se a simulação da substituição das luminárias tradicionais por LED, no qual foi possível analisar o impacto econômico que a substituição acarreta e os seus benefícios técnicos. Desta forma, verificou-se as vantagens do uso do LED para o município, principalmente referente aos ganhos com a manutenção, pois o LED apresenta vida útil superior as luminárias tradicionais e um menor consumo de energia elétrica. Com o intuito de assegurar uma economia de energia do setor foram dimensionadas usinas fotovoltaicas para compensação na fatura de energia elétrica referente a IP, na qual realizou-se cotações com empresas especializadas em vendas de kits fotovoltaicos e componentes necessários para implantação de uma mini usina. Dessa maneira, analisou-se que é viável o investimento de uma usina solar para compensação de energia elétrica do parque de iluminação cidade, pois além de trazer benefícios energéticos e ambientais é possível reduzir o gasto com faturas de energia elétrica de forma acessível juntamente com a substituição das luminárias por LED. Portanto, a tecnologia LED e a energia solar fotovoltaica se apresentam como ótimas opções para melhorar a eficiência energética da cidade e mais um instrumento que impacta positivamente o meio ambiente.

Palavras-chave: LED; energia fotovoltaica; eficiência energética; Iluminação Pública; Baturité.

ABSTRACT

This paper presents a simulation of energy efficiency of Baturité-CE, Brazil, from the retrofit of public lighting (IP), together with the installation of a photovoltaic solar mini-generation system. The city being studied is located in the macroregion of the Baturité massif, approximately 90 km from Ceará's capital, Fortaleza. Therefore, a financial viability analysis was performed using LED technology in its IP park and checking the impacts that it can bring to the city. In addition to the use of LED, solar photovoltaic plants were designed in order to compensate for the electricity costs of Baturité's public lighting park and to present the advantages of using this type of electrical power generation source, showing the return time of the investment. Together with the Local Government of Baturité, it was sought to identify the characteristics of its lighting park, checking the types of existing lamps and their respective capacities. Through the luminous flux equivalence of the existing lamps, the replacement of traditional lamps by LED ones was simulated, in which it was possible to analyze the economic impact of the replacement and its technical benefits. Thus, it was verified the advantages of using the LED for the city, especially regarding the benefits with maintenance, because the LED has a longer service life than traditional lamps and a lower consumption of electricity. In order to ensure energy savings in the sector, photovoltaic plants were dimensioned to offset the IP electricity bill, in which quotations were made with companies specialized in the sale of photovoltaic kits and components required for the implementation of a mini plant. Thus, it was analyzed that it is feasible to invest in a solar power plant to compensate for electricity in the city lighting park, as it can bring energy and environmental benefits that reduces the cost of electricity bills in an affordable way along with the replacement of lamps by LED. Therefore, LED technology and photovoltaic solar energy are great options for improving the city's energy efficiency and another instrument that positively impacts the environment.

Palavras-chave: LED; Photovoltaic Energy; Energy Efficiency; Public Lighting; Baturité.

ABREVIATURAS

€/Wp	Euro por Wattpico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CE	Ceará
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
CO ₂	Dióxido de Carbono
COSIP	Contribuição para custeio do Serviço de Iluminação Pública
FV	Solar fotovoltaica
GWh	GigaWattHora
GWp	GigaWattpico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Iluminação Pública
IR	Infrevermelho
IRC	Índice de Reprodução de Cor
kWh	QuiloWatt-hora
kWh/mês	QuiloWatt-hora por mês
LED	Diodo Emissor de Luz
lm/W	Lúmens por Watt
MWp	MegaWattpico
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QIP	Quadro de Iluminação Pública
TWh	TeraWattHora
UNILAB	Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
US\$/W	Dólar por watt
UV	Ultravioleta
VM	Vapor de mercúrio
VSAP	Vapor de Sódio em Alta Pressão
VSBP	Vapor de Sódio de Baixa Pressão

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Funcionamento interno do LED.....	23
Figura 02 – Espectro da radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda.	24
Figura 03 – Desenvolvimento da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica	27
Figura 04 – Histórico de ano a ano da potência instalada na Europa x Américas x Total no mundo	29
Figura 05 – Evolução do custo do sistema fotovoltaico no EUA.....	30
Figura 06 – Evolução do custo do sistema fotovoltaico na Alemanha.....	31
Figura 07 – Irradiação total diária direta normal	32
Figura 08 – Média mensal da radiação solar (W/m^2) para o ano de 2010.....	33
Figura 09 – Mapa de localização de Baturité, Ceará.....	37
Figura 10 – Eficiência das lâmpadas VSAP, Vapor metálico e LED.....	49
Figura 11 – Payback descontado – substituição luminárias	52
Figura 12 – Payback descontado – usina solar fotovoltaica.....	56
Figura 13 – Payback descontado total	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Contribuição para custeio da iluminação pública.....	22
Tabela 02 – Comparação entre os sistemas de iluminação pública mais utilizados.....	26
Tabela 03 – Principais países com maior capacidade instalada de geração FV	28
Tabela 04 – Irradiação solar e área, por país.	29
Tabela 05 – Tarifa de energia elétrica para os anos de 2013 a 2018– Enel Ceará	43
Tabela 06 – Tarifa de energia elétrica 2018 – Enel Ceará.....	44
Tabela 07 – QIP Baturité.....	47
Tabela 08 – Eficiência luminosa das luminárias VSAP	48
Tabela 09 – Eficiência luminosa das luminárias vapor metálico	48
Tabela 10 – Eficiência luminosa das luminárias de LED.....	48
Tabela 11 – Valor do investimento inicial das luminárias	50
Tabela 12 – Simulação da fatura de energia elétrica após a substituição do LED para um período de 12 anos	51
Tabela 13 – Dados para cálculo da usina solar.....	53
Tabela 14 – Componentes do kit fotovoltaico.....	54
Tabela 15 – Orçamento das subestações elevadoras	55
Tabela 16 – Orçamento das usinas solar fotovoltaica	55
Tabela 17 – Fluxo de caixa investimento total	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2.	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Iluminação Pública no Brasil	17
2.2	Histórico da iluminação pública no Brasil	17
2.3	Contribuição de Iluminação Pública (CIP)	19
2.4	Lei municipal nº 1196/2002	21
2.5	LED	23
2.5.1	Definição do LED	23
2.5.2	Vantagens das lâmpadas de LED	24
2.6.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	27
2.6.1	Energia solar fotovoltaica no mundo e no Brasil	27
2.6.2	Potencial solar brasileiro	31
2.7.	RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012 E 687/2015	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	Locus da pesquisa	37
3.2.1	Levantamento das características das lâmpadas	37
3.2.2	Substituição das luminárias VSAP por luminárias LED	38
3.5	Análise da tarifa de energia elétrica	43
3.6.1	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	QIP Baturité	47
4.2	Substituição das luminárias	48
4.3	Usina solar fotovoltaica	52
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma matriz elétrica diversificada e com predominância de fonte renovável. Cerca de 66% da geração de energia elétrica do país é oriunda das hidroelétricas, por outro lado, outras fontes renováveis que apresentam um elevado potencial, como solar e eólica, mostram-se ainda com uma baixa participação na matriz elétrica (EPE, 2017).

Diante dos problemas ambientais que o Brasil vem passando nos últimos anos e o aumento da demanda por energia elétrica, a eficiência energética e o uso racional de energia elétrica passaram a ser fatores predominantes para o desenvolvimento do setor elétrico no país. Impossibilitado de realizar grandes obras que beneficiariam o setor e impactaria diretamente o meio ambiente, o país busca por medidas que vislumbre o desenvolvimento energético de forma mais sustentável.

Nesse contexto, a iluminação pública é um dos principais setores que consome energia elétrica nos municípios brasileiro. Segundo a EPE (2017), o setor de iluminação pública foi responsável por consumir cerca de 3,3 % da energia elétrica no país em 2016, correspondendo cerca de 15.034 GWh. Além disso, o setor de iluminação pública apresenta um baixo nível de eficiência energética devido à falta de planejamento e gestão, no qual as prefeituras atualmente são as responsáveis pela gestão de seus parques de iluminação.

Vale destacar que, conforme estabelecido no art. 30, inciso V da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), a responsabilidade pela prestação do serviço de iluminação pública é da prefeitura municipal. A Resolução Normativa ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010, no art. 218 definiu que as distribuidoras de energia devem transferir o sistema de iluminação pública registrado como Ativo Imobilizado em Serviço (luminárias, lâmpadas, relés e reatores) à pessoa jurídica de direito público competente (prefeituras).

Nota-se que, apesar de a legislação vigente respaldar os municípios brasileiros e fornecer o direito de se responsabilizar pela gestão do setor, sabe-se que a maioria dos municípios não apresenta competência técnica, nem recursos humanos e financeiros para manter e desenvolver o setor de iluminação pública. Portanto, infelizmente a gestão acaba sendo deficiente, ocorrendo manutenção e expansão do sistema com pouco planejamento (SILVA, 2006).

Essa problemática envolve um país, o Brasil, com dimensões continentais e com mais de 5 mil municípios, conseqüentemente. Todavia, o Estado brasileiro apresenta um parque de iluminação pública com grande diversidade de sistemas, tecnologias, níveis de atendimento e de qualidade de serviços prestados (SILVA, 2006).

Similarmente, Silva (2006) observa que as desigualdades sociais verificadas no país também refletem na iluminação pública, como exemplificado no nível tecnológico: as luminárias mais modernas são utilizadas nos grandes centros urbanos e em cidades menos favorecidas ainda são instalados sistemas com luminárias de vapor de sódio e mercúrio.

Sob essa ótica, Santana (2010) explana que a utilização de equipamentos de baixa qualidade e baixa eficiência acarreta em desperdícios de energia elétrica, principalmente quando há deficiência na gestão de alguns serviços, como: cadastramento do sistema de iluminação pública, gerenciamento do uso de energia elétrica com iluminação urbana, operação e manutenção dos parques de iluminação urbana, obras, eficiência energética e sinalização luminosa.

Ainda nesse contexto, para Lima Júnior (2014) a iluminação pública dos municípios brasileiros é composta em sua maioria por lâmpadas de mercúrio, vapor de sódio, metálicas ou fluorescentes. Em contraste a isso, o uso da tecnologia LED (Diodo Emissor de Luz) vem ajudando no crescimento da eficiência energética no mundo, pois apresenta altos níveis de eficiência e durabilidade.

No que tange ao uso de luminárias de LED, trata-se de uma tecnologia que vem deixando de lado um mercado que era dominado pelas lâmpadas de descargas. Em média, anualmente é consumido cerca de 151,2 Terawatthora (TWh) de energia elétrica com iluminação pública, no qual poderia obter um rendimento melhor utilizando-se a tecnologia de LED (BLUESPAN, 2009; SALES, 2011).

Além de apresentar ganhos energéticos, o LED proporciona uma valorização das áreas urbanas, tornando-se um fator de contribuição para o desenvolvimento social e econômico da população. Uma iluminação pública bem estruturada ajuda no combate à violência, valoriza áreas de lazer e contribui para um melhor sistema viário da cidade.

Embora a exploração tecnológica mitigue significativas perdas de energia, ela sozinha não é capaz de solucionar todo o problema. Por isso, o governo federal, com o intuito de melhorar a conservação de energia, promove programas que visam diminuir os recursos destinados a expansão da geração e transmissão, como o Reluz. Este é um dos

programas do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) da Eletrobrás que tem como objetivo a implantação de sistemas de iluminação pública mais eficientes, ou seja, utilização de tecnologias de lâmpadas que apresentem maior relação fluxo luminoso, que conseqüentemente irá proporcionar economia de energia (ASCURRA, 2013).

Entretanto, o Brasil perde por aproveitar pouco os seus recursos energéticos, pois o país apresenta altos índices de irradiação mesmo possuindo grande potencial de energia solar, por exemplo. O uso de sistemas fotovoltaicos para alimentar ou compensar o sistema de iluminação pública das cidades desenvolveria ainda mais o setor e aumentaria sua parcela de contribuição na matriz energética brasileira, tendo em vista que a principal fonte de energia elétrica do país, a hídrica, passa por uma severa crise, comprometendo todo o sistema.

Diante dos problemas energéticos e econômicos que o país vem passando, escolheu-se a cidade de Baturité (Ceará) para a realização de um estudo de caso. Segundo o IBGE (2011), a cidade possui como principal fonte de renda a agricultura e comércio local, possuindo baixo nível de desenvolvimento industrial.

Por se tratar de uma cidade de pequeno porte e baixo nível de desenvolvimento econômico, além de estar cerca de 50 km da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), a mesma é a maior cidade da região, em termos territoriais e econômicos. Desse modo, realizou-se uma simulação de retrofit da iluminação pública a partir da substituição da tecnologia atual de luminárias pelas do tipo de LED utilizando sistema solar fotovoltaico para compensação de energia na fatura final de energia, no qual verificou-se o benefício econômico-social que irá trazer para os cidadãos da cidade.

Com o passar dos anos observou-se que o município de Baturité apresenta baixa eficiência energética e econômica em sua gestão no parque de iluminação pública, como a grande parte dos municípios cearenses, o que vem comprometendo novos investimentos e apresentando uma baixa qualidade para os cidadãos daquela cidade.

Dessa forma, desenvolveu-se este trabalho a partir das seguintes questões: Qual o impacto econômico do uso de lâmpadas do tipo LED e de um sistema solar fotovoltaico na iluminação pública da cidade de Baturité? Quais os benefícios que o investimento traria para a população local?

O objetivo geral desta pesquisa é realizar um estudo referente a uma simulação de eficientização no parque de iluminação pública do município de Baturité, no qual utilizará fontes de energia renovável como forma de compensação de energia do parque com o intuito de minimizar os custos com energia elétrica para a cidade.

Em específico, buscou-se determinar: verificar a equivalência das lâmpadas existentes por LED, análise do impacto da utilização de LED sobre o consumo de energia elétrica, dimensionamento do sistema fotovoltaico para o parque de IP e análise da viabilidade econômica e da relação custo e benefício.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: no segundo capítulo é apresentado uma revisão de literatura, no qual é abordado os principais elementos e temas que se fazem necessários para ter um melhor entendimento do tema de pesquisa proposto. Já no terceiro capítulo consiste na metodologia utilizada para a realização da pesquisa. O quarto capítulo contempla os resultados e discussões que se obteve no decorrer da pesquisa, e todas as considerações que foram realizadas para se obter todos os resultados. Por fim, no quinto e último capítulo consiste nas conclusões e as considerações finais que foi possível obter com o desenvolvimento da pesquisa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Iluminação Pública no Brasil

A Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL tratou de definir no artigo 2º, a Iluminação Pública como: “serviço público que tem por objetivo exclusivo prover de claridade os logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual”.

A resolução supracitada caracteriza o serviço de iluminação pública da seguinte forma:

[...]caracteriza-se pelo fornecimento para iluminação de ruas, praças, avenidas, túneis, passagens subterrâneas, jardins, vias, estradas, passarelas, abrigos de usuários de transportes coletivos, logradouros de uso comum e livre acesso, inclusive a iluminação de monumentos, fachadas, fontes luminosas e obras de arte de valor histórico, cultural ou ambiental, localizadas em áreas públicas e definidas por meio de legislação específica, exceto o fornecimento de energia elétrica que tenha por objetivo qualquer forma de propaganda ou publicidade, ou para realização de atividades que visem a interesses econômicos (ANEEL, 2010, p 15).

2.2 Histórico da iluminação pública no Brasil

O histórico da iluminação pública no Brasil deu início por volta de 1794 no Rio de Janeiro, na qual foi instalado cerca de 100 luminárias a óleo de azeite pelos postes da cidade levando iluminação para os munícipes (ROSITO, 2010). Outras formas de se obter iluminação foram executadas, como destaca Oliveira (2016, p 05 apud CALDEIRA, 1995, p. 289), por meio do empresário Irineu Evangelista de Sousa (Barão de Mauá) no dia 25 de março de 1854 foi inaugurado a primeira iluminação a gás do Brasil. O texto a seguir relata os comentários da iluminação proporcionada pelo Barão de Mauá:

A iluminação a gás na parte central do Rio prolonga a vida social nos parques e nas ruas da cidade. O Passeio Público, no Rio de Janeiro, era lugar de ver e de ser visto. [...] Nos anos 1860 a iluminação a gás entra nas casas mais ricas e, em 1874, cerca de 10 mil casas já dispunham desse conforto. No ambiente iluminado das casas, dos salões e dos cafés, a aparência individual devia revestir-se de novos atributos estéticos. (OLIVEIRA, 2016, p. 05 apud NOVAIS, 1997, p. 85).

Em 1874, outra cidade brasileira também foi beneficiada por uma usina de gásômetro com a finalidade de fornecer gás para iluminação, a cidade foi de Porto Alegre.

A sua praça matriz recebeu postes de iluminação pública a gás no entorno do chafariz central.

Com desenvolvimento da eletricidade, por meio principalmente Thomas Edison e Nikola Tesla, a iluminação pública no mundo começou avançar e ganhar espaço por conta do uso da eletricidade. Por volta de 1876, D. Pedro II realizou uma visita na Exposição de Filadélfia e dessa forma voltou para o Brasil entusiasmado e permitiu que Thomas Edison inserisse suas novas tecnologias no país. Segundo (SILVA, 2006), em torno de 1879 foi inaugurado a iluminação elétrica da estação central da Estrada de Ferro D. Pedro II (Central do Brasil), localizada no centro da cidade do Rio de Janeiro.

Já o primeiro serviço municipal de iluminação elétrica do Brasil teve sua inauguração em 1887 na cidade Porto Alegre, onde aproveitou a energia elétrica gerada de uma usina térmica da Companhia Fiat Flux (SILVA, 2006).

O desenvolvimento das usinas hidrelétricas no país é considerado um fator predominante para o desenvolvimento da iluminação pública no Brasil, pois um dos primeiros serviços energéticos produzidos a partir da energia elétrica foi a iluminação pública. Destaca-se a hidrelétrica de Marmelos, erguida pelo industrial Bernardo Mascarenhas, que foi construída em 1889, às margens do rio Paraibuna, em Juiz de Fora (Minas Gerais) (SILVA, 2006). A hidrelétrica de Marmelos é considerada o marco zero na história da energia elétrica no Brasil.

De acordo com Silva (2006), por meio da construção da usina de Fontes, no município de Pirai, através da Rio de Janeiro Tramway, em 1905, a Light conseguiu absorver pequenas empresas já existentes, monopolizando os serviços de iluminação, bondes e telefones, além do fornecimento de gás. Por conta da precariedade da administração pública dessa época para atender a demanda da sociedade, os regimes de concessão de serviços públicos eram soberanos.

A Constituição de 1891 não fazia distinção entre a propriedade dos recursos naturais e a posse da terra. As concessões eram geralmente outorgadas pelas prefeituras e o poder concedente, em caso de exploração de quedas d'água, era dos governos estaduais. Os primeiros contratos de concessão tinham prazos de até 90 anos, além de garantias financeiras do Estado às concessionárias (SILVA, 2006).

Dado a relevância que o setor energético vinha tomando progressivamente e ganhava maior importância para o estado, para sua concessão foi atribuída exclusividade

federal. Já a prestação do serviço de iluminação pública foi repassada para responsabilidade dos municípios.

É notório que com a expansão da energia elétrica o setor de IP cresceu exponencialmente. Rosito (2010), demonstrou que a cidade do Rio de Janeiro apresentava uma evolução de dez mil pontos por década na primeira metade do século XX, no qual essa evolução foi mais acentuada quando se iniciou a utilização em larga escala das lâmpadas de descarga a partir dos anos de 1960.

2.3 Contribuição de Iluminação Pública (CIP)

Com base no art. 30 da Constituição Federal (1988), compete aos municípios organizar e prestar os serviços de interesse local. Os interesses locais incluindo o transporte coletivo, que possui caráter “essencial” como a iluminação pública é de interesse local e fica sob responsabilidade municipal.

Entretanto, apenas no dia 19 de dezembro de 2002 foi inserido na Constituição Federal no artigo 149-A, pela Emenda Constitucional 39, a cobrança do custeio do serviço de iluminação pública. A finalidade desse custeio é o financiamento de serviço de iluminação pública. Dessa forma, os Municípios e o Distrito Federal podem instituir contribuição, para custeio do serviço de iluminação pública na fatura do consumo de energia elétrica, na forma das respectivas leis.

Segundo Santana (2010) p. 44 apud Brasil (2003), observa-se que na Emenda Constitucional 39, que a mesma analisa o disposto do artigo 150, inciso I e III, conforme o texto abaixo:

Art. 150. Sem prejuízo de outras garantias asseguradas ao contribuinte, é vedado à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios:

- I - exigir ou aumentar tributo sem lei que o estabeleça;
- III - cobrar tributos:
 - a) em relação a fatos geradores ocorridos antes do início da vigência da lei que os houver instituído ou aumentado;
 - b) no mesmo exercício financeiro em que haja sido publicada a lei que os instituiu ou aumentou;
 - c) antes de decorridos noventa dias da data em que haja sido publicada a lei que os instituiu ou aumentou, observado o disposto na alínea b. [...].

No artigo 116 da Resolução Aneel nº 456/2000 está definido as tarifas para iluminação pública, no qual estão estruturadas conforme o ponto de entrega. A tarifa B4a

é aplicada para os sistemas de iluminação pública que o poder público for proprietário e a tarifa B4b para sistemas de propriedade da concessionária de energia elétrica.

A Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL ordena que as distribuidoras de energia elétrica proprietárias de ativos de iluminação pública transferissem até 31 de dezembro de 2014 os respectivos acervos para a pessoa jurídica competente. O art. 218 da mesma resolução determina que as distribuidoras deveriam transferir os ativos da iluminação pública (luminárias, lâmpadas, relés e reatores) às prefeituras permitindo que as prefeituras pudessem realizar licitações para prestação de serviço de manutenção no seu parque de iluminação pública

Anteriormente, as distribuidoras de energia elétrica eram as responsáveis pela gestão e manutenção dos parques de iluminação dos municípios. Atualmente, as distribuidoras agem como agentes de cobrança/arrecadação da contribuição para custeio do serviço de iluminação pública (COSIP) por meio da fatura de energia elétrica. Dessa maneira as distribuidoras são as principais responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica para os sistemas de iluminação pública.

A Contribuição de Iluminação Pública (CIP) ou a Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP) juntamente com a fatura é lícita, inclusive quando operacionalizada por meio de código de barras. A CIP e a COSIP estão estabelecidas no art. 149 da Constituição Federal e a forma da cobrança deve ser estabelecida nas leis municipais.

As prefeituras municipais são as responsáveis por estabelecerem as contribuições de iluminação pública e submeterem a minuta de Lei para aprovação das câmaras de vereadores, sempre respeitando e obedecendo o estabelecido na Constituição Federal.

Em relação ao faturamento, o art. 24 da Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL define da seguinte forma:

Para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública ou à iluminação de vias internas de condomínios, o tempo a ser considerado para consumo diário deve ser 11 (onze) horas e 52 (cinquenta e dois) minutos, ressalvado o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento (ANEEL, 2010, p. 23).

Após o estudo realizado pelo consumidor e a distribuidora junto ao Observatório Nacional, devidamente aprovado pela ANEEL, o tempo a ser considerado para consumo diário pode ser diferente do estabelecido.

2.4 Lei municipal nº 1196/2002

O município de Baturité, por meio da Lei Municipal nº 1196 de 30 de dezembro de 2002, instituiu a contribuição para o custeio da iluminação pública. O artigo 01 da lei reata que o serviço previsto compreende o consumo de energia destinado a iluminação de vias, logradouros e demais bens ou públicos, e a instalação, manutenção, melhoramento e expansão da rede de iluminação pública.

A mesma lei relata que é fato gerador da CIP é o consumidor de energia elétrica por pessoa natural ou jurídica, mediante ligação regular de energia elétrica no território do município, ou seja o consumidor ele gera a receita da CIP. Dessa forma, o consumidor de energia elétrica residente ou estabelecido no território do município e que esteja cadastrado junto a concessionária distribuidora de energia elétrica titular da concessão no território do município é sujeito passivo da CIP.

Segundo a Lei nº 1196/2002, com base no consumo mensal total de energia elétrica constante na fatura que é emitida pela empresa concessionária distribuidora é realizado a base de cálculo da CIP. Porém, as alíquotas de contribuição são diferenciadas conforme total de energia elétrica constante na fatura emitida pela concessionária responsável. A Tabela 1 apresenta a contribuição para custeio da iluminação pública por classe.

Tabela 01 – Contribuição para custeio da iluminação pública.

Classe	Consumo (kW/h/mês)	Alíquota (%)
Industrial/Consumidor Poder Público/Consumo próprio	Até 30 kWh	1
	De 31 a 50 kWh	2
	De 51 a 100 kWh	3
	De 101 a 200 kWh	5
	De 201 a 300 kWh	6,6
	De 301 a 500 kWh	8,28
	Mais de 500 kWh	11
Residencial	Até 50 kWh	Isento
	De 50 a 100 kWh	1,09
	De 101 a 200 kWh	2,18
	De 201 a 300 kWh	3,27
	De 301 a 400 kWh	4,36
	De 401 a 500 kWh	6,54
	Acima de 500 kWh	9,81

Fonte: Adaptado de Baturité (2002).

Entretanto, estão isentos da contribuição todos os consumidores residentes na zona rural e os consumidores residentes na zona urbana, referente à classe residencial com consumo de até 50kWh.

O inciso 2º do art. 02 da Lei 1196/2002 descreve da seguinte forma:

[...]Estão excluídos da base de cálculo da CIP os valores de consumo que superem os seguintes limites.

- a) Classe industrial – 10.000 kWh/mês;
- b) Classe comercial – 7.000,00 kWh/mês;
- c) Classe residencial – 3.000 kWh/mês;
- d) Classe rural – 2.000 kWh/mês;
- e) Classe serviço público – 7.000 kWh/mês;
- f) Classe Poder Público – 7.000 kWh/mês;
- g) Classe consumo próprio – 7.000 kWh/mês (BATURITÉ, 2002, p. 02).

O artigo 6º da lei 1196/2002, relata que o município conveniará ou contratará com a concessionária de energia elétrica a forma de cobrança e repasse dos recursos relativos à contribuição. Obrigatoriamente, este artigo prever repasse imediato do valor arrecadado pela concessionária ao município, retendo os valores necessários ao

pagamento da energia fornecida para a iluminação pública e os valores fixados para remuneração dos custos de arrecadação e de débitos que, eventualmente, o município tenha ou venha a ter com a concessionária relativos, aos serviços supra citados.

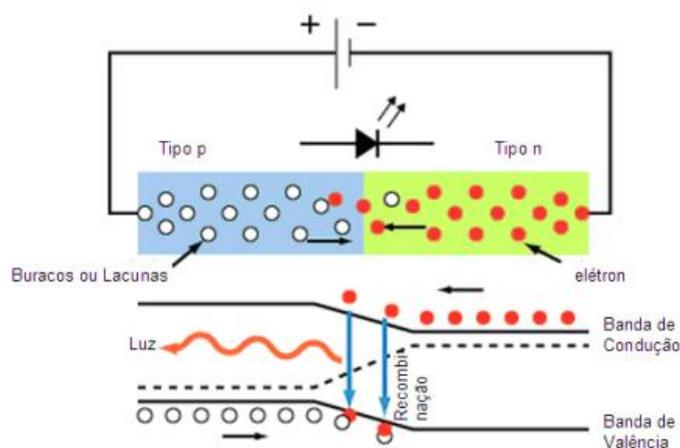
A lei também prevê a criação de um Fundo Municipal de Iluminação Pública, de natureza contábil e administrado pela Secretaria de Administração e Finanças. Portanto, deverá ser destinado todos os recursos arrecadados com a CIP para custear os serviços de iluminação pública previsto na lei.

2.5 LED

2.5.1 Definição do LED

O LED (Diodo Emissor de Luz) é um componente eletrônico semiconductor, com a mesma tecnologia utilizada nos circuitos integrados de computadores, que possui a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Diferentemente das lâmpadas tradicionais, o LED não utiliza filamentos metálicos, radiação ultravioleta, nem descarga de gases. O diodo emissor de luz é um componente bipolar, que possui um terminal chamado cátodo e outro chamado ânodo, que quando polarizado permitem a passagem de corrente elétrica, emitindo luz (SANTOS et al., 2015). A Figura 01 apresenta o funcionamento interno de um LED.

Figura 01 – Funcionamento interno do LED

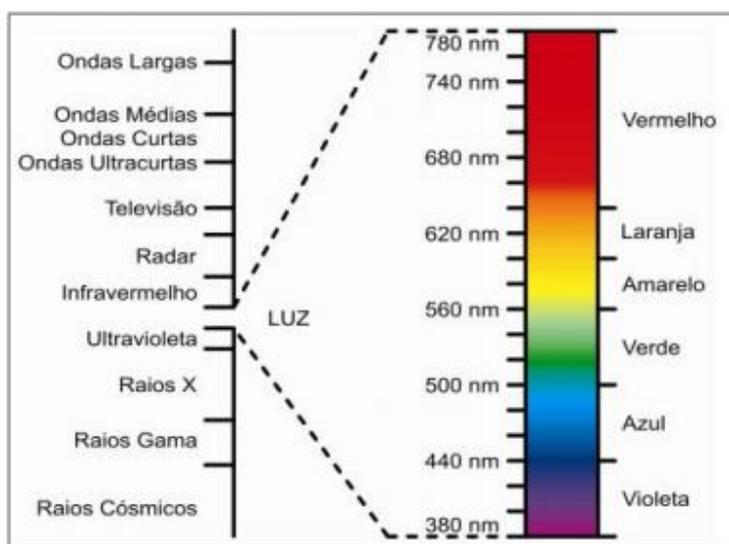


Fonte: Marteleto (2011).

Como pode ser observado na Figura 01, os elétrons se deslocam em direção a junção p-n, caso a tensão aplicada entre anodo e catodo do semiconductor for de valor adequado aos elétrons do material do tipo n e às lacunas do material do tipo p. Dessa forma, esta recombinação exige que a energia do elétron livre não ligado seja transferido para outro estado inferior, no qual essa mesma energia é emitida na forma de fótons. Cada material terá seu próprio nível de energia na sua estrutura atômica (MARTELETO, 2011).

A cor emitida pelo o LED está diretamente ligada ao comprimento de onda da luz e varia de acordo com o material do semiconductor. A variedade de cores é o resultado de uma combinação de elementos químicos como: fósforo, arsênio, gálio, índio, nitrogênio e alumínio. Como por exemplo para se obter a cor vermelha são utilizados materiais semicondutores a base de AlInGaP (Alumínio, Índio, Gálio e Fósforo). A Figura 02 indica os espectros de radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda (MATOSO, 2016).

Figura 02 – Espectro da radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda.



Fonte: Marteleto (2011).

2.5.2 Vantagens das lâmpadas de LED

As lâmpadas de LED apresentam propriedades mais vantajosas que as lâmpadas comumente utilizadas, como as lâmpadas fluorescentes e incandescentes. Segundo Santos et al., a (2015), as lâmpadas de LED possuem economia de 65% a 85% em relação a

outros tipos de lâmpadas. Comparando a lâmpada de LED com uma lâmpada incandescente, o LED utiliza 82% menos energia elétrica garantindo uma economia significativa na conta de energia (SANTOS et al., 2015).

Outro fator que desperta atenção é a durabilidade de uma lâmpada de LED. Uma lâmpada doméstica de LED tem durabilidade de 50.000 horas, e já uma lâmpada incandescente possui durabilidade de 1.000 horas e a fluorescente de 6.000 horas (SANTOS et al., 2015). Matoso (2016) destaca que o processo de ligar e desligar a lâmpada, o LED não tem sua vida útil diminuída, o que ocorre com outras lâmpadas. A elevada vida útil do LED em relação aos outros tipos de lâmpadas resulta menos gastos com manutenção.

Em relação a termos econômicos, o LED não emite radiação Ultravioleta (UV) e Infravermelha (IR), ou seja, emitindo pouco calor e pequenas perdas de energia. Por esse motivo o LED possui uma característica interessante é o fato de que a luz não desbota ou danifica tecido e não apresenta danos a pele (MATOSO, 2016).

Dentro desta ótica, o LED também apresenta vantagens ambientais, uma vez que estimula a sustentabilidade preservando o meio ambiente, pois são livres de gases e metais pesados como sódio, tungstênio e mercúrio, substâncias altamente poluentes e tóxicas, que são encontradas em outros tipos de lâmpadas (MATOSO, 2016). Isso torna o descarte e reciclagem dos diodos mais fácil e o seu manuseio apresenta menos riscos.

O descarte incorreto de outros tipos de lâmpadas é um grave problema para o Brasil, pois o país é o quarto que consome mais lâmpadas fluorescentes no mundo. Anualmente, o Brasil descarta aproximadamente 3,5 toneladas de mercúrio contidas nas 85 milhões de lâmpadas descartadas nos aterros públicos (SANTOS, et al., 2015). No caso das lâmpadas de LED, cerca de 98% dos materiais em sua composição são recicláveis e não contêm metais pesados, como o mercúrio, em sua produção.

Com o objetivo de fornecer uma melhor percepção das vantagens da tecnologia LED, a Tabela 02 apresenta a comparação entre as várias tecnologias de lâmpadas utilizadas na iluminação pública, como: vapor de sódio de baixa e alta pressão, vapor metálico e LED.

Tabela 02 – Comparação entre os sistemas de iluminação pública mais utilizados.

Potência (W)	VSBP 18-200	VSAP 35-1.000	VM 50-1.200	LED 1,5-160
Fluxo luminoso (lm)	2.000-30.000	1.500-150.000	2.000-57.000	50-10.000
Eficácia luminosa E/Klumen	120-180	95-140	50-60	80-186
E/W	2—5	0,8—3	0,96--2,06	>100
IRC	0,24--0,7	0,076--0,33	0,050--0,071	>7,5
T° Color (K)	25	25-65	40-55	60-92
Vida Média (h)	2.000-2.300	2.000-2.300	3.500-4.000	2.650-6.800
Vida útil (h) 6h/dia	12.000	15.000	5.000	35.000
T acender (s)	16.000	24.000	3.500-4.000	50.000-100.000
T reacender (min)	7—12	2—10	300	
	1—15	3—6	1--25	

Fonte: PIRES (2016).

Observa-se que a potência de um LED é inferior o que conduz ao um menor consumo energético, possuindo uma eficiência luminosa superior, o que demonstra uma maior eficiência energética, e uma vida média útil superior a todas as tipologias de lâmpadas demonstradas.

Outro aspecto apontado por Pires (2016) é em relação as modificações do desenho das novas luminárias devido a aparição do LED com alta luminosidade, pois as luminárias foram beneficiadas por um tempo de vida útil de cinco a sete anos sem a necessidade de qualquer intervenção para manutenção.

Porém, o LED ainda apresenta algumas desvantagens quanto a aquisição e sua implementação, como: fiabilidade, preço e IRC (PIRES, 2016).

- a) Fiabilidade: por se tratar de uma tecnologia em evolução contínua, existem grandes diferenças na qualidade dos dispositivos dependendo do fabricante. Dispositivos da mesma marca podem apresentar diferenças em relação a luz emitido e ao tempo de vida útil;
- b) Preço: como possui uma produção que implica na extração de minerais e o uso de semicondutores acarreta em um valor econômico mais alto;
- c) IRC: comparado as lâmpadas de HM e fluorescentes, que conseguem atingir IRC de 85 a 95, o LED ainda não atinge o valor ideal em relação a esses outros tipos de lâmpadas.

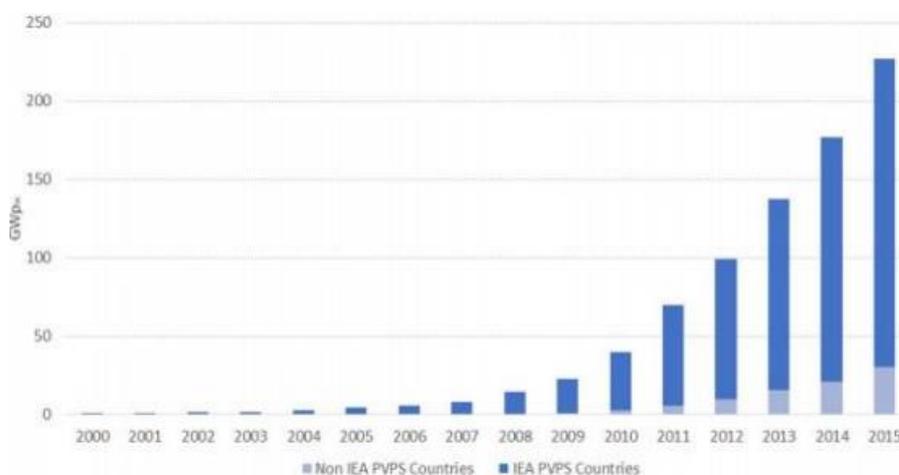
Entretanto, essas desvantagens ainda não são suficientes para não considerar o LED como a melhor opção de iluminação, pois características como a baixa emissão de calor, a de raios UV e IV, o aspecto positivo para o meio ambiente e sua elevada eficiência sobressaem as desvantagens referidas.

2.6. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.6.1 Energia solar fotovoltaica no mundo e no Brasil

Em termos mundiais o uso de energia solar fotovoltaica vem aumentando exponencialmente, atingindo em 2015 a capacidade total instalada de 227 GWp, conforme é apresentado na Figura 03 (IEA, 2015).

Figura 03 – Desenvolvimento da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica



Fonte: IEA (2015).

Verifica-se que nos últimos 15 anos a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica deu grandes saltos, e no ano de 2015 teve um aumento de 25% em relação ao ano de 2014.

O país que domina o mercado e possui a maior capacidade instalada de energia solar fotovoltaica (FV) é a China. A Tabela 03 apresenta os países que possuem a maior capacidade instalada de FV.

Tabela 03 – Principais países com maior capacidade instalada de geração FV

Potência instalada	
País	(GW)
China	131
EUA	51
Japão	49
Alemanha	42
Itália	19,7
Índia	18,3
Reino Unido	12,7
França	8
Austrália	7,2
Espanha	5,6

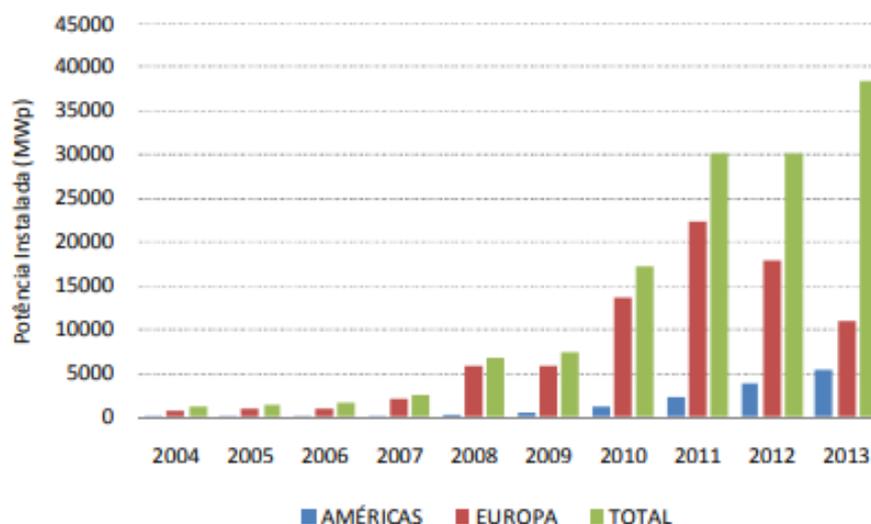
Fonte: Snapshot of Global PV Markets, IEA PVPS (2018).

Segundo o IPEA (2015), apenas em 2015 a China passou a liderar a capacidade total instalada de energia solar fotovoltaica. Entretanto, o Brasil não está na lista dos vinte maiores líderes mundiais em produção de energia solar FV.

Com base em ANEEL (2019), em 2019 o Brasil ultrapassou a marca de 1GW de potência instalada em micro e mini geração distribuída de energia elétrica. A energia solar fotovoltaica consiste na fonte mais utilizada, com 82,6 mil micro e mini usinas e cerca de 870 megawatts (MW) de potência instalada.

Em relação ao mercado FV no continente americano, a Figura 04 apresenta uma comparação com mercados europeu e mundial.

Figura 04 – Histórico de ano a ano da potência instalada na Europa x Américas x Total no mundo



Fonte: IEA (2015).

De acordo com Antonioli (2015), o continente americano possui uma potência média anual instalada de 7% do total mundial, mas sabe-se que mais de 90% dos sistemas FV estão concentrados nos EUA. A Europa possui uma participação média no mercado FV de 73% do total.

Porém, o Brasil possui níveis de irradiação solar e extensão territorial maior do que alguns dos principais países que dominam esse setor, como é apresentado na Tabela 4.

Tabela 04 – Irradiação solar e área, por país.

País	Mínima	Máxima	Média	Área (mil.km ²)
Alemanha	2,47	3,42	2,95	357,02
França	2,47	4,52	3,49	543,97
Espanha	3,29	5,07	4,18	504,97
Brasil	4,25	6,75	5,5	8.515,77

Fonte: WWF (2015).

A Alemanha, o quarto país que possui maior capacidade instalada de FV, tem menos de 5% da superfície territorial do Brasil e índices médios de irradiação solar de cerca de metade dos brasileiros. Vale destacar que os países líderes possuem uma matriz energética predominante a base de combustíveis fósseis e nuclear, e a matriz brasileira tem caráter renovável (WWF, 2015).

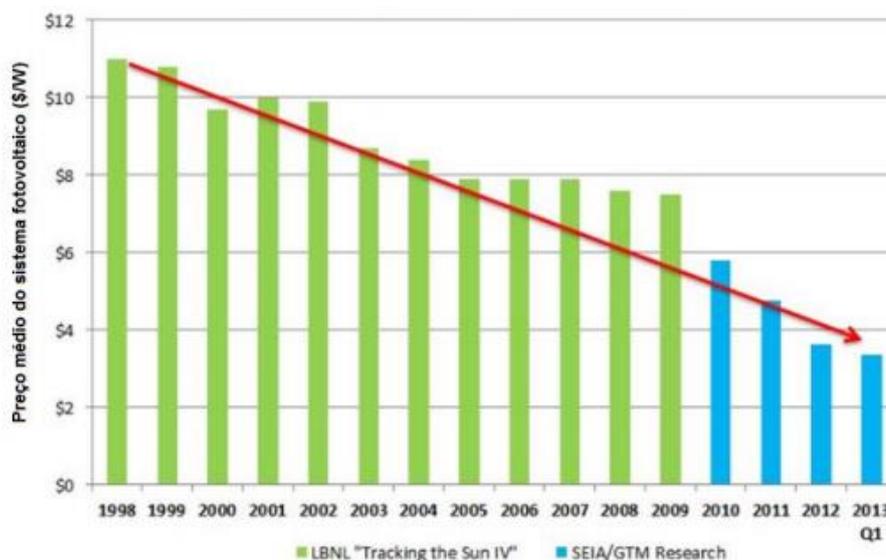
Com o intuito de exemplificar ainda mais o potencial brasileiro, WWF (2015) relata que o equivalente a todo o consumo do Sistema Interligado Nacional em 2011 poderia ser gerado através de uma área de 2.400km² de painéis fotovoltaicos localizados numa região com irradiação anual média de ordem de 1.400kWh/m²/ano.

Além disso, verifica-se que o custo da energia solar fotovoltaica vem diminuindo com o passar dos anos. Segundo Bittencourt (2014), o custo de investimento em sistemas fotovoltaicos pode ser decomposto em três itens principais: os módulos fotovoltaicos, o inversor e o “Balance of the System (BoS)”. O BoS é referente as estruturas mecânicas de sustentação, equipamentos elétricos auxiliares, cabos e conexões e a engenharia utilizada para a adequação dos componentes do sistema.

A redução dos custos é motivada por uma combinação de melhorias na produção, desenvolvimento de produto (inovação e padronização) e redução dos custos de peças e materiais na fabricação (BITTENCOURT, 2014, p. 37 apud HARMON, 2008, p. 105).

Levando em consideração os EUA, verifica-se que preço médio do sistema fotovoltaico completo teve uma redução de cerca de 33% entre 2011 e 2013, atingindo um valor a 3,3 US\$/W, conforme a Figura 05.

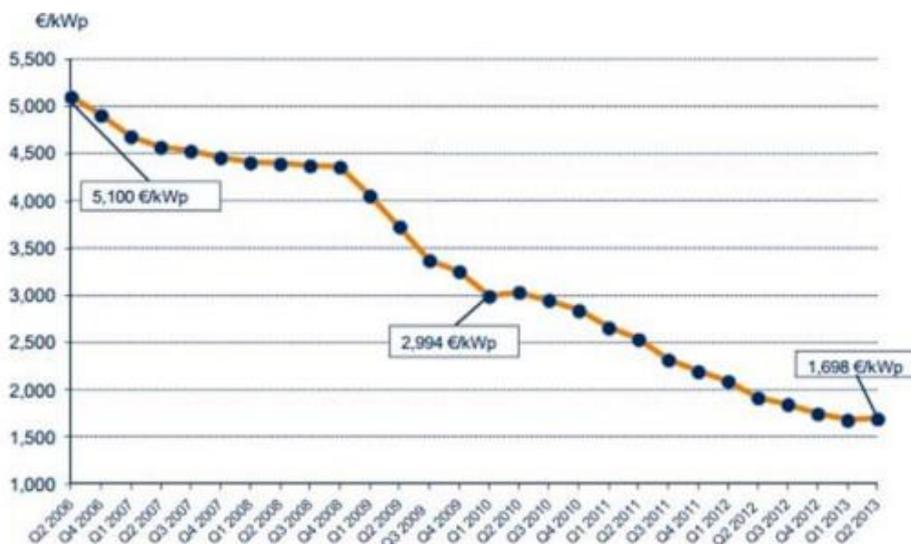
Figura 05 – Evolução do custo do sistema fotovoltaico no EUA



Fonte: Bittencourt (2014, p.38 apud SEIA, p. 109 ,2013).

Analisando a Alemanha, observa-se que em 2013 o preço médio para sistemas de até 10 kWp no país, chegou a €1,69/Wp, correspondendo queda de 67% em relação ao ano de 2006, como é apresentado na Figura 06.

Figura 06 – Evolução do custo do sistema fotovoltaico na Alemanha.



Fonte: Bittencourt (2014, p.39 apud EPIA, p. 98 ,2013).

A escala existente é o fator que justifica o custo inferior dos sistemas fotovoltaicos na Alemanha (BITTENCOURT, 2014, p. 39 apud EPIA, 2013, p. 98). Devido ao aumento da fabricação de módulos fotovoltaicos em todo o mundo durante os últimos cinco anos, com destaque para a China, houve uma queda nos preços.

2.6.2 Potencial solar brasileiro

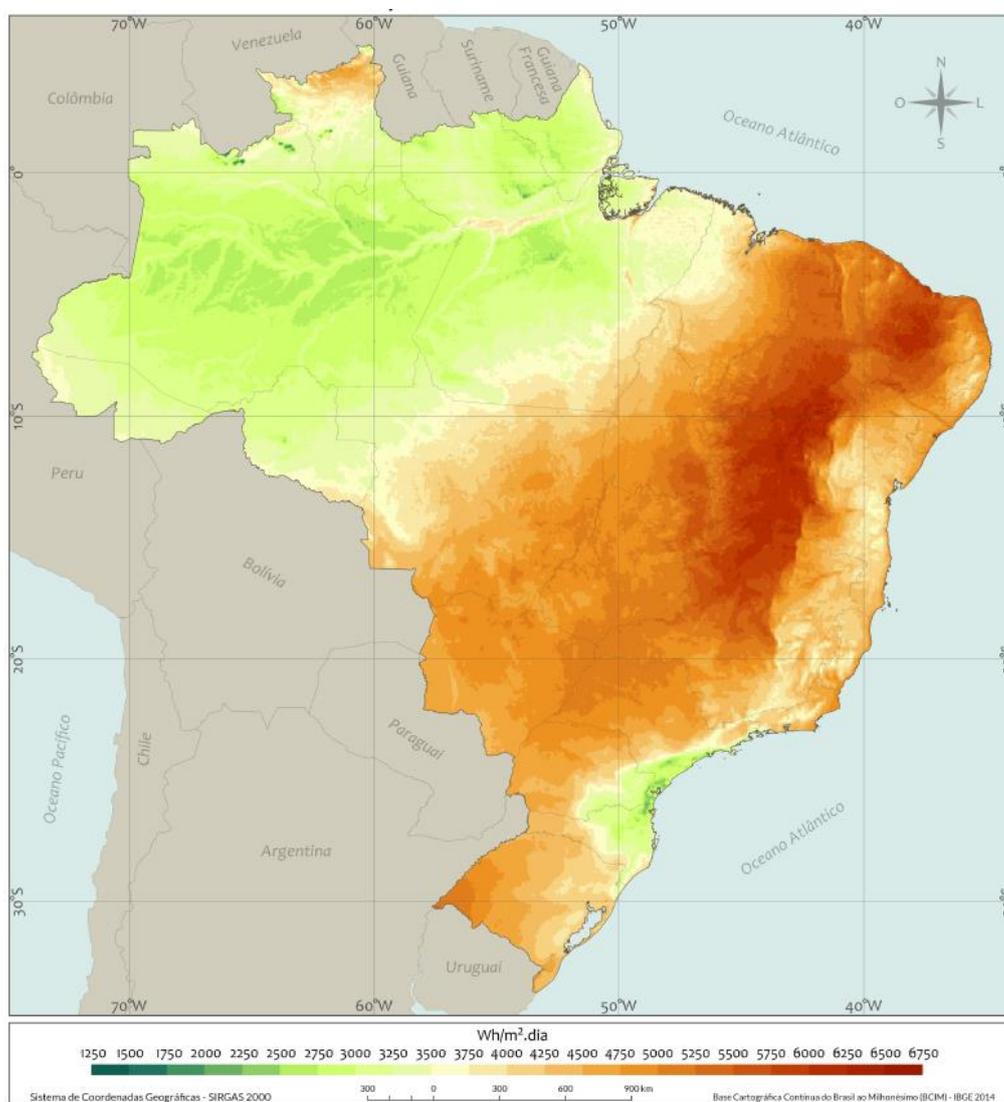
Os fenômenos astronômicos estão intrinsecamente relacionados a disponibilidade do recurso energético solar e sua variabilidade espacial e temporal (PEREIRA et al., 2017). A posição relativa entre o Sol e a Terra é o primeiro fator a ser considerado. O fluxo de radiação solar (irradiação solar) oscila entre 1325 W/m² e 1412 W/m², no qual o valor médio da irradiação solar é igual a 1366 W/m² e é definido como a constante solar. Essa oscilação ocorre devido a variação da distância entre a Terra e o Sol.

Por motivos de fatores variados, como: a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das condições propícias para formação de nebulosidade através da condensação

por levantamento das encostas, o clima do Brasil é diversificado. O território brasileiro apresenta os climas tropical e subtropical (médias latitudes e altitudes elevadas no Sudeste brasileiro, ainda parte do sertão do Nordeste apresenta clima classificado como semiárido). (PEREIRA et al., 2017).

Observa-se na Figura 07 o mapa anual de irradiação do Brasil. Pode-se verificar que cerca de 25% da área total do país, abrangendo a área do Nordeste até o Sul, apresenta níveis de irradiação direta, acima de 2.000 kWh/m²/ano, incluindo as áreas mais industrializadas (VIANA, 2010).

Figura 07 – Irradiação total diária direta normal

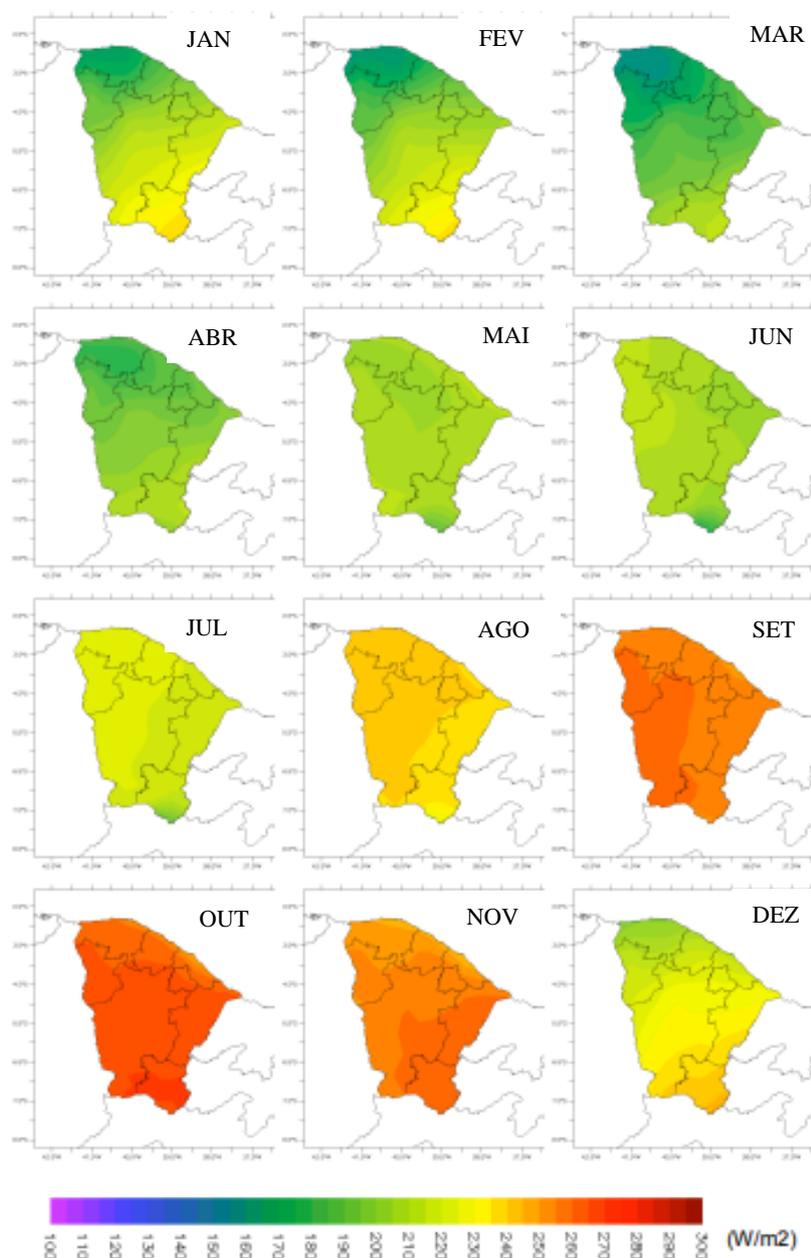


Fonte: PEREIRA et al (2017).

O território brasileiro em sua totalidade possui alto potencial solar, onde na região Nordeste apresenta o maior índice de radiação solar direta. O Brasil possui valores de irradiação solar global incidente em qualquer do seu território (1500-2500 Wh/m²) são superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha (900-1250 Wh/m²), França (900-1650 Wh/m²) e Espanha (1200-1850 Wh/m²) (PEREIRA et al., 2017).

Em específico, pode-se verificar através da Figura 08 o atlas com a medição mensal da radiação solar do estado do Ceará.

Figura 08 – Média mensal da radiação solar (W/m²) para o ano de 2010



Fonte: FUNCEME (2010).

Apenas uma parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Apesar da reflexão e absorção que atinge a atmosfera, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (PEREIRA, et al., 2017).

A Aneel (2016) relata que além das condições climáticas atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc) depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano).

Contudo, a maior parte do território brasileiro se encontra próximo a linha do Equador, o que não apresenta grandes variações na duração solar do dia. Com o intuito de maximizar o aproveitamento da radiação solar, ajusta-se a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude do local e o período do ano em que se requer mais energia. Como por exemplo, no hemisfério Sul, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o Norte, apresentando um ângulo similar ao da latitude local (ANEEL, 2016).

2.7. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012 E 687/2015

Por meio da Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012, a ANEEL estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Entretanto, em 2015, por meio da Resolução Normativa Nº 687, a ANEEL modificou alguns artigos da resolução 482.

A Resolução Nº 687/2015 define a microgeração como uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW. Já a minigeração é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que também utilize cogeração qualificada.

Anteriormente, a resolução Nº 482/2012 definia como microgeração os sistemas com potência instalada menor ou igual a 100kW e minigeração os sistemas com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW. Dessa forma, atualmente os sistemas de microgeração ficaram limitados a 75 kW, mas ampliou a potência máxima dos sistemas de minigeração.

Como apresenta a Resolução N° 482/2012, uma das formas de adquirir um sistema de micro ou minigeração é por meio da compensação de energia. A forma de compensação corresponde a um sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa.

O sistema de compensação de energia elétrica pode ser aderido por consumidores responsáveis por unidade consumidora: com microgeração ou minigeração distribuída, integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras, caracterizada como geração compartilhada e como consumo remoto (ANEEL, 2015).

A Resolução N° 687/ 2015 altera a Resolução N° 482/2012 em seu artigo 6º, que passou a vigorar da seguinte forma:

Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses. (ANEEL, p. 03, 2015).

No que tange a adesão do sistema, a resolução N° 687 relata que a adesão ao sistema de compensação de energia elétrica não se aplica aos consumidores livres ou especiais. Fica vedado o sistema de compensação aos consumidores que for detectado no documento que comprova a posse ou propriedade do imóvel onde se encontra instalada a microgeração ou minigeração distribuída, que o consumidor tenha alugado ou arrendado terrenos, lotes e propriedades em condições nas quais o valor do aluguel ou do arrendamento se dê em reais por unidade de energia elétrica.

Atualmente, o autoconsumo remoto é uma das principais formas que os clientes utilizam para adquirir a micro e minigeração distribuída. Segundo a ANEEL (2012), o autoconsumo remoto corresponde:

[...]caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada. (ANEEL, p. 02, 2012)

Vale destacar que os sistemas de micro e minigeração não isentam os consumidores do grupo A e B da fatura de energia elétrica, pois a Resolução de N° 687/2015 relata que a concessionária deve cobrar, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou a demanda contratada para o consumidor do grupo A.

Caso o consumidor possua excedente de energia e não utilizou na própria unidade consumidora, a resolução N° 687 permite que possa ser utilizado para compensar o consumo de outras unidades consumidoras, geração compartilhada ou autoconsumo remoto.

Os créditos de energia ativa expiram em 60 (sessenta) meses após a data do faturamento e serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo. No momento do encerramento da relação contratual e o cliente possua créditos de energia ativa existentes, os mesmos devem ser contabilizados pela distribuidora em nome do titular da respectiva unidade consumidora pelo prazo máximo de 60 (sessenta) meses após a data do faturamento, exceto se houver outra unidade consumidora sob a mesma titularidade e na mesma área de concessão, sendo permitida, nesse caso, a transferência dos créditos restantes.

A inclusão realizada na Resolução N° 687/2015 destaca que os créditos são determinados em termos de energia elétrica ativa, não estando sua quantidade sujeita a alterações nas tarifas de energia elétrica.

Outro grande avanço em relação as resoluções N° 482/2012 e N° 687/2015 é a respeito do custo dos medidores. Na resolução N° 482 o custo da troca do medidor de energia era do interessado, mas por meio da resolução N° 687/2015, esse custo passou a ser da concessionária, caso o cliente esteja classificado como microgeração.

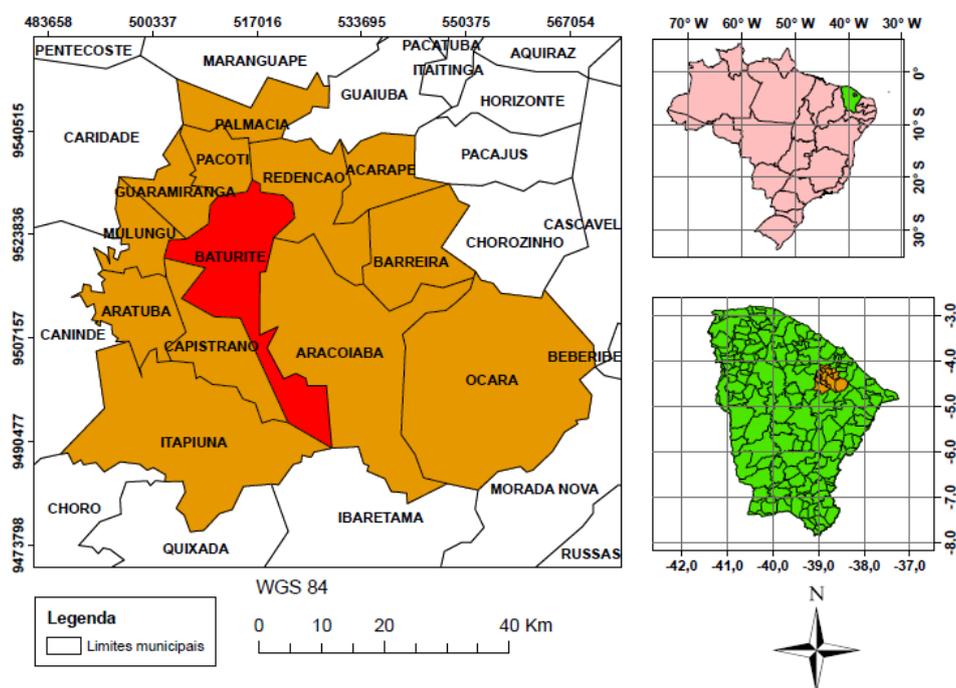
A Resolução N° 687/2015 irá passar por um novo processo de revisão até 31 de dezembro de 2019, com o intuito de adequar e melhorar a legislação nacional que rege o setor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Locus da pesquisa

A pesquisa foi realizada no município de Baturité, no qual está localizado na macrorregião do Maciço de Baturité no Estado do Ceará (Brasil), conforme é demonstrado na Figura 09. A cidade de Baturité se encontra cerca de 100 km de distância da capital cearense, Fortaleza.

Figura 09 – Mapa de localização de Baturité, Ceará.



Fonte: Autor (2019)

Segundo o IBGE (2010), atualmente a cidade de Baturité possui aproximadamente 35 mil habitantes e uma área territorial de 308.581 km². Cerca de 5,1% das vias públicas da cidade são urbanizadas, apresentando uma boa distribuição no parque de iluminação da cidade.

3.2.1 Levantamento das características das lâmpadas

Os dados referentes a quantidade de pontos de iluminação do município de Baturité e suas respectivas potências foram adquiridos por meio da Câmara de Vereadores do município de Baturité. A câmara municipal de vereadores protocolou um pedido junto a ENEL – Ceará solicitando informações referente ao parque de iluminação pública, como: quantidade e tipo de luminárias existentes no município, potência das lâmpadas e histórico do consumo mensal da iluminação pública.

A forma de verificação do consumo da iluminação pública é realizada de duas formas pela concessionária: medida e estimada. A luminárias que são medidas possuem medidores para a leitura de seu consumo, já a forma estimada é levado em consideração as luminárias cadastradas e existentes no parque. Para a realização da pesquisa foi levado em consideração a contabilização estimada das luminárias existentes no município, conforme os dados fornecidos pela Enel.

3.2.2 Substituição das luminárias VSAP por luminárias LED

Inicialmente para a realização do trabalho foi levado em consideração apenas os componentes que compõe a luminária como: lâmpadas, reatores, relé fotoelétrico e corpo com alojamento para equipamento elétrico.

Realizou-se a simulação da substituição das luminárias existentes na cidade por LED se baseando na potência elétrica e na eficiência luminosa fornecidas pelas mesmas. Para realizar a equivalência das lâmpadas de LED com as lâmpadas existentes na cidade, usou-se a metodologia abordada por Sales (2011).

Ao analisar os tipos de luminárias existentes, constatou-se que o município possui uma grande variedade de tipos de lâmpadas. Dessa forma utilizou-se as luminárias que apresentam uma maior parcela de contribuição no consumo final. As luminárias utilizadas foram de vapor de sódio e vapor metálico com as potências de 70, 150 e 250 W, que juntas correspondem 95,19% da quantidade total.

Como a Prefeitura Municipal de Baturité não dispunha das marcas dos fabricantes das luminárias existentes em seu parque de iluminação, adotou-se as médias das potências e fluxo luminoso de dois fabricantes distintos para as luminárias de vapor de sódio e vapor metálico. Os dados das luminárias a vapor de sódio (VSAP) usadas foram retiradas do catálogo do selo PROCEL (2018). Usou-se dois fabricantes que possuíam uma linha de produção compatível e mais próximas com as luminárias

informadas pela Enel-Ceará. Buscou-se por meio de distribuidoras e fabricantes luminárias de vapor metálico que possuíssem a mesma potência das luminárias registradas no controle da concessionária.

Por meio de fabricantes e distribuidoras distintas verificou-se os preços das luminárias de vapor de sódio e metálicas e usou-se seus respectivos valores para o cálculo dos investimentos.

Igualmente as lâmpadas VSAP, as luminárias de LED usadas para a realização da substituição foram de dois diferentes fabricantes, no qual realizou-se uma cotação de preços com dois fabricantes distintos e usou o fornecedor que apresentou o menor valor para a realização das simulações.

Para a substituição das lâmpadas, usou-se o método comparativo dos fluxos luminoso das respectivas luminárias, ou seja, buscou-se luminárias que possuíssem luminosidade iguais ou superior as luminárias VSAP e vapor metálico utilizadas anteriormente.

O valor da mão de obra considerado para substituição da luminária tradicional pela luminária de LED e instalação das luminárias tradicionais foi obtido por meio de uma licitação ocorrida na Cidade de Croata (Ceará) em abril de 2018. A licitação é referente a manutenção e substituição das luminárias existentes na cidade por LED.

3.3 Análise de Viabilidade Financeira

Para que seja possível verificar a viabilidade de um projeto é necessária uma análise econômica. Segundo EICK (2010), um estudo de viabilidade econômica-financeira procura caracterizar um empreendimento que proporciona lucro aos investidores.

O Payback consiste no tempo necessário para recuperar o investimento que é geralmente medido pelo tempo de retorno do investimento (BRUNI; FAMÁ, 2003). De acordo com Gitman (2002), o payback é considerado o período de tempo necessário para recuperar o capital investido.

Porém, existe o payback do tipo simples e descontado. O payback simples se restringe em apenas em identificar o número de períodos em que retorna os investimentos, onde é realizado a subtração do capital inicial de “n” períodos até a liquidação do capital investido (BRUNI; FAMÁ, 2003).

Já o payback descontado utiliza uma metodologia parecida do payback simples. Entretanto o descontado calcula o período de tempo necessário para recuperar os investimentos, mas aplica-se uma taxa mínima de atratividade para descontar o fluxo de caixa gerado pelo projeto. Em termos matemáticos, o payback descontado é representado pela Equação (1).

$$FCC(t) = -I + \sum_{j=1}^t (R_j - C_j)/(1 + i)^j \quad (1)$$

Onde:

FCC(t) = valor presente do capital;

I = investimento inicial (em módulo);

R_j = receita do ano j;

C_j = custo proveniente do ano j;

i = Taxa de Desconto (TMA); e

j = índice genérico que representa os períodos.

Porém o método do payback na visão de Bruni e Famá (2003) é deficiente para uma visão para um maior período, pois possui uma visão curta dos números financeiros.

Um dos métodos utilizados para calcular a análise financeira é o VPL. O VPL (Valor Presente Líquido) consiste na diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos (SILVA; FONTES, 2005). Em termos matemáticos o VPL é definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado, como demonstra a Equação (2).

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1 + i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1 + i)^{-j} \quad (2)$$

Em que:

R_j = valor atual das receitas;

C_j = valor atual dos custos;

i = taxa de juros;

j = período em que as receitas ou os custos ocorrem; e

n = número de períodos ou duração do projeto.

Quando o projeto apresenta o VPL maior que 0 (positivo) ele é considerado economicamente viável, e dessa forma aquele projeto que apresenta maior valor VPL é o melhor. Verificando Equação (1) nota-se que é necessário definir a taxa de desconto.

O TIR é definido como a Taxa de Interna de Retorno que segundo Gitman (2002) é considerado como a taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento seja igual zero.

Dessa maneira o TIR é encontrado por meio do fluxo de caixa projetado do projeto, não havendo necessidade de arbitrar um valor para a taxa de desconto. O TIR é representado pela Equação (3):

$$FC_0 = \sum_{j=1}^n FC_j / (1 + i)^j \quad (3)$$

Onde:

FC_j = fluxo de caixa de ordem j ;

$j = 1, 2, 3 \dots, n$;

i = Taxa Interna de Retorno; e

FC_0 = Investimento inicial.

Analisando-se a equação matemática do TIR verifica-se que a taxa de um projeto de investimento for superior ao custo do capital para financiá-lo, o projeto agregará valor

ao investidor, mas caso seja menor o projeto deve ser rejeitado. Dessa forma constata-se que quanto for maior o valor do TIR melhor será o projeto.

3.4 Cálculo da eficiência luminosa das luminárias

A eficiência luminosa das luminárias (lm/W) foi definida por meio da Equação (4):

$$Eficiencia\ luminosa = \frac{lumens(lm)}{Potencia(W)} \quad (4)$$

Utilizou-se a potência médias das luminárias VSAP, vapor metálico e LED para o cálculo da eficiência luminosa e traçou-se um gráfico apresentando as curvas característica da eficiência de cada luminária.

3.4 Determinação do consumo do parque de iluminação pública

Com base no demonstrativo da arrecadação e aplicação de iluminação pública e o quadro de iluminação pública fornecido pela ENEL-Ceará determinou-se o consumo mensal do parque de iluminação pública de Baturité. Como mencionado anteriormente, considerou-se apenas as luminárias de vapor de sódio e metálico (70, 150 e 250W), que correspondeu 95,19% do consumo total.

Com as luminárias de LED para a simulação da substituição definidas estimou-se o consumo mensal utilizando a Equação (5):

$$Consumo = Pot_{lumin}(kW) \cdot fp \cdot horas_{funci} \cdot n_{lumi} \cdot dias \quad (5)$$

Onde:

Pot.lumin: Potência da luminária (kW);

fp: fator de perdas;

horas_{funci}: quantidade de horas que a lâmpada que fica ligada diariamente (11,86666667 horas);

n^o_{lumi}: número de luminárias;

dias: total de dias que será considerado para o consumo (31 dias).

3.5 Análise da tarifa de energia elétrica

A tarifa de energia elétrica considerada para a realização do payback foi obtida junto a ENEL por meio do seu site, como apresentado na Tabela 05.

Tabela 05 – Tarifa de energia elétrica para os anos de 2013 a 2018– Enel Ceará

ANO	ACUMULADO(%)	TARIFA R\$
2013	3,92	0,25242348
2014	16,77	0,26272219
2015(extraordinário)	10,28	0,31565805
2015	11,69	0,35182573
2016	12,97	0,39839852
2017	0,15	0,45777148
2018	4,96	0,45845917

Fonte: Adaptado ENEL (2019).

Para determinação do valor inicial da tarifa na execução dos cálculos, realizou-se um levantamento das modalidades tarifárias ocorridas no ano de 2018 e verificou-se o seu percentual de participação naquele ano, conforme é apresentado na Tabela 06. Dessa forma, por meio da resolução homologatória Aneel 2.383, de 17 de abril de 2018, analisou-se os valores da tarifa para iluminação pública de acordo com a modalidade tarifária.

Tabela 06 – Tarifa de energia elétrica 2018 – Enel Ceará

Mês	Tarifa (R\$)	Modalidade	Participação (%)
Jan	0,4189	Verde	
Fev	0,4189	Verde	
Mar	0,4189	Verde	41,67
Abr	0,4189	Verde	
Mai	0,4189	Verde	
Jun	0,44048	Amarela	
Jul	0,44048	Amarela	16,67
Ago	0,50521	Vermelho	
Set	0,50521	Vermelho	
Out	0,50521	Vermelho	41,67
Nov	0,50521	Vermelho	
Dez	0,50521	Vermelho	
MÉDIA	0,4585		

Fonte: Autor (2019).

Após determinado o percentual da participação das modalidades tarifárias para o ano de 2018, calculou-se a média da tarifa para o ano de 2018. A taxa média de crescimento da tarifa de energia elétrica utilizada para os demais anos foi de 8,68% por ano, conforme a média encontrada para a taxa acumulada da tarifa (2013-2018).

Portanto, simulou o aumento da tarifa para 12 anos para o consumo das luminárias tradicionais e de LED e verificou-se a diferença com o custo anual com o consumo de energia elétrica.

Para o cálculo da análise financeira usou-se as Equações (1), (2) e (3) para os cálculos do payback simples, descontado, VPL e TIR. A taxa de atratividade utilizada foi de 12%, a mesma abordado por Sales em sua metodologia.

3.6.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi projetado para a produção de energia elétrica equivalente ao consumo da instalação ao qual o gerador será conectado. O consumo de energia elétrica do sistema de IP de Baturité foi estimado a partir do valor estimado para o consumo mensal, no qual foi levado em consideração a tarifa referente a iluminação pública. O sistema fotovoltaico foi dimensionado apenas para o consumo após a substituição das luminárias tradicionais por LED.

Por meio do banco de dados do Sundata/CRESEB e Swera, obteve-se os dados de irradiação solar diário média do local e a mais próximo à localização. O ângulo ideal de inclinação dos módulos fotovoltaicos para um melhor aproveitamento da radiação solar incidente considerado foi de 10°, pois as usinas serão construídas no solo, e um azimute igual a 0°.

Irá ignorar os efeitos de variação de irradiação a cada instante e considerar uma totalidade de energia elétrica convertida em intervalos de horário. O HSP (Horas de Sol Pleno) mostra o número de horas equivalentes por dia em que a radiação solar permanece constante e igual a 1kW/m² (GTES), 2008). Com a irradiação incidente, é possível determinar as horas de sol pleno diária equivalente à média anual da irradiação diária, média mensal para o ângulo de 10°N. Conforme a Equação (6), foi calculado as horas de sol pleno diário.

$$HSP = \frac{kWh/m^2.dia}{kWh/m^2} \quad (6)$$

Para o dimensionamento do gerador fotovoltaico considerou-se uma taxa de desempenho de 90% para o sistema. Assim, a potência instalada do sistema fotovoltaico para suprir parcial ou integral o consumo de energia do IP da cidade de Baturité irá ser calculada a partir da Equação (7).

$$P_{inst} = \frac{consumo(kWh)}{taxadesempenho.HSP.dias} \quad (7)$$

Após a determinação da potência instalada necessária para suprir a demanda, determinou-se o módulo fotovoltaico que será utilizado. Realizou cotações de orçamentos da usina projetada com empresas especializada no segmento, obteve-se um orçamento para o valor dos materiais que serão utilizados na usina. Os módulos fotovoltaicos que serão considerados para a realização da pesquisa terão uma potência de 380 Wpp e células do tipo policristalino. A quantidade de módulos que será necessário para suprir a demanda será calculada pela Equação (8).

$$N_{mod} = \frac{P_{inst}}{380Wp} \quad (8)$$

É necessário determinar inversores que sejam capazes de comportar um maior número de módulos por *string*. Utilizou-se os inversores fornecidos nos orçamentos da empresa que foi realizado a cotação.

Em seguida, calculou-se o FDI (Fator de Dimensionamento de Inversor), pois o mesmo deve estar dentro da faixa de valores (70% a 120%). Dessa maneira, observou-se que o inversor tem a capacidade de processar a potência necessária para suprir a demanda. Por meio da Equação (9), calculou-se o FDI.

$$N_{mod} = \frac{P_{inst}}{Pot_{inversor}} \quad (9)$$

Para a realização da análise econômica utilizou-se as Equações (3), (4) e (5) para verificação do investimento. Foi levado em consideração a troca dos inversores da usina solar fotovoltaica no seu décimo ano de uso e utilizou o mesmo valor orçado no investimento inicial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 QIP Baturité

O município de Baturité apresenta em seu quadro de iluminação pública 3.244 luminárias cadastradas, na qual as luminárias de vapor de sódio e metálica apresentam 97,04% do total de luminárias. Entretanto para a realização das simulações levou em consideração apenas as luminárias de vapor de sódio e metálica com potência de 70, 150 e 250W que corresponde 95,19% das luminárias existentes, pois são as luminárias com maior parcela de participação no parque. A Tabela 07 apresenta o quadro de iluminação pública de Baturité.

Tabela 07 – QIP Baturité

TIPO	POTÊNCIA	Nº Lâmpadas
SÓDIO	70	1836
	150	129
	250	188
	400	6
MISTA	160	10
	250	2
METALICA	70	805
	150	128
	250	158
	400	57
MERCURIO	250	1
	400	5
LED	9	1
	20	8
	30	2
INCANDESCENTE	25	1
FLUORESCENTE	12	1
	15	18
	20	14
	25	3
	32	1
	35	5
	40	9
	45	20
TOTAL		3408

Fonte: Adaptado Enel (2019).

4.2 Substituição das luminárias

Para a realização da substituição das luminárias foi levado em consideração a luminosidade das mesmas. As Tabelas 08, 09 e 10 consistem nos tipos de luminárias por fabricante e suas respectivas potências e luminosidade utilizadas para encontrar a equivalência com a luminária de LED.

Tabela 08 – Eficiência luminosa das luminárias VSAP

Lâmpada VSAP				
Potência (W)	Fabricante		Média (lm)	Eficiência (lm/W)
	Dmartins (lm)	MARSCHAL(lm)		
70	6678	5950	6314	90,2
150	17571	15750	16660,5	111,07
250	32502	27500	30001	120,004

Fonte: Autor (2019)

Tabela 09 – Eficiência luminosa das luminárias vapor metálico

Lâmpada VAPOR METÁLICO				
Potência (W)	Fabricante		Média (lm)	Eficiência (lm/W)
	Avant (lm)	G-light(lm)		
70	5800	5600	5700	81,43
150	13000	15000	14000	93,33
250	21000	21000	21000	84,00

Fonte: Autor (2019)

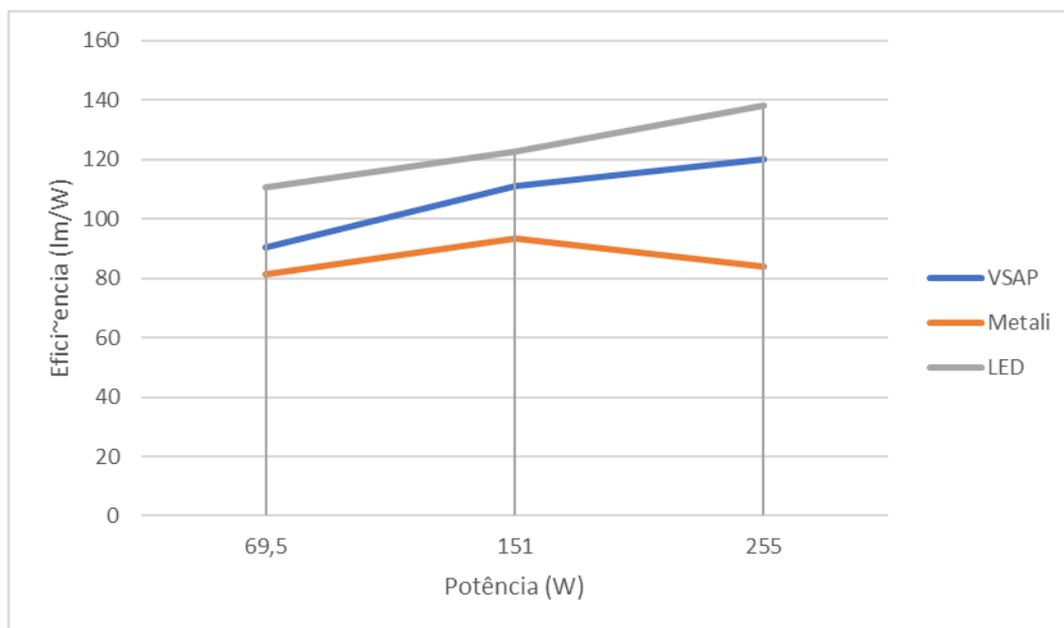
Tabela 10 – Eficiência luminosa das luminárias de LED

Lâmpada LED						
TecnoWatt (lm)			ConexLED			Méd.Efi c (lm/W)
Potência (W)	Luminosidade (lm)	Eficiência (lm/W)	Potência (W)	Luminosidade (lm)	Eficiência (lm/W)	
80	8640	108	59	6674	113,12	110,56
163	20375	125	139	16697	120,12	122,56
223	30290	136	287	40447	140,93	138,38

Fonte: Autor (2019)

Observa-se que as luminárias de LED apresentam uma potência igual ou superior as luminárias tradicionais. Após a realização da simulação da substituição das luminárias tradicionais por LED, determinou-se a curva características de eficiência das luminárias em estudo, como demonstrado na Figura 10.

Figura 10 – Eficiência das lâmpadas VSAP, Vapor metálico e LED



Fonte: Autor (2019)

Verifica-se que as luminárias tradicionais em média apresentam uma eficiência luminosa inferior que a luminárias de LED, principalmente as luminárias de vapor metálico. Entretanto as luminárias de LED apresentam uma eficiência mais constante, pois as VSAP variam sua eficiência com o aumento da potência, ou seja, as luminárias que apresentam uma baixa potência possuirão uma baixa eficiência luminosa.

Já em relação ao custo médio inicial das instalações das luminárias de VSAP, vapor metálico e LED estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Valor do investimento inicial das luminárias

TIPO	Potência (W)	Nº Luminárias	Unit MÉDIO (R\$)	IPI	Mão de obra (R\$)	Total (R\$)	
VSAP	70	1836	242,91	15%	R\$ 107,29	R\$ 698.490,94	
	150	129	462		R\$ 106,78		
	250	188	530		R\$ 120,00		
METALI	70	805	387,54		R\$ 39,37	R\$ 514.150,44	
	150	128	393,36		R\$ 65,74		
	250	158	529,37		R\$ 100,05		
TOTAL						R\$ 1.212.641,38	
TecnoWatt	80	2641	513,2			R\$ 672,79	R\$ 4.432.077,75
	163	257	714,9			R\$ 758,71	
	223	346	878,45			R\$ 984,86	
ConexLed	59	2641	616,01		R\$ 672,79	R\$ 4.816.348,31	
	139	257	669,48		R\$ 758,71		
	287	346	1093,19		R\$ 984,86		

Fonte: Autor (2019)

O IPI (Imposto de Produtos Industrializados) considerado é referente ao imposto sobre produtos industrializados no Brasil. Pode-se verificar que o custo inicial estimado para reinstalação das luminárias existentes em estudo na cidade é de R\$ 1.212.641,38, já prevendo a mão de obra para sua instalação. Utilizou-se as luminárias de LED do fabricante que apresentou o menor valor (TecnoWatt), pois em uma realização de uma licitação a proposta que atenda todos os requisitos pelo menor valor seria a selecionada. Vale ressaltar que para garantir que a luminosidade atual seja respeitada, deverá ser especificada em licitação uma luminosidade igual ou maior que atual. A não ser que seja realizado algum estudo luminotécnico.

Com base nas luminárias existentes na cidade foi possível estimar o consumo do parque que correspondeu 145.499,58 kwh por mês resultando em uma fatura média anual de R\$ 761.964,89, supondo que todas luminárias estão em funcionamento. Na Tabela 12 é possível verificar o tempo de retorno da simulação da substituição das luminárias tradicionais por LED.

Tabela 12 – Simulação da fatura de energia elétrica após a substituição do LED para um período de 12 anos

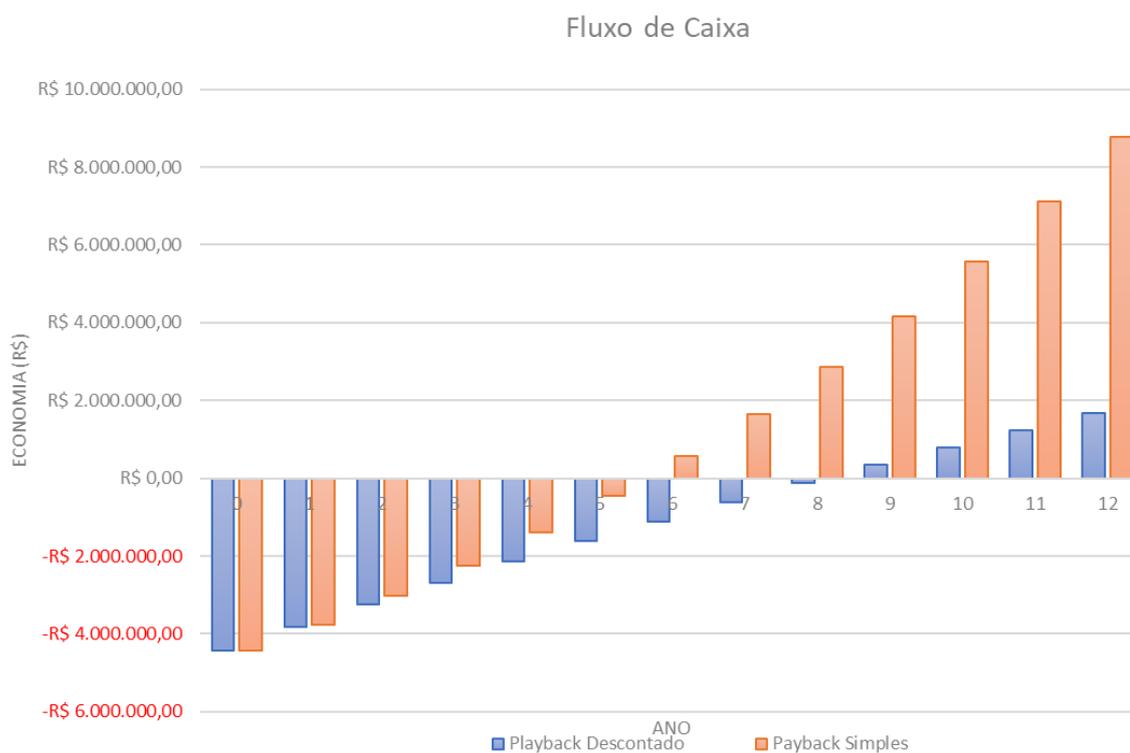
ANO	Fluxo de Caixa	Payback Simples	Playback Descontado
0	-R\$ 4.432.077,75	-R\$ 4.432.077,75	-R\$ 4.432.077,75
1	R\$ 668.527,15	-R\$ 3.763.550,60	-R\$ 3.835.178,51
2	R\$ 726.536,20	-R\$ 3.037.014,40	-R\$ 3.255.988,30
3	R\$ 789.578,79	-R\$ 2.247.435,62	-R\$ 2.693.981,72
4	R\$ 858.091,66	-R\$ 1.389.343,95	-R\$ 2.148.648,95
5	R\$ 932.549,50	-R\$ 456.794,45	-R\$ 1.619.495,32
6	R\$ 1.013.468,16	R\$ 556.673,71	-R\$ 1.106.040,81
7	R\$ 1.101.408,24	R\$ 1.658.081,94	-R\$ 607.819,66
8	R\$ 1.196.979,00	R\$ 2.855.060,95	-R\$ 124.379,92
9	R\$ 1.300.842,58	R\$ 4.155.903,53	R\$ 344.716,96
10	R\$ 1.413.718,55	R\$ 5.569.622,08	R\$ 799.896,50
11	R\$ 1.536.388,93	R\$ 7.106.011,00	R\$ 1.241.571,60
12	R\$ 1.669.703,59	R\$ 8.775.714,59	R\$ 1.670.142,92

Fonte: Autor (2019)

Após a substituição pelo LED verificou-se que mensalmente irá ocorrer uma queda no consumo, pois sabe-se que o LED consome menos energia que as luminárias tradicionais mencionadas. Estimou que o LED no primeiro ano irá consumir 1.458.204,34 kWh/mês resultando em uma fatura média anual de R\$ 668.527,15. Constata-se que para a simulação desse primeiro ano houve uma diminuição na fatura final de energia elétrica de R\$ 93.437,75.

Dessa forma levando em consideração o aumento médio da tarifa de energia, verificou-se que o investimento inicial realizado para a compra do LED deverá ser pago no final do oitavo ano após o investimento, como é apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Payback descontado – substituição luminárias



Fonte: Autor (2019)

O tempo de retorno será de aproximadamente 11 anos e 01 mês para que seja possível pagar o valor investido na substituição das luminárias tradicionais por LED. Vale ressaltar que a vida útil em média das lâmpadas tradicionais utilizadas na simulação é de 25.000h e do LED é 55.000h (de acordo com os fabricantes). Como as lâmpadas ficam acesas aproximadamente 11,866h por dia, a vida útil das luminárias de LED passa a durar aproximadamente 12 anos. Dessa forma teria aproximadamente mais dois anos de uso das luminárias LED para a realização de substituições.

Pode-se analisar que realizando o payback simples o retorno diminui para aproximadamente 7 anos, pois para a realização desse cálculo é previsto apenas o desconto direto da redução de energia com o investimento geral, e já para o payback descontado leva-se em consideração a Taxa de atratividade (TMA).

4.3 Usina solar fotovoltaica

Primeiramente realizou-se o dimensionamento da usina solar fotovoltaica para o parque de iluminação pública com as luminárias tradicionais. Na Tabela 13 consiste nos dados levado para a realização dos cálculos da usina solar fotovoltaica.

Tabela 13 – Dados para cálculo da usina solar.

Dados	
Radiação (kWh/m ²)	5,24
Azimute	0°
Inclinação dos módulos	10°
Perdas no sistema	20%

Fonte: Autor (2019)

A potência nominal geradora calculada foi de 874,69 kWp, através da Equação (7), na qual será necessária uma geração diária de 4.583,37 kWh/dia para atender o consumo do parque. Entretanto para a construção de uma usina solar fotovoltaica para a potência calculada o consumidor (Prefeitura) que iria ser atendido pela usina seria considerado consumidor Grupo A. Porém, consumidores do Grupo A são caracterizados por possuírem tarifas binômias, ou seja, possuem tarifas diferenciadas no horário fora ponta, intermediário e ponta. As tarifas no horário de ponta são aproximadamente quatro vezes maior que o valor no horário fora ponta. O setor de iluminação pública possui uma carga característica que utiliza o horário da tarifa de ponta. Dessa forma, necessitaria de uma maior quantidade de módulos fotovoltaicos para compensação do consumo nesse horário e conseqüentemente aumentaria o payback do investimento pois o investimento seria maior.

Dessa maneira, foi dimensionada dez usinas menores para atender o parque de iluminação pública da cidade. As usinas possuirão potências iguais de 87,47 kWp em locais distintos. Para que seja possível realizar a construção de dez usinas é necessário criar 10 novas unidades consumidoras, classificadas como tipo B, e os créditos de energia que serão gerados irão ser utilizados no parque de iluminação pública.

Considerando as 10 usinas solar e classificadas como tipo B e fornecimento trifásico é necessário observar que as “novas unidades consumidoras” possuirão uma demanda que não poderá ser suprida pela usina solar, pois a concessionária de energia elétrica cobra uma taxa de disponibilidade de acordo com o ramal de fornecimento de energia. Como será caracterizado uma conexão trifásica, cada usina terá uma demanda de energia de 100kWh que não “conseguirá” compensar, totalizando 1000kWh que não

serão compensados. Contudo a potência de cada usina será de 86,47 kWp. Também foi previsto para as usinas a construção de subestações aérea com potências de 112,5 kVA.

Foi realizado um orçamento junto a uma empresa especializada da área de sistemas fotovoltaicos, chamada Sices, que possui em seu estoque kits com potência nominal de 86,64 kWp. Os principais dados do kit estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14 – Componentes do kit fotovoltaico.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	CUSTO UNI R\$	TOTAL
MODULO FV CANADIAN 144 CELLS 380W MONO 1500V F16	228	R\$ 652,99	R\$148.881,72
FRONIUS ECO 25.0-3-S - SEM MONITORAMENTO COM DPS	3	R\$12.181,82	R\$36.545,46
SICES SOLAR 2.0 PERFIL CERAMIC ROOFLOP 6,30 METROS	68	R\$ 100,15	R\$6.810,20
SICES SOLAR 2.0 PERFIL CERAMIC ROOFLOP 2,10 METROS	24	R\$ 35,29	R\$846,96
SICES SOLAR 2.0 JUNÇÃO CERAMIC ROOFLOP	68	R\$ 12,19	R\$28,92
SICES SOLAR 2.0 TERMINAL FINAL 35mm	48	R\$ 5,46	R\$262,08
SICES SOLAR 2.0 TERMINAL INTERMEDIARIO 35mm	432	R\$ 5,95	R\$2.570,40
SICES SOLAR PARAFUSO CABECA MARTELO M10 28/15	320	R\$ 3,87	R\$1.238,40
SICES SOLAR PORCA M10 INOX A2	320	R\$ 0,67	R\$214,40
SICES SOLAR 2.0 TRIANGULO V/H	160	R\$ 119,27	R\$19.083,20
CONECTORES FEMEA/ MACHO	24	R\$ 11,33	R\$271,92
WEID_CABUR_TE_MC4_OU COMPATIVEL	24	R\$ 11,33	R\$271,92
CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC PT ABNT NBR 16612	360	R\$ 3,78	R\$1.360,80
CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC VM ABNT NBR 16612	360	R\$ 3,78	R\$1.360,80
TOTAL			R\$220.275,26

Fonte: Autor (2019)

Os valores descritos na Tabela 13 são referentes para apenas uma usina fotovoltaica. Para determinar o valor da subestação foi levantado licitações públicas com orçamentos que abrangessem materiais e mão de obra. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Orçamento das subestações elevadoras

EMPRESA	INTERESSADO/ANO(LI CITAÇÃO)	VALOR R\$
JOSÉ ALFREDO DE ALBUQUERQUE JUNIOR ME	EEFM Padre Marcelino Champagnat/2018	R\$44.946,98
COPESA CONSTRUÇÃO E PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS LTDA	Prefeitura Horizonte/2019	R\$39.676,13
MÉDIA		R\$ 42.311,56

Fonte: Autor (2019)

Para a realização dos cálculos foi utilizado a licitação que apresentou o menor valor, pois utilizando a metodologia dos pregões públicos a empresa vencedora consiste naquela que apresenta o menor valor e atenda todos os requisitos para execução.

A Tabela 16 descreve os valores levando em consideração as 10 usinas e suas respectivas mão de obra.

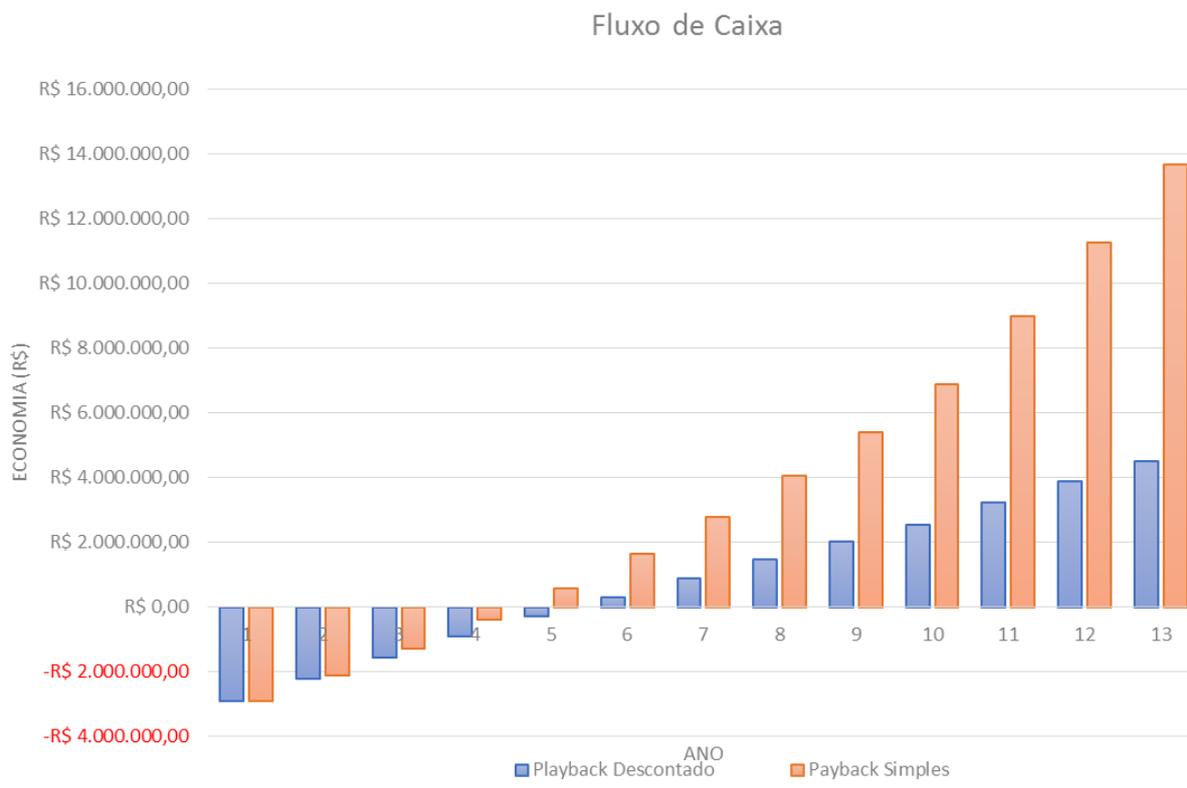
Tabela 16 – Orçamento das usinas solar fotovoltaica

Descrição	Valor (R\$)
Usina solar	R\$ 2.286.656,40
Mão de obra (montagem)	R\$ 208.880,86
Subestação	R\$ 396.761,30
TOTAL	R\$ 2.892.298,56

Fonte: Autor (2019)

O valor da mão de obra considerado foi de R\$100,00 por instalação de módulo. A Figura 12 apresenta o payback descontado para o investimento da usina solar fotovoltaica para o parque de iluminação utilizando as luminárias tradicionais.

Figura 12 – Payback descontado – usina solar fotovoltaica

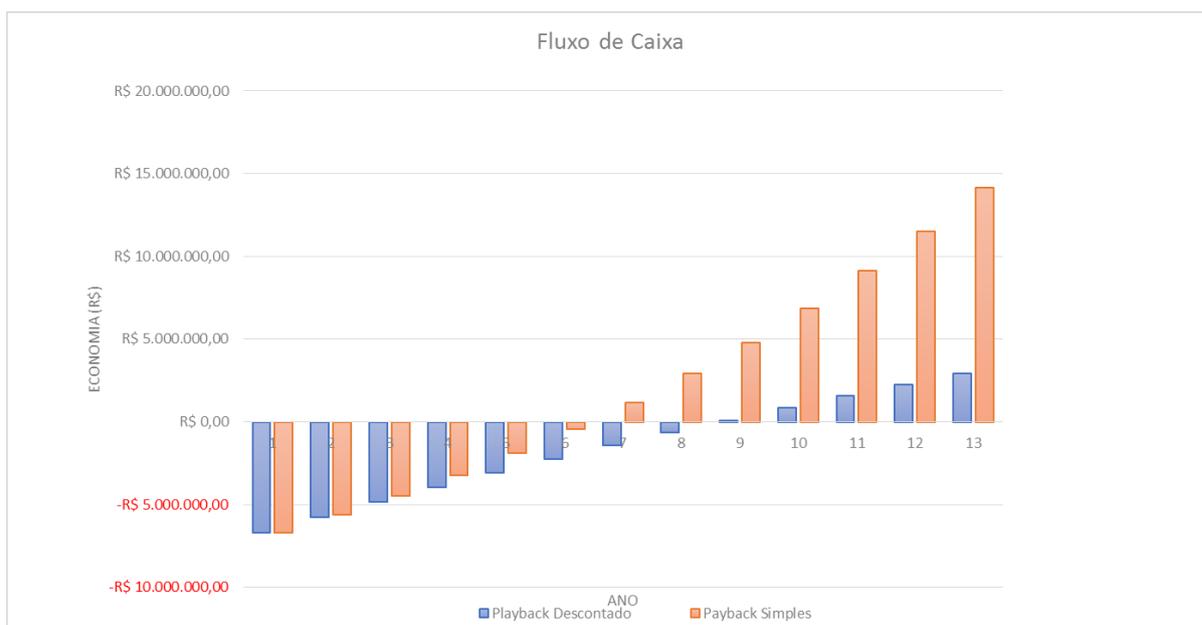


Fonte: Autor (2019)

Como pode ser observado na Figura 12 o investimento para energia solar fotovoltaica e subestação é pago com 5 anos e 5 meses após o investimento, ou seja, após esse tempo a arrecadação adquirida pelo setor de IP será considerada como lucro (após o pagamento com manutenção quando for necessário). O VPL (valor presente líquido) encontrado foi de R\$ 18.495.619,53 e uma taxa de rendimento interno de 19%.

O custo final levando-se em consideração a substituição das luminárias, usina solar fotovoltaica e subestação foi de R\$ 6.682.061,99. Dessa forma calculou-se o tempo médio de retorno para o investimento total, conforme é apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Payback descontado total



Fonte: Autor (2019)

Como observado na Figura 13 apenas com 8 anos e 9 meses o investimento total todo o sistema já estará pago. Visto que será levado em consideração a redução do consumo de energia elétrica com o uso do LED e a compensação de energia utilizando os créditos de energia gerado. Em um período de 12 anos o lucro total estimado após o investimento é de R\$ 2.947.376,95. Considerando a taxa média anual de crescimento da tarifa de energia e que o parque de IP permanecerá com a mesma quantidade de luminárias e com as potências descritas anteriormente e um TMA de 12%.

A Tabela 17 apresenta o fluxo de caixa para o investimento total de todo o projeto.

Tabela 17 – Fluxo de caixa investimento total

ANO	Fluxo de Caixa	Payback Simples	Fluxo de Caixa Descontado (Valor Presente)	Playback Descontado
0	-R\$ 6.682.061,99	-R\$6.682.061,99	-R\$ 6.682.061,99	-R\$ 6.682.061,99
1	R\$ 1.053.661,50	-R\$5.628.400,49	R\$ 940.769,20	-R\$ 5.741.292,79
2	R\$ 1.145.089,21	-R\$4.483.311,28	R\$ 912.858,11	-R\$ 4.828.434,68
3	R\$ 1.244.450,24	-R\$3.238.861,03	R\$ 885.775,10	-R\$ 3.942.659,58
4	R\$ 1.352.432,97	-R\$1.886.428,07	R\$ 859.495,60	-R\$ 3.083.163,98
5	R\$ 1.469.785,51	-R\$416.642,56	R\$ 833.995,77	-R\$ 2.249.168,21
6	R\$ 1.597.320,90	R\$1.180.678,34	R\$ 809.252,48	-R\$ 1.439.915,73
7	R\$ 1.735.922,71	R\$2.916.601,05	R\$ 785.243,28	-R\$ 654.672,46
8	R\$ 1.886.551,21	R\$4.803.152,25	R\$ 761.946,39	R\$ 107.273,93
9	R\$ 2.050.249,95	R\$6.853.402,20	R\$ 739.340,69	R\$ 846.614,62
10	R\$ 2.264.698,53	R\$9.118.100,73	R\$ 729.172,31	R\$ 1.575.786,93
11	R\$ 2.421.493,09	R\$11.539.593,82	R\$ 696.121,40	R\$ 2.271.908,33
12	R\$ 2.631.609,50	R\$14.171.203,32	R\$ 675.468,61	R\$ 2.947.376,95

Fonte: Autor (2019)

Ao verificar a Tabela 15 observa-se que o payback simples possui um tempo de retorno inferior ao payback descontado, pois para a realização do payback simples é levado em consideração apenas o valor que está sendo economizado pelo valor final, e o payback descontado considera-se o TMA (12%) e sua variação com o decorrer dos anos. O VPL encontrado para o investimento foi de R\$ 10.529.698,14 e um TIR de 7%.

Contudo analisado a Tabela 15 e a Figura 13 e os critérios de decisão VPL, TIR conclui-se que o projeto é economicamente viável, resultando um ganho total em 12 anos de R\$ 2.947.376,95.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificando a substituição das luminárias tradicionais por LED, observou-se que o investimento possui um tempo de retorno consideravelmente elevado, devido a tecnologia ainda possuir preços significativamente superior as luminárias tradicionais. Porém, seus ganhos energéticos e ambientais ainda são levados bastante em consideração devido serem mais vantajosos que as luminárias tradicionais.

Contudo, para sistemas fotovoltaicos aplicados no setor de iluminação pública constatou-se que a legislação vigente de geração distribuída (Resolução Aneel 687/2015) não contempla de forma específica esse setor, pois para que o mesmo seja beneficiado com o sistema minigeração é necessário subdividir a potência total necessária em várias usinas de porte reduzido. Entretanto, pode-se observar que com o investimento solar o município teria uma fatura de energia elétrica bastante reduzida e provavelmente teria mais recursos para ampliação de seu parque.

Entretanto, analisando o investimento total (substituição das luminárias e usina solar) constata-se que o projeto é economicamente viável. Vale ressaltar que para a realização das simulações não foi levado em consideração a queda no preço dos materiais das luminárias e do sistema solar fotovoltaico. Sabe-se que com o passar dos anos o preço dessas tecnologias vem diminuindo consideravelmente e, conseqüentemente, tornando o investimento mais rentável e viável economicamente.

Para uma substituição das luminárias tradicionais por LED mais precisa se faz necessário realizar um estudo luminotécnico em campo com o intuito de verificar o uso adequado das luminárias para cada rua e adjacências atendendo a sua específica necessidade. Para a execução da pesquisa utilizou-se a metodologia a comparação das luminosidades das luminárias.

Conclui-se que as medidas simuladas para efficientização do parque de iluminação de Baturité são viáveis analisando-se o tempo médio de retorno do investimento. Vale destacar que além dos ganhos econômicos o município também estaria contribuindo para o meio ambiente, por está utilizando fontes de energia renovável, e melhorando o bem-estar social por apresentar uma melhor iluminação a população.

Como futuros trabalhos pode-se estudar se seria mais viável comprar energia no mercado livre e aprofundar mais em estudos luminotécnicos para uma melhor adequação das luminárias nas ruas e avenidas da cidade. Destaca-se também a necessidade de

verificar o local para a instalação dos módulos fotovoltaicos, pois esse fator impacta diretamente o investimento. Visto que a instalação pode ocorrer no solo ou lage/telhado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **Resolução Normativa nº 414/10**, Condições Gerais do Sistema de Iluminação Elétrica, Brasília, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2010. Resolução Normativa nº 414 de 9 de Setembro de 2010. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>. Acesso em 29 de Out. de 2018.

ANEEL. **Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída**. 2019. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877>. Acesso em: 20 ago. 2019.

ANTONIOLLI, Andriago Filippo Gonçaves. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE GERADORES SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA NO BRASIL**. 2015. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

ASCURRA, Rodrigo Esteves. **EFICIÊNCIA ELÉTRICA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA UTILIZANDO TECNOLOGIA LED: UM ESTUDO DE CASO**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

BATURITÉ (Município). **Lei nº 1196, de 30 de dezembro de 2002**. Institui no município de Baturité a contribuição para custeio da iluminação pública prevista no artigo 149-A da Constituição Federal. . Baturité, CE, 30 dez. 2002.

BITTENCOURT, Alice Helena. **ESTRATÉGIA PARA O GERENCIAMENTO DO BALANÇO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE ENERGIA ELÉTRICA INTEGRADA À EDIFICAÇÃO E VEÍCULOS ELÉTRICOS EM REDE INTELIGENTE**. 2014. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BLUESPAN. **Iluminação pública a LED, um novo conceito**, Junho 2009. Disponível em: < http://www.energiaviva.pt/pdf/dossier/iluminacao_publica_a_LED_um_novo_conceito.pdf >. Acessado em: 25 outubro 2018.

BRASIL. Constituição, 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil, promulgada em 5 de outubro de 1988**. 20. Ed. São Paulo: Saraiva, 1988. (Coleção Saraiva de Legislação).

BRUNI, A. L; RUBENS, F. **As Decisões de Investimentos** - Com aplicações na HP12C e Excel. São Paulo: Atlas, 2003.

EICK, Guilherme. **VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA NO BRASIL**. 2010. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<http://tcc.bu.ufsc.br/Economia292743>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

ENEL (Org.). **Taxas, Tarifas e Impostos**. 2019. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas_Enel.html>. Acesso em: 06 jun. 2019.

EPE. Ministério de Minas e Energia (Org.). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2018.

FUNCEME (Org.). **Atlas solarimétrico do Ceará**. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2010. 94 p.

IEA. International Energy Agency. Snapshot of Global Photovoltaic Markets, Photovoltaic Power Systems Programme, 2018, **Report IEA PVPS T1-33:2018**.

International Energy Agency (IEA). **Snapshot of global photovoltaic markets**. Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Sinopse do Senso Demográfico de 2010. Rio de Janeiro, 2011.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 8ª edição. São Paulo: Harbra, 2002.

Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES), CEPEL – CRESESB, “**Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**”, Rio de Janeiro, agosto, 2008. Disponível em: <http://www.redemulhersustentabilidade.org.br/Acervo/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2019.

LIMA JUNIOR, Edmilson Ferreira. **ESTUDO DO CONSUMO DE LÂMPADAS LED’S NO PARQUE DE FORTALEZA: UMA VERIFICAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA**. 2014. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2014.

MATOSO, Luana Nathalye. Vantagens e Desvantagens da Certificação Compulsória de Lâmpadas LED no Brasil. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, v. 1, n. 12, p.1-15, dez. 2016.

MARTELETO, Douglas Coelho. **Avaliação do Diodo Emissor de Luz (LED) para iluminação de interiores**. 2011. 131 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017.

ROSITO, Luciano Haas. Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil. **O Setor Elétrico**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, p.30-35, mar. 2010.

OLIVEIRA, Glaucy Katarina Cavalcante de. História social da iluminação: a iluminação artificial do ambiente construído e o comportamento social do Brasil Colônia aos dias atuais. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, v. 01, n. 12, p.01-14, dez. 2016.

PIRES, Georges António Barbosa. **Eficiência Energética na Iluminação Pública do Centro Consumidor de Energia AECT Duero-Douro**. 2016. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2016.

PROCEL (Brasil). Eletrobras. **Lâmpadas a Vapor de Sódio**. Brasília: Eletrobras, 2019. 5 p. Disponível em:
<<http://www.procelinfo.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID=%7B51F2A357-F2D3-4635-870D-56FAC320AB7F%7D&ServiceInstUID=%7B46764F02-4164-4748-9A41-C8E7309F80E1%7D>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

SANTANA, Rosa Maria Bonfim. **Iluminação Pública: Uma abordagem gerencial**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador, Salvador, 2010.

SANTOS, Talía Simões dos et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.595-602, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020040125106>.

SALES, Roberto Pereira. **LED, O NOVO PARADIGMA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia Para O Desenvolvimento, Curitiba, 2011.

SILVA, Márcio Lopes da; FONTES, Alessandro Albino. DISCUSSÃO SOBRE OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL), VALOR ANUAL EQUIVALENTE (VAE) E VALOR ESPERADO DA TERRA (VET). **R.Árvore**, Viçosa, v. 6, n. 29, p.931-936, dez. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n6/a12v29n6.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

SILVA, L. L. F da. **Iluminação pública no Brasil: Aspectos Energéticos e Institucionais**. 2006. Dissertação. (Mestrado em Planejamento Energético)- Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

WWF (Brasil) (Org.). **Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil:** recomendações para políticas públicas. Brasília: Wwf-brasil – Fundo Mundial Para A Natureza, 2015.