



XI-255- AVALIAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA MICROGERADORA CONECTADA À REDE ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO NO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DO PERIJUCÃ – OLINDA

Luis Henrique Pereira da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Mestre em Tecnologia da Energia pela Escola de Politécnica de Pernambuco-POLI/UPE, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas-PPGES da Universidade de Pernambuco-UPE e Especialista em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas - FGV. Engenheiro Eletricista da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Karlos Eduardo Arcanjo da Cruz⁽²⁾

Engenheiro Eletricista pela UFPE, Mestre e Doutor em Economia também pela UFPE, MBA em Gestão da Manutenção (IPOG). Coordenador de Serviços de Manutenção Eletromecânica Norte (CSM-NORTE) da COMPESA.

Milton Tavares de Melo Neto⁽³⁾

Engenheiro Eletricista pela UFPE. Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica também UFPE. Gerente de Gestão Energética da COMPESA.

Jadiel Mendonça de Vasconcelos⁽⁴⁾

Eng. Eletricista pela UFPE. MBA em Gestão e Engenharia de Sistemas Elétricos pelo IPOG e Especialização em Comercialização de Energia Elétrica pela UNINASSAU. Engenheiro Eletricista da COMPESA.

Alesson Thiago da Silva⁽⁵⁾

Engenheiro Eletricista pelo Centro Universitário Estácio do Recife. Coordenador de Serviços de Campo da Gerência de Unidade de Negócio Metropolitana Oeste da COMPESA.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Dr. Jayme da Fonte, 64, Santo Amaro, Recife – PE – CEP: 50110005 – Brasil – Tel: (81) 3412-9323 – e-mail: luishenrique@compesa.com.br

RESUMO

Um dos efeitos mais desafiadores do aquecimento global, que altera o regime climático, está na extensão das estiagens, tanto no que diz respeito à sua duração, quanto às áreas onde elas ocorrem. Neste cenário, em um país como o Brasil, que possui sua matriz energética fortemente estruturada em hidrelétricas, a falta de chuvas acarreta, além da própria carência de água para o consumo humano, a preocupação em se buscar fontes alternativas e mais sustentáveis de geração de energia. No saneamento, particularmente, a energia é um dos principais insumos das operações de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, estando presente em todo o seu ciclo. Ela é a força motriz para a captação nos rios, enviar para as estações de tratamento e para o bombeamento que leva a água tratada para as casas das pessoas. Ao tratar de energia, o saneamento busca eficiência atrelada à sustentabilidade para a manutenção de seus serviços. Nesse trabalho, verificou-se que é possível ter uma usina micro geradora fotovoltaica de 75,24 kWp em um reservatório apoiado da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), localizado no município de Olinda, com um investimento da ordem de R\$ 300 mil. Pensando na geração distribuída de energia, é possível vislumbrar novos negócios para companhias de saneamento, sobretudo do ponto de vista sobre custos evitados ou reduzidos com o insumo energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Autoprodução, Energia solar fotovoltaica, Micro geração.

INTRODUÇÃO

O aumento na demanda por eletricidade, os efeitos das mudanças climáticas e a crise energética mundial, vem sendo pauta recorrente de estudos para suprir a necessidade de energia. A energia solar é uma das principais fontes consideradas alternativas por não emitir poluentes (AZEVEDO, 2020). Uma matriz elétrica, é formada por um conjunto de fontes disponíveis para a produção de energia elétrica, podendo ser renovável ou não. No



mundo, em 2019, as usinas hidroelétricas representaram 16,1% da capacidade desta produção, entretanto, no Brasil, em 2020, este percentual foi de 65,2% (EPE, 2021).

Apesar da predominância da matriz elétrica brasileira ser renovável, as hidrelétricas sofrem influência direta das condições climáticas, em virtude disso, bandeiras tarifárias foram desenvolvidas para equalizar os custos da geração quando há baixa capacidade hídrica (ANEEL, 2022a). Essas bandeiras, aplicam-se quando são acionadas fontes energéticas mais caras, em sua maioria provenientes de combustíveis fósseis. Estes custos, são repassados aos clientes, como forma de incentivar a readequação para um consumo consciente (ANEEL, 2022a).

Como forma alternativa de reduzir estes custos, a Resolução Normativa da ANEEL nº482/2012, propôs ao consumidor brasileiro a possibilidade da geração de sua própria energia através da micro e minigeração distribuída (ANEEL, 2022b). Logo, a energia solar no Brasil passou a desempenhar um grande crescimento nos últimos anos, a capacidade instalada de usinas fotovoltaicas em 2012 era de 7MW, atualmente ultrapassa os 15.000 MW de potência (ABSOLAR, 2022a). Segundo o infográfico da ABSOLAR (2022b), os serviços públicos como um todo, ainda possui uma pequena parcela de capacidade instalada na geração distribuída solar. Para o SNIS (2021), o serviço público de saneamento possui um o custo com energia elétrica elevado, para a operacionalização dos seus sistemas. Só para as prestações de serviços de água e esgoto, as despesas chegaram a um patamar de R\$ 7,4 bilhões, para um consumo de energia anual de 13,9 TWh.

Entre as regiões brasileiras, em relação ao fornecimento de água, o Nordeste detém do pior índice do consumo de energia elétrica por volume de água produzido, o valor é de 0,84 kWh/m³, e possui a segunda pior taxa de atendimento do serviço à população 74,9% (SNIS, 2021). Entretanto, essa mesma região possui o maior potencial de geração energia fotovoltaica (FV), em virtude do seu rendimento energético anual (PEREIRA *et al.*, 2017). A partir deste cenário, indaga-se: a geração de energia fotovoltaica pode ser uma alternativa para diminuir os custos com energia elétrica, na operação dos sistemas públicos de abastecimento de água? Então, o presente artigo pretende avaliar o funcionamento de uma usina micro geradora fotovoltaica de 75,24 kWp, conectada à rede, que foi instalada em um reservatório apoiado de água, no município de Olinda, em Pernambuco.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação das informações geradas através da SFCR Perijucã, foram realizadas fundamentações em cima de pesquisas literárias, artigos científicos e em normas vigentes no setor elétrico e fotovoltaico.

Antes de delimitar o estudo, foram levantadas informações da concepção e características da unidade, como fonte de recursos para aquisição, custos estimados, implantação do sistema (projeto, compra de equipamentos, instalação e operação), tempo de operação e potencial energético.

Ainda na fase de estudos, foi feito o acesso à plataforma online da SOLARVIEW, que é uma das empresas especialistas em monitoramento e aquisição de dados remotamente no setor fotovoltaico. Essa plataforma possui dois tipos de acesso: o comum, que é aberto ao público, onde qualquer cidadão pode ter acesso; e o acesso de gestor, no qual é possível coletar informações mais técnicas e com geração de relatórios específicos para análise do desempenho do sistema.

Na primeira visita em campo, monitorada por equipe capacitada e autorizada para ambientes de risco qualificado, foram inspecionados de forma visual a integridade, qualidade e conformidade das estruturas, componentes e equipamentos instalados na usina. Foram tomadas notas dessas informações e realizado registros fotográficos dos principais detalhes evidenciado, através de um aparelho celular do tipo smartphone.

Como não há equipamento de medição do parâmetro de irradiação local, para o cálculo da geração estimada de energia, foi necessário consultar um banco de dados com as informações do mapa solarimétrico do município de Olinda-PE. A base utilizada foi a do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).



Através do site de monitoramento, foram coletados os dados internos para calcular os índices de desempenho e o balanço energético da usina fotovoltaica. Além disso, através da análise das informações de histórico de consumo, foi possível estimar a energia injetada na rede, além do cálculo da potência requerida.

Quanto à avaliação financeira, buscou-se a literatura dos conceitos, aplicando-as aos valores obtidos. Elaborou-se um fluxo de caixa e foram calculados: VPL, TIR e *Payback* descontado.

Em relação à avaliação ambiental, para o cálculo de CO₂ evitado, foi necessário a importação de valores de FE do banco de dados do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (GOVERNO FEDERAL, 2022). Referente a emissão de poluentes para a distribuição de energia através da rede elétrica convencional.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

O objeto do estudo foi a usina de micro geração distribuída fotovoltaica do reservatório apoiado de Perijucã. A unidade está instalada na área de um reservatório central no sistema de distribuição da água, situado na rua subida do Perijucã n°45, Rio Doce – Olinda-PE, como mostra a figura 1. Esta unidade de reservação de água, é composta por 06 (seis) reservatórios distribuídos no terreno em áreas independentes. Os painéis fotovoltaicos foram instalados sobre a laje de dois dos reservatórios: reservatório apoiado (RAP) 02 com o arranjo de módulos do inversor B e o RAP 03 com o arranjo de módulos do inversor A, totalizando uma área de aproximadamente 450 m².

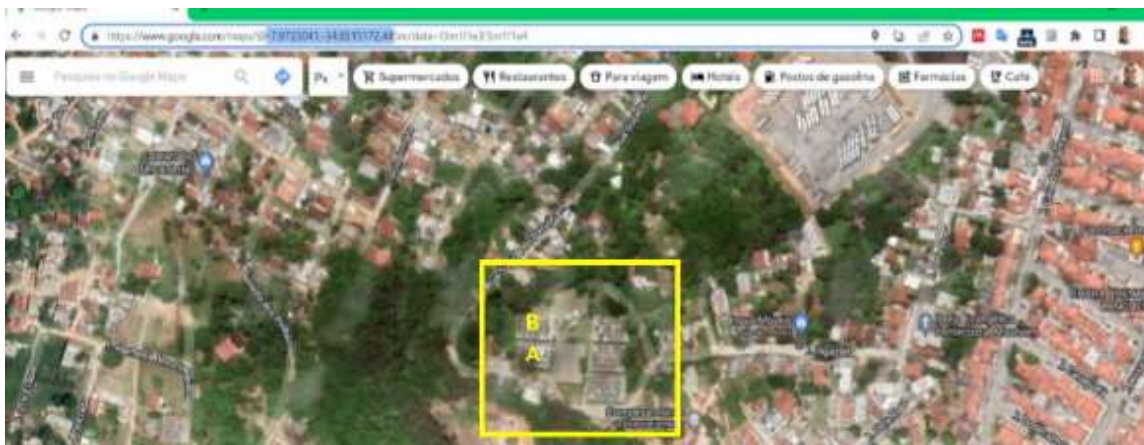


Figura 1: Localização geográfica da usina fotovoltaica
Fonte: adaptado do GOOGLMAPS, 2022.

Através do banco de dados do atlas solarimétrico do INPE, foi possível coletar a série histórica média de radiação solar no plano inclinado, disponível para a Cidade de Olinda.

O valor médio obtido anual foi de 5.448 (Wh/m² x dia).

Para relacionar o resultado com valores padrões em STC, é necessário tratar o dado e transformá-lo em número de Horas de Sol Pleno (HSP) através da equação (1).

$$HSP = \frac{Irradiação_{mpi}}{Irradiação_{Cte_{STC}}} \quad (1)$$

Fonte: Adaptado de (GTES, 2014).

Onde:

HSP (h/dia) – Média diária anual de horas de sol pleno sobre o arranjo FV em STC;
Irradiação_{mpi} (Wh/m²xdia) – Irradiação média no plano inclinado;
Irradiação_{CteSTC} (1000 W/m²) – Valor padrão de irradiância constante.

Substituindo os valores obtemos o seguinte valor na expressão da equação (1), teremos:

$$HSP = 5,45 \text{ h/dia.}$$

Com base na média de consumo de energia da unidade (tabela 1), é possível calcular a energia média diária, conforme equação 2.

Tabela 1 – Histórico mensal do consumo antes da operação da usina

Consumo mensal retroativo a 12 meses antes da operação do sistema			
Mês	Dias	kWh/mês	kWh/dia
mai-20	31	9398	303
jun-20	30	9436	315
jul-20	31	9025	291
ago-20	31	7832	253
set-20	30	9436	315
out-20	31	9368	302
nov-20	30	9642	321
dez-20	31	9609	310
jan-21	31	9848	318
fev-21	28	10281	367
mar-21	31	9912	320
abr-21	30	10806	360
Valor médio	30,42	9549	315

Fonte: o autor (2022).

$$E_{md_{ideal}} (kWh) = \left(\frac{9549 - 100}{30,42} \right); \quad (2)$$

$$E_{md_{ideal}} = 310,61 \text{ kWh, considera - se o valor de 311 kWh.}$$

Após o cálculo da energia média diária necessária para a geração, 311 kWh/dia, é possível encontrar o valor de potência projetado, através da equação 3, correlacionando a demanda de consumo, rendimento estimado do sistema (adotou-se 0,8) e a disponibilidade da irradiância solar, que foi de 5,45 h/dia.

$$Potência_{usina_{ajustada}} (kW_p) = \frac{\left(\frac{311}{0,8} \right)}{5,45}; \quad (3)$$

$$Potência_{usina_{ajustada}} = 71,33 \text{ kW}_p.$$

O projeto implantado utilizou um total de 228 módulos fotovoltaicos, distribuídos em dois subsistemas, cada um com 114 painéis.

Para o presente estudo, os painéis foram dispostos na mesma direção em relação ao norte geográfico e o ângulo de inclinação levou em consideração o plano inclinado. Quanto a área disponível, a unidade comportou capacidade instalada requisitada.

Sobre os custos totais do investimento, incluindo painéis, equipamentos e mão-de-obra, foram de R\$ 294.066,49.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A energia elétrica consumida pela a unidade em estudo é fornecida pela concessionária local, a Neoenergia Pernambuco. Em análise das faturas passadas, no período de 12 meses, compreendido entre maio de 2020 e abril de 2021, anterior à data do início de operação da usina fotovoltaica, foi observado que a mesma consumiu em média 9.549,42 kWh/mês, ou seja, 114,6 MWh/ano. Pensando em atender a essa demanda de energia, foi construída a usina Perijucã. Para a análise do fluxo de caixa deste empreendimento, foi levado em consideração os valores dimensionados de uma potência pico instalada de 75,24 kWp, com rendimento mínimo de 0,8. A estes valores, associou-se à disponibilidade solar média HSP de 5,45 h/dia, pesquisada no estudo, e chegou-se a um valor inicial de produção de 119.637,92 kWh/ano.

Considerando uma tarifa com preço de R\$ 0,61/kWh, base aplicada no site monitoramento, e reajuste médio de 6% ao ano, realizou-se a projeção do fluxo do caixa para um período de 15 anos, apresentado na figura 2. Levando em consideração ainda, o valor pago pela disponibilidade de sistema, para uma unidade do grupo B, e os custos técnicos envolvidos com a manutenção e operação, além da depreciação do painel fotovoltaico de 2,5% no primeiro ano e 0,7% nos anos subsequentes, como indica a ficha técnica do fabricante.

Tabela 3: Fluxo de caixa projetado para 15 anos

Ano	Energia produzida (kWh)*	Tarifa aplicada na UC**	Receita de energia produzida	Custo por disponibilidade do sistema	Manutenção anual***	Rendimento líquido	Valor presente anual	Payback descontado	TIR
0						-R\$ 294.066,49	-R\$ 294.066,49	-R\$ 294.066,49	
1	116.646,97	R\$ 0,61	R\$ 71.154,65	R\$ 732,00	R\$ 2.500,00	R\$ 68.654,65	R\$ 62.413,32	-R\$ 231.653,17	-77%
2	115.830,44	R\$ 0,65	R\$ 74.895,96	R\$ 775,92	R\$ 2.750,00	R\$ 72.145,96	R\$ 59.624,76	-R\$ 172.028,40	-37%
3	115.019,63	R\$ 0,69	R\$ 78.833,99	R\$ 822,48	R\$ 3.025,00	R\$ 75.808,99	R\$ 56.956,42	-R\$ 115.071,99	-14%
4	114.214,49	R\$ 0,73	R\$ 82.979,09	R\$ 871,82	R\$ 3.327,50	R\$ 79.651,59	R\$ 54.403,10	-R\$ 60.668,88	0%
5	113.414,99	R\$ 0,77	R\$ 87.342,13	R\$ 924,13	R\$ 3.660,25	R\$ 83.681,88	R\$ 51.959,86	-R\$ 8.709,02	9%
6	112.621,09	R\$ 0,82	R\$ 91.934,58	R\$ 979,58	R\$ 4.026,28	R\$ 87.908,30	R\$ 49.621,94	R\$ 40.912,92	14%
7	111.832,74	R\$ 0,87	R\$ 96.768,50	R\$ 1.038,36	R\$ 4.428,90	R\$ 92.339,59	R\$ 47.384,81	R\$ 88.297,74	18%
8	111.049,91	R\$ 0,92	R\$ 101.856,58	R\$ 1.100,66	R\$ 4.871,79	R\$ 96.984,79	R\$ 45.244,12	R\$ 133.541,86	21%
9	110.272,56	R\$ 0,97	R\$ 107.212,20	R\$ 1.166,70	R\$ 5.358,97	R\$ 101.853,23	R\$ 43.195,71	R\$ 176.737,57	23%
10	109.500,65	R\$ 1,03	R\$ 112.849,42	R\$ 1.236,70	R\$ 5.894,87	R\$ 106.954,55	R\$ 41.235,61	R\$ 217.973,18	24%
11	108.734,15	R\$ 1,09	R\$ 118.783,04	R\$ 1.310,90	R\$ 6.484,36	R\$ 112.298,69	R\$ 39.360,00	R\$ 257.333,18	25%
12	107.973,01	R\$ 1,16	R\$ 125.028,65	R\$ 1.389,55	R\$ 7.132,79	R\$ 117.895,86	R\$ 37.565,26	R\$ 294.898,44	26%
13	107.217,20	R\$ 1,23	R\$ 131.602,66	R\$ 1.472,93	R\$ 7.846,07	R\$ 123.756,59	R\$ 35.847,88	R\$ 330.746,31	26%
14	106.466,68	R\$ 1,30	R\$ 138.522,33	R\$ 1.561,30	R\$ 8.630,68	R\$ 129.891,65	R\$ 34.204,53	R\$ 364.950,84	27%
15	105.721,41	R\$ 1,38	R\$ 145.805,83	R\$ 1.654,98	R\$ 9.493,75	R\$ 136.312,09	R\$ 32.632,03	R\$ 397.582,87	27%
Total	1.666.515,92	-	1.192.071,92		R\$ 79.481,20	R\$ 1.192.071,92	R\$ 397.582,87	-	-
		VPL	R\$ 397.582,87			TMA	10%		

(*) Depreciação dos módulos fotovoltaicos, no 1º ano adotar 2,5%, a partir do 2º ano considerar 0,7% ao ano.
(**) Considerado um reajuste tarifário de 6% ao ano.
(***) Reajuste de 10% referente aos custos de manutenção.

Fonte: Os autores (2022)

A partir da metodologia aplicada, o *payback* descontado considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10% ao ano, indicou que o retorno do investimento acontecerá a partir do 6º ano, que é quando a taxa TMA é superada pela Taxa Interna de Retorno (TIR) de 14%. Para o final do período de 15 anos, o VPL foi de R\$ 397.582,87.

A partir da metodologia aplicada, o *payback* descontado considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10% ao ano, indicou que o retorno do investimento acontecerá a partir do 6º ano, que é quando a taxa TMA é superada pela Taxa Interna de Retorno (TIR) de 14%. Para o final do período de 15 anos, o VPL foi de R\$ 397.582,87.

Através da equação 4, obtivemos o balanço entre as emissões para as duas formas de suprimento de energia.

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2 \text{ Evitada}} &= [E_{CO_2 \text{ Rede Elétrica}} = CE * FE_{\text{Rede Elétrica}}] - [E_{CO_2 \text{ FV}} = CE * FE_{\text{FV}}]; \\
 E_{CO_2 \text{ Evitada}} &= [E_{CO_2 \text{ Rede Elétrica}} = 115.902 * 0,11] - [E_{CO_2 \text{ FV}} = 115.902 * 0,035]; \\
 E_{CO_2 \text{ Evitada}} &= 9964,04 \text{ kg}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Este resultado indica a viabilidade ambiental da usina para a redução de CO₂.

CONCLUSÕES

O artigo teve como objetivo geral analisar o funcionamento da usina e verificar se essa fonte de energia possibilitaria a redução dos custos com energia e na diminuição da emissão de CO₂. Constatou-se que o objetivo geral foi atendido, porque efetivamente o trabalho conseguiu, verificar que, a energia produzida pela usina fotovoltaica foi maior do que a média anual requisitada pela UC consumidora ao sistema elétrico convencional, isso implica, que os índices de poluição também são menores, em virtude do tipo de fonte aplicada. Todos os objetivos específicos foram atendidos, o inicial era obter o consumo médio dos últimos 12 meses, e comparar a potência requerida com a instalada, os dados foram disponibilizados pela a gestão da UC, e o valor obtido foi acordo com requerido. A energia produzida foi calculada em cima da plataforma de monitoramento online, durante o período avaliado, a energia consumida foi um pouco maior do que a energia injetada na rede, pelos motivos já descrito nos resultados. Foi elaborado o fluxo de caixa previsto para 15 anos, e o *payback* descontado com alcançado foi a partir 6º ano. Também foi calculado o valor do balanço de emissão entre as duas fontes de suprimento de energia, foi possível chegar ao valor de 9964,04 kgCO₂ evitados.

Apesar dos resultados obtidos serem satisfatórios, ressaltou-se a importância do uso das metodologias indicadas pela NBR 16274, que estabelece os requisitos mínimos para documentação técnica, e procedimentos de verificação e análise de desempenho das usinas fotovoltaicas (ABNT, 2014). Como sugestão para os próximos estudos, é indicado a realização de ensaios definidos pela a NBR 16274/2014, com medição através de equipamentos de análise, do comportamento de geração do subestima do inversor B, no qual apresentou falhas significativas no período de análise. Outra indicação, é a implementação de um campo de entrada no site de monitoramento, que permitisse a integração dos dados de manutenção e registros de falhas. As quais, não forem identificadas pelo supervisor do inversor, este item ajudaria a gestão do sistema com a mitigação de problemas e conhecimento do histórico das causas.

Outro fator a ser considerado é a tendência de elevação do consumo de energia, independente do aumento da tarifário. Pelo fato da necessidade de expansão do sistema de abastecimento de água, é o caso do nordeste



brasileiro, que além de possuir a segunda menor taxa atendimento de água para a população entre as cinco regiões, tem o pior índice do custo tarifário por volume de água produzido, valor médio de 0,84 kWh/m³.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. NBR 16274: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. 2014.
2. ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 17 abr. 2022a.
3. ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/inversor-solar-o-que-e-e-para-que-serve/>>. Acesso em: 14 jun. 2022b.
4. ANEEL. Sobre Bandeiras Tarifárias. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/ptbr/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 17 abr. 2022a.
5. ANEEL. Geração Distribuída. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/ptbr/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 3 abr. 2022b.
6. AZEVEDO, R. DE O. Análise de fatores determinantes na viabilidade econômica de investimentos em energia solar e eólica. João Pessoa: UFPB, 2020.
7. EPE. Empresa de Pesquisa Energética. BEN 2021 - Relatório Síntese. p. 1–73, 2021b.
8. GOOGLMAPS. Rua Subida do Perujicam - Jardim Atlântico - Google Maps. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Rua+Supida+do+Perujicam++Jardim+Atlântico,+Olinda++PE,+53060-580/@-7.972247,34.851595,206m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x7ab3d77613d93ab:0xd3751f198529c16b!8m2!3d-7.970709!4d-34.8511283>>. Acesso em: 16 abr. 2022.
9. GOVERNO FEDERAL. Fator de emissão para o consumo de eletricidade. 2022.
10. PEREIRA, E. et al. Atlas brasileiro de energia solar. 2017.
11. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico Temático, Serviços de Água e Esgoto, Visão Geral, ano referência 2020. p. 91, 2021.