

A UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA COMO ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DO CONSUMO NO HORÁRIO DE PONTA

THE USE OF PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY IN PUBLIC LIGHTING AS AN ALTERNATIVE TO REDUCE CONSUMPTION AT RUNNING HOURS

Luiz Antônio Perrone Ferreira de Brito¹
Ednaldo Max Silva²

Data de recebimento: 15/05/2021

Data de aceite: 17/06/2021

Resumo

O presente artigo tem como objetivo avaliar as questões que envolvem o consumo de energia elétrica da iluminação pública tradicional, visando reduzir o consumo no horário de ponta por meio da utilização de módulos fotovoltaicos na iluminação pública do município de São Paulo. Os módulos de iluminação integrados possuem o potencial de contribuir para a redução da demanda de energia no horário de pico, que coincide com o acionamento da iluminação pública. O processo de organização e coleta de dados ocorreu por meio de documentos, base de dados de órgãos governamentais e referências bibliográficas. Ao examinar as informações apresentadas no artigo, é possível constatar que a utilização da tecnologia fotovoltaica na iluminação pública do município de São Paulo pode reduzir o consumo da rede elétrica convencional no horário de ponta, promovendo a redução da saturação do sistema durante esse período.

Palavras-chave: Desenvolvimento regional. Iluminação pública. Energia fotovoltaica.

Abstract

¹ Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e Graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Vale do Paraíba. É professor da Universidade de Taubaté (UNITAU), onde também é pesquisador do Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Propagação de ruído e vibração industrial ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, acústica arquitetônica, isolamento acústico, ruído ambiental e meio ambiente (EIA e RIMA), potência sonora e intensimetria, vibração devido ao tráfego ferroviário, rodoviário, bate estacas e conforto ambiental em geral. E-mail: labrito@bighost.com.br

² Mestre em Gestão e Desenvolvimento Regional pela Universidade de Taubaté (2019), especialista em Gestão Estratégica de Pessoas pela Faculdade Educacional da Lapa (2017), tecnólogo em Processos Gerenciais pela Universidade Estácio de Sá (2016), técnico em Eletrotécnica (2016) e Mecânica Industrial (2015) pelo Centro de Tecnologia Educacional Profissional e Inclusão Social do Brasil. E-mail: maxx_@outlook.com

This article aims to evaluate the issues involving the consumption of electricity from traditional public lighting, aiming to reduce consumption during peak hours through the use of photovoltaic modules in public lighting in the city of São Paulo. Integrated lighting modules have the potential to contribute to the reduction of peak energy demand that coincides with the provision of public lighting. The process of organizing and collecting data occurred through documents, database of government agencies and bibliographic references. By examining the information presented in the article, it is clear that the use of photovoltaic technology in public lighting in the municipality of São Paulo can reduce the demand of conventional electric grid at peak hours, promoting a reduction in system saturation during this period.

Keywords: Regional development. Public lighting. Photovoltaic energy.

Introdução

A demanda energética é uma questão que envolve todos os países, dos mais desenvolvidos aos que estão em desenvolvimento. Essa condição acaba promovendo um cenário de incertezas, que vai muito além dos combustíveis fósseis (FARIAS; SELLITTO, 2011). O Brasil, apesar de dispor de uma matriz energética diversificada, ainda depende de algumas fontes de energia não renováveis, tais como o petróleo e o carvão mineral (TOLMASQUIM, 2012). No entanto, mesmo com uma situação próxima da ideal, com os reservatórios plenos de água, o setor ainda possui certa dificuldade em gerar e distribuir a energia elétrica na Região Sudeste, a que mais consome energia no Brasil, principalmente nos períodos de maior demanda energética, como é o caso dos horários de ponta (MARENGO, 2015; FUGIMOTO, 2010). A geração de energia elétrica por meio da tecnologia fotovoltaica pode ser uma alternativa para maximizar a produção de energia nas regiões com grande concentração urbana (DRUMOND JÚNIOR *et al.*, 2018).

O horário de ponta corresponde a um período de grande demanda no qual a rede de distribuição de energia elétrica tem um pico de consumo que ocorre entre as 18 e 21 horas (FOGLIATTO, 2005). Segundo Masseroni e Oliveira (2012), as concessionárias operam os sistemas de geração e distribuição próximos dos seus respectivos limites de carga e essa demanda pode gerar os chamados apagões. A carga de ponta chega a representar 90% da capacidade de distribuição de energia elétrica das concessionárias, diferente da carga base, que ao longo dos horários fora da ponta, fica entre 60% e 70% da capacidade (FUGIMOTO, 2010). Dessa forma, todo o sistema de geração e distribuição de energia é dimensionado para suprir a demanda do horário de ponta, mesmo que o consumo reduza no restante do período. Uma das maneiras de minimizar os efeitos do horário de ponta é o aumento da tarifa cobrada de forma a reduzir o consumo nesse período, e para compensar a operação das usinas que operam a margem do sistema, em geral as usinas termelétricas (UTE).

Considere-se também que as pequenas centrais hidroelétricas (PCH) não possuem capacidade de sustentar o sistema neste período (BRITO e COSTA, 2019). A elevação tarifária do horário de ponta, em certos casos, é contornada com a autogeração de energia, em geral utilizando geradores a diesel ou queima de madeira, mais poluentes e menos eficientes. O período de ponta na Região Sudeste ocorre em um intervalo de tempo demanda de energia elétrica aumenta de forma rápida, chegando muito próximo do limite da rede elétrica. Durante esse intervalo de tempo, existem alguns fatores que podem influenciar de forma direta na carga do período de ponta, como as condições climáticas (índices pluviométricos e umidade do ar), temperatura e o horário de verão, quando este é aplicado (KADOWAKI *et al.*, 2004).

Outra forma de reduzir o risco no sistema de distribuição de energia é a utilização das termelétricas. As usinas termelétricas possuem um custo de implantação inferior as das demais usinas, além dessas serem construídas em menor tempo. Essas usinas são empregadas para garantir maior segurança para o sistema de distribuição de energia nos períodos com menos chuvas ou de maior demanda (horário de ponta), uma vez que estas não dependem das condições climáticas. No entanto, a produção de energia pelas termelétricas possui um custo mais alto que as demais formas de geração, além da desvantagem das expressivas emissões de gases poluentes (BRACIANI, 2011).

Ao analisar o crescimento do consumo de energia elétrica proveniente da iluminação pública, no período correspondente aos anos de 2011 a 2016, é possível constatar que o aumento percentual do crescimento do consumo nacional em relação ao do Estado de São Paulo foi de 227,84% devido às políticas públicas implantadas (EPE, 2016; EPE, 2017). No Estado de São Paulo a iluminação pública já está consolidada e a maior parcela da demanda vem das indústrias, o que justifica o menor crescimento. Em

virtude de tal crescimento e a coincidência do horário de acionamento da iluminação pública com o horário de ponta do sistema, faz-se necessária a busca de alternativas para reduzir a influência da iluminação pública no horário de ponta. Nessa situação, as fontes de energia como a fotovoltaica são uma alternativa para a redução do consumo de energia no horário de ponta, quando normalmente as termoelétricas entram em operação.

O trabalho tem como objetivo avaliar as questões que envolvem o consumo de energia elétrica da iluminação pública tradicional, visando reduzir o consumo no horário de ponta por meio da utilização de módulos fotovoltaicos na iluminação pública do município de São Paulo.

Método

O município de São Paulo foi o plano de estudo principal desta pesquisa, por ser o maior consumidor de energia elétrica no país e possuir dados organizados para suporte a pesquisa. A seleção e o tratamento de dados brutos, oriundos dos Anuários Estatísticos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), possibilitou o embasamento técnico necessário para mensurar o consumo de energia elétrica da iluminação pública no Brasil, no Estado e no município de São Paulo. A tarifa do horário de pico do município de São Paulo foi comparada com o consumo em kWh da iluminação pública da mesma, objetivando estimar o custo desse serviço nos períodos de maior demanda energética para depois analisar a possível economia que os postes autossuficientes podem gerar nesse cenário (SÃO PAULO, 2013a).

O estudo sobre a radiação solar do município de São Paulo teve o objetivo de avaliar se o município estudado possui a condição solar adequada ao emprego da tecnologia fotovoltaica, utilizando dados da Secretaria de Energia do Estado de São Paulo. O estudo sobre o horário de ponta foi responsável por verificar a quantidade de energia elétrica que foi consumida pelo Município de São Paulo em 2016, aferindo de forma específica o consumo da iluminação pública. A realização do estudo evidenciou a durabilidade dos principais componentes que compõem os módulos de iluminação integrados com o objetivo de avaliar sua vida útil.

A execução do estudo sobre os custos dos módulos de iluminação integrados, modelo ST100-033, com a fabricante *G-lights Lighting Factory*, possibilitou o registro da possível economia de escala que a compra em grande quantidade poderia proporcionar. O modelo em questão foi escolhido para ser o objeto de estudo do artigo por conta da sua estrutura integrada centralizada, uma vez que o módulo possui todos os seus componentes integrados no mesmo bloco, lâmpadas LED, bateria, fotocélula, facilitando a troca do conjunto, quando for necessário, reduzindo assim os custos de manutenção.

A avaliação financeira foi aferida por meio da cotação do custo total dos módulos de iluminação integrados e na sequência foi realizado um cálculo com objetivo de identificar a economia em kWh que tais luminárias podem gerar, uma vez que esse sistema não utiliza a energia elétrica da concessionária.

O cálculo da redução do consumo de energia elétrica da iluminação pública e a comparação com o consumo energético de outros municípios foi realizada para gerar uma escala de eficiência do sistema proposto com base nos dados coletados da Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo. Ainda também analisados os dados de consumo da iluminação pública em todo o Estado de São Paulo para também avaliar os efeitos dos postes autossustentáveis na redução da demanda no horário de ponta, pois estado consome cerca de 28% da energia gerada no Brasil (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017).

Resultados

Entre os anos de 1992 e 2017, o crescimento mundial da capacidade instalada da energia fotovoltaica ocorreu como uma curva exponencial (PEREIRA, 2019). O Estado de São Paulo, mais precisamente a capital, apresenta condições climáticas e econômicas favoráveis ao desenvolvimento sustentável dessa tecnologia. Segundo a Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo (2013b), a média anual de radiação solar na capital paulista é viável para o emprego da tecnologia fotovoltaica. As condições atmosféricas exercem grande influência sobre a capacidade de radiação solar. A nebulosidade e a umidade relativa do ar são exemplos de alguns fatores que podem contribuir para a disponibilidade da luz do Sol. Como é possível observar na Figura 1, dentre os municípios que compõem o Estado de São Paulo, Araçatuba foi o que teve a maior média anual de incidência solar (SÃO PAULO, 2013b), mas de maneira geral, praticamente todo o estado possui condições favoráveis para tal, com exceção do Vale da Ribeira a Sudoeste do estado.

Figura 1: Incidência solar global média anual no Estado de São Paulo



Fonte: Adaptado de São Paulo, 2013b.

São Paulo é o município que mais consome energia elétrica do país necessitando de grandes investimentos em infraestrutura para que a cidade consiga atender a sua demanda energética (SÃO PAULO, 2017, BICHIR, 2009). O consumo de energia elétrica no horário de ponta em 2016 no município de São Paulo foi cerca de 88.487 MWh (Silva, 2019) e equivale a 17% do total consumido pela iluminação pública fora de ponta, 541.400. MWh. Em relação cenário nacional o consumo do município de São Paulo corresponde a 3,5% (SILVA, 2019). Dessa forma, a energia elétrica da iluminação pública do município de São Paulo que pode ser reduzida no horário de ponta equivale ao consumo total do município de José Bonifácio - SP, com cerca de 37.500 habitantes (SÃO PAULO, 2017). A redução no consumo de energia elétrica durante o horário de ponta é equivalente à capacidade de produção de uma de usina de médio porte, como a Termelétrica Juiz de Fora, que possui uma potência instalada de 87.000 MWh (PETROBRAS, 2019c) considerando os dados de 2016.

Sistemas de iluminação pública autossuficientes com luminárias LED podem aproveitar algumas características dos postes tradicionais, logo, reduzindo o custo da atualização tecnológica. Dependendo tamanho dos braços que suportam as luminárias utilizadas nos postes tradicionais, faz-se necessário sua substituição para que o avanço gire em torno de 45 cm, promovendo um melhor aproveitamento da luminosidade da lâmpada LED no ambiente (NOGUEIRA et al., 2014).

Os postes fotovoltaicos com as luminárias LED podem ser empregados em sistemas *on-grid* e *off-grid*. A escolha do sistema vai depender da necessidade da região, sendo que os conjuntos *off-grids* funcionam isolados da rede elétrica (LANA, 2016). A iluminação pública com a tecnologia fotovoltaica ligada na rede (*on-grid*) pode ser considerada como um sistema de geração distribuída, uma vez que a energia gerada no período em que há incidência solar acaba sendo injetada na rede elétrica da concessionária após as baterias estarem carregadas (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2016), reduzindo assim a demanda de investimentos em fontes alternativas de energia.

Os dois tipos de sistemas (*on-grid* e *off-grid*) funcionam com baterias, no entanto, os conjuntos *on-grid*, por estarem conectados às redes elétricas, podem operar sem elas no momento em que as mesmas estiverem descarregadas (LANA, 2016). O módulo de iluminação integrado possui em seu conjunto a lâmpada de LED, a bateria e o painel solar com tamanho dimensionado para o consumo do dispositivo, como listado na Tabela 1.

Tabela 1: Componentes do módulo de iluminação integrado

Componente:	Referência:	Valor de referência:
Lâmpada LED 2*SMD 81 100W / 11.500lm ±	Vida útil	50 mil horas
Painel Solar com Célula Monocristalina 10V / 18W	Vida útil	25 anos ±
Controlador / Sensor de presença	Vida útil	3 anos
Bateria de Fosfato de Ferro-Lítio (LiFePO4) 30000mah	Vida útil	2000 ± Ciclos
Carregamento da bateria via PWM / MPPT	Tempo	7 ± horas
Descarga da bateria	Tempo	19 ± horas
Operação do módulo de iluminação	Temperatura	-20°C / 60°C

Fonte: Adaptado de G-Lights Lighting Factory, 2018.

De acordo com a G-Lights Lighting Factory (2018), o carregamento pleno da bateria do módulo de iluminação integrado ocorre aproximadamente após 7 horas de exposição ao Sol, e a autonomia desse sistema gira em torno de 19 horas. A faixa de temperaturas de operação do sistema de iluminação é de -20°C à 60°C e, dessa forma, o seu funcionamento no Brasil é viável sem riscos (SEGUEL, 2009; G-LIGHTS LIGHTING FACTORY, 2018).

No ano de 2016, o município de São Paulo dispunha de aproximadamente 571.487 luminárias LED (SÃO PAULO, 2018b). O custo médio da substituição de lâmpadas por ano é de R\$ 14.638.500 sendo que o custo para seu funcionamento gira em torno de 116,2 milhões de reais (SILVA, 2019).

O levantamento de custo do sistema autossuficiente de iluminação foi realizado com base na simulação da quantidade de lâmpadas instaladas no município de São Paulo no ano de 2016 até o ano de 2023. A confecção do orçamento ocorreu pela empresa, *G-Lights Lighting Factory*, evidenciando o custo unitário da lâmpada, quando cotada em grande escala, assim como o valor do frete, com o ponto de entrega definido para o porto de Santos - SP. O custo total do projeto sem tributação gira em torno de 182.6 milhões de reais. A tributação a ser aplicada, com base nos impostos cobrados na operação, Imposto sobre importação, Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e Imposto sobre Operações Financeiras (IOF), seria cerca de 185.3 milhões de reais. Ao somar o custo total das luminárias integradas com os impostos, chega-se ao valor aproximado de 368 milhões de reais (SILVA, 2019).

Ao observar a Tabela 2 é possível avaliar, de forma aproximada, a progressão da introdução dos módulos de iluminação integrados com o objetivo de simular um cenário considerando a substituição devido o fim da vida útil das atuais lâmpadas pelos módulos de iluminação integrados, evitando assim custos adicionais com a retirada antes do tempo e custos para descarte de componentes que excedam o número pré-estabelecido no contrato com a empresa que presta o serviço de reciclagem das lâmpadas queimadas. A porcentagem de substituição das lâmpadas foi considerada de acordo com a média de substituição anual de lâmpadas informada pelo Departamento de Iluminação Pública do município de São Paulo, aproximadamente 7,7 anos (SÃO PAULO, 2018a).

Tabela 2: Progressão da introdução dos módulos de iluminação integrados

Ano	Número de lâmpadas	Porcentagem de substituição das lâmpadas	Energia Economizada (kWh)	Energia gasta até o ano 2022 (kWh)
2016	90000	16%	82.271.734	440.088.481
2017	180000	30%	152.303.498	358.268.068
2018	270000	45%	221.008.978	273.861.103
2019	450000	58%	277.160.609	200.784.915
2020	630000	71%	325.797.130	135.802.657
2021	810000	82%	367.706.623	78.106.450
2022	990000	94%	403.483.648	27.082.618
2023	1.140.385	100%	415.840.900	0

Fonte: Silva, 2019.

Os custos adicionais decorrentes da instalação dos módulos de iluminação integrados ocorreriam a partir do terceiro ano, uma vez que acabaria a vida útil da bateria dos cerca de 82 mil módulos que foram instalados no primeiro ano. Dessa forma, até o ano 2021 foi utilizado apenas o custo do módulo, e a partir do ano de 2022 foi também considerada já os custos de manutenção dos primeiros módulos.

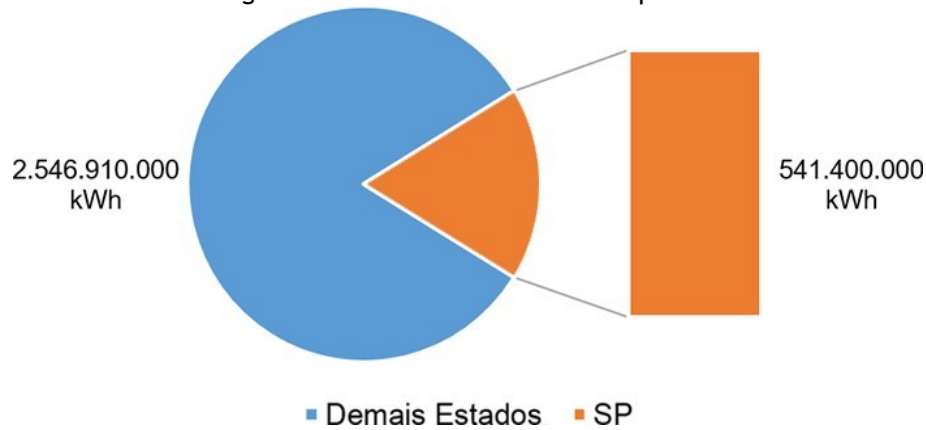
Na Tabela 3 é possível observar o crescimento da economia que os módulos de iluminação integrados podem gerar caso os mesmos substituíssem, de forma gradual, a iluminação pública tradicional do município de São Paulo. O período aproximado de retorno do investimento é de 6 anos. Faz-se necessário ressaltar que o consumo de energia elétrica da rede de distribuição tradicional utilizado na iluminação pública da capital do Estado de São Paulo vai ser reduzido gradativamente nos horários dentro e fora de ponta e que o emprego das luminárias integradas pode diminuir a demanda da rede elétrica no período de ponta o que evitaria que as usinas termelétricas que operam a margem do sistema entrassem em funcionamento, reduzindo a poluição do ar e o custo de operação das empresas em geral.

Tabela 3: Economia gerada com os módulos de iluminação integrados

Ano	Economia (módulo de iluminação integrado) em R\$	Gasto (iluminação tradicional) em R\$	Economia gerada pelo sistema em R\$
2019	19.963.236	106.787.470	- 86.824.234
2020	38.343.929	90.197.569	- 51.853.640
2021	64.132.385	79.469.015	- 15.336.630
2022	83.425.343	60.436.259	22.989.084
2023	101.726.896	42.403.022	59.323.874
2024	119.114.883	25.301.803	93.813.080
2025	135.610.854	9.102.468	126.508.386
2026	145.024.514		145.024.514

Fonte: Silva, 2019.

A Figura 2 demonstra uma comparação entre o consumo de energia elétrica da iluminação pública do Estado de São Paulo com os demais estados do país no horário de ponta de ponta no ano de 2016. A iluminação pública no restante do Brasil consumiu cerca de 2.546.910 MWh durante todo o horário de ponta do ano de 2016 ao passo que no mesmo período o Estado de São Paulo foi responsável por consumir 541.400 MWh, cerca de 20% do total, como ilustrado na Figura 2 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017).

Figura 2: Consumo de energia elétrica durante o horário de ponta no ano de 2016

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2017).

Dessa forma, se o emprego da tecnologia fotovoltaica autossuficiente na iluminação pública fosse estendido também para o Estado de São Paulo, durante o horário de ponta, acarretaria uma economia equivalente ao gerado pelas Usinas Termelétrica de Vista Alegre (527 MWh) (Itapetininga/SP). (ANEEL, 2009; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017; SÃO PAULO, 2017). Sendo que se uso dos módulos autossuficientes fosse estendido a todo o Brasil acarretaria na economia de energia elétrica que equivale a capacidade instalada da Usina Termelétrica Mário Lago (923 MW), Usina Termelétrica Governador Leonel Brizola (1058 MW) e Usina Termelétrica Baixada Fluminense (530 MW), que somadas tem capacidade igual a 2511 MW (PETROBRAS, 2019a; PETROBRAS, 2019b; PETROBRAS, 2019d). Quando se trata da operação de termelétricas é necessário considerar a questão da emissão de gases poluentes, que afetam o meio ambiente e geram problemas para a sociedade e não somente as questões econômicas.

Considerações finais

A capital do Estado de São Paulo possui a maior demanda energética do estado, essa condição pode ser observada também na iluminação pública, uma vez que a mesma isolada possui um consumo mais elevado do que o consumo energético somado de muitos municípios que compõem a referida unidade federativa. É importante destacar que o início da demanda energética da iluminação pública acontece justamente no intervalo de tempo que corresponde ao horário de ponta, que ocorre entre às 18 e 21 horas, o que eleva o consumo no período de maior utilização da rede elétrica do município.

Baseado no conteúdo desenvolvido no artigo pode-se afirmar que o emprego da tecnologia fotovoltaica, assim como a utilização das luminárias LED nos sistemas de iluminação pública, nos horários dentro e fora de ponta pode reduzir o consumo que é atendido pelo sistema convencional de energia elétrica do município de São Paulo, explorando a incidência solar adequada que o mesmo possui. Portanto, a redução no consumo de energia elétrica no período de maior demanda poderia diminuir a dependência de uma termelétrica, que além de ser uma das usinas que mais poluem, ainda possui o custo de geração de energia superior aos demais modos de geração.

Todavia, as respectivas capacidades técnicas e financeiras do município de São Paulo devem ser levadas em consideração, visto o nível de complexidade que a operação dos novos sistemas de iluminação pode demandar no curto prazo. Dessa maneira, o estudo dos parâmetros técnicos, no que se refere a incidência solar, e econômicos, no que se trata ao investimento necessário para adquirir as luminárias, assim como a análise da redução do consumo, foram evidenciados e executados durante o desenvolvimento do trabalho. Com isso, foi possível concluir que o emprego das luminárias autossuficientes integradas pode contribuir para redução dos custos da iluminação pública. Além disso, o emprego delas possibilita redução da demanda de energia elétrica nos horários de ponta, gerando estabilidade no sistema de nacional de distribuição de energia, reduzindo a necessidade de investimentos na distribuição e operação das termelétricas.

Referências

- ANEEL. **Resolução Homologatória nº 2.009**. Autoriza a empresa Agroindustrial Vista Alegre Ltda. a estabelecer-se como Produtor Independente de Energia Elétrica mediante a exploração da Usina Termelétrica - UTE. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/2tduRyi>>. Acesso em: 13 out. 2018.
- BICHIR, Renata. Determinantes do acesso à infraestrutura urbana no município de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 24, n. 70, p. 75-89, 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/2Bokjk4>>. Acesso em: 21 jan. 2019.
- BRACIANI, Urian. **Estrutura de Custos para Implantação das Usinas de Geração de Energia Elétrica no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2011. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/121237/303023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- BRITO, Luiz Antonio Perrone Ferreira de, COSTA, Stefano Bueno. Avaliação dos Impactos Socioambientais Gerados na Implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Usinas Hidrelétricas de Médio Porte. **Revista Brasileira de Energia**, v.25, n.1, 2019, disponível em <<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/480/413>>.
- DRUMOND JÚNIOR, P. *et al.* Geração solar fotovoltaica operando em paralelo com a rede de distribuição sem injeção de energia - estudo de caso para consumidor do ambiente de contratação livre. **Revista Brasileira de Energia**, v. 24, n. 3. 2018. Disponível em: <<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/437/382>>
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016 - ano base 2015**. 2016. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://bit.ly/2MUmnVL>>. Acesso em: 15 nov. 2017.
- _____. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 - ano base 2016**. 2017. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://bit.ly/2DXv929>>. Acesso em: 19 nov. 2017.
- FARIAS, Leonel Marques; SELLITTO, Miguel Afonso. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, v. 12, n. 17, p. 01-106, 2011. Disponível em: <http://revista.liberato.com.br/ojs_lib/index.php/revista/article/view/164>. Acesso em: 1 dez. 2017.
- FOGLIATTO, Flavio Sanson et al. Previsão de demanda por energia elétrica - método e aplicação. **Revista Produção Online**, v. 5, p. 1-12, 2005. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10443/000525872.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 set. 2018.
- FUGIMOTO, Sérgio Kinya. **Estrutura de tarifas de energia elétrica-análise crítica e proposições metodológicas**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://bit.ly/2NJhUWb>>. Acesso em: 17 out. 2018.
- G-LIGHTS LIGHTING FACTORY. **High quality ip65 outdoor waterproof 50w 100w 150w integrated all in one led solar street light**. Zhongshan, China, 2018. Disponível em: <<http://bit.ly/2RNfLD5>>. Acesso em: 17 out. 2018.
- KADOWAKI, Makoto *et al.* Modelo de Previsão de Demanda de Carga de Curtíssimo Prazo para o Período da Ponta. XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO, p. 2160-2171, 2004. Disponível em: <<http://bit.ly/2WLKbPc>>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- LANA, Luana Teixeira Costa et al. Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica. **Engenharias On-line**, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2016. Disponível em: <<http://fumeq.br/revistas/eol/article/view/3574/1911>>. Acesso em: 28 set. 2018.
- MARENGO, José A. *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31-44, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2HZ6Zt>>. Acesso em: 11 set. 2018.

MASSERONI, James; OLIVEIRA, Cristina Maria de. Utilização de grupos geradores diesel em horário de ponta. *Revista Modelos*, FACOS/CNEC Osório, v. 2, n. 2, p. 52-56, 2012. Disponível em: <http://facos.edu.br/publicacoes/revistas/modelos/agosto_2012/pdf/utilizacao_de_grupos_geradores_diesel_em_horario_de_ponta.pdf>. Acesso em: 6 set. 2018.

NOGUEIRA, Fernando José. et al. Projeto Piloto de Iluminação Pública empregando LEDs em substituição a Lâmpadas de Vapor de Sódio em Alta Pressão. In: *XX Congresso Brasileiro de Automática*. Belo Horizonte. 2014. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/cba2014/anais/PDF/1569936263.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2018.

PEREIRA, Naron Xavier. *Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada*. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista.

PETROBRAS. *Termelétrica Baixada Fluminense: Principais Operações*, 2019a. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/termeletricas/baixada-fluminense.htm>> Acesso em: 23 jul. 2019.

_____. *Termelétrica Governador Leonel Brizola: Principais Operações*, 2019b. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/termeletricas/governador-leonel-brizola.htm>> . Acesso em: 23 jul. 2019.

_____. *Termelétrica Juiz de Fora: Principais Operações*, 2019c. Disponível em: <<http://bit.ly/2lm52q5>> Acesso em: 23 jul. 2019.

Termelétrica Mário Lago: Principais Operações, 2019d. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/termeletricas/mario-lago.htm>> Acesso em: 23 jul. 2019.

REIS, Lineu Belico. *Geração de energia elétrica*. 2. ed. São Paulo: Manole, 2011.

SÃO PAULO, Departamento de Iluminação Pública. *Custos com a manutenção da iluminação pública do município de São Paulo*. 2018a. Mensagem recebida por <rajudeikis@prefeitura.sp.gov.br>. Disponível em: <https://1drv.ms/b/s!At3O85qCV1NBj0fNx_n9EbLOUlp1>. Acesso em: 12 nov. 2018.

_____. *Quantidade de lâmpadas instaladas, ano 2016*. 2018b. Disponível em: <<https://1drv.ms/b/s!At3O85qCV1NBj0ZaxV6933NQqln>>. Acesso em: 19 out. 2018.

SÃO PAULO, Secretaria de Energia e Mineração. *Anuário Estatístico de Energéticos por município no Estado de São Paulo 2017 - Ano base 2016*. 2017. Disponível em <<http://bit.ly/2TCC2eN>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

_____. *Cartilha de Iluminação Pública: Guia do Gestor*. 2013a. Disponível em: <<http://bit.ly/2TEbmKC>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

_____. *Energia Solar Paulista: Levantamento do Potencial*. 1. ed. São Paulo: São Paulo, 2013b.

SEGUEL, Julio Igor López. *Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital*. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://bit.ly/2Bq0uJo>>. Acesso em: 30 set. 2018.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, MAG de; CAMARGO, IM de T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: *V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético*. Brasília. 2006. p. 60. Disponível em: <https://sites.google.com/a/shayani.net/www/Comparacao_Custo_Energia_Solar_FV.pdf>. Acesso em: jun set. 2019.

SILVA, E. M. da. **A utilização da tecnologia fotovoltaica na iluminação pública do município de São Paulo**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade de Taubaté.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos avançados**, v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012. Disponível em: <<http://bit.ly/2BtrwQ1>>. Acesso em: 7 ago. 2018.