



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Garanhuns

Bacharelado em Engenharia Elétrica

ROMANA EMANUELLE DA SILVA GALDINO

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E FINANCEIRA DA ILUMINAÇÃO
PÚBLICA EM RUAS DO MUNICÍPIO DE ARCOVERDE**

Garanhuns

2022

ROMANA EMANUELLE DA SILVA GALDINO

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E FINANCEIRA DA ILUMINAÇÃO
PÚBLICA EM RUAS DO MUNICÍPIO DE ARCOVERDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Elétrica do
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de
Pernambuco, como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Mário Jorge Guimarães
Rocha Neto

Coorientador: Prof. Me. Kleber Paulo da Silva

Garanhuns

2022

G149e

Galdino, Romana Emanuelle da Silva.

Estudo de eficiência energética e financeira da iluminação pública em ruas do município de Arcoverde / Romana Emanuelle da Silva Galdino ; orientador Mário Jorge Guimarães Rocha Neto ; Coorientador Kleber Paulo da Silva, 2022.

96 f. : il.

Orientador: Mário Jorge Guimarães Rocha Neto.

Coorientador: Kleber Paulo da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Pernambuco. Pró-Reitoria de Ensino. Diretoria de Ensino. Campus Garanhuns. Coordenação do Curso Superior em Engenharia. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2022.

1. Energia elétrica – Conservação – Arcoverde (PE). 2. Iluminação municipal. 3. Energia elétrica - Consumo - Arcoverde (PE). 4. Iluminação elétrica - Arcoverde (PE). I. Título.

CDD 333.7932

Riane Melo de Freitas Alves – CRB4/1897

ROMANA EMANUELLE DA SILVA GALDINO

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E FINANCEIRA DA ILUMINAÇÃO
PÚBLICA EM RUAS DO MUNICÍPIO DE ARCOVERDE**

Trabalho aprovado. Garanhuns, 04 de Julho de 2022.

Docente-Orientador: Dr. Mário Jorge Guimarães Rocha Neto

Docente-Coorientador: Me. Kleber Paulo da Silva

Examinador 2: Prof. Me. Alysson Domingos Silvestre

Examinador 3: Prof. Dr. Márcio Severino da Silva

Garanhuns

2022

Dedico este trabalho a futuras gerações, que presenciarão da materialização das mudanças plantadas pela minha – assim espero.

AGRADECIMENTOS

À Santíssima Trindade, que me guia no percorrer dos meus caminhos.

À Nossa Senhora, minha fiel intercessora.

À minha família, que me apoiou e serviu de base durante a jornada.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – campus
Garanhuns, que me instruiu no decorrer desses anos.

Aos meus orientadores, os professores Dr. Mário Jorge e Me. Kleber Paulo, que me
direcionaram na escrita e concretização deste trabalho.

E Deus disse: Haja luz. E houve luz.

RESUMO

O desprendimento de recursos naturais destinados a geração de energia elétrica levanta preocupações de escala mundial, direcionando setores para a busca de soluções nas mais diversas áreas, como na iluminação pública - IP. Aqui no Brasil, somente este serviço público ocupa cerca de 4,5% da demanda nacional. Dessa forma, o cerne da presente monografia é indicar uma alternativa, enquanto proposta de intervenção, que reduza o consumo desse insumo na IP da cidade de Arcoverde, tomando como estudo de caso três ruas da própria – contabilizando 19 postes. Para tanto, foram realizadas: (i) comparações de natureza luminotécnica e financeira entre alguns modelos de lâmpadas usadas pela IP; (ii) estudo da viabilidade econômica (usando as métricas financeiras: TMA, VPL, TIR, ROI, PBS e PBD) de dois protótipos (vapor de sódio e LED/RCA180); e (iii) apuração da economia gerada ao se adotar o controle de luminosidade. Por consequência, alguns modelos – LED/RCA180, Vapor de Sódio e LED – obtiveram destaque nos confrontamentos efetuados. Assim como, as duas primeiras lâmpadas, citadas anteriormente, alcançaram resultados positivos na análise de viabilidade econômica de projeto. Adicionalmente, a LED exibiu uma redução do consumo de energia elétrica, a partir do processo de telegestão. Portanto, diante dos valores colhidos e estando ciente do atual cenário da cidade, a proposta de controle de luminosidade aparece como melhor solução para o problema levantado, atuando de forma a proporcionar eficiência energética.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Iluminação Pública. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The detachment of natural resources for the generation of electricity raises concerns of a global scale, directing sectors to the search for solutions in various areas, such as public lighting. Here in Brazil, this public service alone occupies about 4.5% of the national demand. In this way, the core of this monograph is indicate an alternative, as an intervention proposal, that reduces the consumption of this insum in the IP of the city of Arcoverde, taking as a case study three streets of its own – accounting for 19 light poles. For this, were performed: (i) luminotechnical and financial views between some models of lamps used by IP; (ii) economic feasibility study (using financial metrics: TMA, VPL, IRR, ROI, PBS and PBD) of two prototypes (sodium vapor and LED/RCA180); (iii) calculation of the savings generated by adopting luminosity control. Consequently, some models – LED/RCA180, Sodium Vapor and LED – have been highlighted in the confrontations made. As well as, the first two lamps, mentioned above, achieved positive results in the economic feasibility analysis of the project. Additionally, LED exhibited a reduction in electricity consumption from the telemanagement process. Therefore, given the values collected and being aware of the current scenario of the city, the luminosity control proposal appears as the best solution to the problem raised, acting in a way that provides energy efficiency.

Keywords: Energy Efficiency. Streetlight. Economic Viability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparações de caráter luminotécnico entre alguns modelos de lâmpadas.....	57
Tabela 2 - Comparação do consumo e do gasto financeiro de alguns modelos	61
Tabela 3 - Tabela apresentada pela NBR 5101 para vias de tráfego de pedestres	63
Tabela 4 - Modelos de lâmpadas e suas respectivas iluminâncias	64
Tabela 5 - VPL Positivo: Projeto VIÁVEL (LED/RCA180W)	69
Tabela 6 - VPL Negativo: Projeto INVIÁVEL (LED/RCA180W)	69
Tabela 7 – VPL Positivo: Projeto Viável (Vapor de Sódio).....	73
Tabela 8 - VPL Negativo: Projeto Inviável (Vapor de Sódio).....	74
Tabela 9 - Controle de Luminosidade.....	75
Tabela 10 - Dados Luminotécnicos.....	77
Tabela 11 - Dados de consumo de energia em Watts	77
Tabela 12 - Dados Financeiros.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conta de Energia Elétrica padrão Neoenergia Pernambuco.	27
Figura 2 - Descrição da Nota Fiscal: COSIP.	27
Figura 3 - Luz Natural.	30
Figura 4 - Lâmpadas.	31
Figura 5 - Luz Visível para os seres humanos.	32
Figura 6 - Temperatura de cor	34
Figura 7 - Componentes do SIP.	35
Figura 8 - Luminária Pública: Vapor de Sódio.	37
Figura 9 - Luminária Pública: Vapor de Mercúrio.	38
Figura 10 - Luminária Pública: Mista.	39
Figura 11 - Luminária Pública: LED.	40
Figura 12 - Braço da Luminária (destaque em rosa).	41
Figura 13 - Relé Fotovoltaico.	42
Figura 14 - Reator.	43
Figura 15 - Luminária (destaque em cinza).	44
Figura 16 - Planta de Situação	47
Figura 17 - Fluxo de Caixa.	50
Figura 18 - Cidades Inteligentes.	53
Figura 19 - Telegestão: Controle de Luminosidade.	54
Figura 20 - Eficiência luminosa (lm/W) de alguns modelos de lâmpadas	58
Figura 21 - Consumo e Eficiência Luminosa de alguns modelos de lâmpadas	59
Figura 22 - Tarifa de Energia (B4): Iluminação Pública.	60
Figura 23 - Gasto mensal (em R\$) com o consumo de energia elétrica dos 19 pontos de luz de diferentes modelos	62
Figura 24 - TMA x VPL da lâmpada LED/RCA180	67
Figura 25 – Fluxo de Caixa.	68
Figura 26 - TMA x VPL da lâmpada de Vapor de Sódio.	72
Figura 27 - Potência elétrica utilizada x Horário	76
Figura 28 - Olho Humano	88
Figura 29 – CDL.	90
Figura 30 - Triângulo de Potências.	91
Figura 31 - Representação do mínimo estabelecido para o FP	92
Figura 32 - Economia de energia nos últimos oito anos (bilhões de kWh).	93
Figura 33 - Áreas abrangidas pelo PROCEL.	94
Figura 34 - Eficiência Energética presente em todas as áreas da sociedade.	95
Figura 35 - LED/RCA180W	96

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CDL	Curva de Distribuição Luminosa
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
COSIP	Contribuição para o custeio do Serviço de Iluminação Pública
EC	Emenda Constitucional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fluxo de Caixa
FP	Fator de Potência
GPRS	General Packet Radio Service
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de Reprodução de Cores
LED	Light Emitting Diode
ONU	Organização das Nações Unidas
PBD	Payback Descontado
PBS	Payback Simples
PEE	Programa de Eficiência Energética
PROCEL	Programa nacional de Conservação de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
ROI	Return Over Investment
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIP	Sistema de Iluminação Pública
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa pelo Uso do Sistema de Distribuição
VPL	Valor Presente Líquido
VS	Vapor de Sódio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo Geral	17
1.1.1 Objetivos Específicos	18
1.2 Justificativa	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Breve histórico sobre a Eletricidade	20
2.2 Breve histórico sobre a Iluminação Pública no Brasil	23
2.3 Legislação, Regulamentos e Normas acerca da IP	25
2.3.1 COSIP	26
2.4 Conceitos Luminotécnicos	28
2.4.1 Natureza da Luz	28
2.4.1.1 Luz Natural	30
2.4.1.2 Luz Artificial	31
2.4.1.3 Luz Visível	32
2.4.2 Fluxo Luminoso	32
2.4.3 Intensidade Luminosa	33
2.4.4 Eficiência Luminosa	33
2.4.5 Iluminância	33
2.4.6 Temperatura de Cor	34
2.4.7 Fator de Uniformidade	34
2.5 Componentes do Sistema de Iluminação Pública	35
2.5.1 Lâmpadas	36
2.5.1.1 Lâmpadas de Descarga	36
2.5.1.2 Lâmpadas Mistas	38
2.5.1.3 Lâmpadas de LED	39
2.5.2 Braço com Luminária	40
2.5.3 Relé Fotovoltaico	41
2.5.4 Reatores	42
2.5.6 Luminárias	43
2.6 Eficiência Energética	44
2.6.1 PROCEL - RELUZ	45

3 METODOLOGIA	46
3.1 Planta de Situação	47
3.2 Materiais Utilizados	47
3.3 Métodos Utilizados	48
3.3.1 Viabilidade Econômica	48
3.3.1.1 TMA	49
3.3.1.2 VPL	49
3.3.1.3 TIR	50
3.3.1.4 ROI	51
3.3.1.5 PAYBACK	52
3.3.2 Controle de Luminosidade	52
4 RESULTADOS e ANÁLISES	56
4.1 Comparações Luminotécnicas	57
4.2 Desdobramento Energético - Financeiro	59
4.3 NBR 5101/2018 - Área abrangida pelas luminárias	63
4.4 Análise Econômica do Projeto	65
4.4.1 Proposta de Intervenção: LED/RCA 180W	65
4.4.2 Cenário atual: Lâmpada de Vapor de Sódio de 70W	70
4.4.3 Controle de Luminosidade – LED 150W	75
4.4.4 Comparação entre os resultados desenvolvidos	77
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERENCIAS	83
APÊNDICE A – olho humano e demais conceitos luminotécnicos	88
APÊNDICE B – PROCEL E PEE	93
APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS DA LED/RCA180W	96

1 INTRODUÇÃO

Em defluência das transformações – em nível planetário – oriundas do aquecimento global, os mais diversos territórios vêm sendo afetados direta e severamente. Tendo em vista que as variações nos sistemas naturais prejudicam mais a algumas áreas e poupa a outras, muitas nações possuem zonas de vulnerabilidade.

Considerando tal cenário, a Organização das Nações Unidas – ONU criou as 17 Metas de Desenvolvimento Sustentável¹, – além dos demais – com o objetivo de proporcionar para as gerações futuras um ambiente mais seguro e agradável para viver, a partir das soluções encontradas e desenvolvidas ao longo dos anos, colocando em prática aquilo que foi planejado.

Dentre esses propósitos, à medida que setor elétrico passou a apresentar modificações drásticas na disponibilidade e na confiança de seus recursos – causando preocupação à população e ameaçando ocorrer um apagão –, a sétima meta configura a consequência dessa inquietação, promovendo ações que visam a readequação da geração de energia elétrica – transformação da matriz elétrica – e do uso desse insumo.

Atentando para o consumo de energia elétrica da iluminação pública do Brasil atingir cerca de 3,0% e ocupar 4,5% da demanda nacional – conforme informações colhidas no site do (PROCEL RELUZ, 2011) –, buscar alternativas que proporcionem eficiência energética nos processos, ajuda a reduzir a utilização desse insumo para a geração de luz.

Sendo assim, segundo o Art. 30 da Constituição Federal de 1988, compete aos municípios e distritos a responsabilidade da gestão dos seus serviços públicos, o que inclui a iluminação pública. Ainda na mesma, no Art. 149-A, tais poderes podem instituir contribuição de tarifas cobradas à população para manutenção do

¹ (1) Erradicação da pobreza; (2) Fome zero e agricultura sustentável; (3) Saúde e bem-estar; (4) Educação de qualidade; (5) Igualdade de gênero; (6) Água potável e saneamento; **(7) Energia limpa e acessível**; (8) Trabalho decente e crescimento econômico; (9) Indústria, inovação e infraestrutura; (10) Redução das desigualdades; (11) Cidades e comunidades sustentáveis; (12) Consumo e produção responsáveis; (13) Ação contra a mudança global do clima; (14) Vida na água; (15) Vida terrestre; (16) Paz, justiça e instituições eficazes; e (17) Parcerias e meios de implementação.

sistema de iluminação, conhecido como Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública – COSIP.

De forma a complementar, o artigo 5º - § 6º da Resolução Normativa 414 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL corrobora o que está instituído por Lei:

a iluminação pública é de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público ou por esta delegada mediante concessão ou autorização, 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.

Logo, em conformidade com a NBR 5101 (ABNT, 2012, p. 3), a iluminação pública é um serviço que tem por objetivo prover de luz, ou claridade artificial, os logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, inclusive aqueles que necessitam de iluminação permanente no período diurno.

Segundo a NEOENERGIA PERNAMBUCO, a Iluminação Pública proporciona cidades mais iluminadas, oferece mais atratividade para as atividades comerciais e de turismo, além de proporcionar melhor qualidade de vida por meio da segurança. Outro dever que é assegurado pelo Estado e que está diretamente ligado ao citado anteriormente – Segurança – é o Direito IR e VIR dos cidadãos, que fica comprometido quando o logradouro está mal iluminado ou sem iluminação.

Para tanto, a pesquisa seguiu uma linha de perfil descritivo-exploratório ao investigar sobre um tema já existente e destrinchá-lo de forma a realizar uma análise financeira nas propostas de solução indicadas. Com esse propósito, foi feita uma revisão bibliográfica que engloba conceitos acerca dos assuntos usados no decorrer da investigação – como: eletricidade, iluminação pública, normas e regulamentos, luminotécnica, eficiência energética e viabilidade econômica – acompanhada por uma abordagem de natureza quantitativa.

Conseqüentemente, após o levantamento de quais modelos² de luminárias usadas na IP seriam analisados, ao realizar uma comparação entre eles, baseando-se em informações luminotécnicas fornecidas pelo fabricante, bem como o preço/unidade e o consumo (kWh) ao final do mês, a LED, a LED/RCA180W e a de Vapor de Sódio alcançaram os melhores resultados.

Dessa forma, ao se fazer o estudo de viabilidade econômica nas duas últimas lâmpadas citadas anteriormente – uma indicando o passado e a outra promovendo um cenário futuro –, os indicadores financeiros apontaram um resultado positivo em ambos os casos, desde que Taxa Mínima de Atratividade – TMA esteja abaixo da Taxa Interna de Retorno – TIR. Vale ressaltar que esse estudo visou A P E N A S a aquisição das lâmpadas.

No que diz respeito ao Controle de Luminosidade desenvolvido para a lâmpada de LED – que configura um cenário próximo –, a redução do consumo de energia elétrica para a geração de luz e, conseqüentemente, a economia ao final do mês é oriunda da mudança da potência utilizada em determinados horários.

Logo, a presente monografia contribuiu para o levantamento de soluções para o sistema de Iluminação Pública – IP, visando ações de eficiência energética em seus processos, causando, por consequência, redução do consumo de energia elétrica, seja ela originada pelo investimento em novas tecnologias ou provinda do uso do controle da luminosidade nos modelos já existentes. Em decorrência, tais propostas possibilitam a geração de economia dos gastos municipais com a IP, por conseguinte, da tarifa de energia da população arcoverdense.

Portanto, o trabalho está organizado na seguinte disposição dos capítulos, após o da introdução: Fundamentação teórica; Metodologia; Resultados e Análises; e Considerações finais.

1.1 Objetivo Geral

Definir, a partir de análises de eficiência energética e financeira, dentre os modelos em investigação, qual a melhor lâmpada ou alternativa, que proporcione

² Lâmpadas: Vapor de mercúrio (HQL), Vapor de Sódio, Mista, LED, LED/RCA150 e LED/RCA180.

uma redução do consumo de energia elétrica, a ser utilizada pela iluminação pública nos logradouros – em estudo – da cidade de Arcoverde.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma análise de teor quantitativo, ao levantar elementos de cunho energético e financeiro;
- Comparar modelos de lâmpadas utilizadas pela iluminação pública na cidade de Arcoverde, baseando-se em características luminotécnicas deles;
- Avaliar o quão eficiente é cada modelo, mediante o consumo de energia elétrica para geração de luz;
- Calcular dados de ordem econômica com o intuito de classificar a viabilidade do projeto;
- Apresentar soluções a curto e longo prazo, através das propostas de intervenção.

1.2 Justificativa

A constante e ascendente preocupação com os impactos negativos, de escala mundial, causados ao meio ambiente vem provocando agitação nas mais diversas nações, gerando discussões de “como, quando, onde...” esses problemas devem ser mitigados ou aniquilados ao longo do tempo.

Dentre esses alertas levantados, o gasto excessivo para a geração de energia elétrica à base de recursos naturais – derivados do petróleo – é um dos agentes que culmina nos gases de efeito estufa lançados na atmosfera, que agravam a situação.

Logo, considerando que 3,0% do consumo desse insumo – conforme mencionado anteriormente – é destinado à iluminação pública aqui no Brasil, buscar alternativas que venham a reduzir essa demanda – nesse setor – é cooperar para o cumprimento da sétima meta de desenvolvimento sustentável da ONU³, através da eficiência energética alcançada pelos processos.

³ Energia limpa e acessível.

Em decorrência disso, com o propósito de voltar a atenção para o tema, a presente monografia desenvolverá uma análise de viabilidade econômica de projeto, acerca da troca da luminária utilizada pela iluminação pública em algumas ruas da cidade de Arcoverde, bem como apresentará como a proposta de controle de luminosidade pode ser financeiramente viável à curto prazo, com o intuito de promover eficiência energética como medida de solução para a contante solicitação de energia elétrica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os avanços realizados pela comunidade acadêmica na área de Eletricidade e suas tecnologias culminaram em descobertas, experimentos e patentes, que foram de fundamental importância para o desenvolvimento da sociedade. Dentre esses estudos, após diversas e falhas tentativas, com variados materiais para a geração de luz, a iluminação passou a ser utilizada nas grandes cidades - à princípio, nos centros urbanos para, depois, ir para as residências. À medida que a Iluminação Pública adentrava na vida social, a sua relevância foi sendo corroborada, fazendo-se necessário uma legislação composta por artigos, regulamentos e normas acerca do tema e indicação de responsáveis por seu estado e dos seus componentes. A IP, além de proporcionar iluminação aos logradouros, vias, ruas, praças, sistema de trânsito etc; e promover o embelezamento dos lugares - incitando o turismo da região -, assegura direitos dos cidadãos instituídos pela Constituição Federal de 1988, como o direito de ir e vir e de segurança pública.

2.1 Breve histórico sobre a Eletricidade

Evidências discriminam que as primeiras percepções e indagações a respeito de fenômenos de caráter elétrico foram iniciadas na Grécia Antiga. Tais manifestações, que foram encontradas em diversos trabalhos de filósofos da época, apontam Tales de Mileto como o agente precursor da natureza elétrica do âmbar, ao observar que ele atraía corpos leves. Do âmbar (gr. *élektron*) surgiu o nome eletricidade.

No decorrer dos anos, apesar das percepções de que outros materiais atraíam corpos pequenos e leves, foi o matemático Girolamo Cardano responsável por primeiro reconhecer e distinguir a natureza entre o âmbar e aquela observada nos ímãs. Até essa época, os conceitos elétricos e magnéticos - hoje, conhecidas suas propriedades e correlações -, eram lidados separadamente.

Por conseguinte, em 1600, “William Gilbert, na obra *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*, observa que: Em muitos corpos (vidro, enxofre, ...) a fricção induz o mesmo efeito observado no âmbar. O efeito é denominado por *electricus*.” (NETA, 2021, p. 4). Além da descoberta de

outras substâncias que se comportavam como o élektron, Gilbert denominou de *elétricos* corpos que possuíam a mesma propriedade de atração do âmbar.

Anos após, precisamente em 1663, foi engendrado um equipamento capaz de produzir cargas elétricas pelo fenômeno da fricção – máquina eletrostática. Tal invenção ficou à cargo do físico alemão Otto Von Guericke. Segundo NETA (2021, p. 5), [...] uma pluma é atraída pela bola, mas repelida depois do contacto, mas acompanha à distância o movimento da bola. Ouvem-se sons crepitantes e os sinais são visíveis no escuro [...].

Em torno de 1729, Stephen Gray foi o cientista responsável por conduzir pesquisas mais avançadas, descobrindo que a eletricidade poderia ser conduzida através de um fio, o que o levou a classificar os materiais em isolantes e condutores.

Na sequência, Charles Francis Dufay e Benjamin Franklin desempenharam papéis - separadamente, mas complementares - importantes para o avanço da ciência. Por enquanto que o primeiro descobriu as propriedades de atração e repulsão da eletricidade, Benjamin convencionou os sinais positivo e negativo, o que possibilitou a invenção do primeiro para-raio.

Em 1780, Luigi Galvani, professor de Anatomia, conduziu pesquisas na área de eletricidade, usando animais como cobaias. Em um dos seus experimentos, ele percebeu que as pernas de um sapo morto, que estava em cima de uma placa de metal, eram contraídas, quando tocadas por um bisturí.

Em 1796, Alessandro Volta, ao analisar as pesquisas de Galvani, bem como o funcionamento de algumas reações químicas de metais diferentes imersos em uma solução ácida, desenvolveu o primeiro sistema de eletricidade à corrente contínua, a pilha. Esta célebre descoberta o deixou mundialmente conhecido, sendo seu nome usado como unidade de medida da Tensão Elétrica - *Volt* [V].

Alguns anos mais tarde, em 1800, Charles Augustin de Coulomb descobriu que a força entre duas cargas elétricas (Q_1 , Q_2) é proporcional ao produto das cargas (Q_1 , Q_2) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas (r^2). Adicionalmente, a fórmula também depende do meio em que essa interação está acontecendo. Nesse caso, a constante de proporcionalidade (K) indica o meio. Ver a fórmula da Lei de Coulomb:

$$\vec{F}_e = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \hat{r}. \quad (2.1)$$

Assim como Volta, Coulomb também ganhou reconhecimento dos seus feitos ao ser colocado o seu nome como unidade de medida da carga elétrica - *Coulomb* [C].

Muitos registros comprovam que o século XIX foi marcado por grandes descobertas. Nesse trâmite, três cientistas são alguns dos responsáveis por esses avanços dados na eletricidade. Em 1820, Hans Christian Oersted descobriu a interação entre a corrente elétrica e o campo magnético ao observar que a agulha de uma bússola era afetada pela corrente elétrica que passava em um fio condutor. Paralelamente, na França, André-Marie Ampère notou que dois fios condutores ao serem percorridos por correntes elétricas exerciam uma ação repulsiva ou atrativa um sobre o outro. Ampère foi o criador do primeiro eletroímã - o solenóide. Além disso, seu nome é usado na unidade de medida da corrente elétrica - *Ampère* [A]. Anos depois, em 1831, “Michael Faraday descobriu que se um condutor se movimentasse dentro do campo magnético de um ímã, uma força eletromotriz era induzida nos terminais do condutor.” (WALTER, 201?, p. 9). Faraday, também, foi homenageado, sendo seu nome a unidade de medida da capacitância - *Faraday* [F].

Relativamente na mesma época, George Simon Ohm reparou que havia uma relação entre a tensão, a corrente e a resistência elétricas. Durante um experimento simples, ele percebeu que o módulo da corrente elétrica mudava conforme a mudança da tensão elétrica, e que havia uma constante de proporcionalidade entre elas, isto é, a resistência elétrica. Diante disso, a unidade de medida da resistência elétrica é o Ohm [Ω].

Por volta de 1830, Joseph Henry, durante a construção de um eletroímã, notou o que hoje chamamos de indução eletromagnética. Simultaneamente, Michael Faraday também desenvolvia trabalhos neste ramo da ciência, como comentado anteriormente. Logo, apesar de dados comprovarem a descoberta por parte de Henry, Faraday foi quem recebeu o crédito. Mesmo assim, seus estudos acerca dos relés eletromagnéticos abriu caminho para a construção do telégrafo. Além do mais, teve seu nome posto na unidade de medida da indutância como forma de homenagem - *Henry* [H].

Em 1864, “James Clerk Maxwell a partir de seus estudos previu a existência de ondas eletromagnéticas e que a luz seria uma onda eletromagnética, colocando a óptica como um ramo do eletromagnetismo, abrindo caminho às telecomunicações.”

(SANTANA, 2010, p. 23). Além do mais, seus trabalhos culminaram nas equações que junta os conceitos elétricos e magnéticos - Equações de Maxwell.

Em 1880, o inventor, empresário e cientista Thomas Edison passou a ser mundialmente conhecido por seus inúmeros estudos e avanços dados na área da eletricidade. Dentre suas invenções, pode-se destacar o primeiro sistema de distribuição de energia em corrente contínua. Além do mais, dentre tantas outras, a primeira lâmpada incandescente.

Na mesma década, Nikola Tesla (que já havia sido um funcionário de Edison) percebeu que o uso da corrente alternada seria mais viável para alguns propósitos, como a transmissão de energia elétrica a longas distâncias, superando os 800m atingidos pela distribuição em corrente contínua, já atestada por Thomas. Após sair da Edison Electric, tempos depois, Tesla apresentou suas ideias para George Westinghouse - um dos maiores investidores estadunidense daquela época -, que viu naquele projeto de patente uma grande oportunidade para aposta. Sendo assim, a corrente alternada passou a ser usada em diversos processos, como de transmissão e distribuição de energia elétrica.

Apesar dos altos e baixos dessa história, ambos os sistemas, atualmente, são utilizados, cada um para seus devidos fins.

2.2 Breve histórico sobre a Iluminação Pública no Brasil

A partir do século XVI, com a vinda dos portugueses para o Brasil e o início do processo de colonização do mesmo, o país passou por enormes transformações sociais e culturais. A instalação de uma família real e toda a sua corte - com o oceano atlântico de distância do país de origem - exigia que mudanças fossem realizadas, com a finalidade da nova colônia ter condições dignas de comportar a nobreza. Logo, a construção de edifícios, monumentos, ruas etc tornou-se necessária, sendo levado em consideração uma arquitetura que remetesse a traços europeus.

Nesse trâmite, a iluminação pública acompanhou o desenvolvimento da sociedade à medida que as formas e os materiais utilizados para iluminar as vias públicas demonstravam o progresso social, econômico e tecnológico da época. Assim sendo, à princípio, as estruturas de iluminação correspondiam aos próprios

astros - como o Sol, a Lua e as Estrelas - e ao fogo. Dentre esses materiais, por um bom tempo, os candeeiros tomaram de conta desse serviço, iluminando os espaços públicos e as propriedades privadas.

No final do século XVIII, em 1794, foram instaladas as primeiras 100 luminárias a óleo de azeite, na então capital do Brasil - o Rio de Janeiro. Conforme as pesquisas na área da eletricidade e dos materiais foram se tornando mais promissoras, as invenções passaram a fazer parte, de forma mais abrangente, do meio social.

Sendo assim, segundo Santana (2010, p. 25):

O óleo de baleia supriu por mais de dois séculos as necessidades mundiais de iluminação pública, mas, inventores e empresários ingleses, durante a revolução industrial, buscaram soluções mais eficientes para seus processos produtivos. Nesta busca, com os estudos na utilização do carvão de pedra, descobriu-se que sua destilação gerava uma série de compostos de carbono, de alto poder calorífico e características iluminantes. Em 1802, William Murdock concretizou esta tecnologia.

Apesar de ser um grande salto mundial, o insumo necessário para a produção de luz - o carvão - e todo o aparato de equipamentos exigiam um alto desprendimento financeiro para importação, o que geraria grandes dívidas para o Brasil. Portanto, a iluminação pública ficou à serviço do gás, sendo um investimento realizado pelo Barão de Mauá.

À vista disso, durante uma expedição pelo mundo, Dom Pedro II tomou conhecimento do enorme feito realizado por Thomas Edison: a lâmpada incandescente. Por conseguinte, o então imperador do Brasil trouxe essa invenção para o país, o que marcou o início da eletricidade aqui, e revolucionou a iluminação pública.

Inicialmente, tal avanço na IP só compreendia a capital, as demais cidades não estavam acopladas neste plano, devido a distância e o desenvolvimento econômico das mesmas. Com o passar dos anos, a necessidade de energia elétrica por parte das localidades periféricas aumentou, levando tal insumo para fora dos centros urbanos.

Dessa forma, conforme Silva (2006, p. 22):

Em 1887, Porto Alegre inaugurava um serviço municipal de iluminação elétrica - o primeiro do país - aproveitando a energia elétrica gerada em usina térmica da Companhia Fiat Lux. No Rio de Janeiro, criava-se a

Companhia de Força e Luz, responsável por mais de 100 lâmpadas de iluminação pública. Os serviços viabilizados pela energia elétrica se estendiam à força motriz, principalmente no setor têxtil.

Assim posto, ao passo que ia crescendo a demanda por energia elétrica e, conseqüentemente, iluminação pública, havia a necessidade de ter órgãos regulamentadores que fossem responsáveis por esses serviços. Tal carência se tornou mais presente durante o século XX, com a construção de usinas de geração de energia elétrica.

Além do mais, esses insumos começavam a se expandir e atuar como fator decisivo para a economia da região. Logo, a cidade que não tinha acesso a energia elétrica - ou, se tinha, era precário - via seu desenvolvimento interrompido, não podendo competir com as demais.

2.3 Legislação, Regulamentos e Normas acerca da IP

Em conformidade com o Art. 30, inciso V, da Constituição Federal de 1988, compete aos municípios: organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial. Destarte, a iluminação pública também está inserida nessas responsabilidades que concerne à gestão municipal.

Dessa forma, a Emenda Constitucional - EC nº39, de 19 de dezembro de 2002, acrescenta o Art. 149 - A à Constituição Federal em vigor, dando plenos poderes aos Municípios e ao Distrito Federal de instituir contribuição, na forma das respectivas leis, para o custeio do serviço de iluminação pública, observado o disposto no art. 150, I e III, sendo facultada a cobrança da contribuição a que se refere o caput, na fatura de consumo de energia elétrica.

Sendo assim, como as concessionárias de energia elétrica dispunham de todo o aparato técnico e humano necessário, elas continuaram encarregadas pelo serviço de iluminação pública.

Uma vez que a ANEEL é um dos órgãos responsáveis pela energia elétrica aqui no Brasil, cabe à agência reguladora, por meio das resoluções normativas - REN, estabelecer direitos e deveres acerca desse insumo, atribuindo responsabilidades e designando os possíveis encarregados para responderem por essas incubências.

À vista disso, dentre as diversas resoluções, a REN 414/2010 é uma das mais importantes, pois ela tem como objetivo “estabelecer, de forma atualizada e consolidada, as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, cujas disposições devem ser observadas pelas distribuidoras e consumidores” (ANEEL, 2010, p.1).

Ainda se tratando dessa resolução, o Art. 218 da mesma determina que a distribuidora deve transferir o sistema de iluminação pública registrado como Ativo Imobilizado em Serviço – AIS à pessoa jurídica de direito público competente. Ou seja, a responsabilidade deste insumo, que à princípio foi delegada para concessionárias, devia voltar para a tutela da gestão municipal ou distrital. Logo, atualmente, as secretarias de serviços públicos respondem pela iluminação pública do seu município.

Além do mais, conforme a ANEEL, a REN 888/2020, que entrou em vigor em 9 de julho de 2020, tem como objetivo de padronizar a regulamentação do fornecimento de energia para a iluminação pública, trazendo mais previsibilidade e segurança aos serviços públicos, por meio da inserção do Capítulo II-A na Resolução Normativa nº 414, de 2010.

Adicionalmente, no que diz respeito às normas, a NBR 5101 é encarregada de “estabelecer os requisitos para a iluminação de vias públicas, proporcionando segurança aos tráfegos de pedestres e de veículos” (ABNT, 2012, p.1).

2.3.1 COSIP

Conforme já foi dito, não compete à ANEEL o encargo da Contribuição de Iluminação Pública – CIP ou a Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública – COSIP, sendo um serviço público que fica sob tutela das gestões municipais e distritais, de acordo com o Art.30 e o Art.149-A da Constituição Federal de 1988.

Portanto, em consonância com a EC nº39, as Figuras 1 e 2 apresentadas logo a seguir discriminam o local onde se encontra, na conta de energia elétrica do grupo Neoenergia Pernambuco, a contribuição que cada usuário paga por usufruir desse serviço de iluminação pública.

Figura 1 - Conta de Energia Elétrica padrão Neoenergia Pernambuco.

Tarifa Social de Energia Elétrica: Criada pela Lei 10.438, de 26/04/02

NEOENERGIA PERNAMBUCO
Companhia Energética de Pernambuco
Av. João de Barros, 111, Boa Vista, Recife - PE. CEP 50050-902
CNPJ 10.835.932/0001-08 | Insc. Est. 0005943-93 | www.ceipe.com.br

CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA • FATURA • NOTA FISCAL

DADOS DO CLIENTE
CLEODON CALHEIROS DE SANTANA
CPF 001.223.445-68 NIS 01234567891

ENDEREÇO DA UNIDADE CONSUMIDORA
RUA JOAQUIM FRANCISCO 75 C
-
BAIRRO, CIDADE
0123456-256 CIDADE - ESTADO

CLASSIFICAÇÃO
B1 RESIDENCIAL
RESIDENCIAL
MONOFÁSICO

CONTA CONTRATO: 000123456 **MÊS/ANO:** 02/2019

DATA DE VENCIMENTO: 25/02/2019 **DATA PREVISTA PRÓXIMA LEITURA:** 18/03/2019

Nº DA NOTA FISCAL	SERIE	EMIÇÃO
0000251	UNICA	18/02/2019

APRESENTAÇÃO	Nº DO CLIENTE	Nº DA INSTALAÇÃO
18/02/2019	0000123456	123456

TOTAL A PAGAR (R\$) 224,57

DESCRIÇÃO DA NOTA FISCAL	QUANTIDADE	PREÇO (R\$)	VALOR (R\$)
Consumo Ativo (kWh) - TUSD	291,560000	0,43421129	128,59
Consumo Ativo (kWh) - TE	291,560000	0,32168577	93,75

TOTAL DA FATURA 224,57

DEMONSTRATIVO DE CONSUMO DESTA NOTA FISCAL							
Nº DO MEDIDOR	TIPO DA FUNÇÃO	ANTERIOR DATA	ANTERIOR LEITURA	ATUAL DATA	ATUAL LEITURA	Nº DE DIAS	CONSTANTE
00012345	CAI	18/01/2019	10100	18/02/2019	10227	30	1,000000000
							AJUSTE
							-
							CONSUMO (kWh)
							127,000000

Fonte: Grupo Neoenergia Pernambuco (2019).

Em conformidade com o grupo Neoenergia Pernambuco, o tópico 6 compreende a descrição da nota fiscal, sendo relatado na mesma: o Consumo ativo (kWh) TUSD, o Consumo ativo (kWh) TE; as Bandeiras Tarifárias; a **Taxa de Iluminação Pública**; as Taxas de Serviços Cobráveis; a Multa por Atraso; os Juros por Atraso; as Doações; a Quantidade; o Preço; o Valor; e o Total da Fatura.

Figura 2 - Descrição da Nota Fiscal: COSIP.

DESCRIÇÃO DA NOTA FISCAL			
	QUANTIDADE	PREÇO (R\$)	VALOR (R\$)
Consumo Ativo(kWh)-TUSD	181,0000000	0,47425887	85,84
Consumo Ativo(kWh)-TE	181,0000000	0,36862342	66,72
Acréscimo Bandeira VERMELHA			7,76
Contrib. Ilum. Pública Municipal			24,04

Fonte: Autora (2021).

A Figura 2 mostrada anteriormente segue como exemplo. Logo, após os consumos ativos TUSD e TE e a bandeira tarifária - indicando a cor e, conseqüentemente, como está a geração -, vem a COSIP/CIP atribuída pelo município (destacada em verde).

2.4 Conceitos Luminotécnicos

Consoante à NBR 5101 (2012, p. 7), a iluminação pública tem como principal objetivo proporcionar visibilidade para a segurança do tráfego de veículos e pedestres, de forma rápida, precisa e confortável. Assim posto, aliados a esta norma estão os conceitos luminotécnicos, que participam desse trâmite para atender e compor os requisitos mínimos estabelecidos por aquela para a construção e execução dos projetos.

2.4.1 Natureza da Luz

Pode-se afirmar que a *Natureza da Luz* é um enigma que vem sendo discutido por estudiosos da área, desde os primórdios da humanidade. As provas datam e discriminam que tais pesquisas já tinham começado com os filósofos gregos, há mais de dois mil anos.

De acordo com Alegre (2003, p. 3), a linha temporal começou com:

A escola Pitagórica, principalmente com Platão (427-347AC), acreditava que todo objeto visível emitia uma corrente constante de partículas luminosas, que eram captadas por nossos olhos. A oposição disso veio com Aristóteles (384-322AC), que acreditava sair de nossos olhos uma onda vibratória que atingia os objetos e tornava-os visíveis.

Logo, é possível observar que as primeiras teorias a serem levantadas tentaram elucidar que a luz vinha de dentro para fora, que os olhos a projetavam, o que foi repudiado veementemente pelas correntes teóricas posteriores. Adicionalmente, tais convicções tinham bases religiosas, com a finalidade de explicar a criação do mundo e a sobrevivência dos seres vivos nele.

Dessa forma, enquanto a escola pitagórica investia na tese de que a luz era formada por corpúsculos, Aristóteles acreditava que ela tinha um biotipo parecido

com o da voz humana - mais tarde classificada como uma onda. Sendo assim, as discussões a respeito da Natureza da Luz se resumiam às teses desses dois filósofos, que foram aceitas e perduraram até o século XVII, dividindo-se entre corpuscular e ondulatória.

Nesse trâmite, naquela época, duas correntes científicas vieram à tona, baseando-se nas já existentes. Dentre elas, Isaac Newton encabeçava a ideia de que a luz era formada por corpúsculos, pequenos pacotes de luz. A outra teoria era liderada por Christiaan Huygens, o qual acreditava que as características da luz a classificavam como uma onda.

No primeiro momento, como a fama de Newton na comunidade científica estava em ascensão devido às suas pesquisas e descobertas na física mecânica, os estudos de Huygens não tiveram tanto impacto e foram deixados de lado. Este cenário mudou logo em seguida com os experimentos de fendas duplas de Fresnel e Young, demonstrando a natureza ondulatória da luz e refutando aquela defendida por Newton - que só conseguia adequar a sua teoria aos fenômenos de reflexão e refração.

A partir dessas observações, a física tomou essa nova vertente como a mais “adequada” para explicar a natureza da luz. Assim posto, por volta de 1870, o físico James Clerk Maxwell conseguiu desenvolver uma teoria que explicava o comportamento da luz desde os fenômenos de reflexão e refração a difração e interferência.

Sendo assim, apesar de bem consolidada a natureza ondulatória da luz, Albert Einstein, em 1905, para explicar o efeito fotoelétrico, retomou a teoria acerca das partículas mínimas de luz - corpúsculos -, os quais foram nomeados fótons. Não somente, ainda segundo esse cientista, os fenômenos da natureza só poderiam ser explicados se as duas teorias já levantadas fossem acopladas, formando, assim, o conceito de dualidade onda-partícula.

À vista disso, tal denominação engloba todos os casos vistos até então, os quais a luz pode ser uma hora considerada apenas formada por pequenos pacotes de luz, e, em outros momentos, uma onda. O que vai definir uma natureza ou outra é o problema que está sendo observado, como, por exemplo, o efeito fotoelétrico - que, para ser explicado, precisou recorrer à característica corpuscular -, não podendo ser resolvido pelo perfil ondulatório da luz.

2.4.1.1 Luz Natural

“A luz é o princípio de toda a ciência, porque é a luz que nos permite ver o mundo. Sem luz não existiria a relação íntima entre sujeito observador e objeto observado que é essencial à observação.” (FIOLHAIS, 1992, p. 1).

Segundo Garrocho (2005, p. 1):

A luz natural é uma das fontes de energia mais importantes para o homem desenvolver suas atividades, pois é ela que proporciona a visão nítida do mundo. Além disso, todo ser vivo depende da exposição à luz natural para ativar o ciclo de funções fisiológicas.

Ao se buscar o que significa “luz” nos dicionários, eles informam, dentre tantas definições, “*Clareza que emana de si mesmo*”, como o SOL. Conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Luz Natural.



Fonte: Autora (2022).

Conforme apontam os demais significados levantados até então, a luz natural provém de uma fonte natural, não sendo processada como uma lâmpada, que depende de reações químicas para gerar luz, por exemplo.

2.4.1.2 Luz Artificial

Conforme já discutido, a necessidade de iluminar logradouros públicos, à princípio, foi aumentando à medida que os centros urbanos foram se desenvolvendo. Sendo assim, apenas a luz natural provinda do Sol já não era suficiente para a demanda que passava a exigir uma iluminação no período da noite. Ainda segundo já relatado na seção 2.1, a história da eletricidade se mistura com o advento da luz artificial, que teve seu marco com a invenção da primeira lâmpada incandescente - por Thomas Edison.

Atualmente, a luz artificial é utilizada abundantemente nos mais diversos locais, com uma variedade de modelos e tecnologias, alguns mais eficientes que outros, o que pode ser conferido na Figura 4. Vale ressaltar que, em muitos projetos, há uma busca incessante para que a luz natural seja aproveitada o máximo possível e, assim, reduzir o consumo de energia provindo da luz artificial.

Figura 4 - Lâmpadas.

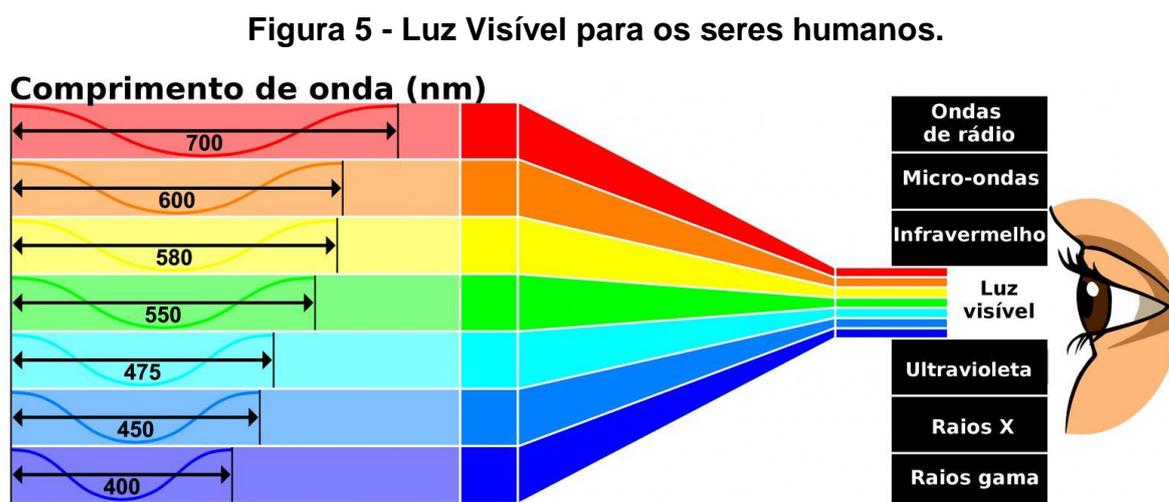


Fonte: Traços Retos Iluminação (2022).

Assim colocado, conforme pode ser visualizado na Figura 5, há uma diversidade de lâmpadas, algumas já obsoletas, outras mais modernas, mas cada uma com seu mecanismo considerado moderno para a época de fabricação. À proporção que a engenharia dos materiais avança suas pesquisas tecnologicamente, os modelos se tornam mais eficientes, visando promover o menor custo energético e um maior fluxo luminoso.

2.4.1.3 Luz Visível

“O que chamamos de luz visível (ou luz branca) corresponde a uma estreita faixa do espectro da radiação solar cujo comprimento de onda situa-se entre 400 e 700nm, cujos comprimentos nos possibilitam enxergar em cores” (NISHIDA, 201?), o que expresso pela Figura 5.



Fonte: Brasil Escola (201?).

É importante salientar que esse range anteriormente comentado, e mostrado na imagem antecedente, é o comprimento de onda da luz que é visível para os seres humanos, uma vez que muitos animais conseguem enxergar além dessa faixa.

2.4.2 Fluxo Luminoso

Segundo Luminotécnica (201?, p. 3), o fluxo luminoso é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz em todas as direções do espaço e capaz de produzir uma sensação de luminosidade através do estímulo da retina ocular. “Em uma analogia com a hidráulica, seria como um chafariz esférico, dotado de inúmeros furos na superfície. Os raios luminosos corresponderiam aos esguichos de água dirigidos a todas as direções e decorrentes destes furos.” (RODRIGUES, 2002, p. 6). Ou mesmo a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa.

Lúmen (lm), conforme o SI, é a unidade de medida do fluxo luminoso, sendo definido como a energia luminosa irradiada por uma candela sobre uma superfície esférica de 1 m² e cujo raio é de 1 m.

2.4.3 Intensidade Luminosa

Sendo medida em candelas, a intensidade luminosa corresponde ao módulo - ou comprimento - do vetor, cuja sua direção indica o fluxo luminoso (dado em *lúmens*) proveniente da fonte de luz. Adicionalmente, “uma *candela* (cd) é a intensidade luminosa de uma fonte pontual que emite um fluxo luminoso de um lúmen em um ângulo sólido de um esferorradiano.” (OSRAM, 2000, p. 4). “Como a maioria das lâmpadas não apresenta uma distribuição uniformemente em todas as direções, é comum o uso das curvas de distribuição luminosa, chamadas CDL’s.” (LUMINOTÉCNICA, 201?, p. 3).

2.4.4 Eficiência Luminosa

Tal grandeza luminotécnica correlaciona o fluxo luminoso com a potência consumida para a geração de luz, o que indica o quanto de lúmen por watt uma determinada fonte luminosa gasta.

2.4.5 Iluminância

Essa grandeza diz respeito a quantidade de luz que incide sobre uma superfície, isto é, o fluxo luminoso presente em uma área, sendo sua unidade de medida o *Lux*. De acordo com o Manual de Iluminação do Procel (COPEL, 2012), um *lux* (lx) corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen.

$$E = \frac{\varphi}{A} \quad (2.2)$$

Em que,

φ → Fluxo luminoso [lm]

A → área [m²]

2.4.6 Temperatura de Cor

É a grandeza que expressa a aparência de cor da luz, sendo sua unidade o *Kelvin* (K), de acordo com o Procel. Conferir a Figura 6.

Figura 6 - Temperatura de cor



Fonte: Jorge (2018).

Vale salientar que a temperatura na escala Kelvin não corresponde à aparência transmitida pela fonte de luz em específico. Por exemplo: 2700 K indica uma temperatura de cor quente, enquanto que 6500 K é um branco frio.

2.4.7 Fator de Uniformidade

De acordo com a ABNT NBR 5101 (2012, p. 10), o fator de uniformidade da iluminância (em determinado plano) é a razão entre a iluminância mínima e a iluminância média em um plano especificado. Ver a fórmula a seguir:

$$U = \frac{E_{mín}}{E_{med}} \quad (2.3)$$

Em que:

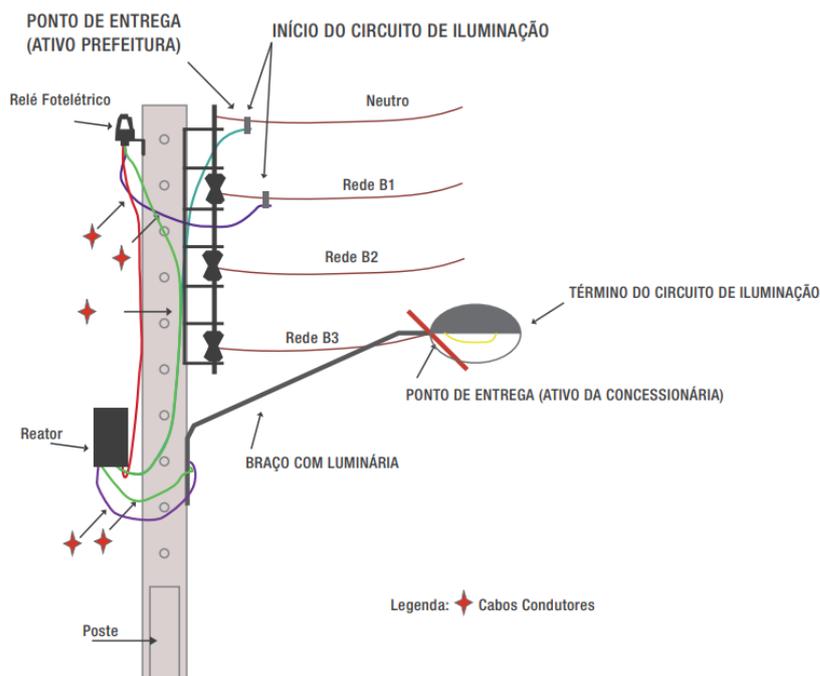
Emín → Iluminância mínima [lx]

Emed → Iluminância média [lx]

2.5 Componentes do Sistema de Iluminação Pública

Os componentes do Sistema de Iluminação Pública podem ser resumidos aos mostrados na Figura 7, apresentada logo a seguir.

Figura 7 - Componentes do SIP.



Fonte: Cepam (2013).

Vale ressaltar que todo o aparato técnico demonstrado na Figura 8 pode mudar de município para município, afirmando como está o desenvolvimento econômico da região e expondo desigualdades - que variam de acordo com a cidade, o estado e a região.

Logo, as novas tecnologias, usualmente, são empregadas nos grandes centros urbanos, devido ao alto desdobramento financeiro necessário para custear e manter os novos modelos - que, geralmente, trazem uma proposta mais eficiente.

2.5.1 Lâmpadas

As lâmpadas são as protagonistas neste cenário, já que são caracterizadas como a fonte de luz. Sendo assim, a escolha da lâmpada a ser utilizada em um projeto de iluminação pública, dentre diversas características técnicas-comparativas, leva em consideração a economia que ela gera para as prefeituras, desde que mantenha os requisitos mínimos estabelecidos por norma. Usualmente, os modelos apresentados logo a seguir são os mais utilizados no Sistema de Iluminação Pública.

2.5.1.1 Lâmpadas de Descarga

“Define-se a lâmpada de descarga como um dispositivo onde o fluxo luminoso é gerado de forma direta ou indireta pela passagem de corrente elétrica através de meio gasoso, seja este confinado ou aberto à atmosfera, sem a presença do meio condutor.” (MOREIRA, 2006). A exemplo desse tipo luminária, dentre tantos outros, tem-se: (I) lâmpada de vapor de sódio; e (II) lâmpada de vapor de mercúrio (HQL).

➤ Vapor de Sódio

Como se pode deduzir pelo nome dado à lâmpada em questão, o seu funcionamento depende da passagem da corrente elétrica por um meio gasoso, no qual contém em maior atmosfera o vapor de sódio. A partir desta reação, “os elétrons, que recebem sua energia do campo elétrico existente entre os eletrodos, excitam os átomos de sódio, que então emitem luz amarela nas linhas-D e outras linhas características do sódio.” (ANDRÉ, 2004, p. 23). Conforme pode ser observado um exemplar na Figura 8.

Figura 8 - Luminária Pública: Vapor de Sódio.



Fonte: Autora (2021).

Todos os componentes são pensados para que possam contribuir eficientemente para o bom funcionamento da lâmpada durante a sua atividade. Logo, os demais gases são encarregados pela resistência térmica e proteção contra os ataques do sódio em altas temperaturas.

➤ Vapor de Mercúrio

A lâmpada que tem seu funcionamento à base do vapor de mercúrio (HQL) segue o mesmo princípio que o explicado anteriormente para a lâmpada de vapor de sódio, apenas divergindo o gás principal que está sendo utilizado para a geração de luz, a medida que ocorre a passagem da corrente elétrica pelo meio gasoso. Conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Luminária Pública: Vapor de Mercúrio.



Fonte: Autora (2021).

A maioria das lâmpadas empregadas até então utilizava o mercúrio como uma fonte de manobra para controlar as altas temperaturas, devido a sua má condutibilidade térmica. No entanto, nas HQL's, a quantidade desse gás é bem maior do que nos outros modelos.

2.5.1.2 Lâmpadas Mistas

“A lâmpada mista apresenta um tubo de arco de vapor de mercúrio em série com um filamento incandescente de tungstênio que, além de produzir fluxo luminoso, funciona como elemento de estabilização da lâmpada.” (ANDREOLI, 2011, p. 27). Logo, as cores emitidas são resultantes da mistura de elementos utilizados para a geração de luz. Conforme pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Luminária Pública: Mista.



Fonte: Autora (2021).

Uma vez que o filamento de tungstênio realiza o trabalho de resistir à passagem de corrente elétrica, limitando-a, as lâmpadas desse modelo não necessitam do reator.

2.5.1.3 Lâmpadas de LED

Tal modelo vem se destacando nos últimos anos pela proposta eficiente que proporcionam para os seus usuários, tendo uma vida útil bem maior que os modelos já analisados nesta dissertação, assim como um fluxo luminoso por potência mais vantajoso que os demais. Tal modelo pode ser conferido na Figura 11.

Figura 11 - Luminária Pública: LED.



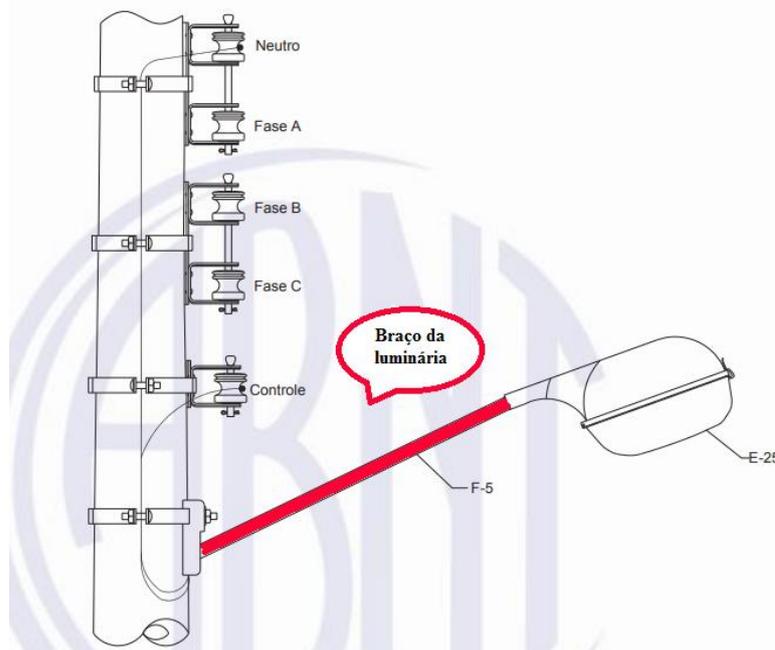
Fonte: Autora (2021).

O material principal utilizado na fabricação dessas luminárias é o Diodo Emissor de Luz - da sigla em inglês: LED. O diodo é feito de um material semicondutor, dividido em duas camadas (P-N) que, quando a diferença de potencial (ddp) em seus terminais é maior que a barreira de potencial presente entre essas duas camadas, permite a passagem de corrente elétrica, emitindo luz.

2.5.2 Braço com Luminária

“Os braços para iluminação pública são equipamentos metálicos e têm por funções básicas servirem de sustentação para as luminárias e de eletroduto para a fiação necessária para a conexão do ponto de iluminação à rede elétrica.” (COPEL, 2012, p. 28). Além do mais, o comprimento e a angulação de montagem desse equipamento leva como pré-requisito a área de atuação do poste.

Figura 12 - Braço da Luminária (destaque em rosa).



Fonte: ABNT NBR 15688 (2013, com adaptação).

Sendo assim, o braço da luminária – ver a Figura 12 – é uma das partes externas do sistema de iluminação pública, que deve realizar o trabalho mecânico de sustentação das luminárias e resistir às ações adversas da natureza, como ventanias e chuvas.

2.5.3 Relé Fotovoltaico

À medida que a iluminação pública ia se alastrando pelas mais diversas áreas das cidades, começou a ficar inviável ter operadores para realizar o ligamento de todos os pontos de luz dos municípios. Este equipamento pode ser visualizado na Figura 13.

Figura 13 - Relé Fotovoltaico.



Fonte: Exatron (201?).

Dessa forma, com o avanço da tecnologia, foram criados os relés fotoelétricos. Estes dispositivos possuem três princípios de funcionamento: térmico, magnético e eletrônico. Apesar dessa variedade, os mais utilizados são os térmicos e os magnéticos.

Logo, em consonância com o Manual de Iluminação Pública da Copel (2012, p. 24):

o acionamento por princípio térmico se dá através da deformação de lâminas bimetálicas, devido à passagem de uma corrente elétrica, que só ocorre quando o nível de iluminância atinge valor suficiente para sensibilizar o sensor fotoelétrico. No relé magnético é utilizada uma chave eletromecânica, que alterna a posição de seus pólos através da força gerada por um campo magnético induzido por uma corrente elétrica fluindo em sua bobina; esta corrente também é originada pela sensibilização da célula fotoelétrica.

2.5.4 Reatores

“Reatores são equipamentos auxiliares utilizados em conjunto com lâmpadas de descarga elétrica. Servem para dar partida estabilizada e firme à lâmpada de descarga, sem cintilação em qualquer situação.” (DAMBISKI, 2007, p. 31). Conforme visto na Figura 14.

Figura 14 - Reator.



Fonte: INTRAL (201?).

Apesar da enorme procura por lâmpadas de LED, devido às suas diversas vantagens, muitos municípios continuam com seu fornecimento de luz oriundo de fontes luminosas de tecnologias antigas, como as lâmpadas de descarga, que precisam de reatores para o controle da corrente elétrica.

2.5.6 Luminárias

Juntamente com as lâmpadas, as luminárias realizam o papel principal no sistema de iluminação pública: produzir e direcionar o fluxo luminoso, respectivamente. Adicionalmente, a luminária “tem a função de abrigar a lâmpada, para protegê-la contra variações do clima e vandalismo. Também refletem a luz da lâmpada no sentido do solo, de modo a proporcionar maior luminosidade no ambiente onde estiver instalada.” (DAMBISKI, 2007, p. 44). Ver os exemplos desse elemento do SIP na Figura 16.

Figura 15 - Luminária (destaque em cinza).



Fontes: à esquerda, ABNT NBR 15688 (2013, com adaptação); à direita, RCA Lâmpadas (201?).

Conforme pode ser visto na Figura 15, a imagem (à esquerda) apresenta uma luminária antiga, mas ainda utilizada, em que o ângulo de abertura faz com que o local de interesse não receba o foco necessário. Atualmente, de acordo com a luminária à direita, os modelos mais novos do mercado mostram o contrário, pois direcionam o fluxo luminoso para a área de importância.

2.6 Eficiência Energética

Qualquer atividade desenvolvida pela sociedade envolve, de forma direta ou indireta, o uso de algum tipo de energia, em maior parte, a elétrica. Para tanto, como os recursos naturais estão cada vez mais escassos, o que é uma consequência do aquecimento global, o uso consciente e moderado desses recursos passou a ser uma preocupação mundial.

Diante dessa realidade, o mundo convergiu suas pesquisas para inovações/modificações nas mais diversas áreas, visando uma escala de produção em que o produto final tivesse o mesmo resultado, porém com um menor uso de recursos para sua fabricação. Esse método tem como base a eficiência, como, por exemplo: lâmpadas de LED.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), **eficiência energética** significa gerar a mesma quantidade de energia com menos **recursos naturais** ou obter o mesmo serviço ("realizar trabalho") com menos energia. De um jeito simples, a eficiência energética consiste em alternativas criadas para otimizar o

uso das fontes de energia. Dessa forma, é possível aproveitá-las diminuindo os custos financeiros e os impactos ao meio ambiente, segundo a GreeYellow (2020).

Atualmente, os programas da ANEEL que promovem a conscientização e alertam sobre o desperdício de energia elétrica tramitam entre o Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa de Eficiência Energética (PEE), que enquadram, desse modo, diversos setores da sociedade, e contribuem para o desenvolvimento econômico, técnico, ambiental e social do Brasil.

2.6.1 PROCEL - RELUZ

Em consonância com o site do PROCEL INFO, o PROCEL RELUZ foi instituído em 2000 pela ELETROBRAS, com o apoio do Ministério de Minas e Energia, e implementado pelas concessionárias de energia elétrica com a participação das prefeituras e governos estaduais.

Ainda com o objetivo de promover eficiência energética, agora no ramo da iluminação pública, compete ao Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes apoiar as prefeituras no planejamento e implantação de projetos de substituição de equipamentos, melhorias na iluminação pública e sinalização semafórica, bem como a valorização dos espaços públicos urbanos, melhorando a segurança da população, segundo a ELETROBRÁS (PROCEL).

Além disso, segundo o RELUZ, os entes federativos como Municípios, Governos Estaduais e Distritos não só estão aptos para participar dessa ramificação do PROCEL como também podem entrar em contato com as concessionárias de energia elétrica, para fazer essa tramitação e participar desse programa de incentivo à eficiência energética.

3 METODOLOGIA

Em consonância com o que foi relatado anteriormente, a finalidade da presente pesquisa compreende estudar três possíveis cenários de proposta de intervenção, com o intuito de reduzir o consumo de energia elétrica na iluminação pública, a partir da eficiência energética dos processos.

Para tanto, a fim de se ter um melhor domínio sobre o tema a ser abordado e basear-se em um referencial teórico de qualidade, foi realizada uma revisão bibliográfica – procedimento utilizado – em fontes teóricas relacionadas com a área, como: livros, artigos, periódicos, regulamentos normativos, normas técnicas, leis e etc.

Dessa forma, considerando que a monografia em questão caminha pela análise teórica de um tema já existente – por exemplo, a redução do consumo de energia elétrica a partir da utilização da tecnologia de LED e/ou ao recorrer a fontes renováveis – bem como averigua o desdobramento financeiro para pôr em prática as soluções propostas, a pesquisa se enquadra no perfil de natureza descritiva-exploratória.

No que diz respeito a abordagem usada, o teor quantitativo da própria manifesta-se ao levantar um estudo de viabilidade econômica de projeto em dois horizontes de soluções visadas, da mesma forma que se buscou verificar a redução do consumo de energia elétrica na IP ao utilizar o controle de luminosidade. Nos três cenários à vista, 19 pontos de luz compõem o estudo de caso – distribuídos nas ruas⁴ indicadas pela planta de situação, na seção 3.1.

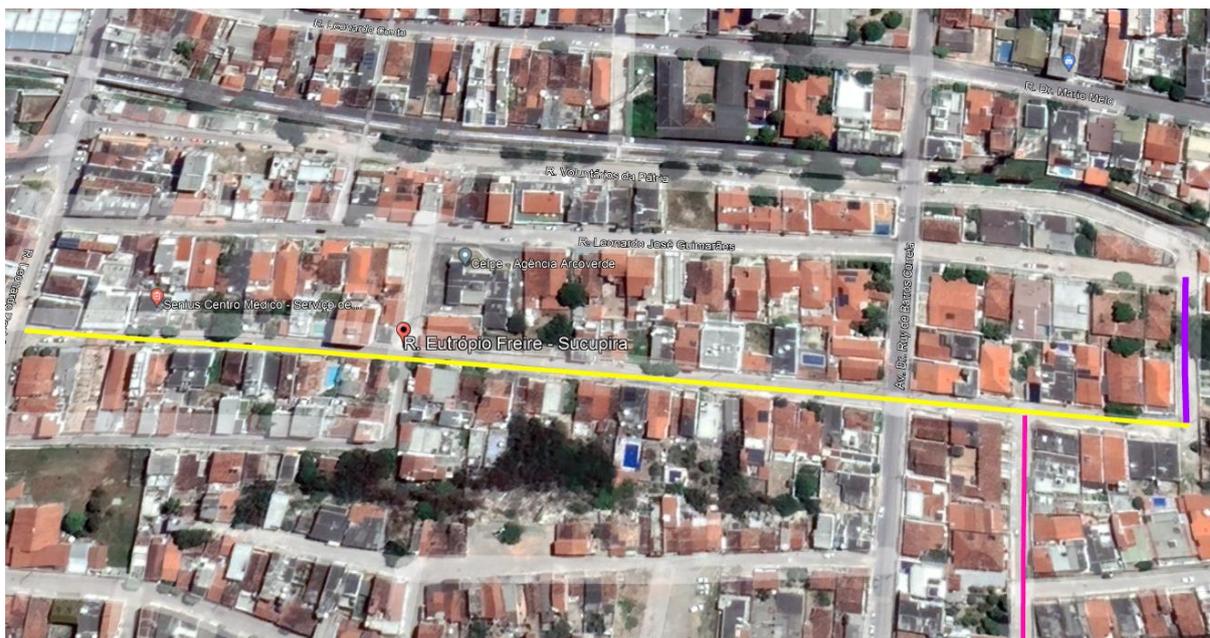
Em epítome, a metodologia utilizada pode ser resumida nos seguintes passos: (1) ir ao almoxarifado da Secretaria de Serviços Públicos da cidade de Arcoverde para ver quais eram os modelos de lâmpadas utilizados pela iluminação pública; (2) realizar uma pesquisa de preço dos protótipos escolhidos para o estudo; (3) compará-los luminotécnica e financeiramente; (4) desenvolver uma análise de viabilidade econômica *para a lâmpada de Vapor de Sódio e para a LED/RCA180*; e (5) apurar a redução do consumo de energia elétrica – por consequência, em reais – gerada ao se adotar o controle de luminosidade.

⁴ Eutrópio Freire, Milton Napoleão Arcoverde e Pedro Pachêco Luna.

3.1 Planta de Situação

A Figura 16 exibida a seguir discerne acerca das ruas que configuram o local que está sendo usado como estudo de caso.

Figura 16 - Planta de Situação



Fonte: Google Earth (2021).

Vale ressaltar que a rua em destaque:

- corresponde à Rua Eutrópio Freire
- corresponde à Rua Milton Napoleão Arcoverde
- corresponde à Rua Pedro Pachêco Luna

3.2 Materiais Utilizados

Lâmpadas utilizadas pela Iluminação Pública da cidade:

- (i) Vapor de Mercúrio (HQL) – Marca: OSRAM; Potência: 250 W;
- (ii) Vapor de Sódio – Marca: OSRAM; Potência: 70 W;
- (iii) Mista – Marca: G-light; Potência: 250 W;
- (iv) LED – Marca: ESB LIGHT; Potência: 150 W.

Luminárias SOLARES, usadas na Iluminação Pública, escolhidas para análise e possível proposta de intervenção:

(i) Luminária Solar – Marca: RCA; Potência: 150 W;

(ii) Luminária Solar – Marca: RCA; Potência: 180 W.

3.3 Métodos Utilizados

As métricas aplicadas para a construção, o colhimento e a análise dos resultados empregaram o: (1) estudo de Viabilidade Econômica de Projeto, levantado tanto para a aquisição de lâmpadas de Vapor de Sódio/70W como também para as de LED/RCA180W; e (2) Controle de Luminosidade, que usará a luminária de LED150 (ESB LIGHT) como experimento.

3.3.1 Viabilidade Econômica

Discorrer sobre a viabilidade econômica de um determinado projeto abrange a análise de investimento que será feita para realização do mesmo. Em se tratando desse estudo a ser levantado, abordagens relativas a: o valor que vai ser aplicado no empreendimento; o tempo e a porcentagem de retorno daquilo que foi investido e os riscos do próprio projeto estão no cerne desta investigação.

Logo, é de fácil compreensão observar que apesar de a aplicação ocorrer no tempo presente, o retorno financeiro só ocorrerá em um cenário futuro, cabendo ao investidor estar ciente desse período e à par das nuances e eventuais acontecimentos que venham a interferir - positiva ou negativamente - a análise desenvolvida até então.

Dessa forma, indicadores como Taxa Mínima Atrativa (TMA), Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), *Return Over Investment* (ROI) e Payback são métricas utilizadas para mensurar a viabilidade econômica do empreendimento em questão, buscando trazer informações de um horizonte futuro para o presente, validando, assim, o quão “realizável” é o projeto.

3.3.1.1 TMA

“A TMA é a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros. É uma taxa associada a um baixo risco, ou seja, qualquer sobra de caixa pode ser aplicada, na pior das hipóteses, na TMA.” (CASAROTTO, 2007, p. 55).

Assim posto, a Taxa Mínima Atrativa pode ser considerada uma métrica utilizada para traçar as melhores possibilidades de rentabilidade daquele investimento, conforme leva em consideração um percentual mínimo imposto pelo empreendedor do projeto como pré-requisito para a execução e, conseqüentemente, retorno do mesmo.

3.3.1.2 VPL

“VPL é o resultado da diferença entre o valor investido e aquele que será resgatado ao fim do investimento, trazidos ao valor presente”. (CAMARGO, 2017). Em outras palavras, o Valor Presente Líquido é utilizado como uma métrica que consegue inserir aos cálculos o conceito temporal do dinheiro, isto é, projetar um cenário futuro e trazê-lo para a atualidade

Sendo assim, o VPL reúne os fluxos de caixa durante os períodos esperados, considerados a uma determinada taxa, que também fica à mercê do tempo, conforme pode ser observado na fórmula a seguir:

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_n}{(1+i)^n}, \quad (3.1)$$

onde:

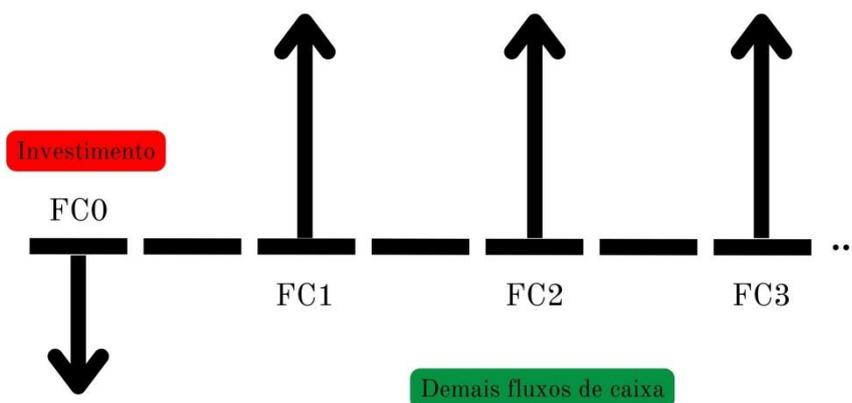
FC = Fluxo de Caixa

i = Taxa a ser considerada (ex.: TMA)

Deste modo, a Figura 17 revela um esquema visual, a fim de possibilitar uma melhor interpretação da presente métrica econômica de projetos. Como apreciado, o

tempo zero corresponde ao investimento, sendo os demais projeções de fluxos de caixa com base na taxa.

Figura 17 - Fluxo de Caixa.



Fonte: Autora (2022).

Portanto, em decorrência dessa particularidade, o VPL é considerado um bom avaliador de projetos, garantindo em suas análises se serão vindouros ou não, a partir do momento que relaciona a TMA e a TIR, em outras palavras:

Se a $TMA < TIR \rightarrow VPL > 0$, o que significa que o investimento pode vir a dar lucro no futuro;

Se a $TMA > TIR \rightarrow VPL < 0$, o que significa que o investimento pode vir a dar prejuízo no futuro;

Se o $VPL = 0$, a análise é neutra, o horizonte é incerto, o que pode acabar em ganho ou perda.

3.3.1.3 TIR

Em um plano cartesiano onde as abscissas são formadas pelas possibilidades de TMA's e as ordenadas agrupam os VPL's coincidentes, quando a curva corta o eixo X, encontra-se a Taxa Interna de Retorno, que corresponde a uma das raízes da equação do VPL. Logo, pode-se afirmar que a função da TIR transmite o limiar, o ponto de virada de rendimento de um projeto, quando ele deixa de ser

lucrativo e passa a resultar em prejuízo. É a própria rentabilidade de um projeto de investimento. (ESPM, 2020).

Para tanto, considerando a fórmula do Valor Presente Líquido – equação 3.1 como:

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_n}{(1+i)^n},$$

a equação usada para encontrar a Taxa Interna de Retorno é:

$$\sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} = 0, \quad (3.2)$$

onde FC equivale ao Fluxo de Caixa.

3.3.1.4 ROI

A sigla ROI vem do *inglês Return Over Investment*, isto é, o ganho em cima do investimento realizado. Ou ainda, é a métrica usada para saber quanto a empresa ganhou com os investimentos feitos (ROCHA, 2022). Assim colocado, essa taxa configura um indicador financeiro que leva em consideração a relação dada entre o ganho e o custo, conforme pode ser observado pela fórmula:

$$ROI = \frac{GANHO - CUSTO}{CUSTO}, \quad (3.3)$$

onde:

Custo → corresponde ao investimento do projeto;

Ganhos → fluxo de caixa, sem considerar o investimento (mês zero).

3.3.1.5 PAYBACK

O payback é um método utilizado para especificar em quanto tempo o valor investido retornará, o período de recuperação do investimento. Para tanto, sua métrica desdobra-se em dois possíveis cálculos: o Payback Simples (PBS) e o Payback Descontado (PBD). Em ambas as situações, a nuance do resultado é dada em tempo – sejam meses ou anos. No entanto, a diferença de um para outro é a “desvalorização” do dinheiro ao longo do tempo, que é considerada na fórmula do segundo método, apontada pelo VPL. (CAMARGO, 2016). Logo a seguir, estão discriminadas as fórmulas que foram anteriormente comentadas:

$$\text{PBS} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Ganhos no período}}, \quad (3.4)$$

$$\text{PBD} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{VPL}}, \quad (3.5)$$

onde:

Investimento inicial → corresponde ao desdobramento financeiro no mês zero para custear o projeto;

Ganhos do período → Fluxo de caixa;

VPL → Valor Presente Líquido.

3.3.2 Controle de Luminosidade

Ultimamente, muito tem se falado sobre *Smart Cities*, uma nova configuração de serviços – sejam eles públicos e/ou privados – em cidades, baseando-se em tecnologias de ponta, com a finalidade de aprimorar o desenvolvimento financeiro, a partir da busca por eficiência na realização dos processos e da interligação e menor “distanciamento” de áreas com pessoas. A Figura 18 ilustra o conceito de *Cidades Inteligentes*, conforme foi comentado anteriormente.

Figura 18 - Cidades Inteligentes.



Fonte: PET ENG CIVIL UFPR (2019).

Dentre esses setores envolvidos no processo de inovação das cidades, está a iluminação pública, que se destaca por sua relevância ao proporcionar: visibilidade para o trânsito de pedestres e de veículos; realçamento de monumentos públicos; segurança no ir e vir durante o período noturno; continuação/abertura do comércio na parte da noite, etc. Em conformidade com a Figura 18.

Diante da importância que vem sendo comentada desse serviço público, juntamente com a sapiência do consumo e da demanda da IP para o Sistema Elétrico de Potência nacional, recorrer a práticas que proporcionem eficiência energética em seus processos acarreta em geração de economia, desobstrução do SEP e, principalmente, redução do desperdício de recursos naturais.

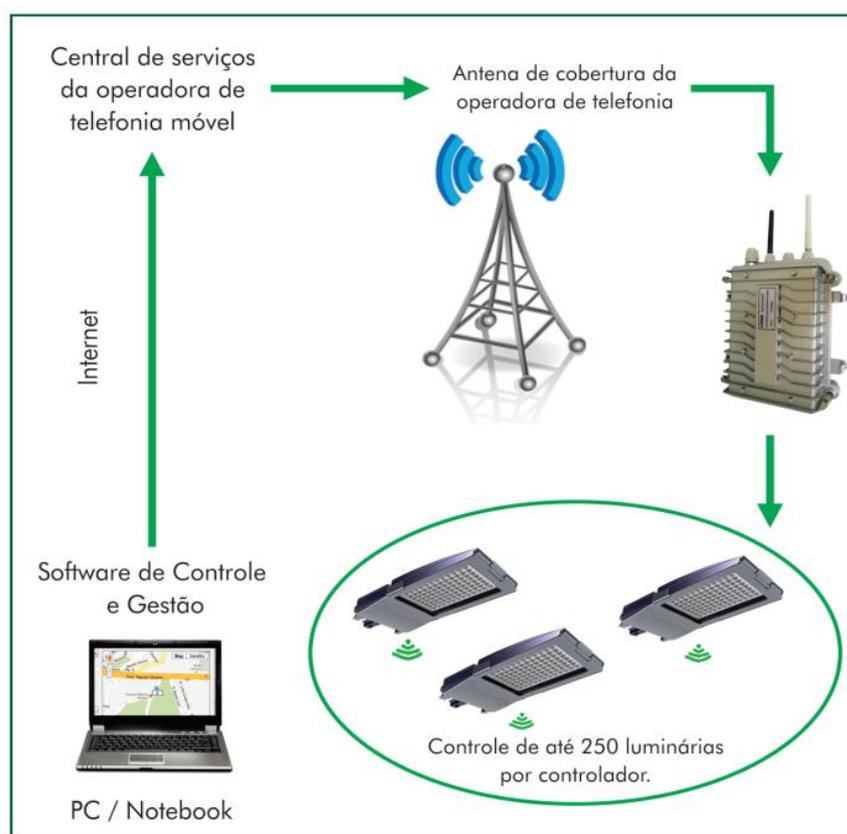
Perante diversas alternativas de solução que estão sendo levantadas para esse problema pelos demais setores da eletricidade, algumas propostas se destacam – como o sistema de telegestão, em especial o controle de luminosidade proporcionado por ele. Tal sugestão leva em conta o monitoramento da potência elétrica utilizada para a conversão em luz, reduzindo os gastos realizados pelos postes, ao final do mês.

Sendo assim, o controle de luminosidade toma como embasamento a busca por eficiência luminosa, à princípio, resultando em eficiência energética como finalidade. Logo, essa fiscalização do consumo de energia elétrica nos postes: primordialmente, evita desperdício de energia elétrica – em decorrência, dos recursos naturais; permite a medição do consumo em tempo real – o que ainda não

é feito em muitas cidades, que usam como parâmetro 12 horas seguidas para a construção dos seus cálculos; localiza falhas, como lâmpada queimada; entre outros benefícios são alcançados, a partir do sistema de telegestão. (SMARTGREEN, 201?)

Dessa forma, o sistema de telegestão – como o (Controlmatic, 201?) – pode ser construído a partir dos seguintes equipamentos discriminados na próxima Figura 19. Conforme exibido, é necessário: um Computador/ Notebook/ Celula – um dispositivo onde seja instalado o software com toda a programação desenvolvida; acesso a WEB – envio de dados é realizado pela internet, em que a operadora de telefonia fica responsável; um Chip SIMCARD com sistema General Packet Radio Service – GPRS (de qualquer operadora); o concentrador de comunicação; e a luminária de LED ou de Alta pressão – como vapor de sódio ou de mercúrio.

Figura 19 - Telegestão: Controle de Luminosidade.



Fonte: Controlmatic (201?).

Adicionalmente, apesar de todo o processo de automatização, faz-se necessário a atuação de equipes de campo, em que são responsáveis pelo

monitoramento das mensagens que estão chegando, eventuais ajustes físicos e/ou virtuais do sistema, construção dos relatórios com os dados levantados e informados, entre outros. (SX LIGHTING, 201?)

Além do mais, o sistema em específico possui uma limitação de controle de apenas 250 luminárias, o que é um número *bem maior* do que os pontos de luz que estão sendo utilizadas no estudo de caso – 19 postes –, mas um valor baixo comparado com os postes que a cidade tem. (CONTROLMATIC, 201?).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos, colhidos e calculados foram agrupados na presente seção, sendo estes devidamente comentados. Com a finalidade de melhor apresentá-los e realizar as seguintes comparações entre os modelos de lâmpadas em estudo, subseções foram criadas, de âmbito: luminotécnico; energético-financeiro; normativo; econômico e comparativo. Sendo assim, as análises seguem um viés comparativo entre todos os modelos, com exceção da última parte, pois envolve apenas dois protótipos.

Conseqüentemente, a subseção de esfera luminotécnica trouxe elementos confrontantes que são discriminados nos dados técnicos das lâmpadas. A partir desses parâmetros, foram construídos gráficos e tabelas, a fim de articular um raciocínio final para a investigação.

De forma adicional e baseando-se nessa trajetória, o item de natureza energética-financeira fundiu dados de ordem de consumo de energia elétrica (kWh) – e os decorrentes gastos dessa demanda – com o preço de uma unidade do modelo de lâmpada em questão.

Igualmente, a subseção que diz respeito à norma NBR 5101 – responsável pelo direcionamento dos projetos de iluminação pública – encarregou-se de apontar quais eram os padrões e medidas mínimos destinados a atender luminosamente um determinado logradouro, analisando os modelos conforme seu fluxo de luz é distribuído em um plano horizontal – iluminância (lux).

Já no que tange ao estudo de estirpe econômica, esse tópico apresenta a averiguação acerca da viabilidade econômica de um projeto, determinando, por meio de taxas e parâmetros financeiros, as chances de sucesso ou fracasso que um investimento pode vir a resultar. Nesse caso, tal estudo foi colocado em prática abordando A P E N A S a aquisição das lâmpadas, sem contar com seus demais aparatos.

A respeito do parecer levantado acerca do controle de luminosidade, este segmento utiliza a lâmpada de LED150W como modelo para alterar a potência utilizada conforme o horário de movimentação de pedestres e automóveis, amparando-se na Lei do Silêncio.

Por fim, três modelos que obtiveram destaques no decorrer das análises – Vapor de Sódio, LED150W e LED RCA/180W – foram escolhidos para compor a última subseção. Dessa forma, esta parte agrupa, concisamente, todos os indicadores comparativos utilizados até então, com o propósito de apontar qual dos protótipos atende a maior parte dos critérios.

4.1 Comparações Luminotécnicas

As comparações luminotécnicas desenvolvidas incluem dados que são disponibilizados nas informações técnicas de cada modelo de lâmpada⁵, consultados via internet. Tais elementos, dispostos na Tabela 1, configuram a potência elétrica utilizada para a conversão em luz; o fluxo luminoso distribuído pela fonte; a eficiência luminosa; a vida mediana, que é dada em horas e entre outros dados relativos a parte elétrica (potência, tensão e corrente). No que diz respeito a temperatura de cor (expressa em Kelvin), como não é um referencial que influencia na análise, foi colocada em pauta apenas para observação.

Tabela 1 - Comparações de caráter luminotécnico entre alguns modelos de lâmpadas

COMPARAÇÕES LUMINOTÉCNICAS					
Material da Luminária	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Vida Mediana (h)	Temperatura de Cor (K)
HQL	250	12.500	50	16.000	4.500
Mista	250	5.000	20	6.000	3.000
LED	150	15.750	105	50.000	4.500
LED/RCA 150	150	9.500	63,33	X	6.500
LED/RCA 180	180	18.000	100	X	6.500
Sódio	70	5.600	80	16.000	4.500

Fonte: Autora (2021).

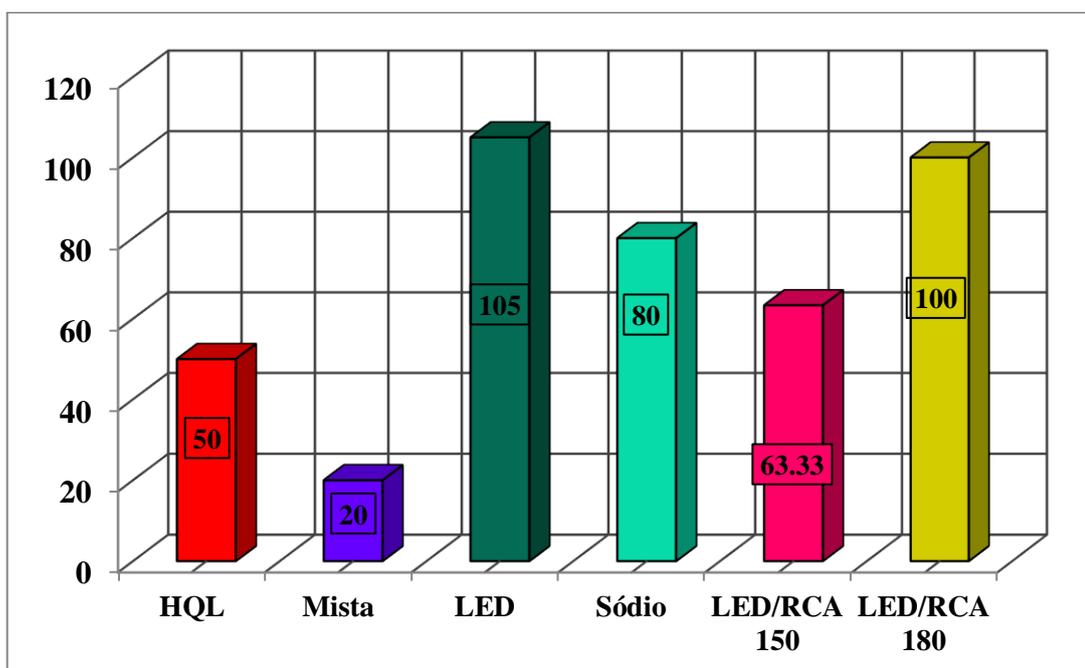
Consoante a Tabela 1, os aspectos comparativos, uma vez mencionados anteriormente, podem ser observados. Na mesma, é indubitável o gasto energético

⁵ Lâmpada e sua respectiva marca → HQL e Vapor de Sódio: OSRAM; Mista: G-light; LED: ESB LIGHT; LED/RCA 150 e LED/RCA 180: Grupo RCA Lâmpadas.

da lâmpada mista para produzir uma quantidade diminuta de luz, o que, por consequência, repercute na eficiência luminosa dela, com o agravante de ter uma vida mediana baixa. Dentre os protótipos apreciados, aquela lâmpada apresenta os piores resultados.

Complementar à Tabela 1, a Figura 20, exibida em seguida, traz uma análise ocular alusiva à eficiência luminosa dos modelos em questão, já que ela reúne duas informações importantes em seu cálculo: a potência elétrica utilizada e o fluxo luminoso que foi produzido.

Figura 20 - Eficiência luminosa (lm/W) de alguns modelos de lâmpadas



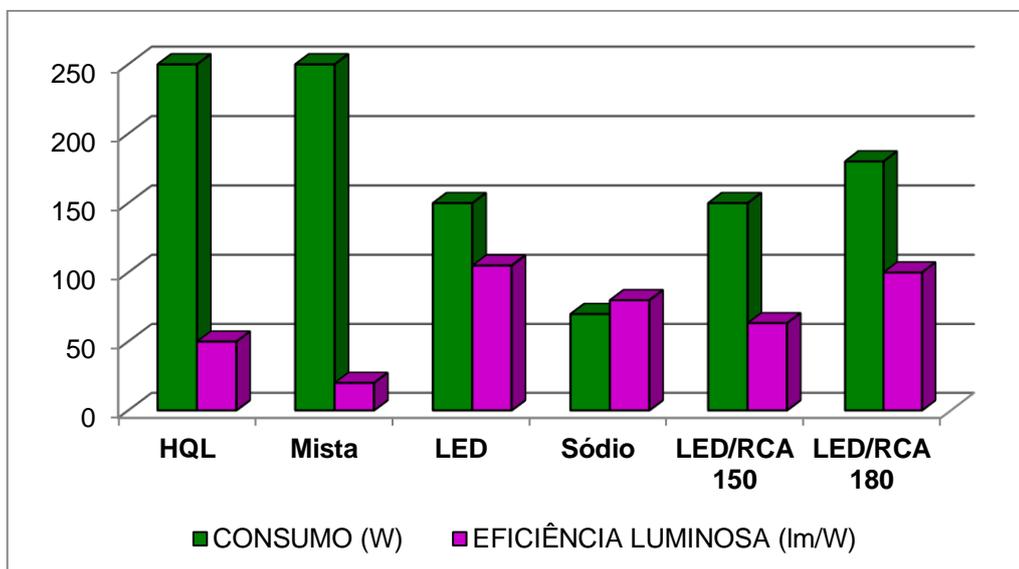
Fonte: Autora (2021).

Em harmonia com o mesmo, ainda olhando para eficiência luminosa, pode-se constatar a veracidade do que havia sido afirmado, apontando a lâmpada mista como a pior escolha, e a LED como a melhor alternativa a ser utilizada como fonte de luz na iluminação pública.

De forma adicional, a Figura 21, apresentada logo a seguir, traz como proposta uma comparação visual simbolizada entre o consumo demandado para gerar uma determinada quantidade de luz e a eficiência dos respectivos modelos de lâmpadas. A partir do tamanho dos blocos, pode-se levantar um ranking,

enumerando, conforme os melhores resultados de ambos os dados – consumo e eficiência –, as propostas mais promissoras.

Figura 21 - Consumo e Eficiência Luminosa de alguns modelos de lâmpadas



Fonte: Autora (2022).

As primeiras posições são ocupadas pelo Sódio (1º), LED (2º) e LED/RCA 180 (3º), ficando o LED/RCA 150, a HQL e a Mista com os últimos lugares. Esse resultado abrange três perfis, caracterizando o passado (primeiro lugar), o presente (segundo lugar) e a projeção de um cenário futuro (terceiro lugar).

4.2 Desdobramento Energético - Financeiro

Em consonância com a Tabela de Tarifas de Energia Elétrica – Grupo B da Neoenergia Pernambuco (Resolução Homologatória N°2.861 de 27 de Abril de 2021), ao somar o consumo ativo e reativo excedente da TUSD e da TE, o resultado final compreende uma tarifa de **R\$ 0,64602** para os consumidores B4b. Ver a Figura 22.

Figura 22 - Tarifa de Energia (B4): Iluminação Pública.

B4a e B4b- Iluminação Pública			
B4a- Rede de Distribuição			
Consumo Ativo	0,18983000	0,15088000	0,34071000
Consumo Reativo Excedente		0,27433000	0,27433000
B4b- Bulbo da Lâmpada			
Consumo Ativo	0,20709000	0,16460000	0,37169000
Consumo Reativo Excedente		0,27433000	0,27433000

Fonte: Grupo Neoenergia Pernambuco (2021).

Posto isto, os municípios e distritos do estado de Pernambuco estão sob a vigência dessa Resolução até o dia 28 de abril de 2022, segundo a própria.

Aditivamente, ao se observar a Tabela 2, onde são discriminados o consumo em kWh – nos períodos diário e mensal – e o gasto decorrente dessa demanda, fica evidente a relação energética financeira onerosamente fadada de alguns modelos de lâmpadas (HQL, Mista, Sódio), ainda utilizadas em 60% da iluminação pública na cidade de Arcoverde – segundo informações colhidas, ao entrar em contato com a Secretaria de Serviços Públicos e Meio Ambiente do município –, quando comparadas com as propostas de intervenção baseadas em tecnologias recentes, como o LED.

De forma a corroborar os cálculos apresentados na Tabela 2, os mesmos serão detalhados previamente a seguir:

CONSUMO

$$E = P \times t \quad (4.1)$$

Em que,

E → corresponde ao consumo de energia elétrica, medida em kWh;

P → corresponde à potência utilizada, medida em W;

t → corresponde ao tempo da lâmpada ligada, medido em h.

Ex.: HQL

$$E = 0,250 \times 12 \quad (4.1.1)$$

$$E = 3 \text{ kWh/dia}$$

$$E = 3 \text{ kWh} \times 30 \text{ dias} \quad (4.1.2)$$

$$E = 90 \text{ kWh/mês}$$

Sendo a Tarifa B4b igual a R\$ 0,64602, apenas UMA unidade dessa lâmpada gera um gasto de:

$$\text{Gasto Mensal} = 90 \times 0,64602 \quad (4.1.3)$$

Gasto Mensal (HQL)/unidade = R\$ 58,14

Já as 19 unidades acarretam em um:

Gasto Mensal (HQL) = R\$ 1104,69

O mesmo caminho foi percorrido para os demais modelos de lâmpadas analisados. Vale salientar que as luminárias LED/RCA 150 e LED/RCA 180 são SOLARES, por isso NÃO geram gastos relativos ao seu consumo de energia, já que possuem uma placa solar acoplada a uma bateria. Logo, durante o período diurno, o gerador solar alimenta a bateria e, à noite, esta fornece energia para a lâmpada.

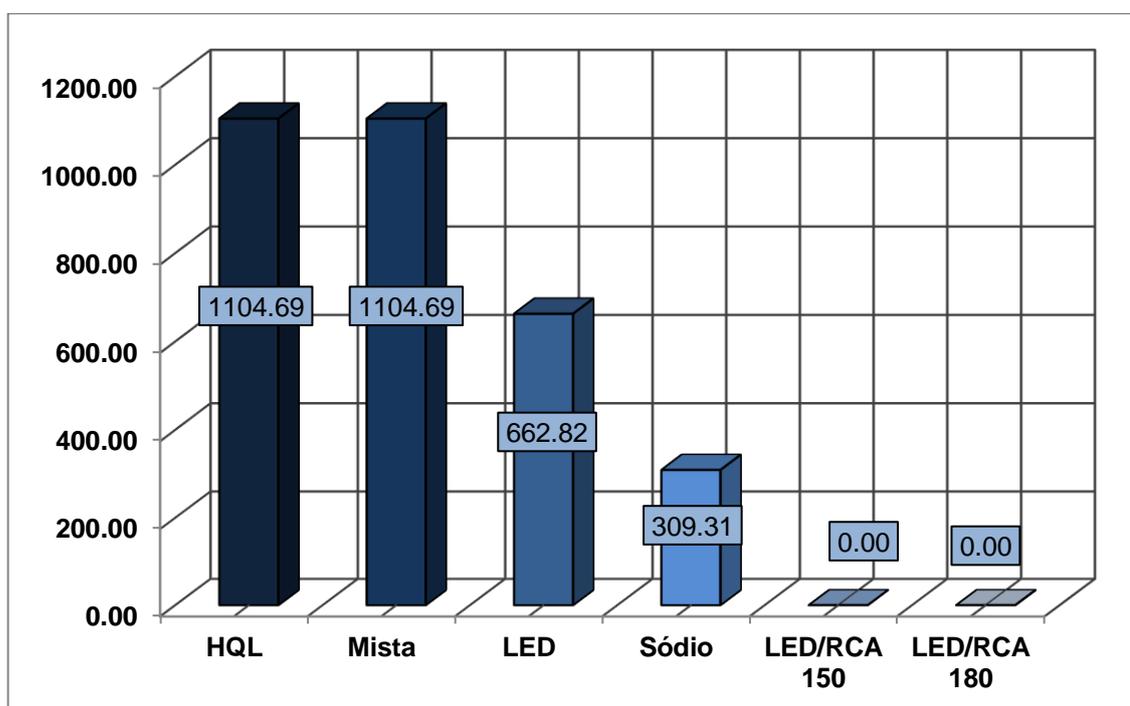
Tabela 2 - Comparação do consumo e do gasto financeiro de alguns modelos

DESDOBRAMENTO ENERGÉTICO-FINANCEIRO						
Material da Luminária	Preço de 1 unidade (R\$)	kWh/dia	Gasto Financeiro do kWh/dia de 1 ponto de luz (R\$)	kWh/mês	Gasto Financeiro do kWh/mês de 1 ponto de luz (R\$)	Gasto Financeiro do kWh/mês de 19 pontos de luz (R\$)
HQL	80,52	3	1,94	90	58,14	1104,69
Mista	42,00	3	1,94	90	58,14	1104,69
LED	754,12	1,8	1,16	54	34,89	662,82
Sódio	36,79	0,84	0,54	25,2	16,28	309,31
LED/RCA 150	399,99	1,8	0,00	54	0	0,00
LED/RCA 180	429,99	2,16	0,00	64,8	0	0,00

Fonte: Autora (2021).

No que diz respeito ao desdobramento financeiro levantado para pagar o consumo dessas 19 unidades, a Figura 23 foi elaborada com a finalidade de representar a disparidade entre cada protótipo em pauta. A partir dele é possível afirmar um favoritismo para as lâmpadas LED/RCA, uma vez que não geram gasto relativo ao consumo de energia elétrica.

Figura 23 - Gasto mensal (em R\$) com o consumo de energia elétrica dos 19 pontos de luz de diferentes modelos



Fonte: Autora (2021).

Além do mais, ao verificar os modelos e como impactam economicamente, mês após mês, os custos fixos⁶ do município, o resultado final do ranking – outrora organizado para comparar os modelos segundo o consumo e a eficiência, na seção 4.1 – já não pode mais ser construído com as mesmas posições.

Tal conclusão foi desenvolvida a partir do confronto entre o consumo para gerar luz, a eficiência luminosa e o gasto financeiro decorrente dessa produção. Com base nessa análise, os modelos LED/RCA 180, vapor de SÓDIO e LED

⁶ Energia elétrica, por exemplo.

ocuparam as três primeiras posições. Adicionalmente, a LED/RCA 150, a HQL e a Mista ocuparam os últimos lugares, respectivamente.

Caso esse estudo fosse elaborado com a lâmpada de vapor de sódio de 150 W e 107,2 lm/W, apesar de ser uma comparação mais justa e fiel com os demais modelos, o resultado seria o mesmo, pois o desembolso financeiro seria igual ao do LED, sendo a eficiência luminosa daquela maior, continuando com o segundo lugar.

Outro dado importante que deve ser colhido e analisado na Tabela 2 é o preço de uma unidade de cada lâmpada. Como demonstrado, as luminárias mais antigas, por estarem sendo retiradas do mercado e substituídas por modelos mais novos, possuem um valor mais baixo. Em contrapartida, as fabricadas com LED apresentam preços mais dispendiosos em sua aquisição.

4.3 NBR 5101/2018 - Área abrangida pelas luminárias

A NBR 5101, uma das normas responsáveis pelos direcionamentos referentes à Iluminação Pública, traz em seu conteúdo a Tabela 3. Tal agrupamento classifica as vias de acordo com o tráfego de pedestres; descreve a partir de exemplos as situações que se encaixam em cada caso; indica a iluminância horizontal média (medida em lux) e informa o fator de uniformidade mínimo aceito para cada particularidade.

Tabela 3 - Tabela apresentada pela NBR 5101 para vias de tráfego de pedestres

VALORES MÍNIMOS DITADOS PELA NBR 5101/2018					
Classe de Iluminação	Vias para tráfego de Pedestres (uso)	Descrição (Exemplos)	Iluminância Horizontal Média Emed (lux)	Fator de Uniformidade Mínimo U = Emin/Emed	Iluminância mínima (Emin) aceita
P1	Intenso	Calçadas, passeios de zonas comerciais etc.	20	0,3	6

P2	Grande	Passeios de avenidas, praças, áreas de lazer etc.	10	0,25	2,5
P3	Moderado	Passeios, acostamento etc.	5	0,2	1
P4	Pouco	Passeios de bairros residenciais etc.	3	0,2	0,6

Fonte: NBR 5101 (2018, com adaptação).

Assente ao que foi discutido e observando o local de estudo – ruas de um bairro residencial –, o caso em questão se qualifica na classe de iluminação P4, considerado de pouco uso, com uma distribuição horizontal média de lúmens por área igual a 3 e fator de uniformidade de 0,2. Vale destacar que a última coluna da tabela anterior foi adicionada pela autora a partir dos dados informados pela norma em pauta, apenas a nível de conhecimento.

Dessa forma, a Tabela 4 reuniu e comparou a área abrangida por cada modelo de lâmpada em estudo, com base no fluxo luminoso indicado nas informações técnicas e na iluminância média, que deve ser atendida conforme a norma específica para esse tipo de via (P4).

Tabela 4 - Modelos de lâmpadas e suas respectivas iluminâncias

ÁREA COMPREENDIDA - CLASSE DE ILUMINAÇÃO P4			
Material da Luminária	Fluxo Luminoso (lm)	Emed (lux)	ÁREA (m²)
HQL	12.500	3	4166,67
Mista	5.000	3	1666,67
Sódio	5.600	3	1866,67
LED	15.750	3	5250,00
LED/RCA 150	9.500	3	3166,67
LED/RCA 180	18.000	3	6000,00

Fonte: Autora (2021).

Logo, chegou-se ao resultado que a LED/RCA 180 engloba luminosamente a maior área, atingindo um plano horizontal de 1,44 a 3,21 maior que os modelos

antigos (HQL, Sódio e Mista). As demais lâmpadas – LED e LED/RCA 150 – exibem valores vantajados, principalmente no que diz respeito a primeira.

4.4 Análise Econômica do Projeto

A presente seção traz como pauta a viabilidade econômica da proposta de intervenção, tomando como estudo a lâmpada de LED/RCA 180W e baseando-se nos conceitos de Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Return Over Investment* (ROI) e Payback. Outrossim, os mesmos parâmetros serão utilizados para avaliar a lâmpada de Vapor de Sódio, comparando tais resultados com os encontrados pela investigação do cenário futuro – LED/RCA 180W.

4.4.1 Proposta de Intervenção: LED/RCA 180W

A projeção do cenário futuro configura um horizonte onde haja a inserção de postes solares nos bairros. Nesse caso, o protótipo escolhido traz a solução eficientemente arquitetada por meio de uma lâmpada de LED, alimentada por uma placa solar – durante o dia – e acoplada a uma bateria, para suprir a demanda no período noturno. Além do mais, tal modelo disponibiliza a opção de utilizar o processo de dimerização, isto é, programar para que em determinados momentos da noite a potência usada não seja a total (180W), podendo baixar para 50% (90W).

Para chegar aos resultados exibidos pelas Tabelas 5 e 6, cálculos a fim de corroborar a viabilidade econômica do projeto foram devidamente realizados, como: o VPL, a TIR, o PBS e o PBD e a ROI. Vale salientar que os resultados encontrados partiram de uma TMA igual a 100%, isto é, num período de UM ano, o projeto deve retornar – no mínimo – aquilo que foi investido.

Calculando o VPL:

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (3.1)$$

$$VPL = \sum_{n=0}^{n=3} \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (4.2)$$

$$VPL = -8169,81 + \frac{13256,33}{(1+100\%)^1} + \frac{13256,33}{(1+100\%)^2} + \frac{13256,33}{(1+100\%)^3} \quad (4.2.1)$$

$$VPL = R\$ 3429,48.$$

Conforme calculado, o valor presente líquido apresentou um saldo positivo em seu resultado, o que prenuncia uma perspectiva favorável para investir no projeto. Os demais cálculos devem confirmar ou não essa análise.

Logo,

Calculando a TIR

$$\sum_{n=0}^{n=3} \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (3.2)$$

$$-8169,81 + \frac{13256,33}{(1+TIR)^1} + \frac{13256,33}{(1+TIR)^2} + \frac{13256,33}{(1+TIR)^3} = 0 \quad (4.3)$$

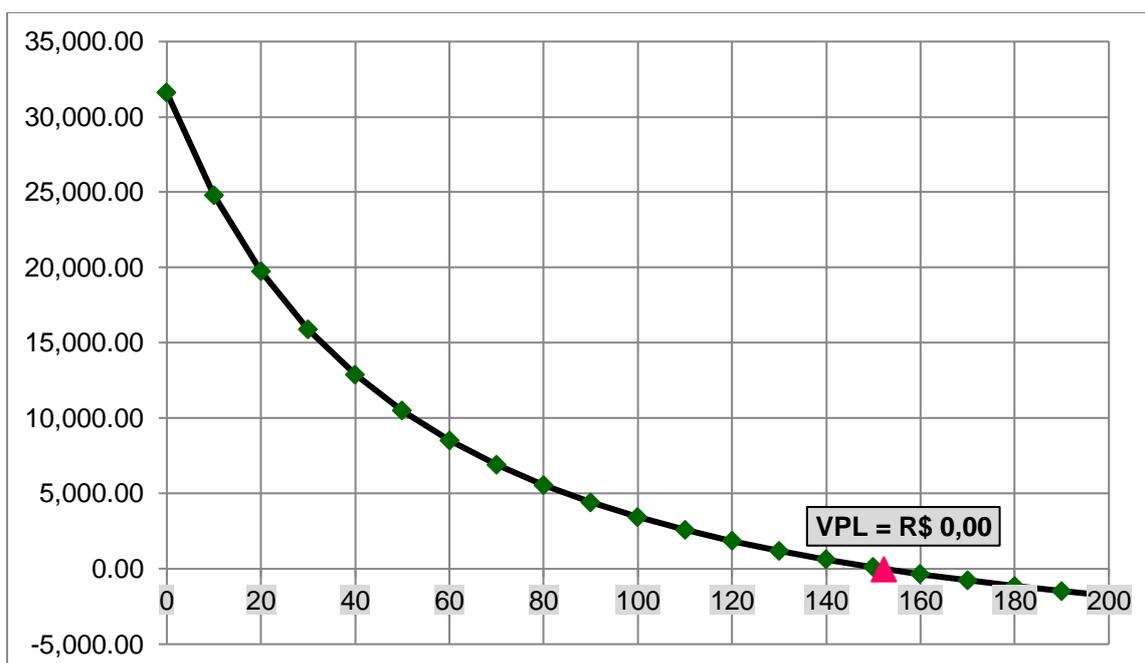
$$\frac{13256,33}{(1+TIR)^1} + \frac{13256,33}{(1+TIR)^2} + \frac{13256,33}{(1+TIR)^3} = 8169,81 \quad (4.3.1)$$

$$TIR^3 + (1,3774)TIR^2 + (-1,8679)TIR - 3,8679 = 0 \quad (4.3.2)$$

$$TIR = 152,13\%.$$

Em consonância com aquilo que foi exibido na seção da viabilidade econômica, o resultado encontrado na TIR corresponde a uma das raízes da equação do Valor Presente Líquido, que, nesse caso, é uma função de terceiro grau – em que a raiz real corresponde a taxa em questão. Adicionalmente, tal porcentagem prevê que o retorno financeiro não só será maior que o investido como pode ser vantajoso até esse valor. A Figura 24 demonstra essa conclusão:

Figura 24 - TMA x VPL da lâmpada LED/RCA180



Fonte: Autora (2022).

Calculando o Payback Simples e o Payback Descontado:

$$PBS = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Ganhos no período}} \quad (3.4)$$

$$PBS = \frac{8.169,81}{13.256,33} \quad (4.4)$$

$PBS = 0,61 \rightarrow$ Em torno de oito meses

$$PBD = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{VPL}} \quad (3.5)$$

$$PBD = \frac{8.169,81}{3.429,48} \quad (4.5)$$

$PBD = 2,4 \rightarrow$ Em torno de DOIS ANOS e MEIO.

Uma vez calculados os paybacks simples e descontado, é evidente a divergência dos resultados que ambos trazem relativa ao período de tempo que haverá retorno do investimento. Isso acontece devido a: por enquanto que o primeiro

apenas considera o que foi investido e os decorrentes ganhos nos anos posteriores, o segundo leva em consideração a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo – pois utiliza o VPL em seus cálculos.

Calculando a ROI:

$$\text{ROI} = \frac{\text{GANHO} - \text{CUSTO}}{\text{CUSTO}} \quad (3.3)$$

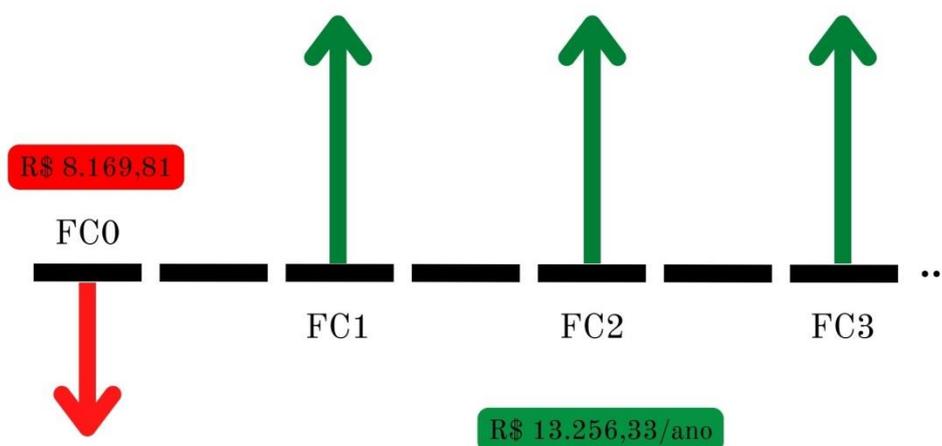
$$\text{ROI} = \frac{13.256,33 - 8.169,81}{8.169,81} \quad (4.6)$$

$$\text{ROI} = 0,623.$$

No que diz respeito a ROI, o resultado encontrado corrobora aquilo que vem sendo afirmado: o investimento gerará economia. O valor achado indica um retorno sobre o investimento de 62,30%.

Com a finalidade de transformar os cálculos em um parâmetro visual, a explanação da Figura 25 revela o fluxo de caixa nos períodos do ano zero (quando inicia o investimento) ao ano três.

Figura 25 – Fluxo de Caixa.



Fonte: Autora (2022).

Assim colocado, a seta vermelha (direcionada para baixo) corresponde ao investimento no projeto – dado no ano zero – e as demais setas verdes (apontadas para cima) equivalem aos ganhos do projeto nos demais anos.

Ainda com a intenção de agrupar os dados de forma a tornar o entendimento mais célere, a Tabela 5 os reúne, destacando informações alusivas à luminária em análise e a situação indicada pelo VPL, apontado a viabilidade do projeto.

Tabela 5 - VPL Positivo: Projeto VIÁVEL (LED/RCA180W)

VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO				
Informações Técnicas-Financeiras		TAXAS		Unidades
Luminária	RCA LED	TMA	100,0000000%	a.a.
Potência (kW)	0,180	VPL	R\$ 3.429,48	!!!VIÁVEL!!!
n°	19	TIR	152,1371558%	
Preço (R\$)	R\$ 429,99	PBS	0,616294989	ANO
Luminárias HQL e Mista		PBD	2,382230584	ANO
kWh/mês de 1 un.	R\$ 58,14	ROI	3,867798786	
kWh/mês de 19 un.	R\$ 1.104,69	Ano	Fluxo	
kWh/ano de 19 un.	R\$ 13.256,33	0	-R\$ 8.169,81	
LED		1	R\$ 13.256,33	
kWh/ano de 19 un.	R\$ 0,00	2	R\$ 13.256,33	
Diferença do consumo entre LED e HQL		3	R\$ 13.256,33	
	R\$ 13.256,33			

Fonte: Autora (2022).

Em conformidade com o resultado encontrado anteriormente ao se calcular o Valor Presente Líquido, considerando uma TMA de 100% e o fluxo de caixa apresentado, a primeira tabela revela um VPL positivo, pois a taxa imposta pelo investidor é menor do que a TIR.

A mesma análise foi desenvolvida na Tabela 6.

Tabela 6 - VPL Negativo: Projeto INVIÁVEL (LED/RCA180W)

VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO				
Informações Técnicas-Financeiras		TAXAS		Unidades
Luminária	RCA LED	TMA	153,0000000%	a.a.

Potência (kW)	0,180	VPL	-R\$ 40,56	INVIÁVEL :[
n°	19	TIR	152,1371558%	
Preço (R\$)	R\$ 429,99	PBS	0,616294989	ANO
Luminárias HQL e Mista		PBD	201,4146453	ANO
kWh/mês de 1 un.	R\$ 58,14	ROI	3,867798786	
kWh/mês de 19 un.	R\$ 1.104,69	Ano	Fluxo	
kWh/ano de 19 un.	R\$ 13.256,33	0	-R\$ 8.169,81	
LED		1	R\$ 13.256,33	
kWh/ano de 19 un.	R\$ 0,00	2	R\$ 13.256,33	
Diferença do consumo entre LED e HQL		3	R\$ 13.256,33	
R\$ 13.256,33				

Fonte: Autora (2022).

No que diz respeito a segunda tabela, em que o VPL encontrado é negativo, tal resultado realça aquilo que outrora já fora dito: uma TMA acima da Taxa Interna de Retorno denuncia que o projeto resultará em prejuízo, caso as variáveis consideradas sejam essas.

4.4.2 Cenário atual: Lâmpada de Vapor de Sódio de 70W

No momento presente, algumas ruas e bairros ainda são iluminados pelos modelos antigos de lâmpadas, como os já relatados anteriormente. Dentre essas tecnologias utilizadas, está a oriunda do vapor de sódio – de potência igual a 70 W.

Dessa forma, por ser um modelo que se destaca diante dos demais, devido a seu preço, eficiência, fluxo luminoso e entre outras características, a presente seção reúne cálculos de natureza financeira acerca dessa lâmpada, a fim de fazer um confronto entre esta tecnologia e a da proposta de intervenção.

Logo, assim como a investigação levantada para observar o comportamento e as decorrentes consequências do cenário futuro, os mesmos indicadores serviram de parâmetros para o diagnóstico financeiro da lâmpada de vapor de sódio de 70W. Segue os cálculos:

Calculando o VPL:

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (3.1)$$

$$VPL = \sum_{n=0}^{n=3} \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (4.2)$$

$$VPL = -699,01 + \frac{9.544,15}{(1+100\%)^1} + \frac{9.544,15}{(1+100\%)^2} + \frac{9.544,15}{(1+100\%)^3} \quad (4.2.1)$$

$$VPL = R\$ 7.652,12.$$

Baseando-se na observação levantada na última subseção, o VPL encontrado - ao se considerar a compra de 19 lâmpadas de vapor de sódio de 70W - registra um excelente resultado, confirmando um fluxo de caixa positivo ao longo dos anos, o que configura uma projeção lucrativa.

Calculando a TIR

$$\sum_{n=0}^{n=3} \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (3.2)$$

$$-699,01 + \frac{9.544,15}{(1+TIR)^1} + \frac{9.544,15}{(1+TIR)^2} + \frac{9.544,15}{(1+TIR)^3} = 0 \quad (4.3)$$

$$\frac{9.544,15}{(1+TIR)^1} + \frac{9.544,15}{(1+TIR)^2} + \frac{9.544,15}{(1+TIR)^3} = 699,01 \quad (4.3.1)$$

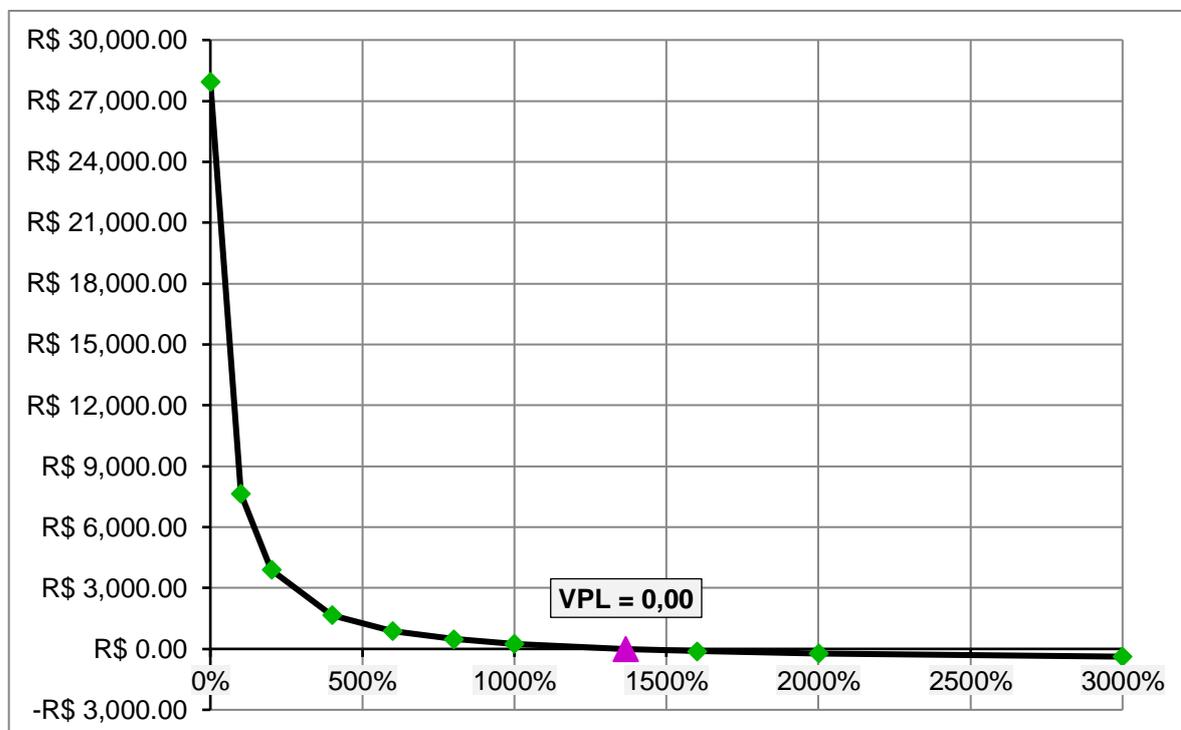
$$TIR^3 + (-10,6537)TIR^2 + (-37,9612)TIR - 39,9612 = 0 \quad (4.3.2)$$

$$TIR = 1364,94\%.$$

Tendo em vista a Taxa Interna de Retorno encontrada, é possível confirmar o resultado achado pelo VPL, isto é, o investimento em questão traz uma alta expectativa de economia em um cenário futuro. Como foi apenas considerado um período de três anos, a equação que atende a essa prerrogativa é formada por uma

função do terceiro grau, onde a raiz real corresponde a TIR, o que pode ser apreciado na Figura 26.

Figura 26 - TMA x VPL da lâmpada de Vapor de Sódio



Fonte: Autora (2022).

Sendo assim, a explanação anteriormente apresentada demonstra um dos pontos onde a função ditada para o VPL, neste caso, chega a zero.

Calculando o Payback Simples e o Payback Descontado:

$$PBS = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Ganhos no período}} \quad (3.4)$$

$$PBS = \frac{699,01}{9.544,15} \quad (4.4)$$

$PBS = 0,07324 \rightarrow$ Em MENOS de 1 mês

$$PBD = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{VPL}} \quad (3.5)$$

$$PBD = \frac{699,01}{7.652,12} \quad (4.5)$$

PBD = 0,0913 → Em MENOS de 2 meses.

Os paybacks simples e descontado salientam uma celeridade no retorno do investimento, o que realça os demais resultados já encontrados. Logo, apesar de terem diferentes variáveis na base de seus cálculos, os mesmos chegaram a valores próximos.

Calculando a ROI:

$$ROI = \frac{GANHO - CUSTO}{CUSTO} \quad (3.3)$$

$$ROI = \frac{9.544,15 - 699,01}{699,01} \quad (4.6)$$

$$ROI = 12,654$$

De forma adicional, a Return Over Investment alcançou um valor de 1265,40%, o qual significa um ganho quase 13 vezes maior do que aquilo que foi investido, considerando o custo inicial.

Uma vez construída toda a análise de viés econômico, tais dados encontrados foram reunidos nas Tabelas 7 e 8, com a finalidade de os expor em detalhes, conforme demonstrado a seguir.

Tabela 7 – VPL Positivo: Projeto Viável (Vapor de Sódio)

VIABILIDADE ECONÔMICA - VAPOR DE SÓDIO				
Informações Técnicas-Financeiras		TAXAS		Unidades
Luminária	SÓDIO	TMA	100,0000000%	a.a.
Potência (kW)	0,070	VPL	R\$ 7.652,12	!!!VIÁVEL!!!
n°	19	TIR	1364,9463808%	POSITIVA
Preço (R\$)	R\$ 36,79	PBS	0,0732	ANO

Luminárias HQL e Mista		PBD	0,0913	ANO
kWh/mês de 1 un.	R\$ 58,14	ROI	R\$ 12,65	
kWh/mês de 19 un.	R\$ 1.104,66	Ano	Fluxo de caixa	
kWh/ano de 19 un.	R\$ 13.255,92			
Vapor de Sódio		0	-R\$ 699,01	
kWh/ano de 19 un.	R\$ 3.711,77	1	R\$ 9.544,15	
Diferença do consumo entre HQL e VS		2	R\$ 9.544,15	
R\$ 9.544,15		3	R\$ 9.544,15	

Fonte: Autora (2022).

Bem como foi concluído e discutido na seção anterior, o VPL positivo indica uma alta possibilidade do projeto em questão vir a reduzir gastos, no futuro. Neste caso, além de atender uma taxa mínima atrativa de 100%, com possibilidade de retorno em um tempo célere – no máximo, dois meses –, os demais parâmetros apontam uma excelente oportunidade de investimento.

O mesmo passo a passo foi desenvolvido para a tabela 8.

Tabela 8 - VPL Negativo: Projeto Inviável (Vapor de Sódio)

VIABILIDADE ECONÔMICA - VAPOR DE SÓDIO				
Informações Técnicas-Financeiras		TAXAS		Unidades
Luminária	SÓDIO	TMA	1380,0000000%	a.a.
Potência (kW)	0,070	VPL	-R\$ 7,62	INVIÁVEL ;[
n°	19	TIR	1364,9463808%	NEGATIVA
Preço (R\$)	R\$ 36,79	PBS	0,0732	ANO
Luminárias HQL e Mista		PBD	91,7523	ANO
kWh/mês de 1 un.	R\$ 58,14	ROI	R\$ 12,65	
kWh/mês de 19 un.	R\$ 1.104,66	Ano	Fluxo de caixa	
kWh/ano de 19 un.	R\$ 13.255,92			
Vapor de Sódio		0	-R\$ 699,01	
kWh/ano de 19 un.	R\$ 3.711,77	1	R\$ 9.544,15	
Diferença do consumo entre HQL e VS		2	R\$ 9.544,15	
R\$ 9.544,15		3	R\$ 9.544,15	

Fonte: Autora (2022).

No que diz respeito a Tabela 8, onde o Valor Presente Líquido relata uma inviabilidade do projeto, a Taxa Mínima Atrativa está acima da Taxa Interna de Retorno, com o agravante de o Payback Descontado estimar um tempo incongruente do que se pode deduzir para um período de retorno.

4.4.3 Controle de Luminosidade – LED 150W

Em consonância com o Art. 1º da Lei Nº 12.789/2005 – também conhecida como Lei do Silêncio –, é proibido perturbar o sossego e o bem estar público com ruídos, vibrações, sons excessivos ou incômodos de qualquer natureza, produzidos por qualquer meio ou forma que contrariem os níveis máximos de intensidade auditiva. Da mesma forma, tal lei configura limites sonoros para cada período do dia – diurno, vespertino e noturno.

Além do decurso natural de ir cessando a movimentação de pessoas nas ruas e avenidas – no avançar da noite –, a aplicação e cumprimento daquela lei por estabelecimentos comerciais e público em geral, a partir das 22 horas, contribui para a diminuição do fluxo de pedestres e de veículos.

Seguindo esse raciocínio, a Tabela 9 reúne um estudo a respeito do perfil de consumo em Watt e em reais, ao realizar-se uma comparação com a lâmpada de LED 150W funcionando por 12 horas corridas nos seguintes casos: (i) utilizando 100% da sua potência durante todo o período; e (ii) executando o controle de luminosidade, que varia entre 50, 75 e 100%. Ver a Tabela exposta a seguir.

Tabela 9 - Controle de Luminosidade

Horas (h)	Fluxo de Pedestres	Potência (uso)	Potência (W)	kWh/mês - R\$ (1 un.)	kWh/mês - R\$ (19 un.)	kWh/ano - R\$ (19 un.)
18:00	INTENSO	100%	150			
19:00	INTENSO	100%	150			
20:00	INTENSO	100%	150	R\$ 11,27	R\$ 214,11	R\$ 2.569,27
21:00	INTENSO	100%	150			
22:00	INTENSO	100%	150			
23:00	MODERADO	75%	112,5	R\$ 2,11	R\$ 40,14	R\$ 481,74
00:00	MODERADO	75%	112,5			
01:00	POUCO	50%	75			
02:00	POUCO	50%	75			
03:00	POUCO	50%	75			
04:00	POUCO	50%	75	R\$ 7,04	R\$ 133,82	R\$ 1.605,79
05:00	POUCO	50%	75			
06:00	POUCO	50%	75			

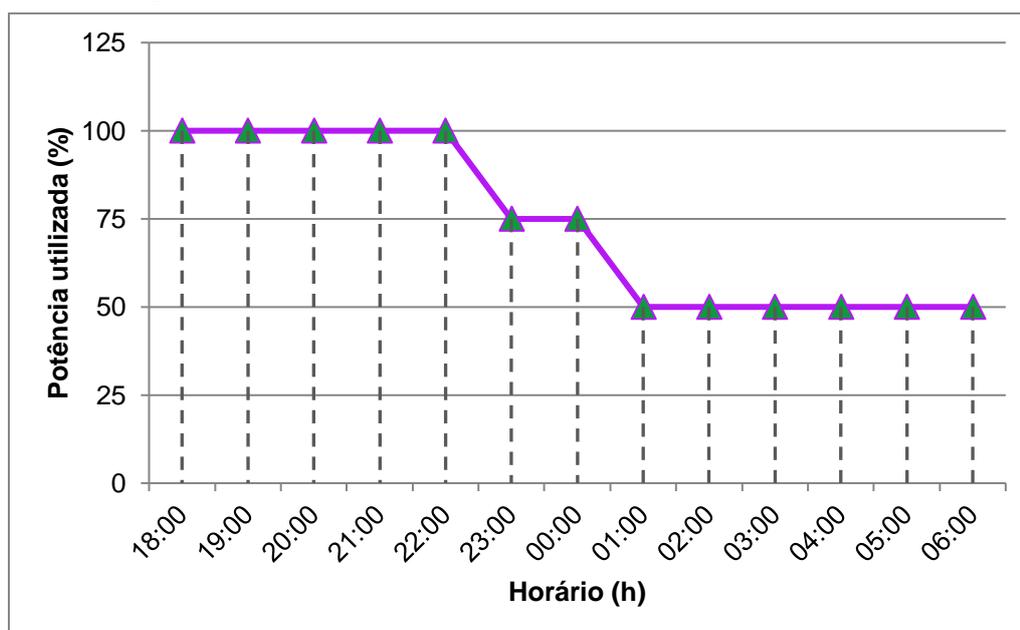
TOTAIS	Resultado Atual	Resultado com o CONTROLADOR	Diferença
	R\$ 7.707,80	R\$ 4.656,80	R\$ 3.051,01

Fonte: Autora (2022).

Conforme verificado na Tabela 9, é explícita a diferença de consumo tanto em kWh como também, conseqüentemente, em reais, quando comparados os dois casos anteriormente comentados.

De forma complementar, o Figura 27 explana a situação da potência elétrica que está sendo utilizada para a geração de luz conforme o horário.

Figura 27 - Potência elétrica utilizada x Horário



Fonte: Autora (2022).

Em razão do controle de luminosidade, que atua de forma a reduzir o consumo de energia elétrica de acordo com o período de menor movimentação de pessoas e veículos nos logradouros, tal resultado é alcançado, indicando eficiência no uso desse insumo.

4.4.4 Comparação entre os resultados desenvolvidos

O cerne do estudo apresentado na atual subseção expõem todos os resultados desenvolvidos até então, fazendo uma comparação técnica e econômica entre os modelos: lâmpada de Vapor de Sódio; LED 150W e LED RCA 180W. Vale ressaltar que as células destacadas em verde representam os melhores desempenhos da comparação em questão.

Tabela 10 - Dados Luminotécnicos

Material da Luminária	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)
LED 150W	150	15.750	105
Vapor de Sódio	70	5.600	80
LED/RCA 180	180	18.000	100

Fonte: Autora (2022).

Como observado na Tabela anterior, ao realizar uma comparação luminotécnica entre os três modelos, pode-se constatar que o melhor resultado foi apresentado pela LED 150W, tendo um bom desempenho na quantidade de energia que é utilizada para a produção e distribuição da luz – eficiência.

Tabela 11 - Dados de consumo de energia em Watt

Material da Luminária	kWh/dia 1 unidade	kWh/mês 1 unidade	kWh/mensal 19 unidades
LED	1,8	54	1026
Sódio	0,84	25,2	478,80
LED/RCA 180	2,16	64,8	1231,20

Fonte: Autora (2022).

De acordo com os dados expostos na Tabela 11, a lâmpada de Vapor de Sódio tem o menor consumo de energia para a produção de luz.

Tabela 12 - Dados Financeiros

Material da Luminária	Preço de 1 unidade (R\$)	Gasto Financeiro do kWh/dia de 1 ponto de luz (R\$)	Gasto Financeiro do kWh/mês de 1 ponto de luz (R\$)	Gasto Financeiro do kWh/mês de 19 pontos de luz (R\$)
LED	754,12	1,16	34,89	662,82
Sódio	36,79	0,54	16,28	309,31
LED/RCA 180	429,99	0,00	0	0,00

Fonte: Autora (2022).

No que diz respeito a análise de custo financeiro – Tabela 12 –, duas perspectivas devem ser postas em evidência: (i) o preço da luminária; e (ii) o custo financeiro decorrente da conversão de energia elétrica em luz. Logo, baseando-se apenas na primeira, a lâmpada de Vapor de Sódio aparece como a favorita. No entanto, ao se observar a segunda análise, o consumo de energia da concessionária é zero para a lâmpada de LED/RCA180W.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avançar de pesquisas realizadas na ciência teórica e experimental acerca da natureza da luz resultou em desenvolvimento de ideias, conceitos, leis, fórmulas, no descobrimento de materiais e na construção de equipamentos – como a própria lâmpada. Não somente, a necessidade de iluminação no período noturno aparece como a base para a realização desse feito.

Sendo assim, para a concretização desse novo cenário na parte da noite, as concessionárias de distribuição de energia elétrica, à princípio, foram responsáveis por todo o aparato técnico e humano da IP, uma vez que já proviam dessa demanda. Atualmente, tal encargo, atendendo ao que está instituído pelo Art. 30 da Constituição Federal, passou a estar sob o poder municipal ou distrital, com exceção do abastecimento do poste pela energia elétrica.

Estando a par do consumo desse insumo pela iluminação pública atingir cerca de 3,0% e ocupar 4,5% da demanda nacional, buscar soluções que contemplem eficiência energética no decorrer dos processos – seja por meio da aquisição de novas tecnologias como o LED, ou na adoção de dispositivos que venham a controlar a potência elétrica utilizada durante o período noturno –, beneficia a sociedade como um todo, visto que interfere positivamente na composição da tarifa de energia, reduzindo-a.

Dessa forma, os esforços da presente monografia permitiram analisar, a partir de conteúdos de teor luminotécnico, energético e financeiro, as lâmpadas utilizadas nos logradouros – em pesquisa – da cidade de Arcoverde, bem como reunir propostas de solução que visassem a redução do consumo de energia elétrica e, por consequência, da conta de luz (R\$).

Ao realizar as comparações de natureza luminotécnica, comparando os modelos segundo o fluxo luminoso, a potência elétrica utilizada para a geração de luz – Consumo (W), a eficiência luminosa, a área abrangida utilizando a iluminância média estabelecido por norma – NBR 5101, as lâmpadas LED, LED/RCA180 e Vapor de Sódio apresentaram os melhores números.

O mesmo procedimento foi tomado para a análise do desdobramento energético-financeiro, em que as lâmpadas foram confrontadas de acordo com o

consumo delas em kWh e, em consequência, em reais. Nesse caso, os modelos LED/RCA150, LED/RCA180 e Vapor de Sódio exibiram os valores mais animadores, uma vez que os dois primeiros suprem a própria energia – sem gastos ao final do mês.

Logo, triangulando os protótipos que ostentaram os melhores resultados, foi observada a viabilidade econômica de um projeto formado pela lâmpada de Vapor de Sódio e outro pela LED/RCA180. Vale destacar que foi considerada a aquisição de 19 unidades e instituído como VANTAGEM o resultado da comparação entre a economia gerada ao longo de um ano de uso com o consumo das lâmpadas Mista ou de Vapor de Mercúrio.

Sendo assim, o primeiro caso expôs, ao considerar uma Taxa Mínima de Atratividade de 100%, resultados expressivamente positivos, como: um payback rápido – em torno de 1 ou 2 meses –, um Valor Presente Líquido alto e positivo e um retorno sobre o investimento mais de 12 vezes maior.

O mesmo pré-requisito – TMA de 100% – foi levado em conta para a análise de Viabilidade econômica da lâmpada de LED/RCA180, que também obteve resultados positivos, com: um payback de 8 a 30 meses; um VPL positivo e alto; e com uma ROI de 0,623.

Adicionalmente, utilizando o modelo LED como base, foi realizado um controle de luminosidade, considerando a mudança (100%, 75% e 50%) da potência elétrica utilizada para a geração de luz conforme o avançar do horário. Nesse caso, é possível notar a economia gerada ao se comparar com a mesma lâmpada usando toda a sua potência por 12 horas seguidas, todos os dias, em um ano.

A partir do seguimento dos resultados colhidos, três conclusões podem ser tomadas, ao considerar as lâmpadas que obtiveram os melhores desempenhos e os desenvolvimentos delas ao final do processo de viabilidade econômica e de controle de luminosidade:

- (i) tomando como uma solução a curto prazo, a lâmpada de Vapor de Sódio apresenta o preço mais baixo e, ao mesmo tempo, bons resultados de cunho luminotécnico e energético-financeiro, o que poderia substituir as luminárias Mista e de Vapor de Mercúrio nos logradouros em questão – ou aqueles que ainda proveem luz com

esse modelos –, resultando em uma economia significativa ao final de um ano;

- (ii) de forma atual, como está ocorrendo a troca de luminárias antigas pelas de LED, investir em um controle de luminosidade, agora, resulta em uma redução expressiva no consumo de energia elétrica e, em decorrência, em reais. Vale ressaltar que esta alternativa de solução possui limitação de controle de 250 luminárias; e
- (iii) como expectativa de proposta de intervenção futura – que sucede em uma desobstrução do sistema elétrico da cidade –, financiar lâmpadas de LED e que suprem a própria energia, como a LED/RCA180, caracteriza um empreendimento alto, porém com resultados positivos a longo prazo.

Logo, como alguns pontos de luz de ruas da periferia e do centro da cidade de Arcoverde já estão recebendo lâmpadas de LED, investir em um controle de luminosidade configura a melhor alternativa a ser tomada no presente momento, visto que a aquisição de luminárias dessa tecnologia já é uma realidade para o município.

Dito isto, o objetivo geral do trabalho em questão foi atingido, ao: levantar soluções a curto e a longo prazo; contribuir para redução do gasto energético na iluminação pública; reduzir, por consequência, a tarifa de energia da população arcoverdense; e promover a conscientização do uso de recursos naturais, ao utilizá-los eficientemente.

Infelizmente, vale ressaltar que o trabalho desenvolvido contou com a limitação de: a não divulgação, por parte de algumas empresas, de informações acerca do preço dos produtos e/ou serviços consultados, e que só poderiam ser adquiridas por CNPJs, o que acarretou na impossibilidade de se fazer um estudo de viabilidade econômica de projeto para a alternativa do controle de luminosidade. Mesmo assim, foi corroborada sua eficiência energética, ao ser adotado.

Portanto, de forma a contribuir com temas de futuras pesquisas, são apontadas as seguintes propostas de intervenção:

- expansão dos resultados teoricamente encontrados para as demais ruas, especialmente os loteamentos e as praças;

- unir esforços para colocar em prática a execução do presente trabalho;
- medição em tempo real do consumo de energia elétrica pela iluminação pública;
- levantar um estudo de viabilidade econômica de projeto de um sistema de telegestão;
- modernização dos elementos da iluminação pública e como isso reverbera na economia gerada;
- viabilidade da introdução de fontes de energia renovável para geração de energia elétrica que venha a suprir a demanda da iluminação pública; e
- materiais com a função de converter energia elétrica em luz que estejam em pesquisa e/ou desenvolvimento.

REFERENCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. 2020. Disponível em:

<https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em: 06 dez. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 414**. Condições Gerais de Fornecimento de Energia. 2010. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>>. Acesso em: 06 jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 888**.

Iluminação Pública. 2020. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-n-888-de-30-de-junho-de-2020-265941693>>. Acesso em: 06 jan. 2022.

ALEGRE, Thiago Pedro Mayer. **A Natureza da Luz: Instrumentação para o ensino**. 2003. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003. Disponível em:

<https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2003/002561Thiago_Lenz_F809_RF.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

ANDRÉ, Anderson Soares. **Sistema Eletrônico para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2004. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/87173/203097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 21 jan. 2022.

ANDREOLI, André Luiz. **Modelagem de lâmpadas de descargas: uma análise do desempenho considerando parâmetro de qualidade de energia**. 2011. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em:

<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18154/tde-11052011-144325/publico/Andreoli.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2022.

ANEEL. **Programa de Eficiência Energética**. 2015. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 13 dez. 2021.

ANEEL-PEE. **Manual para elaboração do Programa de Eficiência Energética**. 1. ed. Brasília: PEE, 2008. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/documents/656831/14944470/Manual+de+Elabora%C3%A7%C3%A3o+do+PEE+2008.pdf/0dbb7e3c-aa8a-43ef-ae4a-b0899f0077bb>>. Acesso em: 13 dez. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101: Iluminação Pública - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2012. Disponível em:

<<http://universidadeniltonlins.com.br/wp-content/uploads/2019/04/NBR-5101-OK.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2022.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidente da República, [2016]. Disponível

em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em 03 jan. 2022.

BRASIL. Lei N° 12.789, de 28 de abril de 2005. Dispõe sobre ruídos urbanos, poluição sonora e proteção do bem-estar e do sossego público e dá outras providências. Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=2366#:~:text=1%C2%BA%20%C3%89%20proibido%20perturbar%20o,intensidade%20auditiva%2C%20fixados%20por%20lei>>. Acesso em 03 jan. 2022.

CAMARGO, Renata Freitas de. **Como o método Payback pode ajudar na análise do Tempo de Retorno do Investimento em Projeto**. 2016. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/payback-tempo-de-retorno-do-investimentos/>>. Acesso em: 10 abril 2022.

CAMARGO, Renata Freitas de. **Veja como o Valor Presente Líquido (VPL) ajuda na análise de viabilidade de um investimento**. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/valor-presente-liquido-vpl/>>. Acesso em: 10 abril 2022.

CONTROLATIC. **Telegestão em Iluminação Pública**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.ilumatic.com.br/infotecnicas/Controlmatic.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2022.

COPEL. **Manual de Iluminação Pública**. 1. ed. Paraná: COPEL, 2012. Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAbli ca/Manuais/manual_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paranaense_de_ener gia.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

DAMBISKI, Leandro Prevedello. **Aplicação do Programa Nacional de Iluminação Eficiente (PROCEL-RELUZ)**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. <Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/20.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2021.

ELETROBRÁS. **PROCEL**. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Procel.aspx>>. Acesso em: 09 dez. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Eficiência Energética**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: 07 dez. 2021.

ERBER, Pietro; MARQUES, Marcos José. **Eficiência Energética: Uma busca permanente**. 2019. Instituto Nacional de Eficiência Energética, 2019. Disponível em: <http://www.inee.org.br/down_loads/eficiencia/Eficiencia_Pietro_Marcos.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2021.

ESPM. **Estudo de viabilidade econômico financeira: o que é e como fazer?**. 2020. Disponível em: <<https://empresajrespm.com.br/estudo-de-viabilidade-economico-financeira/>>. Acessado em: 10 abril de 2022.

FIOLHAIS, Carlos. **Física Divertida**. 3. ed. Lisboa: Gradiva, 1992. Disponível em: <https://www.instituto-camoes.pt/images/stories/tecnicas_comunicacao_em_portugues/fisica/Fisica%20-%20O%20que%20e%20a%20luz.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022.

GALPÃO DA LUZ. **Catálogos – Galpão da Luz, 2016**. São Paulo: Galpão da luz,

2016. Disponível em:

<http://galpaodaluz.com.br/site/images/conteudo/catalogos/iluminacao/itaim/CATALOGO_LED_2016-2017_V08.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2021.

GARROCHO, Juliana Saiter. **Luz Natural e projeto de arquitetura:** Estratégias para iluminação Zenital em Centros de Compras. 2005. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 2005. Disponível em:

<<https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/luz%20natural%20e%20projeto.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2022.

GREE YELLOW. **Eficiência Energética:** O que é e quais os benefícios. Disponível em: <<https://greenyellow.com.br/2020/10/05/eficiencia-energetica-o-que-e-e-quais-os-beneficios/>>. Acesso em: 07 dez. 2021.

HOSPITAL DE OLHOS DE BLUMENAU. Como funciona o olho humano?. **Hospital de Olhos de Blumenau.** Disponível em: <<https://hob.med.br/como-funciona-o-olho-humano/#:~:text=Quando%20olhamos%20na%20dire%C3%A7%C3%A3o%20de,%20uma%20abertura%20chamada%20pupila.&text=A%20lente%20do%20olho%20produz,converte%20para%20a%20posi%C3%A7%C3%A3o%20correta.>>. Acesso em: 30 jan. 2022

LUMINOTÉCNICA. **Luminotécnica:** Projeto e Instalações elétricas prediais. Santa Catarina. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~edsonh/Repositorio/PIP-Projeto_e_Instalacoes_Eletricas_Prediais/Material%20de%20Aula/Parte_II_Luminot%C3%A9cnica/Apostilas/Apostila_de_Instala%C3%A7%C3%B5es_El%C3%A9tricas_parte2.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2021.

MORAIS, Rodrigo Fernandes. **A Natureza da Eletricidade:** Uma Breve História. 2014. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2014_Rodrigo_Morais/dissertacao_Rodrigo_Morais.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2021.

MOREIRA, V. A. **Iluminação Elétrica.** 2 edição, Editora Edgard Blucher Ltda., SP, 2006.

NEOENERGIA. **Eficiência Energética:** Educação para o consumo consciente da energia elétrica. Disponível em: <<https://www.neoenergia.com/pt-br/sustentabilidade/eficiencia-energetica/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

NEOENERGIA PERNAMBUCO. Resolução Homologatória N°2.861, de 27 de Abril de 2021. Tabela de tarifas de energia elétrica do Grupo B. Disponível em: <https://servicos.neoenergiapernambuco.com.br/residencial-rural/Documents/Tarifas%202021/01_CELPE_TARIFAS_DE_ENERGIA_ELETRICA_GRUPO_B%20_ABRIL_2021_REH_N2861.pdf>. Acessado em: 14 dez. 2021.

NETA, Miguel. **História da Eletricidade.** Guia. 2021. Disponível em: <<http://www.fq.pt/images/alunos/10/10ano-F-2-0-historia-da-eletricidade.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

NISHIDA, S. M.; OLIVEIRA; F. A. K de; TROLL, J.; **Como funciona o corpo humano?:** Como vemos o mundo? As propriedades da luz. **Museu Escola do IB.** Disponível em:

<https://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/2_qualidade_vida_humana/Museu2_qualidade_corpo_sensorial_visao3.htm>. Acesso em: 30 jan. 2022

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. 1. ed. Santa Catarina: 2000. Disponível em:

<[http://joinville.ifsc.edu.br/~luis.nodari/Disciplinas/IEI/Luminot%C3%A9cnica/Manual%20de%20Luminot%C3%A9cnica%20Osram/3.42___Manual_Luminotecnico_Pratico_OSRAM_\(2000\).pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~luis.nodari/Disciplinas/IEI/Luminot%C3%A9cnica/Manual%20de%20Luminot%C3%A9cnica%20Osram/3.42___Manual_Luminotecnico_Pratico_OSRAM_(2000).pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2021.

PROCEL INFO. **O programa**. Disponível em:

<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883%2DA273%2D4C47%2DA14E%2D0055586F97FC%7D>>. Acesso em: 09 dez. 2021.

PROCEL RELUZ. Eletrobrás. Iluminação Pública no Brasil. Disponível em:

<<http://www.eletrabras.com/elb/main.asp?TeamID={EB94AEA0-B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57}>>. Acesso em: 09 dez. 2021.

ROCHA, Thiago. **ROI: O que é, como e por que calcular o Retorno sobre o Investimento [+ calculadora]**. 2022. Disponível em:

<[https://resultadosdigitais.com.br/marketing/o-que-e-roi-retorno-sobre-investimento/#:~:text=ROI%20%C3%A9%20a%20m%C3%A9trica%20%C3%A9,\(Retorno%20Sobre%20o%20Investimento\).](https://resultadosdigitais.com.br/marketing/o-que-e-roi-retorno-sobre-investimento/#:~:text=ROI%20%C3%A9%20a%20m%C3%A9trica%20%C3%A9,(Retorno%20Sobre%20o%20Investimento).>)>. Acessado em: 10 abril 2022.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de Iluminação eficiente**. 1. ed. Rio de Janeiro: PROCEL, 2002. Disponível em:

<http://www.cqgp.sp.gov.br/gt_licitacoes/publicacoes/procel%20predio_pub_manual_iluminacao.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2021.

SANTANA, Rosa Maria Bomfim. **Iluminação Pública: Uma abordagem gerencial**. 2010. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia), Universidade Salvador – UNIFACS, Salvador, 2010. Disponível em:

<https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/iluminacao_publica_uma_abordagem_gerencial.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2021.

SANTANA, Rosa Maria Bomfim. **Iluminação Pública: uma abordagem gerencial**. 2010. Tese (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia) – Universidade Salvador (UNIFACS), Salvador, 2010. Disponível em:

<https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/iluminacao_publica_uma_abordagem_gerencial.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SILVA, Lourenço Lustosa Fróes da. **Iluminação Pública no Brasil: Aspectos energéticos e institucionais**. 2006. Dissertação (Pós-Graduação de Engenharia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:

<<http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/llfroes.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

SMARTGREEN. **Telegestão da Iluminação Pública**. Disponível em: <

<https://smartgreen.net/solucoes/telegestao-de-iluminacao-publica/>>. Acessado em: 30 maio 2022.

SX LIGHTING. **Relé e Telegestão de luminárias de LED: entenda essa relação**.

Disponível em: < <https://sxlighting.com.br/blog/rele-e-telegestao-de-luminarias-led-entenda-essa-relacao/>>. Acessado em: 30 maio 2022.

WALTER, Oswaldo Luiz. **História da Eletricidade: Resumo**. Guia – Fatec Mogi Mirim, São Paulo. Disponível em:

<<http://www.univasf.edu.br/~edmar.nascimento/iee/1HistoriaEletricidade.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2022.

WEG. **Triângulo das potências**. Disponível em:

<<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hea/h8b/WEG-correcao-do-fator-de>

potencia-958-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2022.

APÊNDICE A – OLHO HUMANO E DEMAIS CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS

➤ OLHO HUMANO

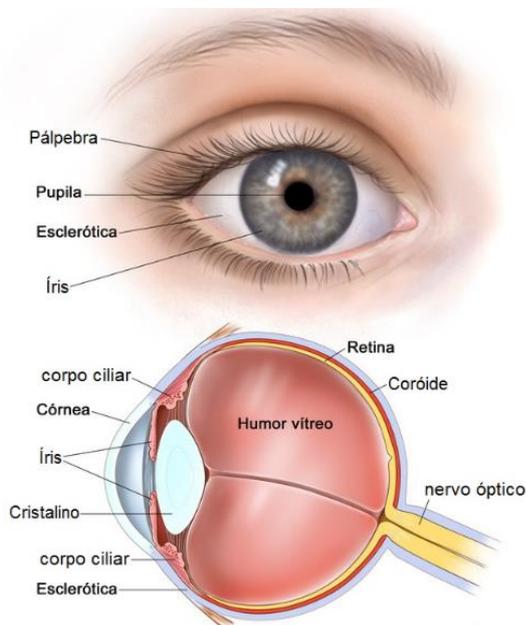
O órgão principal responsável pelo sentido da visão é o olho. Ele, juntamente com o cérebro, processam toda a informação que está sendo captada de forma harmoniosa, para que o trabalho seja realizado em tempo hábil.

Logo, o Hospital de Olhos de Blumenau explica o funcionamento do olho humano assim:

Quando olhamos na direção de algum objeto, a imagem atravessa a córnea e chega à íris, que regula a quantidade de luz recebida por meio de uma abertura chamada pupila. Quanto maior a pupila, mais luz entra no olho. Passada a pupila, a imagem chega ao cristalino e é focada sobre a retina. A lente do olho produz uma imagem invertida, e o cérebro a converte para a posição correta. Na retina, mais de cem milhões de células fotorreceptoras transformam as ondas luminosas em impulsos eletroquímicos, que são decodificados pelo cérebro.

Ao observar a figura 28 é possível perceber as estruturas internas e externas que compõem o sistema ocular, sendo cada uma delas encarregada de realizar uma determinada função - que varia desde de proteção do olho até a captação de luz, por exemplo.

Figura 28 - Olho Humano



Fonte: Hospital de Olhos de Blumenau (201?).

Portanto, os projetos elaborados devem se alicerçar nesses conceitos biológicos e técnicos, a fim de que sejam atendidos requisitos mínimos ditados por norma, uma vez que os seres humanos são afetados diretamente, sejam como transeuntes e/ou como condutores de veículos, nas demais vias públicas.

➤ LUMINÂNCIA

Em concordância com Garrocho (2005, p. 39):

Luminância é definida como o coeficiente do fluxo luminoso num elemento da superfície ao redor de um ponto, e propagado nas direções definidas por um cone elementar que contém a direção dada pelo produto do ângulo sólido e a área da projeção ortogonal do elemento da superfície num plano perpendicular para a direção dada

Logo, considerando a intensidade luminosa o módulo do vetor composto pelo fluxo proveniente da fonte de luz, seguindo essa analogia, basta dividir a intensidade pela área, o que leva a fórmula da luminância:

$$L = \frac{I}{A} \quad (\text{A.1})$$

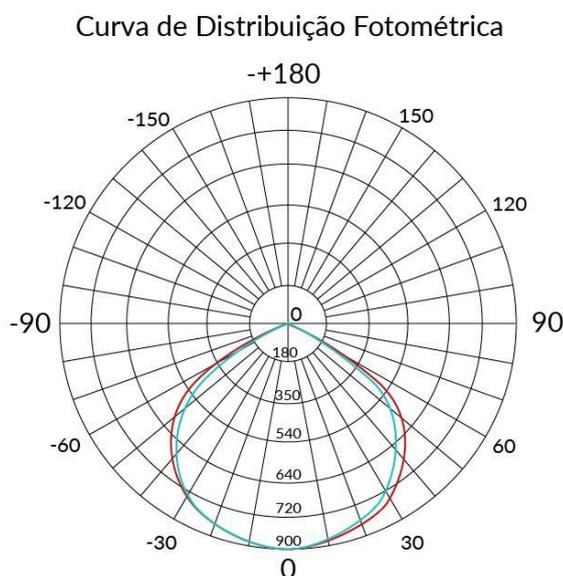
Em que:

I → Intensidade luminosa [cd]

A → Área [m²]

➤ CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

É a curva que representa, em coordenadas polares, as intensidades luminosas nos planos transversal e longitudinal, em consonância com o Procel. Ver a figura 29.

Figura 29 – CDL.

Fonte: Eurolume (2021).

“Em outras palavras, é a representação da Intensidade Luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano. Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm.” (LUMINOTÉCNICA, 201?, p. 3).

➤ IRC

“O IRC é uma escala relativa que varia de 0 a 100 e indica o grau de fidelidade com que as cores são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz. Quanto maior o IRC, menor a distorção das cores dos objetos em relação a uma fonte de luz de referência.” (GALPÃO DA LUZ, 2016, p. 5). “Logo, a luz artificial, como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente, ou o mais próximo possível da luz natural do dia (luz do sol).” (RODRIGUES, 2002, p. 7). O que caracteriza essa escala de valores é a natureza da fonte de luz escolhida adequadamente para o ambiente e o trabalho que é realizado no mesmo.

➤ FATOR DE POTÊNCIA

Segundo o Portal de Serviços da Neoenergia Pernambuco, o fator de potência é a relação entre a energia ativa e a energia total. Tal relação demonstra como uma determinada carga está fazendo uso da energia, sendo este fator um indicador de eficiência energética.

Conforme o Módulo 08 do PRODIST (2018, p. 13), o valor do fator de potência deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa (P, Q) ou das respectivas energias (EA, ER). Verificar a fórmula a seguir:

P = Potência Ativa (W)

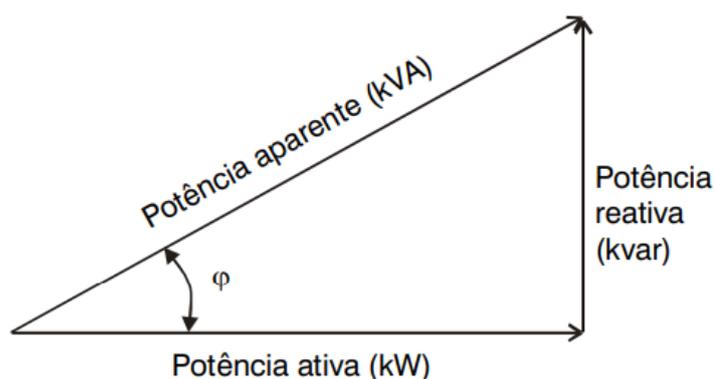
Q = Potência reativa (var)

S = Potência Complexa (VA)

$$FP = \frac{P}{S} \quad (A.2)$$

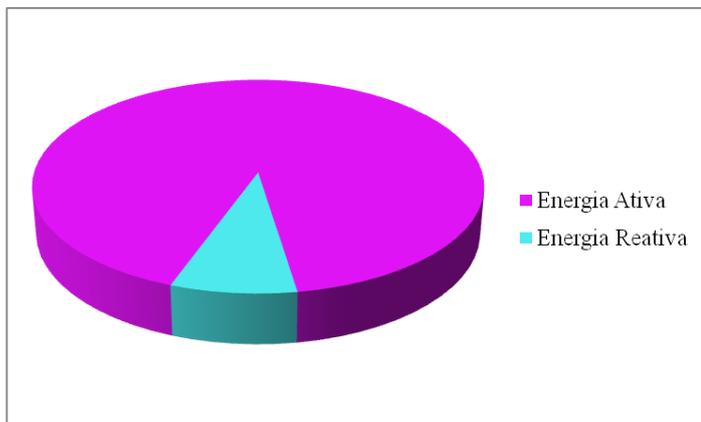
Ou, ainda, pode definir o fator de potência como o cosseno do ângulo φ do triângulo retângulo das potências, representado pela Figura 30.

Figura 30 - Triângulo de Potências.



Fonte: WEG (2009).

Em consonância com a REN 414/2010 da ANEEL, as unidades consumidoras dos grupos A e B devem manter seu fator de potência dentro do limite mínimo estabelecido de 0,92. Ver a ilustração representada pelo Figura 31.

Figura 31 - Representação do mínimo estabelecido para o FP

Fonte: Autora (2021).

A constante preocupação com a qualidade da energia elétrica interfere diretamente na eficiência energética, já que indicadores - como o fator de potência - são índices usados para relatar como está a situação de um determinado sistema elétrico. Logo, se uma determinada instalação elétrica estiver com um mau desempenho, então o FP expressará isso em percentual. Essa mesma análise serve para os equipamentos eletroeletrônicos, como também para as lâmpadas.

APÊNDICE B – PROCEL E PEE

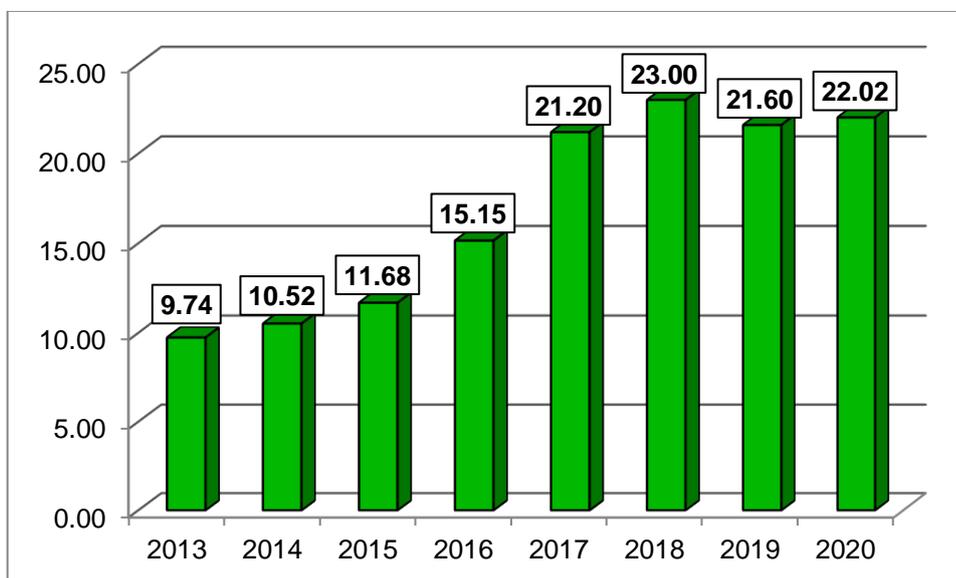
➤ PROCEL

Segundo o próprio PROCEL INFO, o **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica** é um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobras, que foi instituído no dia 30 de dezembro de 1985.

Desde então, tal programa governamental visa promover o uso consciente e eficiente da energia, atuando nos mais diversos ramos da sociedade. Além do mais, à medida que a eficiência energética vai sendo colocada em prática, a economia aumenta e o desperdício é evitado, o que posterga os investimentos no setor elétrico e contribui para um país mais sustentável.

Em consequência disso, de acordo com o Figura 32, nos últimos anos, o PROCEL tem realizado uma economia de bilhões de kWh.

Figura 32 - Economia de energia nos últimos oito anos (bilhões de kWh)



Fonte: PROCEL (2021, com adaptação).

Conforme exposto na Figura 33, apresentada a seguir, o PROCEL abrange diversas áreas da sociedade, promovendo o uso eficiente de energia elétrica. Dentre esses setores, estão: informação, indústria, saneamento, edificações, educação, marketing, selo, GEM e Reluz.

Figura 33 - Áreas abrangidas pelo PROCEL.



Fonte: PROCEL (201?).

Dessa forma, ao passo que todos esses segmentos vão reduzindo os kWh na realização dos seus processos, eles contribuem para a desobstrução do sistema elétrico de potência e a construção de processos mais eficientes e sustentáveis, o que os beneficiam técnico, econômico, social e ambientalmente.

➤ PEE

“A eficiência energética é condição fundamental para a competitividade econômica e para o atendimento dos compromissos ambientais e sociais.” (ERBER, 2019, p. 1). No Brasil, a passos lentos, mas contínuos, métodos e práticas que visam o uso consciente dos recursos naturais passaram a ser discutidos e levados a sério, sendo criados programas - como o programa de eficiência energética (PEE) - para o manuseio dessas atividades.

Logo, seguindo todos os pré-requisitos listados e ditados pela ANEEL-PEE (2008, p. 5):

conforme dispõe a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, as Empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica devem aplicar um percentual mínimo da receita operacional líquida em Programas de Eficiência Energética

Adicionalmente, em conformidade com o site da ANEEL (2015) acerca do Programa de Eficiência Energética:

O objetivo do PEE é promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia.

A economia gerada a partir da promoção desses novos hábitos é revertida em investimentos no setor elétrico como um todo, em pesquisas de novas tecnologias, em divulgação de informações para o público etc. Ver a Fig. 34.

Figura 34 - Eficiência Energética presente em todas as áreas da sociedade.



Fonte: ANEEL (201?).

À vista disso, a NEOENERGIA (201?) declara que:

O consumo consciente, eficiente e seguro de energia elétrica é promovido entre todas as classes consumidoras. Mas os consumidores de baixa renda, como sugere a regulação, são os mais beneficiados, através dos projetos de substituição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por LED e sensibilizações com informações sobre os benefícios da mudança de hábitos no uso da energia.

Algumas concessionárias de energia elétrica, como as do grupo Neoenergia, estimulam as práticas de eficiência energética dos consumidores por meio de instruções disponibilizadas pelos sites, programas de incentivo, descontos nas contas de energia elétrica em troca de produtos recicláveis etc.

APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS DA LED/RCA180W

LED/RCA180W	
Descrição	Luminária Pública de Poste SOLAR
Tecnologia	LED
Marca	RCA
Potência	180 W
Bateria	Interna, com duração de 16h
Itens inclusos	Luminária, controle remoto e kit com parafusos para fixação

Figura 35 - LED/RCA180W

Fonte: Autora (2021).