

CONTRIBUIÇÕES DA MODERNIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA PARA O ENFRENTAMENTO DE CRISE ENERGÉTICA

Rafael Deléo e Oliveira¹
Filipe Tagliaferro Avino¹

¹Universidade de São Paulo

DOI: 10.47168/rbe.v28i3.700

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar e determinar a quantidade de pontos de Iluminação Pública (IP) instalados em todos os municípios brasileiros com 100 mil ou mais habitantes. A quantidade de pontos de iluminação pública é estimada com o auxílio de uma equação determinada a partir de um múltiplo de pontos de IP por km² (quilômetro quadrado) de área urbana, utilizando dados conhecidos. E, a partir desses dados, avalia-se o potencial de redução do consumo de energia elétrica após a modernização das luminárias convencionais, como medida de redução permanente do consumo de energia deste serviço público e suas contribuições para o enfrentamento das crises energéticas nos momentos de escassez hídrica no médio e longo prazo. As análises indicam que 8.706.506 pontos de iluminação pública (48,43% do parque de iluminação pública brasileiro) estão instalados nos 326 municípios brasileiros mais populosos (aproximadamente 6% do total de municípios). E que, desse total, 8.392.198 pontos (46,68% do parque de iluminação pública brasileiro) estão equipados com lâmpadas de descarga a alta pressão, sendo responsáveis pelo consumo anual de 6.625.567 MWh de energia elétrica, ou 41,80% do consumo total com iluminação pública. Além disso, é indicado que a modernização dos pontos de iluminação pública equipados com lâmpadas de descarga a alta pressão pode representar redução de 22,38% no consumo de energia elétrica de todo o parque de iluminação pública brasileiro ou 1,11% de redução do consumo entre os consumidores cativos.

Palavras-chave: Iluminação pública; Eficiência energética; Lâmpada de descarga a alta pressão; Luminária convencional; Luminárias LED.

ABSTRACT

The present study aims to characterize and determine the number of Street Lighting (SL) points installed in all Brazilian municipalities with 100 thousand inhabitants, or more. The number of street lighting points is estimated with the aid of an equation determined from a multiple of street lighting points per km² (square kilometer) of urban area, using known data. And, based on these data, the potential for reducing electricity consumption is evaluated through the modernization of conventional lighting as a measure of permanent reduction in energy consumption of this public service, and its contributions to facing energy crises in times of water scarcity in the medium and long term. The analyzes indicate that 8,706,506 street lighting points (48.43% of the Brazilian street lighting park) are installed in the 326 most populous Brazilian municipalities (approximately 6% of the total number of municipalities). Besides that, from this total, 8,392,198 points (46.68% of the Brazilian street lighting park) are equipped with high pressure discharge lamps, being responsible for the annual consumption of 6,625,567 MWh of electric energy, or 41.80 % of total consumption due to street lighting. In addition, it is indicated that the modernization of public lighting points equipped with high pressure discharge lamps can represent a 22.38% reduction in electricity consumption of the entire Brazilian street lighting park, or a 1.11% reduction of consumption among captive consumers.

Keywords: Street lighting; Energy efficiency; High pressure discharge lamp; Conventional light fixture; LED luminaires.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório Balanço Energético Nacional 2021, da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, a participação das fontes de geração de energia elétrica na capacidade instalada no Brasil se distribui da seguinte forma: hidráulica: 62,50%; não renováveis: 15,90%; eólica: 9,80%; biomassa: 8,80%; solar: 1,90%; nuclear: 1,10% (EPE, 2021a). Observa-se que 83,0% da matriz elétrica do Brasil é composta por fontes renováveis (hidráulica, eólica, biomassa e solar), com predomínio da fonte hidráulica.

Em termos ambientais, a predominância da fonte hidráulica na matriz elétrica do Brasil é fundamental para mitigar o uso e impacto de fontes de geração de eletricidade que utilizam como combustível os derivados do petróleo, gás natural e carvão mineral. Entretanto, a atividade de geração de eletricidade predominantemente hidráulica expõe o país ao risco de falta de energia elétrica em um cenário de estiagem prolongada. Essa situação é acentuada nos casos de reservatórios de usos múltiplos, cuja atividade principal é a geração de

energia elétrica. Nesses casos, o uso múltiplo pode dificultar ou impossibilitar o desenvolvimento e manutenção de outras atividades, tais como consumo humano e dessedentação animal, irrigação, navegação, pesca e lazer (GALVÃO e BERMANN, 2015).

Deve-se observar que a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, no Capítulo I – Dos fundamentos, Art. 1º, inciso III, estabelece que: em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

Então, diante de cenários de crise energética relacionados a escassez hídrica, como ocorridos nos anos de 2001 e 2021, são necessárias medidas para mitigar ou conter os efeitos da falta de água nos reservatórios das usinas hidroelétricas.

Assim sendo, o governo brasileiro costuma adotar medidas como o acionamento de termoelétricas, campanhas de conscientização da população visando a diminuição voluntária do consumo e incentivos para que empresas reduzam o consumo, sobretudo no horário de maior demanda, também conhecido como horário de ponta. No entanto, observa-se que as medidas adotadas pelo governo federal têm tido efeito paliativo e, após a superação dos períodos de escassez hídrica, os velhos hábitos são retomados até que ocorra nova crise energética. Ou seja, o planejamento energético deve ser reforçado com ações contínuas e consistentes, e fortalecido com a intensificação de programas de eficiência energética nos diversos setores e níveis da sociedade.

Deve-se observar que o conceito de eficiência energética é entendido como a forma de realizar uma atividade ou trabalho, reduzindo a quantidade de energia empregada, mantendo a qualidade do serviço ou produto (ABESCO, 2021; EPE, 2021b; BERNARDES et al. 2020).

No sentido de buscar um consumo mais eficiente da energia elétrica, observam-se esforços por parte do poder público, sobretudo de estados, via projetos de eficiência energética em prédios públicos, e de municípios, em projetos de modernização dos parques de Iluminação Pública (IP). Neste caso, alia-se a modernização com a melhoria da qualidade dos indicadores de iluminação pública por meio da substituição de lâmpadas de descarga a alta pressão (lâmpada mista, vapor de sódio, vapor de mercúrio e multivapor metálico) por fonte de luz com tecnologia mais moderna, no caso representada pelas luminárias com tecnologia LED – *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz, para o português).

Analisando os dados do ano de 2008, o parque de iluminação pública brasileiro possuía 14.769.309 pontos de iluminação, com predominância de lâmpadas de descarga a alta pressão – 97,72% do total (ABRASI, 2021). Este parque de iluminação pública foi responsável pelo consumo de 11.429 GWh (GigaWatt-hora) de energia elétrica

naquele ano (EPE, 2011).

Já no ano de 2019, o número de pontos luminosos do parque de IP brasileiro saltou para 17.978.986 pontos de iluminação, sendo que 97,28% dos pontos eram equipados com lâmpadas de descarga a alta pressão (OLIVEIRA, 2020a). Este parque de IP foi responsável pelo consumo de 15.850 GWh de energia elétrica no ano (EPE, 2021c).

E, analisando trabalhos científicos sobre iluminação pública, observa-se a abordagem da utilização das luminárias LED como ferramenta de eficiência energética. O estudo de caso da modernização de um trecho de 8,0 km (quilômetros) da Avenida Recife, localizada na cidade de Recife-PE, avaliou os impactos da substituição das luminárias convencionais equipadas com lâmpadas de vapor de sódio por luminárias LED. Os resultados das análises indicaram que a modernização do trecho em questão resultaria em 38,47% de redução no consumo de energia elétrica (FILHO et al., 2021). Outro estudo de caso foi realizado num trecho da Avenida Presidente Vargas, que é uma das principais avenidas do centro da cidade do Rio de Janeiro-RJ. No local existia um total de 604 pontos de IP equipados com lâmpada multivapor metálico. As simulações luminotécnicas e análises realizadas indicaram que a substituição das luminárias convencionais por luminárias LED representaria redução de 53,33% no consumo de energia elétrica. E que a dimerização das luminárias LED contribuiria para a redução de 59,68% no consumo de energia elétrica (SOUZA et al., 2021). Também, foi desenvolvido estudo para avaliar a modernização de todo o parque de iluminação pública da cidade do Rio de Janeiro-RJ. As análises indicaram que a modernização de todos os pontos de IP com instalação de luminárias LED proporcionaria redução de 31% no consumo de energia, podendo alcançar o valor de 47% com a utilização do sistema de dimerização das luminárias (FRAGOSO et al., 2020). Já os estudos para *retrofit* da iluminação pública da Avenida Barão de Rio Branco, principal via urbana da cidade de Juiz de Fora-MG, indicou que a substituição dos 1.260 pontos equipados com lâmpadas de vapor de sódio por luminárias LED possibilitaria a redução de 36,32% no consumo de energia elétrica, desconsiderando as perdas nos reatores utilizados nas luminárias convencionais (NEPOMUCENO et al., 2019). E, um estudo de eficiência energética avaliou a substituição do parque de IP da cidade de Boa Vista-RR, composto por luminárias convencionais equipadas com lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio e multivapor metálico, por luminárias LED. Os resultados das análises indicaram que a modernização do parque de IP da cidade possibilitaria a redução de 38% no consumo de energia elétrica (ALMEIDA et al., 2019). Por fim, o estudo realizado em um loteamento no município de Sarandi-PR, com um total de 93 pontos de IP, indicou que a substitui-

ção das lâmpadas vapor de sódio com potência de 250W por luminárias LED com potência de 120W, representaria redução de 52% no consumo de energia elétrica (STUTZ et al., 2018).

Assim, tendo em vista o alto consumo de energia elétrica do parque de IP brasileiro, o crescimento de aproximadamente 39% do consumo entre os anos de 2008 e 2019, bem como a característica da tecnologia empregada, quase que na totalidade composta por luminárias de tecnologia antiga que podem ser substituídas por luminárias mais eficientes, observa-se a oportunidade de modernização do parque de iluminação pública das cidades brasileiras como mecanismo para redução do consumo de energia elétrica e, também, como mecanismo de melhoria da qualidade de vida da população.

Então, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar e determinar a quantidade de pontos de iluminação pública instalados em todos os municípios brasileiros com 100 mil ou mais habitantes. E, a partir desses dados, avaliar o potencial de redução de consumo de energia elétrica através da modernização das luminárias convencionais como medida de redução permanente do consumo de energia deste serviço público e suas contribuições para o enfrentamento das crises energéticas nos momentos de escassez hídrica no médio e longo prazo.

2. MATERIAL E MÉTODO

A metodologia aplicada no estudo baseia-se na pesquisa bibliográfica e documental de informações técnicas em bases de dados científicos, publicações oficiais de órgãos do setor elétrico brasileiro e publicações oficiais de órgãos da administração pública em nível municipal, para caracterização do parque de iluminação pública das cidades brasileiras.

A Figura 1 traz um fluxograma que apresenta as nove etapas do método proposto e adotado para determinação e caracterização do parque de IP brasileiro.

A Etapa 1 consistiu na determinação do universo de estudo. As análises das informações apresentadas no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE indicam que aproximadamente 57% da população brasileira reside em 326 municípios (cidades com 100 mil ou mais habitantes), do total de 5.570 cidades (IBGE, 2021a; IBGE, 2021b). Assim, observa-se que a modernização da rede de IP de aproximadamente 6% das cidades brasileiras poderia impactar a qualidade de vida de aproximadamente 57% da população brasileira. Portanto, os municípios com população inferior a 100 mil habitantes não fizeram parte do estudo.

A Etapa 2 está relacionada ao mapeamento de informações técnicas e publicações oficiais de órgãos da administração pública em nível municipal, para determinação de cidades com processos de licitação de Parceria Público-Privada de Iluminação Pública (PPP de IP). Inicialmente foram mapeados 73 processos de licitação de PPP de IP, sendo que 42 processos são de municípios com população igual ou superior a 100 mil habitantes, e 31 processos de municípios com população inferior a 100 mil habitantes.

Na Etapa 3 foram selecionados os municípios candidatos a comporem o universo da pesquisa. Dentro do conjunto de contratos de PPP dos 42 municípios com população igual ou superior a 100 mil habitantes, 16 cidades foram desconsideradas da amostra pois os contratos de concessão dessas cidades estavam suspensos, paralisados, cancelados ou anulados, o que poderia indicar alguma inconsistência nas informações publicadas no edital e demais documentos técnicos.

Definido o universo da pesquisa, o próximo passo foi a execução das Etapas 4 e 5. Na Etapa 4 os editais e documentos técnicos das licitações foram analisados para extração das informações de interesse utilizadas para caracterização do parque de IP. As informações de interesse são número total de pontos de IP, número de pontos de IP por tipo e potência de lâmpada, representatividade percentual por tipo e potência de lâmpada, carga de IP instalada e meta de efficientização.

Concomitantemente, foi desenvolvida a Etapa 5. Esta etapa consistiu em determinar as áreas urbanas dos municípios selecionados na Etapa 3. A determinação das áreas urbanas foi realizada através da análise de dados estatísticos e mapas obtidos no site do IBGE com auxílio da aplicação do *software Google Earth Pro*.

Na Etapa 6, a quantidade de pontos de IP obtida nos editais de PPP (levantamento na Etapa 4) e as áreas urbanas estimadas (levantamento na Etapa 5) foram utilizadas para construir um múltiplo de pontos de IP por km² (quilômetro quadrado) de área urbana e obter uma equação econométrica em que fosse possível estimar a quantidade total de pontos de IP existentes nos municípios com população igual ou superior a 100 mil habitantes (326 municípios).

Na Etapa 7 foram determinadas todas as áreas urbanas dos 326 municípios brasileiros com população igual ou superior a 100 mil habitantes. Estas áreas foram obtidas através da análise de dados estatísticos e mapas obtidos no site do IBGE com auxílio da aplicação do *software Google Earth Pro*.

Na Etapa 8, utilizando as informações das áreas urbanas dos 326 municípios brasileiros mais populosos (levantamento na Etapa 7) e empregando a equação econométrica desenvolvida (determinação na Etapa 6), pôde-se caracterizar e estimar o número total de pontos de IP nos 326 municípios com população igual ou superior a 100 mil

habitantes.

E, na Etapa 9, dispondo da quantidade total de pontos de IP estimada na Etapa 8, e as características dos parques de iluminação pública das cidades da amostra (tipos de luminárias, potência, etc.), pôde-se determinar a carga instalada no parque de IP dos 326 municípios brasileiros mais populosos. A partir desse valor e das médias das metas de eficiência observado nos projetos de PPP de IP, pôde-se estimar a redução potencial de carga.

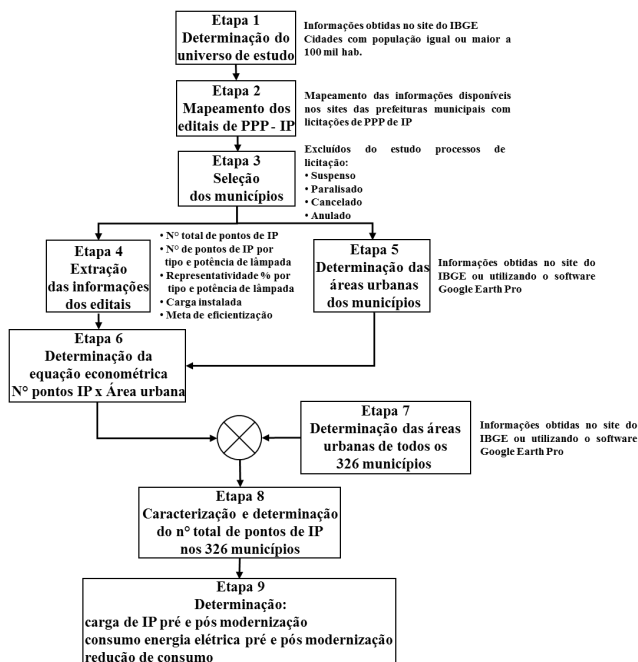


Figura 1 – Fluxograma com etapas dos processo para caracterização do parque de IP

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os 26 municípios selecionados como base para o estudo. O número de habitantes foi obtido por meio de pesquisa no site do IBGE¹ e a área urbana foi determinada a a a área urbana foi determinada a partir de estudos do IBGE², com auxílio

1 <https://cidades.ibge.gov.br/>

2 <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=sobre>

do software *Google Earth Pro*¹. Já a quantidade de pontos de iluminação pública, carga instalada e a meta de efficientização foram retiradas dos documentos técnicos de licitações.

Tabela 1 - Número de habitantes, área urbana, número de pontos de IP, carga LED + Outros, carga convencional e meta de efficientização por município

Município	Nº de habitantes	Área urbana IBGE Google Earth (km ²)	Nº pontos IP	Carga LED + Outros (kW)	Carga convencional (kW - quiloWatt)	Meta efficientização
Angra dos Reis	210.171	45,90	21.310	5,79	3.116,92	42,50%
Aracaju	672.614	119,90	58.763	225,00	12.685,66	61,20%
Araguaína	186.245	46,80	21.619	757,82	2.314,49	67,31%
Belém	1.506.420	201,80	97.464	546,57	21.318,76	46,40%
Bento Gonçalves	123.090	26,90	13.118	45,18	1.826,90	50,00%
Caieiras	104.044	17,45	7.957	0,00	1.390,87	57,00%
Camaçari	309.208	92,72	42.266	109,91	7.551,98	58,30%
Campinas	1.223.237	256,30	122.573	92,29	20.203,27	64,35%
Caruaru	369.343	69,30	34.435	1.103,48	5.261,42	48,40%
Curitiba	1.963.726	353,20	163.154	1.207,39	28.672,96	40,74%
Feira de Santana	624.107	133,80	60.500	88,19	9.521,18	53,30%
Franco da Rocha	158.438	22,64	10.413	18,84	1.481,63	64,82%
Hortolândia	237.570	47,27	21.697	105,42	3.222,47	46,26%
Ibirité	184.030	25,50	12.012	0,00	1.548,00	45,00%
Macapá	522.357	68,60	33.814	1,39	4.841,88	46,93%
Palhoça	178.679	48,60	22.627	7,42	4.876,64	50,00%
Patos de Minas	154.641	45,80	25.498	377,17	3.257,48	57,89%
Petrolina	359.372	73,60	34.540	21,16	5.263,82	49,10%
Porto Alegre	1.492.530	208,60	101.487	537,07	16.302,39	44,80%
Ribeirão das Neves	341.415	56,43	26.491	0,00	3.346,12	46,00%
Santa Luzia	221.705	48,30	22.386	247,00	2.864,68	57,87%
São Paulo	12.396.372	1.225,00	602.067	1.128,41	124.262,93	50,00%
São Vicente	370.839	33,40	25.460	249,63	4.839,27	62,60%
Sapucaia do Sul	142.508	24,83	11.382	2,85	2.136,40	66,22%

¹ <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>

Tabela 1 - Número de habitantes, área urbana, número de pontos de IP, carga LED + Outros, carga convencional e meta de eficiência por município (cont.)

Município	N de habitantes	Área urbana IBGE Google Earth (km ²)	Nº pontos IP	Carga LED + Outros (kW)	Carga convencional (kW - quiloWatt)	Meta eficiência
Teresina	871.126	180,50	87.079	162,16	13.420,64	52,70%
Vila Velha	508.655	65,50	34.930	6,43	7.789,30	62,52%
Média	-----	-----	-----	-----	-----	53,55%

Deve-se observar que na Tabela 1 são apresentados dados da carga de iluminação pública instalada em cada município. A carga é dividida em duas categorias: Carga convencional e Carga LED + Outros. A categoria “Carga convencional” refere-se às luminárias convencionais equipadas com lâmpadas de descarga a alta pressão. Já a categoria “Carga LED + Outros” refere-se aos pontos de iluminação pública equipados com luminárias LED, lâmpadas compactas, fluorescentes, halógenas, incandescentes e indução. Ressalta-se que esta categoria não é objeto do estudo por entender-se que a quantidade de pontos é pequena, ou que a substituição pela tecnologia LED não representaria redução de carga significativa (Angra dos Reis, 2019; Aracaju, 2020; Araguaína, 2016; Belém, 2020; Bento Gonçalves, 2019; Caieiras, 2019; Camaçari, 2020; Campinas, 2021; Caruaru, 2019; Curitiba, 2021; Feira de Santana, 2020; Franco da Rocha, 2020; Hortolândia, 2019; Ibirité, 2017; Macapá, 2019; Palhoça, 2018; Patos de Minas, 2021; Petrolina, 2019; Porto Alegre, 2019; Ribeirão das Neves, 2018; Santa Luzia, 2019; São Paulo, 2015; São Vicente, 2020; Sapucaia do Sul, 2020; Teresina, 2018; Vila Velha, 2019).

A Tabela 2 indica a quantidade total de pontos de iluminação pública, por tipo de lâmpada instalada no parque de iluminação pública dos 26 municípios analisados no estudo. Nesta tabela, o grupo “Outros” apresenta a soma das lâmpadas compactas, fluorescentes, halógenas, incandescentes e indução (Angra dos Reis, 2019; Aracaju, 2020; Araguaína, 2016; Belém, 2020; Bento Gonçalves, 2019; Caieiras, 2019; Camaçari, 2020; Campinas, 2021; Caruaru, 2019; Curitiba, 2021; Feira de Santana, 2020; Franco da Rocha, 2020; Hortolândia, 2019; Ibirité, 2017; Macapá, 2019; Palhoça, 2018; Patos de Minas, 2021; Petrolina, 2019; Porto Alegre, 2019; Ribeirão das Neves, 2018; Santa Luzia, 2019; São Paulo, 2015; São Vicente, 2020; Sapucaia do Sul, 2020; Teresina, 2018; Vila Velha, 2019).

Tabela 2 - Número de pontos de IP por tipo de lâmpada

Tipo de lâmpada	N° pontos	%
Mista	6.298	0,37%
Multivapor metálico	202.023	11,78%
Vapor de mercúrio de alta pressão	106.066	6,18%
Vapor de sódio de alta pressão	1.338.745	78,06%
LED	55.368	3,23%
Outros	6.542	0,38%
Total	1.715.042	100%

A Tabela 3 apresenta a quantidade de pontos de iluminação pública equipados com luminárias LED, enquanto a categoria “Outros” totaliza os pontos que utilizam lâmpadas compactas, fluorescentes, halógenas, incandescentes e indução (Angra dos Reis, 2019; Aracaju, 2020; Araguaína, 2016; Belém, 2020; Bento Gonçalves, 2019; Caieiras, 2019; Camaçari, 2020; Campinas, 2021; Caruaru, 2019; Curitiba, 2021; Feira de Santana, 2020; Franco da Rocha, 2020; Hortolândia, 2019; Ibitié, 2017; Macapá, 2019; Palhoça, 2018; Patos de Minas, 2021; Petrolina, 2019; Porto Alegre, 2019; Ribeirão das Neves, 2018; Santa Luzia, 2019; São Paulo, 2015; São Vicente, 2020; Sapucaia do Sul, 2020; Teresina, 2018; Vila Velha, 2019).

Tabela 3 - Número de pontos de IP com tecnologia LED e demais

Tipo de lâmpada e potência (W – Watt)	N° pontos	Representatividade* (%)
LED 1 W a 50 W	5.330	0,31077900%
LED 51 W a 70 W	22.586	1,31693500%
LED 71 W a 110 W	9.984	0,58214300%
LED 111 W a 150 W	5.582	0,32547300%
LED 151 W a 210 W	8.488	0,49491400%
LED 211 W a 330 W	3.398	0,19812900%
Outros	6.542	0,38144800%
Total	61.910	3,60982100%

*Valores percentuais calculados com base no total de 1.715.042 pontos de IP; valores truncados com precisão de oito dígitos.

Já a Tabela 4 indica as quantidades de pontos de iluminação pública por tipo e potência de fonte de luz para as lâmpadas de descarga a alta pressão (Angra dos Reis, 2019; Aracaju, 2020; Araguaína, 2016; Belém, 2020; Bento Gonçalves, 2019; Caieiras, 2019; Camaçari, 2020; Campinas, 2021; Caruaru, 2019; Curitiba, 2021; Feira de Santana, 2020; Franco da Rocha, 2020; Hortolândia, 2019; Ibité, 2017; Macapá, 2019; Palhoça, 2018; Patos de Minas, 2021; Petrolina, 2019; Porto Alegre, 2019; Ribeirão das Neves, 2018; Santa Luzia, 2019; São Paulo, 2015; São Vicente, 2020; Sapucaia do Sul, 2020; Teresina, 2018; Vila Velha, 2019).

Tabela 4 - Representatividade percentual do número de pontos de IP, por tipo e potência de lâmpada

Tipo de lâmpada	Potência lâmpada (W)	Perda reator (W)	Nº pontos	Representatividade* (%)
Mista	70	0	4.356	0,25398700%
Mista	125	0	2	0,00011600%
Mista	150	0	5	0,00029100%
Mista	160	0	938	0,05469200%
Mista	250	0	753	0,04390500%
Mista	300	0	1	0,00005800%
Mista	400	0	52	0,00303100%
Mista	500	0	191	0,01113600%
Multivapor metálico	70	14	17.620	1,02738000%
Multivapor metálico	100	17	4.203	0,24506600%
Multivapor metálico	125	17	20	0,00116600%
Multivapor metálico	150	22	74.655	4,35295400%
Multivapor metálico	250	23	64.086	3,73670100%
Multivapor metálico	360	36	30	0,00174900%
Multivapor metálico	400	29	38.512	2,24554200%
Multivapor metálico	1.000	50	2.786	0,16244500%
Multivapor metálico	1.500	80	4	0,00023300%
Multivapor metálico	2.000	80	96	0,00559700%
Multivapor metálico	3.500	80	11	0,00064100%
Vapor de mercúrio	70	10	2	0,00011600%
Vapor de mercúrio	80	10	10.959	0,63899300%
Vapor de mercúrio	100	14	8	0,00046600%

Tabela 4 - Representatividade percentual do número de pontos de IP, por tipo e potência de lâmpada (cont.)

Tipo de lâmpada	Potência lâmpada (W)	Perda reator (W)	Nº pontos	Representatividade* (%)
Vapor de mercúrio	125	14	52.373	3,05374400%
Vapor de mercúrio	150	17	77	0,00448900%
Vapor de mercúrio	250	25	13.854	0,80779300%
Vapor de mercúrio	400	36	28.781	1,67815100%
Vapor de mercúrio	1.000	70	12	0,00069900%
Vapor de sódio	70	14	329.476	19,21095800%
Vapor de sódio	100	17	360.764	21,03528600%
Vapor de sódio	125	14	16	0,00093200%
Vapor de sódio	150	22	247.200	14,41364100%
Vapor de sódio	250	30	332.521	19,38850400%
Vapor de sódio	350	35	19	0,00110700%
Vapor de sódio	360	36	39	0,00227300%
Vapor de sódio	400	38	68.644	4,00246700%
Vapor de sódio	1.000	90	44	0,00256500%
Vapor de sódio	1.500	80	22	0,00128200%
Total	-----	-----	1.653.132	96,39015600%

*Valores percentuais calculados com base no total de 1.715.042 pontos de IP; valores truncados com precisão de oito dígitos

Então, utilizando os dados apresentados na Tabela 1 obteve-se a Figura 2, que apresenta a relação entre o número de pontos de iluminação pública versus a área urbana dos municípios. Essa figura também apresenta a linha de regressão ajustada, com o coeficiente de determinação R^2 igual a 0,9993 (99,93%). O valor do coeficiente de determinação próximo a 100% indica que a equação explica toda a variabilidade dos dados de resposta ao redor da média.

Utilizando a equação apresentada na Figura 2 e as áreas urbanas apresentadas na Tabela 1, calculou-se o número de pontos de iluminação pública para os 26 municípios, totalizando 1.715.035 pontos. Ou seja, a equação apresentada para o cálculo do número de pontos de IP nos municípios com população igual ou superior a 100 mil habitantes apresenta correspondência aos valores reais.

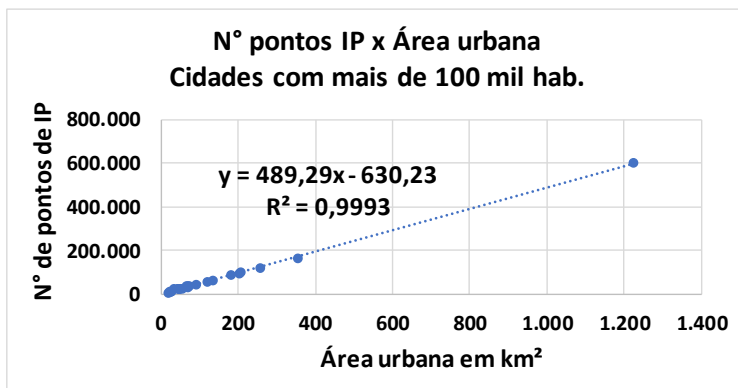


Figura 2 - Número de pontos de IP versus área urbana

De acordo com dados estatísticos apresentados no site do IBGE, existem no Brasil 326 municípios com população igual ou superior a 100 mil habitantes (IBGE, 2021a). Ainda, de acordo com os mapas das áreas urbanizadas do Brasil com a organização da tipologia do território apresentados pelo IBGE, e medições realizadas por meio do *software Google Earth Pro*, pôde-se determinar as áreas urbanas desses municípios (IBGE, 2021b).

Utilizando a equação apresentada na Figura 2, as áreas urbanas determinadas para os municípios, empregando os mapas apresentados pelo IBGE e medições realizadas com o *software Google Earth Pro*, pôde-se determinar a quantidade de 8.706.506 pontos de iluminação pública instalados nos 326 municípios com população igual ou superior a 100 mil habitantes.

Assumindo a representatividade percentual de distribuição das quantidades de pontos de iluminação pública para lâmpadas de descarga a alta pressão apresentada na Tabela 4, e a quantidade de pontos de iluminação pública estimada para os municípios com população igual ou superior a 100 mil habitantes (8.706.506 pontos), determinou-se a quantidade de pontos de IP por tipo e potência das lâmpadas, e a respectiva carga instalada, como apresentado na Tabela 5.

As perdas nos reatores, apresentadas na Tabela 5, foram consideradas de acordo com as normas ABNT NBR 13593:2013 – Reator e ignitor para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão – Especificações e ensaios, ABNT NBR 14305:2015 – Reator e ignitor para lâmpada a vapor metálico (halogenetos) – Requisitos e ensaios e ABNT NBR 5125:1996 – Reator para lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão (ABNT, 2015; ABNT, 2013; ABNT, 1996).

Tabela 5 - Número de pontos e carga por tipo e potência de lâmpada de descarga a alta pressão

Tipo de lâmpada	Potência lâmpada (W)	Perda reator (W)	Potência total (W)	Nº pontos*	Carga (kW)
Mista	70	0	70	22.113	1.547,91
Mista	125	0	125	10	1,25
Mista	150	0	150	25	3,75
Mista	160	0	160	4.761	761,76
Mista	250	0	250	3.822	955,50
Mista	300	0	300	5	1,50
Mista	400	0	400	263	105,20
Mista	500	0	500	969	484,50
Multivapor metálico	70	14	84	89.448	7.513,63
Multivapor metálico	100	17	117	21.336	2.496,31
Multivapor metálico	125	17	142	101	14,34
Multivapor metálico	150	22	172	378.990	65.186,28
Multivapor metálico	250	23	273	325.336	88.816,73
Multivapor metálico	360	36	396	152	60,19
Multivapor metálico	400	29	429	195.508	83.872,93
Multivapor metálico	1.000	50	1.050	14.143	14.850,15
Multivapor metálico	1.500	80	1.580	20	31,60
Multivapor metálico	2.000	80	2.080	487	1.012,96
Multivapor metálico	3.500	80	3.580	55	196,90
Vapor de mercúrio	70	10	80	10	0,80
Vapor de mercúrio	80	10	90	55.633	5.006,97
Vapor de mercúrio	100	14	114	40	4,56
Vapor de mercúrio	125	14	139	265.874	36.956,49
Vapor de mercúrio	150	17	167	390	65,13
Vapor de mercúrio	250	25	275	70.330	19.340,75
Vapor de mercúrio	400	36	436	146.108	63.703,09
Vapor de mercúrio	1.000	70	1.070	60	64,20
Vapor de sódio	70	14	84	1.672.603	140.498,65
Vapor de sódio	100	17	117	1.831.438	214.278,25
Vapor de sódio	125	14	139	81	11,26
Vapor de sódio	150	22	172	1.254.924	215.846,93
Vapor de sódio	250	30	280	1.688.061	472.657,08

Tabela 5 - Número de pontos e carga por tipo e potência de lâmpada de descarga a alta pressão (cont.)

Tipo de lâmpada	Potência lâmpada (W)	Perda reator (W)	Potência total (W)	Nº pontos*	Carga (kW)
Vapor de sódio	350	35	385	96	36,96
Vapor de sódio	360	36	396	197	78,01
Vapor de sódio	400	38	438	348.475	152.632,05
Vapor de sódio	1.000	90	1.090	223	243,07
Vapor de sódio	1.500	80	1.580	111	175,38
Total	-----	-----	-----	8.392.198	1.589.513

*Valores truncados com precisão de 0 dígitos.

Com a carga de iluminação pública estimada pode-se calcular os benefícios da efficientização do parque de IP das cidades com população igual ou superior a 100 mil habitantes. Para isso, deve-se assumir algumas premissas, sendo:

- Carga de IP estimada: 1.589.513 kW – valor apresentado na Tabela 5;
- Meta de efficientização média: 53,55% - média dos valores apresentados na Tabela 1;
- Tempo médio de faturamento: 11 horas e 25 minutos, ou 11,42 horas.

Estudos indicam que, quando comparado às lâmpadas convencionais, o consumo de energia elétrica pela tecnologia LED é aproximadamente 50% menor (OLIVEIRA, 2020b; NOVICKI e MARTINEZ, 2008).

A Resolução Normativa nº 2.590, de 13 de agosto de 2019, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, indica que os tempos de faturamento do setor de iluminação pública variam entre 11,37 horas e 11,48 horas, de acordo com a localização do município (ANEEL, 2019). Neste estudo foi considerado o valor de 11,42 horas, média dos valores para os tempos de faturamento, como o tempo de funcionamento do sistema de iluminação pública.

A equação (1) pode ser utilizada para o cálculo da carga do parque de IP pós-modernização com aplicação da meta de efficientização.

$$Carga_{pós-mod.} = Carga_{pré-mod.} \times (1 - Meta_{efic.}) \quad (1)$$

Sendo:

- $Carga_{pós-mod.}$: carga do parque de IP pós-modernização (em kW);
- $Carga_{pré-mod.}$: carga do parque de IP pré-modernização – valor estimado em 1.589.513 kW – Tabela 5;
- $Meta_{efic.}$: meta de efficientização igual a 53,55% – considerada a média dos valores apresentados na Tabela 1.

A aplicação da equação (1) indica que a carga de IP pós-modernização seria de 738.329 kW.

A equação (2) pode ser utilizada para o cálculo da redução de carga alcançada com a modernização do parque de IP.

$$Redução_{carga} = Carga_{pré-mod.} - Carga_{pós-mod.} \quad (2)$$

Sendo:

- $Redução_{carga}$: redução de carga alcançada ou esperada após a modernização do parque de IP (em kW);
- $Carga_{pré-mod.}$: carga do parque de IP pré-modernização (em kW);
- $Carga_{pós-mod.}$: carga do parque de IP pós-modernização (em kW).

Aplicando a equação (2) com a carga do parque de IP nas situações de pré-modernização (1.589.513 kW) e pós-modernização (738.329 kW), observa-se que a redução de carga seria de 851.184 kW.

A equação (3) pode ser utilizada para o cálculo do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação pública.

$$Cons_{energia} = Carga_{inst.} \times N^{\circ} dias \times T_{fat.diário} \quad (3)$$

Sendo:

- $Cons_{energia}$: consumo de energia elétrica (em MWh – MegaWatt-hora);
- $Carga_{inst.}$: carga do parque de IP na situação pré-modernização ou pós-modernização (em MW - MegaWatt);
- $N^{\circ} dias$: número de dias em que ocorre consumo de energia elétrica (operação do parque de IP);
- $T_{fat.diário}$: tempo diário de faturamento do consumo de energia elétrica pelo parque de IP – 11,42 horas.

Aplicando a equação (3) nas situações de pré-modernização (carga: 1.589.513 kW ou 1.589,513 MW) e pós-modernização (carga: 738.329 kW ou 738,329 MW), observa-se que o consumo anual (365 dias) de energia seria respectivamente de 6.625.567 MWh e 3.077.577 MWh.

A equação (4) pode ser utilizada para o cálculo da redução de consumo de energia elétrica alcançada com a modernização do parque de IP.

$$Redução_{consumo} = Cons_{pré-mod.} - Cons_{pós-mod.} \quad (4)$$

Sendo:

- $Redução_{consumo}$: redução do consumo de energia elétrica alcançada ou esperado após a modernização do parque de IP (em MWh);
- $Cons_{pré-mod.}$: consumo de energia elétrica do parque de IP pré-modernização (em MWh);
- $Cons_{pós-mod.}$: consumo de energia elétrica do parque de IP pós-modernização (em MWh).

Aplicando a equação (4) nas situações de pré-modernização (consumo: 6.625.567 MWh) e pós-modernização (consumo: 3.077.577 MWh), observa-se que a redução do consumo anual de energia seria de 3.547.990 MWh, ou 3.547,990 GWh.

O Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 da EPE indica que foram consumidos 319.290 GWh de energia no ano de 2019 entre os consumidores cativos. Desse total, o setor de iluminação pública foi responsável por consumir 15.850 GWh (4,96%) (EPE, 2021c).

Assim, observa-se que a modernização dos pontos de iluminação pública equipados com lâmpadas de descarga a alta pressão, instalados em cidades com população igual ou superior a 100 mil habitantes, representaria redução de 22,38% do consumo total do parque de IP brasileiro, ou 1,11% do consumo total entre os consumidores cativos.

Os percentuais de redução apresentados anteriormente poderiam ser maiores, tendo em vista que as luminárias LED podem ser dimerizadas, isto é, podem ter sua potência alterada conforme os fluxos de pedestres e veículos variam ao longo da noite. Ou seja, em horários de menor movimento nas vias, a potência das luminárias poderia ser diminuída através do Centro de Controle Operacional – CCO do parque de IP, fazendo com que as luminárias apresentassem uma diminuição de consumo ainda maior em relação à potência instalada do parque (OLIVEIRA et al., 2021).

4. CONCLUSÃO

A metodologia apresentada e a equação determinada que descreve a relação entre o número de pontos de iluminação pública e a área urbana, podem ser utilizados para estimar e caracterizar o parque de IP de qualquer cidade com população igual ou superior a 100 mil habitantes, onde os dados não sejam conhecidos ou não estejam disponíveis.

As análises realizadas e apresentadas indicam que o parque de iluminação pública brasileiro é composto por 17.978.986 pontos, responsáveis pelo consumo anual de 15.850 GWh de energia elétrica (OLIVEIRA, 2022a; EPE, 2021c). Desse total, as análises indicam que 8.706.506 pontos, ou 48,43% do parque de IP brasileiro, estão instalados nos 326 municípios com população igual ou superior a 100 mil habitantes. As análises também apontam que dos 8.706.506 pontos instalados nas 326 cidades, 8.392.198 pontos, ou 46,68% do parque de IP brasileiro, estão equipados com lâmpadas de descarga a alta pressão, sendo responsáveis pelo consumo anual de 6.625,567 GWh de energia elétrica, ou 41,80% do consumo total de energia elétrica com iluminação pública.

A meta de eficiência média de 53,55%, alcançada com a modernização dos pontos de IP equipados com lâmpadas de descarga a alta pressão nos 326 municípios, pode representar redução de 3.547,990 GWh no consumo anual de energia elétrica. Ou seja, a modernização desses parques de IP pode representar redução de 22,38% no consumo de energia elétrica de todo o parque de IP brasileiro, ou 1,11% de redução do consumo entre os consumidores cativos.

A modernização do parque de iluminação pública pode contribuir para a redução do consumo de energia elétrica no período noturno, inclusive durante o horário de ponta. Essa energia economizada ficaria armazenada nas usinas hidrelétricas na forma de energia potencial, sendo utilizada ao longo do dia pelos demais setores, como indústria, comércio e serviços públicos.

Assim, observa-se que a modernização do parque de iluminação pública é uma ferramenta de eficiência energética que pode contribuir para evitar o desperdício de energia elétrica, principalmente nos momentos de crise energética.

E, como observado anteriormente, aproximadamente 57% da população brasileira reside nas 326 cidades mais populosas e todos esses cidadãos seriam impactados positivamente com os benefícios de uma iluminação pública de qualidade, citando-se:

- a. Geração de empregos, tanto durante a fase de modernização quanto na fase de operação do parque de IP;

- b. Diminuição do tempo de interrupção do serviço de IP, uma vez que as luminárias LED apresentam menos falhas em relação as outras tecnologias, e que parte das luminárias são monitoradas em tempo real através de telegestão;
- c. Melhoria da qualidade da iluminação pública e atendimento aos parâmetros de normas da ABNT;
- d. Diminuição da poluição luminosa das principais cidades do país;
- e. Possibilidade de diminuição de acidentes de trânsito, uma vez que ruas e calçadas melhor iluminadas podem contribuir para que condutores de veículos tenham uma maior percepção dos pedestres e ciclistas;
- f. Melhoria na sensação de segurança do cidadão, uma vez que vias mal iluminadas são um desestímulo para o cidadão permanecer na rua após o anoitecer, e uma oportunidade para pessoas mal-intencionadas;
- g. Possibilidade de atendimento de áreas atualmente não iluminadas nas cidades com iluminação de pontos escuros e áreas de demanda reprimida;
- h. A modernização da rede de iluminação pública pode abrir espaço para a expansão de outras atividades relacionadas, por exemplo implementação de aplicações de cidades inteligentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. O que é eficiência energética? (EE) – São Paulo: ABESCO, 2021. Disponível em <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: 20 out. 2021.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5125:1996 - Reator para lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão. Rio de Janeiro, p. 17, 1996.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 13593:2013 - Reator e ignitor para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão - Especificações e ensaios. Rio de Janeiro, p. 45, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 14305:2015 - Reator e ignitor para lâmpada a vapor metálico (halogenetos) - Requisitos e ensaios. Rio de Janeiro, p. 46, 2015.

ABRASI – Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Iluminação Urbana. Dados do setor – – São Paulo: ABRASI, 2021. Disponível em <<http://www.abrasi.org.br/iluminacao-urbana/2/dadosdo-setor/>>. Acesso em: 17 out. 2021.

ALMEIDA, D. P.; MAIA, A. C. B.; FERRAZ, C. A.; MORO, D. S.; KONZEN, G.; ANDRADE, G. N.; SOUZA, M. A.; AMORIM, A. C.; PONTE, G. P.; SOARES, J. B.; EPE. Ações de eficiência energética: estudo de caso com base no sistema isolado de Roraima. In: XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE, 25., 2019, Belo Horizonte. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-458/GCR10%20-%203789.pdf>>. Acesso em: Set. 2022.

ANGRA DOS REIS, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Relatório de Diagnóstico Técnico da Rede de Iluminação Pública de Angra dos Reis-RJ. Angra dos Reis, 2019. Disponível em <<https://ppp.angra.rj.gov.br/downloads/iluminacaopublica/1/DiagnosticoTecnicoDaRededelluminacaoPublicadeAngradosReis.pdf>>. Acesso em: Dez. 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Homologatória nº 2.590 de 13 de agosto de 2019. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192590ti.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2019.

ARACAJU, PREFEITURA MUNICIPAL DE. PPP de Iluminação Pública de Aracaju – Diagnóstico Técnico. Aracaju, 2020. Disponível em <<https://www.aracaju.se.gov.br/pdf/ppp-iluminacao-2020/estudos/relatorio-diagnostico-tecnico.pdf>>. Acesso em: Out. 2021.

ARAGUAÍNA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Descrição Técnica das Soluções de Engenharia e Tecnologia (obras a serem executadas - investimentos) e dos Serviços de Gestão do Parque Luminotécnico. Araguaína, 2016. Disponível em <<https://cpl.araguaina.to.gov.br/AudienciaPublica.aspx>>. Acesso em: Out. 2021.

BELÉM, PREFEITURA MUNICIPAL DE. PPP de Iluminação Pública de Belém – Diagnóstico Técnico. Belém, 2020. Disponível em <<http://cgppp.belem.pa.gov.br/iluminacao-publica/>>. Acesso em: Out. 2021.

BENTO GONÇALVES, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Caderno 1 – Modelagem Técnica de Engenharia. Bento Gonçalves, 2019. Disponível em <<http://ppps.bentogoncalves.rs.gov.br/paginas/Iluminacao-publica-ML>>. Acesso em: Out. 2021.

BERNARDES, D. M.; CELESTE, W. C.; CHAVES, G. L. D. Eficiência energética na iluminação pública urbana: revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias. Research, Society and Development, v.9, n. 7, pp. 1 – 21, 2020. Disponível em <Vol. 9 No. 7 | Research, Society and Development (rsdjournal.org)>. Acesso em: Ago. 2021.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos [...]. Brasília, DF, [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: Nov. 2021.

CAIEIRAS, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Relatório de Engenharia. Caieiras, 2019. Disponível em < <https://drive.google.com/drive/folders/1xJxh69IHJJHPhMEy2zvckNpolyE42Bm8>>. Acesso em: Out. 2021.

CAMAÇARI, PREFEITURA MUNICIPAL DE. PPP de Iluminação Pública – Diagnóstico Técnico. Camaçari, 2020. Disponível em < http://parcerias.camacari.ba.gov.br/?page_id=372>. Acesso em: Out. 2021.

CAMPINAS, PREFEITURA MUNICIPAL DE. PPP de Iluminação Pública – Relatório Técnico. Campinas, 2021. Disponível em < <https://www.campinas.sp.gov.br/ppp-iluminacao.php>>. Acesso em> Out. 2021.

CARUARU, PREFEITURA MUNICIPAL DE. PPP de Iluminação Pública – 02 – Diagnóstico Técnico da Rede de Iluminação Pública. Caruaru, 2019. Disponível em < <https://caruaru.pe.gov.br/lista-de-documentos-ppp/>>. Acesso em: Out. 2021.

CURITIBA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Estruturação de Projeto de Parceria Público-Privada (PPP) da Rede de Iluminação Pública de Curitiba/PR – Produto 2: Relatório de Diagnóstico Técnico da Rede de Iluminação Pública. Curitiba, 2021. Disponível em < <https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/iluminacao-publica-curitiba-estudos-e-modelagem-do-projeto/3373>>. Acesso em: Out. 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Anuário estatístico de energia elétrica 2011 – Rio de Janeiro: EPE, 2011. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/resultado-de-busca?k=anu%C3%A1rio%20estat%C3%ADstico>>. Acesso em: Out. 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020 – Rio de Janeiro: EPE, 2021a. Disponível em < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: Out. 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Eficiência energética – Rio de Janeiro: EPE, 2021b. Disponível em < <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: Out. 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Anuário estatístico de energia elétrica 2021 – Rio de Janeiro: EPE, 2021c. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/resultado-de-busca?k=anu%C3%A1rio%20estat%C3%ADstico>>. Acesso em: Out. 2021.

FEIRA DE SANTANA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. PPP de Iluminação Pública de Feira de Santana – Diagnóstico Técnico. Feira de Santana, 2020. Disponível em < http://www.feiradesantana.ba.gov.br/servicos.asp?id=2&s=a&link=seadm/licitacoes_pm.asp&cat=PMFS&dt=08-2020>. Acesso em: Out. 2021.

FILHO, J. P. C.; SILVA, J. A. A.; LEAL, S. S. A economia de energia elétrica na iluminação pública com o uso de lâmpadas LED: estudo de caso da Avenida Recife. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v.7, .n.11, pp. 1 – 21, Nov. 2021. Disponível em < <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/2989>>. Acesso em: Set. 2022.

FRANCO DA ROCHA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. PPP de Iluminação Pública – Relatório Técnico. Franco da Rocha, 2020. Disponível em < <https://www.francodarocha.sp.gov.br/franco/index/consulta-publicailuminacao2019>>. Acesso em: Out. 2021.

FRAGOSO, A. P.; FORTES, M. Z.; MORAES, D. A. P.; LOPES; A. P.; PEREIRA, A. M. E. Análise da economia de energia com dimerização quando da aplicação da tecnologia LED na iluminação pública – estudo de caso: cidade do Rio de Janeiro. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE, 8., 2020. Disponível em <https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/2298>. Acesso em: Set. 2022.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. Estudos Avançados, 29, pp. 43 – 68, 2015. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/ea/a/vkWLM6pfvzMGj8NxysXHbZm/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em: Nov. 2021.

HORTOLÂNDIA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Anexo I – Projeto Básico. Hortolândia, 2019. Disponível em < <http://licitacao.hortolandia.sp.gov.br/licitacao/encerrados/16/mostrar>>. Acesso em: Out. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao>>. Acesso em: Ago. 2021a.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas urbanizadas do Brasil. Disponível em <https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/tipologias_do_territorio/areas_urbanizadas_do_brasil/2015/Mapas/>. Acesso em: Ago. 2021b.

IBIRITÉ, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Estruturação da Concessão da Rede de Iluminação Pública do Município de Ibirité – Caderno 1 – Caderno Técnico. Ibirité, 2017. Disponível em < <https://www.ibirite.mg.gov.br/detalhe-da-licitacao/info/cp-7-2019/231>>. Acesso em: Out. 2021.

MACAPÁ, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Anexo III – Vias Levantadas e Análise das Soluções Luminotécnicas. Macapá, 2019. Disponível em < <https://macapa.ap.gov.br/consulta-publica-iluminacao-publica-macapa/>>. Acesso em: Dez. 2019.

NEPOMUCENO, M. S.; CASAGRANDE, C. G.; JESUS, H. C. S. A.; ALMEIDAA, A. Z. G. Retrofit da iluminação pública através do emprego de luminárias LED. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2019. Disponível em <<https://www.confed.org.br/sites/default/files/uploadsimce/Contecc2019/EI%20C3%A9trica/RETROFIT%20DA%20ILUMINA%20C3%87%20C3%83O%20PUBLICA%20ATRAVES%20DO%20EMPREGO%20DE%20LUMINARIAS%20LED.pdf>>. Acesso em: Set. 2022.

NOVICKI, J. M.; MARTINEZ, R. LEDs para iluminação pública. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008. Disponível em <<http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/41.pdf>>. Acesso em: Ago. 2021.

OLIVEIRA, R. D. Índice de falha no sistema de iluminação pública brasileiro – análise de caso. Espaço Energia, n. 32, pp. 20 – 29, 2020a. Disponível em <<http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/32/EE032.pdf>>. Acesso em: Ago. 2021.

OLIVEIRA, R. D. Benefícios das luminárias LED para o setor de iluminação pública brasileiro. Espaço Energia, n. 33, pp. 21 – 32, 2020b. Disponível em <<http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/32/EE032.pdf>>. Acesso em: Ago. 2021.

OLIVEIRA, R. D.; MELERO, J. C. M.; REIS, M. A. C.; SOUZA, M. M.; SOUZA, L. S.; RODRIGUES, D. S. Avaliação da telegestão na iluminação pública brasileira – estudo de caso. Espaço Energia, n. 34, pp. 21 – 32, 2021. Disponível em < <http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/34/34a.htm>>. Acesso em: Ago. 2021.

PALHOÇA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Anexo I – Memorial Descritivo Técnico. Palhoça, 2018. Disponível em < <http://www1.palhoca.sc.gov.br/consultailuminacao/Anexo%20I%20-%20Memorial%20T%c3%a9cnico.pdf>>. Acesso em: Dez. 2019.

PATOS DE MINAS, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Relatório Técnico da Rede Municipal de Iluminação Pública de Patos de Minas. Patos de Minas, 2021. Disponível em < <http://patosdeminas.mg.gov.br/home/pppiluminacaopublica/>>. Acesso em: Out. 2021.

PETROLINA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Estruturação de Projeto de Parceria Público-Privada (PPP) da Rede de Iluminação Pública de Petrolina/PE – Produto 2: Relatório de Diagnóstico Técnico da Rede de Iluminação Pública. Petrolina, 2019. Disponível em < <https://petrolina.pe.gov.br/parceria-publico-privada-ppp-da-iluminacao/>>. Acesso em: Out. 2021.

PORTO ALEGRE, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Relatório de Diagnóstico Técnico da Rede de Iluminação Pública de Porto Alegre. Porto Alegre, 2019. Disponível em < https://www2.portoalegre.rs.gov.br/ppp/default.php?p_secao=1454>. Acesso em: Dez. 2019.

RIBEIRÃO DAS NEVES, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Caderno2: Modelo Técnico Operacional. Ribeirão das Neves, 2018. Disponível em <<https://www.ribeiraodasneves.mg.gov.br/detalhe-da-licitacao/info/con-9-2018/10316>>. Acesso em: Out. 2021.

SANTA LUZIA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Relatório de Diagnóstico Técnico da Rede de Iluminação Pública de Santa Luzia/MG. Santa Luzia, 2019. Disponível em <<https://www.santaluzia.mg.gov.br/v2/wp-content/uploads/2019/08/Caderno-1-Diagn%C3%B3stico-T%C3%A9cnico-de-Rede-IP.pdf>>. Acesso em: Dez. 2019.

SÃO PAULO, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Subanexo VI – Lâmpadas do Cadastro Técnico. São Paulo, 2015. Disponível em <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/spregula/iluminacao_publica/noticias/?p=206645>. Acesso em: Out. 2021.

SÃO VICENTE, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Relatório de Diagnóstico da Rede de Iluminação Pública. São Vicente, 2020. Disponível em < <https://www.saovicente.sp.gov.br/8406>>. Acesso em: Out. 2021.

SAPUCAIA DO SUL, PREFEITURA MUNICIPAL DE. PPP de Iluminação Pública de Sapucaia do Sul – Relatório Técnico. Sapucaia do Sul, 2020. Disponível em <<https://www.sapucaiaodosul.rs.gov.br/ppp-ip/>>. Acesso em: Out. 2021.

SOUZA, A. C. B. P.; FORTES, M. Z.; SANTOS, M. T.; MEDINA, V. P. Potencial de eficientização dos sistemas de iluminação pública. Revista de Tecnologia Aplicada (RTA), v.10, n.3, pp. 18 – 32, Set-Dez 2021. Disponível em < <http://www.cc.faccamp.br/ojs-2.4.8-2/index.php/RTA/article/view/1702/826>>. Acesso em: Set. 2022.

STUTZ, P. V. S; SOUSA, J. C. A.; YAMAGUCHI, N. U.; REZENDE, L. C. S. H.; IMAI, H. E. Sistema LED: uma alternativa sustentável para iluminação pública. Enciclopédia Biosfera, v.15, n.28, pp. 1500 – 1509, 2018. Disponível em <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2018B/ENG/sistema%20led.pdf>>. Acesso em: Set. 2022.

TERESINA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Relatório de Engenharia. Teresina, 2018. Disponível em <<https://semcop.pmt.pi.gov.br/documentos-edital-iluminacao-publica/>>. Acesso em: Out. 2021.

VILA VELHA, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Iluminação Pública de Vila Velha – Relatório de Engenharia Final. Vila Velha, 2019. Disponível em <<https://www.vilavelha.es.gov.br/licitacoes/view/3921>>. Acesso em: Dez. 2019.