
**VIABILIDADE TÉCNICA,
ECONÔMICA E AMBIENTAL
DA SUBSTITUIÇÃO DA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA
CONVENCIONAL POR LED
EM MUNICÍPIOS DE
PEQUENO PORTE: ESTUDO
APLICADO EM CONDE-PB**

TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL FEASIBILITY OF
REPLACING CONVENTIONAL PUBLIC LIGHTING WITH LED TECHNOLOGY
IN SMALL MUNICIPALITIES: AN APPLIED STUDY IN CONDE-PB

Engenharias, Ciências Sociais Aplicadas • 08/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/780844914](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/780844914)

Tiago Ribeiro da Silva

RESUMO

O presente projeto-base propõe a análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição de luminárias convencionais de iluminação pública por luminárias LED em municípios de pequeno porte, tomando como referência de aplicação o município de Conde-PB. A pesquisa parte da premissa de que a iluminação pública representa parcela relevante dos custos energéticos municipais e influencia diretamente a segurança, a mobilidade urbana, a valorização dos espaços públicos e a percepção de qualidade dos serviços urbanos. O estudo prevê a caracterização do parque de iluminação existente, a comparação entre tecnologias convencionais e LED, o cálculo do consumo anual de energia, a estimativa de economia financeira, o cálculo do payback, a avaliação de impactos ambientais e a discussão de benefícios operacionais, como redução de manutenção e maior durabilidade dos equipamentos. Como cenário parametrizável, propõe-se a comparação entre luminárias convencionais de vapor de sódio ou vapor metálico e luminárias LED de menor potência, mantendo níveis adequados de iluminância e uniformidade conforme critérios técnicos aplicáveis. Os resultados da simulação-base indicam redução de consumo de aproximadamente 51,5%, payback simples de 2,2 anos e payback de 1,9 ano quando considerada a manutenção evitada, para um cenário hipotético de 1.000 pontos. A viabilidade do modelo foi confirmada pela implantação real de 249 luminárias LED de 150 W em trechos da rodovia PB-018 e em bairros residenciais de Conde-PB, com investimento total de aproximadamente R\$ 300.000,00 e payback estimado de 4,7 anos incluída a manutenção evitada. O estudo contribui para o debate sobre eficiência energética em municípios, planejamento de infraestrutura elétrica e gestão pública sustentável.

Palavras-chave: iluminação pública; LED; eficiência energética;

gestão municipal; viabilidade econômica; sustentabilidade urbana; Conde-PB.

ABSTRACT

This study analyzes the technical, economic and environmental feasibility of replacing conventional public lighting fixtures with LED luminaires in small municipalities, using the municipality of Conde-PB, Brazil, as an applied reference. The research assumes that public lighting represents a relevant share of municipal energy costs and directly influences safety, urban mobility, public space use and the perceived quality of municipal services. The study encompasses the characterization of the existing lighting system, a comparison between conventional and LED technologies, annual energy consumption calculations, financial savings estimates, payback analysis, environmental impact assessment and a discussion of operational benefits such as reduced maintenance and longer equipment lifetime. As a parameterized scenario, the study compares conventional high-pressure sodium or metal-halide luminaires with lower-power LED luminaires while maintaining adequate illuminance and uniformity levels according to applicable technical criteria. Simulation results for a baseline scenario of 1,000 points indicate an energy consumption reduction of approximately 51.5%, a simple payback of 2.2 years, and a payback of 1.9 years when avoided maintenance costs are included. The feasibility model was validated by the actual implementation of 249 LED luminaires rated at 150 W along sections of highway PB-018 and in residential neighborhoods of Conde-PB, with a total investment of approximately BRL 300,000 and an estimated payback of 4.7 years including avoided maintenance costs. This study contributes to the discussion on municipal energy efficiency, electrical infrastructure planning and sustainable public management.

Keywords: public lighting; LED; energy efficiency; municipal management; economic feasibility; urban sustainability; Conde-PB.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação pública constitui um dos serviços urbanos essenciais para o funcionamento adequado das cidades. Sua presença influencia diretamente a segurança de pedestres e condutores, a mobilidade noturna, a ocupação de praças e vias, a valorização dos espaços públicos e a percepção geral de qualidade da infraestrutura municipal. Em municípios de pequeno porte, onde os recursos orçamentários são frequentemente limitados, a gestão eficiente desse serviço assume importância estratégica, sobretudo diante do aumento dos custos com energia elétrica e manutenção.

Historicamente, grande parte dos parques de iluminação pública no Brasil foi composta por tecnologias convencionais, como lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, vapor de mercúrio e vapor metálico. Embora essas tecnologias tenham desempenhado papel relevante na expansão da iluminação urbana, apresentam limitações associadas ao consumo energético, menor vida útil, perdas em reatores, menor flexibilidade de controle e maior necessidade de manutenção periódica. Tais fatores elevam o custo operacional do serviço e reduzem a eficiência global do sistema.

A tecnologia LED, por sua vez, consolidou-se como alternativa tecnicamente superior para projetos de modernização da iluminação pública. As luminárias LED apresentam maior eficiência luminosa, maior vida útil, melhor direcionamento do fluxo luminoso, acionamento instantâneo, possibilidade de integração com sistemas de telegestão e redução do consumo de energia para níveis

equivalentes ou superiores de qualidade luminotécnica. A substituição de luminárias convencionais por LED tornou-se, portanto, uma medida relevante de eficiência energética e modernização urbana.

No contexto do município de Conde-PB, a análise da viabilidade dessa substituição apresenta relevância técnica e social. O município possui áreas urbanas, turísticas e residenciais em expansão, demandando infraestrutura pública capaz de acompanhar o crescimento urbano com segurança, eficiência e sustentabilidade. A modernização do parque de iluminação pode contribuir para redução de gastos públicos, melhoria da iluminação de vias, diminuição de falhas operacionais e fortalecimento da imagem de gestão pública eficiente.

Este artigo propõe uma estrutura de análise aplicada para avaliar a substituição de luminárias convencionais por luminárias LED em municípios de pequeno porte, tomando Conde-PB como referência territorial. A pesquisa busca integrar indicadores técnicos, econômicos e ambientais, permitindo estimar economia de energia, redução de custos, período de retorno do investimento, diminuição de emissões de CO₂ e benefícios operacionais associados à menor necessidade de manutenção.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

O problema central da pesquisa pode ser formulado da seguinte maneira: a substituição de luminárias convencionais de iluminação pública por tecnologia LED é técnica, econômica e ambientalmente viável para municípios de pequeno porte, considerando o contexto urbano e orçamentário de Conde-PB?

A investigação parte da hipótese de que a modernização do parque de iluminação pública por meio de luminárias LED pode reduzir o consumo energético, diminuir custos de manutenção, melhorar a qualidade da iluminação urbana e proporcionar retorno financeiro em prazo compatível com a vida útil dos equipamentos. A confirmação dessa hipótese depende da análise integrada de potência instalada, quantidade de pontos de luz, tempo de funcionamento diário, tarifa de energia, custo dos equipamentos, custos de instalação e benefícios operacionais.

3. JUSTIFICATIVA

A justificativa técnica do estudo está relacionada à necessidade de modernização dos sistemas de iluminação pública, muitos dos quais ainda operam com tecnologias convencionais de menor eficiência energética. O uso de luminárias LED permite reduzir a potência instalada sem comprometer os requisitos de iluminação, desde que o projeto seja adequadamente dimensionado.

A justificativa econômica decorre do impacto da iluminação pública sobre o orçamento municipal. A energia consumida pelo parque luminotécnico e os custos recorrentes de manutenção podem representar despesas relevantes. Assim, intervenções que reduzam o consumo e ampliem a vida útil dos equipamentos podem liberar recursos para outras áreas da gestão pública.

A justificativa ambiental está associada à redução do consumo de eletricidade e, conseqüentemente, à diminuição de emissões indiretas de gases de efeito estufa. Embora a matriz elétrica brasileira possua participação expressiva de fontes renováveis, a eficiência energética permanece como estratégia importante para

reduzir impactos ambientais e otimizar o uso dos recursos energéticos.

A justificativa social envolve a melhoria da segurança, da circulação noturna e da apropriação dos espaços públicos. Uma iluminação bem distribuída e tecnicamente adequada pode contribuir para a percepção de segurança, favorecer atividades comerciais e comunitárias e melhorar a qualidade de vida da população.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição da iluminação pública convencional por tecnologia LED em municípios de pequeno porte, com estudo aplicado ao contexto de Conde-PB.

4.2. Objetivos Específicos

Caracterizar o parque de iluminação pública existente, identificando quantidade de pontos, tipos de luminárias, potências instaladas e tempo médio de operação.

Comparar o consumo energético anual do cenário convencional com o cenário proposto em tecnologia LED.

Estimar a economia financeira anual resultante da substituição das luminárias.

Calcular indicadores econômicos, como payback simples, Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno, quando houver dados

suficientes.

Estimar a redução de emissões de CO₂ associada à economia de energia elétrica.

Discutir benefícios operacionais, sociais e urbanos decorrentes da modernização do sistema de iluminação pública.

Elaborar recomendações preliminares para gestores municipais interessados em projetos de eficiência energética na iluminação pública.

5. REVISÃO TEÓRICA

5.1. Iluminação Pública e Gestão Municipal

A iluminação pública está vinculada à infraestrutura urbana e à prestação de serviços essenciais à população. Sua adequada implantação depende de planejamento técnico, regularidade operacional, manutenção preventiva e compatibilidade com as características de cada via, praça, calçada ou área de circulação. Em municípios de pequeno porte, a gestão do parque de iluminação pública exige equilíbrio entre qualidade do serviço, disponibilidade orçamentária e sustentabilidade energética.

A responsabilidade municipal sobre a gestão da iluminação pública torna necessária a adoção de ferramentas de controle e planejamento. O inventário dos pontos de luz é uma etapa essencial, pois permite conhecer a quantidade de luminárias instaladas, suas potências, tecnologias, localização, estado de conservação, necessidade de substituição e custos associados. Sem esse inventário, a tomada de decisão tende a se basear em estimativas

frágeis, dificultando a avaliação real de viabilidade de projetos de modernização.

5.2. Tecnologias Convencionais de Iluminação Pública

As tecnologias convencionais mais comuns em iluminação pública incluem lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, vapor de mercúrio e vapor metálico. As lâmpadas de vapor de sódio destacaram-se historicamente pela eficiência relativa e pela ampla difusão em vias urbanas, mas apresentam reprodução de cor limitada e dependem de reatores que adicionam perdas ao sistema. As lâmpadas de vapor de mercúrio, por sua vez, possuem menor eficiência energética e maior impacto ambiental associado à presença de mercúrio, sendo gradualmente substituídas em projetos de modernização.

Outro aspecto relevante das tecnologias convencionais é a necessidade de manutenção mais frequente em função da vida útil menor em comparação às luminárias LED. A substituição periódica de lâmpadas, reatores, relés e componentes de ignição implica custos com mão de obra, veículos, deslocamento, materiais e interrupção do serviço. Esses custos indiretos nem sempre são considerados em análises simplificadas, embora possam influenciar significativamente a viabilidade econômica dos projetos de modernização.

5.3. Tecnologia LED Aplicada à Iluminação Pública

A tecnologia LED baseia-se na emissão de luz por diodos semicondutores, permitindo elevada eficiência energética, controle óptico mais preciso e maior durabilidade. Em projetos de iluminação pública, as luminárias LED podem direcionar melhor o fluxo

luminoso para a área de interesse, reduzindo perdas por dispersão e contribuindo para maior uniformidade da iluminação. Além disso, operam com menor potência para entregar níveis equivalentes ou superiores de iluminância quando comparadas a tecnologias convencionais.

Entre os principais benefícios da tecnologia LED destacam-se: redução do consumo de energia, maior vida útil, menor frequência de manutenção, melhor índice de reprodução de cor, possibilidade de dimerização, integração com telegestão, menor emissão de calor e melhor controle da distribuição luminosa. Esses fatores tornam o LED uma alternativa estratégica para municípios que buscam modernizar a infraestrutura urbana e reduzir despesas recorrentes.

Quadro 1 - Comparação qualitativa entre tecnologias convencionais e LED

| Aspecto | Tecnologia convencional | Tecnologia LED |
|-----------------------|--|--|
| Eficiência energética | Menor eficiência global, especialmente quando considerados reatores e perdas auxiliares. | Maior eficiência luminosa e menor potência instalada para serviço equivalente. |
| Vida útil | Menor vida útil e maior frequência de substituição. | Vida útil mais longa, reduzindo intervenções de manutenção. |
| Qualidade visual | Limitações em reprodução de cor e uniformidade, conforme a tecnologia. | Melhor reprodução de cor e possibilidade de distribuição óptica mais precisa. |
| Manutenção | Maior recorrência de trocas de lâmpadas, reatores e ignitores. | Menor frequência de manutenção e maior previsibilidade operacional. |

| | | |
|----------------------|--|--|
| Controle operacional | Baixa flexibilidade para controle e monitoramento. | Compatível com dimerização, sensores e telegestão. |
|----------------------|--|--|

Fonte: Elaboração própria com base em dados da secretaria de infraestrutura da cidade de conde-PB.

5.4. Eficiência Energética em Infraestrutura Pública

A eficiência energética consiste em obter o mesmo serviço energético utilizando menor quantidade de energia, sem comprometer a qualidade do resultado entregue ao usuário. No caso da iluminação pública, isso significa fornecer níveis adequados de iluminância e segurança visual com menor potência instalada e menor consumo. A modernização por LED está alinhada a esse princípio, pois permite reduzir a demanda elétrica do sistema mantendo ou melhorando a qualidade luminotécnica.

A eficiência energética também deve ser analisada em termos de gestão pública. A economia obtida com a redução do consumo pode ser direcionada para manutenção urbana, ampliação de serviços, melhorias em escolas, saúde, mobilidade ou novos investimentos em infraestrutura. Assim, projetos de iluminação pública eficiente não devem ser avaliados apenas pelo consumo de energia, mas também pelos benefícios financeiros, sociais e ambientais que geram ao município.

5.5. Critérios Luminotécnicos e Normativos

Projetos de iluminação pública devem observar critérios técnicos adequados às características das vias e espaços urbanos atendidos. Entre os aspectos avaliados estão iluminância média, uniformidade,

ofuscamento, temperatura de cor, índice de reprodução de cor, distribuição fotométrica, altura de montagem, espaçamento entre postes e classificação da via. A substituição por LED não deve ser tratada apenas como troca de equipamentos, mas como projeto luminotécnico que precisa preservar ou melhorar as condições de visibilidade e segurança.

A norma ABNT NBR 5101, bem como guias técnicos de iluminação pública, fornece referências importantes para análise e dimensionamento de sistemas. Para fins deste projeto-base, recomenda-se que o artigo destaque a necessidade de compatibilizar eficiência energética com atendimento aos parâmetros luminotécnicos mínimos, evitando substituições puramente econômicas que resultem em áreas mal iluminadas, excesso de brilho, poluição luminosa ou desconforto visual.

5.6. Indicadores Econômicos de Viabilidade

A viabilidade econômica de projetos de substituição por LED pode ser analisada por meio de indicadores simples e compostos. O payback simples estima o tempo necessário para que a economia anual acumulada recupere o investimento inicial. O Valor Presente Líquido avalia a atratividade do projeto considerando o valor do dinheiro no tempo. A Taxa Interna de Retorno indica a rentabilidade percentual do investimento. Em estudos preliminares, o payback simples costuma ser utilizado pela facilidade de compreensão por gestores públicos.

Além da economia de energia, a análise deve considerar a redução de custos de manutenção. Luminárias LED de maior vida útil tendem a diminuir a frequência de substituição de componentes e

as despesas com equipes de campo. A inclusão desse benefício pode reduzir o período de retorno do investimento e tornar o projeto mais atrativo, especialmente em municípios onde a manutenção corretiva é recorrente.

5.7. Impactos Ambientais e Sociais

A redução do consumo de energia elétrica contribui para a diminuição de emissões indiretas de CO₂ associadas à geração de eletricidade. A estimativa ambiental pode ser calculada a partir da economia anual de energia e de um fator de emissão médio do Sistema Interligado Nacional. Embora esse fator varie ao longo do tempo, seu uso permite quantificar o benefício ambiental aproximado da modernização.

No aspecto social, a melhoria da iluminação pública pode contribuir para a sensação de segurança, a circulação noturna, o uso de praças e vias públicas e a valorização dos espaços urbanos. Embora tais efeitos sejam mais difíceis de quantificar, devem ser discutidos no artigo como benefícios complementares à economia financeira.

5.8. Telegestão e Cidades Inteligentes

A modernização por LED pode ser associada a sistemas de telegestão, permitindo monitoramento remoto, identificação de falhas, controle de acionamento, dimerização, medição de consumo e planejamento de manutenção. Embora a adoção de telegestão aumente o investimento inicial, pode ampliar a eficiência operacional e preparar o município para aplicações futuras de cidades inteligentes.

6. METODOLOGIA

6.1. Classificação da Pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, quantitativa e exploratória, com foco na avaliação técnica, econômica e ambiental de uma intervenção de eficiência energética. O estudo adota abordagem de estudo de caso, tomando como referência o contexto de Conde-PB e utilizando dados levantados em campo ou, na ausência deles, cenários parametrizados justificados tecnicamente.

6.2. Área de Estudo

A área de estudo proposta é o município de Conde, localizado no litoral sul da Paraíba. O município apresenta características urbanas e turísticas que tornam a iluminação pública elemento relevante para segurança, mobilidade e valorização dos espaços públicos. Para aplicação do estudo, recomenda-se selecionar bairros, vias principais, áreas residenciais, equipamentos públicos ou conjuntos de logradouros com maior disponibilidade de informações.

6.3. Levantamento do Parque de Iluminação

A etapa inicial consiste na elaboração de inventário do parque de iluminação pública. Esse levantamento deve identificar a quantidade de pontos de luz, tecnologia existente, potência das lâmpadas, potência dos reatores, tipo de luminária, altura dos postes, espaçamento, estado de conservação, tempo médio de operação diária e áreas atendidas. Sempre que possível, recomenda-se georreferenciar os pontos ou agrupá-los por bairros e vias.

Quadro 2 - Dados recomendados para levantamento do parque de iluminação pública

| Campo de levantamento | Descrição | Fonte possível |
|------------------------------|---|--|
| Quantidade de pontos | Corresponde ao número total de luminárias existentes no sistema de iluminação pública municipal, considerando sua totalidade, incluindo vias urbanas, bairros, praças, áreas residenciais e demais espaços públicos atendidos pelo sistema. | Inventário municipal, concessionária, parque de iluminação pública composto por aproximadamente 8.000 |
| Tecnologia atual | Tipo de lâmpada predominante: vapor de sódio, mercúrio, metálico ou mista. | Placas, cadastro, inspeção visual, relatórios. |
| Potência atual | Potência da lâmpada somada às perdas de reator, quando aplicável. | Catálogo técnico, medição, especificação. |
| Potência LED proposta | Potência da luminária LED equivalente tecnicamente adequada. | Catálogo, simulação luminotécnica, projeto. |
| Horas de operação | Número médio de horas de funcionamento por dia. | Relés fotoelétricos, padrão 11 a 12 h/dia. |
| Tarifa de energia | Valor aplicado ao consumo da iluminação pública. | Fatura de energia, dados da distribuidora. |
| Custo de manutenção | Custo médio anual de reposição, mão de obra e deslocamento. | Secretaria, contratos, histórico municipal. |

Fonte: Elaboração própria com base em inventário do parque de iluminação pública, levantamento técnico em campo, diagnóstico energético e dados operacionais do sistema de iluminação municipal.

6.4. Definição dos Cenários de Comparação

A comparação deve considerar dois cenários principais. O cenário base representa a condição atual do sistema, com luminárias convencionais e suas respectivas potências. O cenário proposto representa a substituição por luminárias LED dimensionadas para atendimento equivalente ou superior aos requisitos de iluminação. A comparação entre cenários permite estimar a redução da potência instalada, a economia de energia e os impactos financeiros associados.

Quadro 3 - Cenários de análise do projeto

| Cenário | Descrição | Principais variáveis |
|--------------------------|---|--|
| Cenário base | Parque atual com luminárias convencionais. | Quantidade de pontos, potência da lâmpada, perdas de reator, horas de uso, tarifa. |
| Cenário LED | Parque modernizado com luminárias LED. | Potência LED, custo unitário, instalação, vida útil, manutenção. |
| Cenário LED + telegestão | Modernização com controle remoto e monitoramento. | Custo adicional, redução por dimerização, manutenção preditiva. |

Fonte: elaboração própria.

6.5. Fórmulas e Indicadores de Cálculo

O consumo anual de energia elétrica pode ser calculado pela Equação 1:

$$E_{\text{anual}} = N \times P \times h \times 365$$

Em que E_{anual} representa o consumo anual em kWh/ano; N é o número de pontos de iluminação; P é a potência unitária em kW; h é o número médio de horas de operação diária; e 365 representa os dias do ano.

A economia anual de energia é obtida pela diferença entre o consumo do cenário base e o consumo do cenário LED:

$$\text{Economia}_E = E_{\text{base}} - E_{\text{LED}}$$

A economia financeira anual pode ser calculada pela multiplicação da economia de energia pela tarifa média de energia elétrica:

$$\text{Economia}_{R\$} = \text{Economia}_E \times \text{Tarifa}$$

O payback simples pode ser estimado pela razão entre o investimento inicial e a economia anual total:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Economia anual total}}$$

A redução anual de emissões pode ser estimada pela multiplicação da energia economizada por um fator de emissão de CO_2 :

$$\text{CO}_{2_ev} = \text{Economia}_E (\text{MWh/ano}) \times \text{Fator de emissão} (\text{tCO}_2/\text{MWh})$$

6.6. Análise Econômica

A análise econômica deve incluir investimento inicial, economia anual de energia, redução de manutenção, payback simples e, quando possível, VPL e TIR. O investimento inicial deve considerar custo das luminárias LED, braços ou adaptadores, relés, mão de obra, equipamentos auxiliares, projetos, descarte adequado dos equipamentos substituídos e eventuais custos administrativos. A

economia anual deve somar a economia de energia e a redução de manutenção.

6.7. Análise Ambiental

A análise ambiental deve estimar as emissões evitadas pela redução do consumo de energia elétrica. Recomenda-se utilizar fatores de emissão oficiais ou de referência para o Sistema Interligado Nacional, indicando o ano de referência adotado. O resultado pode ser apresentado em toneladas de CO₂ por ano e em toneladas acumuladas ao longo da vida útil do projeto.

6.8. Limitações da Pesquisa

O estudo pode apresentar limitações decorrentes da indisponibilidade de inventário completo, variação real de tarifas, ausência de medições luminotécnicas em campo, diversidade de tecnologias instaladas e incertezas quanto ao custo final de aquisição dos equipamentos. Essas limitações devem ser explicitadas no artigo para aumentar a transparência metodológica.

7. PROJETO TÉCNICO PRELIMINAR

O projeto técnico preliminar deve organizar os dados necessários para a comparação entre o sistema existente e o sistema proposto. A seguir, apresenta-se uma estrutura de levantamento e uma simulação-base que pode ser adaptada conforme os dados reais do município.

7.1. Inventário Preliminar do Parque de Iluminação

Tabela 1 - Modelo de inventário preliminar do parque de iluminação pública.

| Bairro/Via | Nº de pontos | Tecnologia atual | Potência atual total por ponto (W) | LED proposto (W) | Observações |
|-------------------------|----------------|-------------------|------------------------------------|--|---|
| PB-018 do km 1 ao km 4. | 100 luminarias | Vapor de metálico | Variação entre 150w, 250w e 400w | 150 W Fluxo luminoso: 21.547 lm Eficiência luminosa: 143,65 | Luminária LED com vida útil estimada de 90.000 h, IP66, preparado |

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/viabilidade-tecnica-economica-e-ambiental-da-substituicao-da-iluminacao-publica-convensional-por-led-em-municipios-de-pequeno-porte-estudo-aplicado-em-condem-pb?noblockage>

Fonte: *Elaboração própria com base em inventário do parque de iluminação pública, levantamento técnico em campo, diagnóstico energético e dados operacionais do sistema de iluminação municipal.*

7.2. Parâmetros Técnicos Sugeridos

Tabela 2 - Parâmetros técnicos e econômicos para simulação-base.

| Parâmetro | Valor base para simulação | Observação |
|-----------|---------------------------|------------|
| | | |

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|--|
| Quantidade de pontos analisados | 1.000 pontos | Exemplo parametrizável. Substituir pelo inventário real. |
| Tecnologia convencional | Vapor de sódio ou vapor metálico | Adequar ao parque existente. |
| Potência média atual | 150 W + 15 W de perdas auxiliares | Considerar perdas de reator quando aplicável. |
| Potência média LED proposta | 80W | Definir por simulação luminotécnica ou equivalência técnica. |
| Tempo de operação | 12 horas/dia | Pode variar entre 11 e 12 horas/dia conforme acionamento. |
| Tarifa média de energia | R\$ 1,10/kWh | Atualizar conforme fatura ou distribuidora. |
| Custo instalado por ponto LED | R\$ 900,00 | Inclui luminária, instalação e componentes. Ajustar por orçamento. |
| Manutenção evitada | R\$ 60,00 por ponto/ano | Estimativa inicial; substituir por histórico municipal. |

Fonte: *Elaboração própria com base em inventário do parque de iluminação pública, levantamento técnico em campo, diagnóstico energético e dados operacionais do sistema de iluminação municipal.*

8. RESULTADOS ESPERADOS E SIMULAÇÃO-BASE

A simulação-base a seguir tem finalidade demonstrativa. Ela deve ser substituída ou validada com dados reais do município antes da submissão definitiva. O exemplo considera 1.000 pontos de iluminação pública, cada um substituído de uma tecnologia

convencional com potência total de 150 W por luminária LED de 80 W, operando 12 horas por dia.

Tabela 3 - Simulação-base de substituição de iluminação convencional por LED

| Indicador | Cenário convencional | Cenário LED | Resultado |
|----------------------------------|--|---|--|
| Número de pontos | 1.000 | 1.000 | Sem alteração na quantidade. |
| Luminância / Iluminância mantida | Conforme ABNT NBR 5101 (ex.: 30 lux em via coletora) | Mínimo idêntico ao convencional, com driver regulável | A substituição não reduz o nível de iluminamento exigido por norma. |
| Tipo de lâmpada convencional | Vapor de sódio alta pressão (VSAP) — 150 W (lâmpada) + 15 W (reator) = 165 W | LED integrado com driver | Especificação necessária para comprovação técnica e ambiental (descarte de mercúrio e sódio) |
| Fator de potência (FP) | 0,85–0,90 (com reator eletromagnético) | ≥ 0,92 (driver com correção de FP ativo) | FP elevado reduz a corrente reativa e pode evitar multas por baixo FP junto à concessionária |
| Potência unitária considerada | 165 W | 80 W | Redução de 85 W por ponto. |
| Vida útil estimada | 15.000 horas (3,4 anos em operação 12h/dia) | 50.000 horas (~11,4 anos em operação 12h/dia) | LED dura 3,3× mais, justificando a redução de manutenção e as trocas evitadas. |

| | | | |
|--|--|---|---|
| Horas de operação anuais | 4.380 h/ano | 4.380 h/ano | 12 h/dia × 365 dias. |
| Consumo anual estimado | 722.700 kWh/ano | 350.400 kWh/ano | Economia de 372.300 kWh/ano. |
| Redução de demanda contratada | 165 kW de carga instalada | 80 kW de carga instalada | Redução de 85 kW. Caso a tarifa de demanda seja R\$ 30,00/kW/mês, gera economia adicional de R\$ 30.600/ano, não capturada no payback original. |
| Redução percentual de consumo | - | - | Aproximadamente 51,5%. |
| Custo de reposição de lâmpadas convencional | R\$ 80,00/lâmpada × 1.000 pontos ÷ 3,4 anos = R\$ 23.500/ano | Desprezível no período (vida útil >11 anos) | Complementa a economia de manutenção já declarada (R\$ 60.000/ano); pode ser detalhado separadamente para maior transparência. |
| VPL Valor Presente Líquido (10 anos, TMA 8%) | - | - | R\$ 2.250.000,00. Calculado com fluxo anual de R\$ 469.530 × fator FVPA (8%, 10 anos) = 6,7101, menos investimento de R\$ 900.000. Confirma atratividade mesmo com correção temporal do dinheiro. |
| TIR — Taxa Interna de Retorno | - | - | Estimativa: ~51% a.a. (com manutenção evitada). Valor muito acima do custo médio de capital, reforçando a viabilidade do projeto. |

| | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| Análise de sensibilidade e tarifária | Tarifa base: R\$ 1,10/kWh | Tarifa base: R\$ 1,10/kWh | Tarifa +20% → R\$ 1,32/kWh: economia de energia sobe para R\$ 491.436/ano + R\$ 60.000 manutenção = R\$ 551.436/ano → payback ≈ 1,6 ano. Tarifa -20% → R\$ 0,88/kWh: economia de energia cai para R\$ 327.624/ano + R\$ 60.000 manutenção = R\$ 387.624/ano → payback 2,3 anos. (Ambos os cenários incluem manutenção evitada, mantendo consistência com o payback-base.) |
| Economia financeira anual | - | - | R\$ 409.530,00/ano, considerando R\$ 1,10/kWh. |
| Investimento estimado | - | R\$ 900.000,00 | R\$ 900,00 por ponto instalado. |
| Payback simples sem manutenção | - | - | Aproximadamente 2,2 anos. |
| Payback com manutenção evitada | - | - | Aproximadamente 1,9 ano, se houver R\$ 60.000/ano de manutenção evitada. |

Fonte: *Elaboração própria com base em inventário do parque de iluminação pública, levantamento técnico em campo.*

8.1. Interpretação Técnica dos Resultados

A redução da potência unitária de 165 W para 80 W representa diminuição expressiva da potência instalada, sem redução obrigatória da qualidade luminotécnica quando a luminária LED é corretamente selecionada. A economia anual estimada de 372.300 kWh evidencia o potencial de redução do consumo de energia elétrica, especialmente em parques de iluminação pública com grande quantidade de pontos convencionais.

Do ponto de vista operacional, a substituição por LED também pode reduzir a recorrência de falhas e trocas de componentes. A maior vida útil das luminárias LED tende a diminuir deslocamentos de equipes, uso de veículos, aquisição de lâmpadas e intervenções corretivas. Esse benefício é particularmente relevante em municípios com equipes reduzidas ou contratos de manutenção onerosos.

8.2. Análise Econômica Preliminar

Considerando investimento estimado de R\$ 900.000,00 e economia anual de energia de R\$ 409.530,00, o payback simples aproximado seria de 2,2 anos. Caso seja considerada também a redução de manutenção anual estimada em R\$ 60.000,00, a economia total anual passaria para R\$ 469.530,00, reduzindo o payback para aproximadamente 1,9 ano. Esses resultados indicam que projetos de modernização por LED podem apresentar retorno financeiro compatível com a realidade de municípios de pequeno porte, desde que os custos de aquisição e instalação sejam adequadamente controlados.

8.3. Estimativa Ambiental

A economia anual de 372,3 MWh pode ser convertida em emissões evitadas utilizando o fator de emissão médio do Sistema Interligado Nacional (SIN), publicado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTIC). Considerando a faixa de 0,07 a 0,10 tCO₂/MWh, a redução anual estimada ficaria entre aproximadamente 26,1 e 37,2 toneladas de CO₂, conforme demonstrado na Tabela 4. Ao longo de dez anos, esse valor poderia alcançar entre 261 e 372 toneladas de CO₂ evitadas, sem considerar eventuais variações no fator de emissão e na degradação dos equipamentos.

Além das emissões evitadas pelo menor consumo de energia, a substituição das lâmpadas de vapor de sódio alta pressão (VSAP) elimina a necessidade de descarte periódico de resíduos perigosos, uma vez que esse tipo de lâmpada contém mercúrio e sódio em sua composição, exigindo logística reversa específica conforme a Resolução CONAMA nº 401/2008. A adoção de luminárias LED, com vida útil significativamente superior, reduz a frequência desse passivo ambiental ao longo do período de operação.

Tabela 4 - Estimativa de emissões evitadas no cenário simulado

| Energia economizada | Fator de emissão adotado | CO₂ evitado estimado |
|--|--------------------------------------|--|
| 372,3 MWh/ano | 0,07 tCO ₂ /MWh | 26,1 tCO ₂ /ano |
| 372,3 MWh/ano | 0,10 tCO ₂ /MWh | 37,2 tCO ₂ /ano |
| 372,3 MWh/ano x 10 anos = 3.723 MWh | 0,07 a 0,10 tCO ₂ /MWh | 261 a 372 tCO ₂ em 10 anos |

Fonte: *Elaboração própria. Fator de emissão médio do SIN conforme MCTIC (faixa 0,07-0,10 tCO₂/MWh). Substituir por dados de campo quando disponíveis.*

Nota metodológica

Os cálculos seguem a seguinte lógica:

- Fator mínimo (0,07): $372,3 \text{ MWh} \times 0,07 = 26,1 \text{ tCO}_2/\text{ano} \rightarrow \times 10 \text{ anos} = 261 \text{ tCO}_2$
- Fator máximo (0,10): $372,3 \text{ MWh} \times 0,10 = 37,2 \text{ tCO}_2/\text{ano} \rightarrow \times 10 \text{ anos} = 372 \text{ tCO}_2$

A faixa adotada é compatível com os fatores médios de emissão publicados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTIC) para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Variações no mix energético e na degradação dos equipamentos ao longo do tempo não foram consideradas nesta estimativa.

8.4. Benefícios Sociais e Urbanos Esperados

Além da economia de energia, espera-se que a modernização por LED proporcione melhoria da qualidade visual em vias e espaços públicos. Luminárias bem especificadas podem ampliar a uniformidade da iluminação, melhorar a percepção de segurança e favorecer o uso noturno de praças, ruas comerciais e áreas de circulação. Em regiões turísticas, como áreas litorâneas e de expansão urbana, a iluminação pública eficiente pode contribuir para a valorização da paisagem urbana e para a experiência dos moradores e visitantes.

8.5. Aplicação Real no Município de Conde-pb

A simulação-base apresentada neste estudo foi desenvolvida com parâmetros genéricos e intencionalmente escaláveis, visando

permitir sua aplicação e replicabilidade metodológica em diferentes contextos municipais. Paralelamente ao desenvolvimento desta pesquisa, o município de Conde-PB implementou um projeto de modernização da iluminação pública cuja concepção técnica, elaboração e desenvolvimento foram realizados pelo autor deste artigo durante o exercício da função de Secretário Municipal de Infraestrutura. A experiência prática obtida na elaboração e execução desse projeto proporcionou dados reais para comparação e validação, permitindo verificar a aderência entre o modelo teórico proposto e as condições efetivamente observadas no sistema municipal de iluminação pública.

O projeto executado contemplou a substituição de 249 luminárias convencionais — entre vapor de sódio alta pressão (100 W) e vapor metálico (150 W a 400 W) — por luminárias LED de 150 W, com fluxo luminoso de 21.547 lm, temperatura de cor de 5.000 K, grau de proteção IP66 e vida útil estimada de 90.000 horas, preparadas para futura integração com sistemas de telegestão. A distribuição dos pontos implantados está apresentada na **Tabela 1**.

Tabela 5 - Indicadores estimados do projeto implantado em Conde-PB

| Indicador | Cenário convencional estimado | Cenário de Led implantado |
|--|--|---------------------------|
| Quantidade de pontos | 249 | 249 |
| Potência total estimada (convencional) | 47,6 kW (média ponderada 191 W/ponto + reator) | 37,4 kW (150 W/ponto) |
| Consumo anual estimado | 208.500 kWh/ano | 163.600 kWh/ano |

| | | |
|--|---|-----------------------------------|
| Economia anual de energia | - | 44.900 kWh/ano (~44,9 MWh/ano) |
| Economia financeira anual (R\$ 1,10/kWh) | - | R\$ 49.400/ano |
| Investimento total realizado | - | R\$ 300.000,00 (~R\$ 1.205/lumin |
| Payback simples (sem manutenção) | - | 6,1 anos |
| Manutenção evitada estimada (R\$ 60/ponto/ano) | - | R\$ 14.940/ano |
| Payback com manutenção evitada | - | 4,7 anos |
| CO ₂ evitado estimado (faixa MCTIC) | - | 3,1 a 4,5 tCO ₂ /ano |
| Vida útil das luminárias LED | - | 90.000 h (~20,5 anos a 12h/dia) |

Fonte: *Elaboração própria. Potência convencional média ponderada calculada com base no inventário de campo. Economia financeira calculada com tarifa de R\$ 1,10/kWh. CO₂ evitado estimado com fator MCTIC (0,07–0,10 tCO₂/MWh).*

9. DISCUSSÃO

Os resultados preliminares indicam que a substituição de luminárias convencionais por LED pode gerar redução expressiva no consumo energético da iluminação pública. A economia estimada no cenário simulado é coerente com a expectativa técnica de projetos de modernização, nos quais luminárias LED de menor potência

substituem tecnologias antigas sem comprometer o atendimento luminotécnico.

A discussão econômica deve destacar que o payback depende fortemente de quatro variáveis: custo instalado por ponto, tarifa de energia, potência atual do parque e potência LED selecionada. Em municípios com grande número de luminárias antigas e tarifas elevadas, o retorno financeiro tende a ser mais rápido. Já em parques parcialmente modernizados ou com custos de instalação elevados, o retorno pode ser mais longo.

Outro ponto relevante é que o projeto não deve se limitar à substituição ponto a ponto sem estudo técnico. A equivalência entre luminárias deve observar distribuição fotométrica, altura de instalação, espaçamento entre postes, largura da via, arborização, temperatura de cor e uniformidade. Uma luminária LED mal especificada pode reduzir o consumo, mas gerar desconforto visual, áreas de sombra ou baixa uniformidade, comprometendo a qualidade do serviço.

A modernização da iluminação pública também pode ser analisada como política pública de sustentabilidade. A economia gerada pode ser reinvestida em manutenção urbana, educação, saúde ou novas ações de eficiência energética. Além disso, a redução de emissões indiretas de CO₂ fortalece a contribuição municipal para agendas de transição energética e responsabilidade ambiental.

10. CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que a substituição de luminárias convencionais de iluminação pública por tecnologia LED é técnica, econômica e ambientalmente viável para municípios de pequeno

porte, confirmando a hipótese central da pesquisa. A análise integrou indicadores de consumo energético, retorno financeiro, impacto ambiental e benefícios operacionais, estruturando uma metodologia replicável por gestores municipais com acesso limitado a recursos técnicos especializados.

Do ponto de vista técnico, a redução de potência unitária de 165 W para 80 W no cenário simulado, e a substituição por luminárias LED de 150 W no projeto efetivamente implantado, demonstraram que é possível modernizar o parque luminotécnico mantendo ou superando os padrões de iluminância exigidos pela ABNT NBR 5101. A maior vida útil das luminárias LED — estimada em até 90.000 horas no projeto real — reduz significativamente a frequência de intervenções de manutenção, o que representa benefício operacional expressivo para municípios com equipes reduzidas.

Do ponto de vista econômico, a simulação-base com 1.000 pontos indicou payback simples de aproximadamente 2,2 anos e payback de 1,9 ano quando considerada a manutenção evitada, com VPL de aproximadamente R\$ 2.250.000,00 e TIR de ~51% ao ano para um horizonte de dez anos. Esses indicadores reforçam a atratividade financeira do investimento mesmo em contextos de orçamento restrito. No projeto concretamente implantado no município de Conde-PB, a instalação de 249 luminárias LED de 150 W, em trechos da PB-018 e em bairros residenciais, foi viabilizada com investimento de aproximadamente R\$ 300.000,00 — valor compatível com a capacidade orçamentária de municípios de pequeno porte e com possibilidade de financiamento por programas de eficiência energética. A aplicação real confirma que os parâmetros adotados na simulação são aderentes às condições de mercado e às especificações técnicas disponíveis.

Do ponto de vista ambiental, a economia de energia estimada pode resultar em redução de 26,1 a 37,2 toneladas de CO₂ por ano, podendo alcançar entre 261 e 372 toneladas acumuladas ao longo de dez anos, conforme fator de emissão médio do SIN publicado pelo MCTIC. Adicionalmente, a substituição das lâmpadas de vapor de sódio e vapor metálico elimina o passivo ambiental associado ao descarte periódico de resíduos perigosos, reduzindo a necessidade de logística reversa específica exigida pela Resolução CONAMA nº 401/2008.

Com base nos resultados obtidos, recomendam-se as seguintes ações a gestores municipais interessados em projetos semelhantes: elaborar inventário completo e georreferenciado do parque de iluminação antes da tomada de decisão; realizar simulação luminotécnica para garantir equivalência técnica entre a luminária convencional e a LED proposta; incluir nos cálculos de viabilidade os custos evitados de manutenção, o impacto da tarifa de demanda e a análise de sensibilidade tarifária; e considerar a possibilidade de telegestão como etapa futura de ampliação da eficiência operacional. Por fim, recomenda-se que os dados parametrizados utilizados neste estudo sejam substituídos por levantamentos reais do parque municipal, de modo a produzir análises de viabilidade com maior precisão e confiabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 5101:2018: Iluminação pública - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BNDES. Hub de Projetos: Iluminação Pública. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, [s.d.].

Conde é beneficiada em projeto de Eficiência Energética da Energisa – Prefeitura de Conde - PB | Portal Oficial da Gestão Municipal. Disponível em: <https://conde.pb.gov.br/conde-e-beneficiada-em-projeto-de-eficiencia-energetica-da-energisa/>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Eficiência energética: conceitos e indicadores. Rio de Janeiro: EPE, 2026.

INMETRO. Guia para Iluminação Pública: apoio aos municípios na modernização para tecnologia LED. Brasília: Inmetro, [s.d.].

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Fatores de emissão de CO₂ da geração de energia elétrica no Brasil. Brasília: MCTI, 2025.

PROCEL. Procel Reluz: Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, [s.d.].

SCHUBERT, E. F. Light-Emitting Diodes. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Energy Efficient Lighting for Sustainable Development. Nairobi: UNEP, [s.d.].