



Influência do posicionamento de módulos fotovoltaicos na segurança hídrica em comunidade *off-grid* de agricultores

BEZERRA, Isis de Azevedo¹; MALAGUETA, Diego Cunha²;
Isisbezerra96@gmail.com¹; diegom@ppe.ufrj.br².

¹Mestranda em Clima e Energia, Programa de pós-graduação em Clima e Energia, Universidade Estadual do Norte Fluminense

²Doutor em Planejamento Energético (Coppe), docente dos cursos de Clima e Energia (PPGC&E) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Planejamento Energético (Coppe) e Engenharia Mecânica (IPoli) - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Segurança energética

Bombeamento solar

Geração off-grid

Keywords:

Energy security

Solar pumping

Off-grid generation

Resumo:

Este estudo tem como objetivo analisar o impacto do posicionamento dos módulos fotovoltaicos no desempenho de um sistema de bombeamento de água, que é alimentado por energia solar e opera fora da rede elétrica (off-grid). A análise técnica é geralmente importante devido à influência das condições climáticas locais, como temperatura, intensidade da irradiância solar, orientação e sombreamento. Tipicamente, a posição padrão adotada é a orientação norte e a inclinação igual à latitude local. Na avaliação, conduzida por meio de simulações no software System Advisor Module (SAM), foram exploradas variações de azimute de 0° a 42° e inclinação de 0° a 44°. A análise, incorpora uma bateria para regular a distribuição mensal de energia, garantindo a segurança hídrica para a comunidade. Os resultados destacam combinações específicas de azimute e ângulos de inclinação que maximizam a produção energética na área, especialmente durante os meses de baixa geração. Essas combinações incluem azimutes de 0°, 11° e 22°, combinados com inclinações de 33°, 38° e 42°. Além disso, foi identificado que uma orientação de 0° (norte) com um ângulo de inclinação de 38° proporciona maior estabilidade anual para o sistema operar próximo de seus valores-limite.

Abstract

This study aims to analyze the impact of photovoltaic module positioning on the performance of a water pumping system, which is powered by solar energy and operates off grid. Technical analysis is usually important due to the influence of local climatic conditions, such as temperature, solar irradiance intensity, orientation, and shading.

Typically, the standard position adopted are the north orientation and the inclination equal to the local latitude. In The evaluation, conducted through simulations in the System Advisor Module (SAM) software, variations in azimuth from 0° to 42° and inclination from 0° to 44° were explored. The analysis, incorporates a battery to regulate the monthly energy distribution, ensuring water security for the community. The results highlight specific combinations of azimuth and tilt angles that maximize energy production in the area, particularly during low

generation months. Those combinations include azimuths of 0°, 11°, and 22°, combined with inclinations of 33°, 38°, and 42°. It was also identified that an orientation of 0° (north) with a 38° tilt angle provides greater annual stability for the system to operate near its threshold values.

1. Introdução

O estudo tem como objetivo avaliar a influência da inclinação e da orientação de módulos fotovoltaicos na geração de energia em uma comunidade rural. A localidade está às margens da rodovia RJ 162, no município de Macaé/RJ. No território não há conexão com a rede elétrica do município e nem abastecimento público de água, dessa forma, os moradores utilizam de formas alternativas de captação de água e energia. Usando uma energia renovável o projeto se relaciona a pelo menos 3 dos ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) da agenda 2030 da ONU: Disponibilidade e Manejo sustentável da água; Acesso à energia barata, sustentável e renovável; e tornar cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis [1].

O sistema previsto é de um conjunto de módulos fotovoltaicos para alimentação de bombeamento de água. A intenção é que seja construído um reservatório central de água, que será alimentado por uma bomba movida a energia solar, de forma independente da rede (sistema off-grid). Para garantir a segurança hídrica da comunidade em um sistema autônomo, é considerado o uso dos módulos em conjunto com bateria para carregamento, que podem ser acionadas em dias que não haja sol ou a geração não seja suficiente para suprir o consumo.

O sistema fotovoltaico compreende um agrupamento de módulos interligados, cada um contendo uma quantidade específica de células solares que aproveitam o efeito fotovoltaico para transformar a energia solar em eletricidade. Depende de forma importante da irradiação solar que incide no local da

instalação do sistema e da posição em que os módulos fotovoltaicos estão, e pode ter sua eficiência piorada com o aumento da temperatura nos componentes físicos.

A análise técnica desses sistemas é crucial devido à influência de condições locais de clima, como temperatura e intensidade da irradiação solar, além de variáveis de projeto como orientação e sombreamento. Em geral se utiliza a orientação ao norte e inclinação (em relação ao solo) igual a latitude, que nessa localidade é de 22°.

Os ângulos de inclinação e azimute foram destacados para análise no presente estudo, sendo que um ângulo de inclinação de 0° indica posição horizontal, 90° posição vertical, e o azimute de 0°, 90°, 180°, 270° é relativo às orientações para o norte, leste, sul e oeste, respectivamente, para sistemas no hemisfério sul [2]. No projeto foram consideradas variações de azimute de 0° a 42°, e de inclinação de 0° a 44°.

No Brasil, o uso da energia solar cresceu consideravelmente desde a publicação das resoluções normativas 482/2012 e 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que deram os primeiros passos para regulamentar o acesso à microgeração e minigeração distribuídas, implementando o sistema de compensação de energia. Depois de algumas alterações na legislação, atualmente a resolução normativa nº 1.000/2021 da ANEEL estabelece as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica [3]. Já a lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022 institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o

Programa de Energia Renovável Social (PERS) [4].

O marco legal estabelece a obrigatoriedade do pagamento do custo de utilização da infraestrutura local, que é proporcional ao montante de energia excedente injetada na rede. Além disso, também altera o sistema de compensação por créditos de energia, sendo que unidades já pertencentes ao sistema têm direito adquirido de continuar seguindo as regras antigas até 31 de dezembro de 2045.

Os créditos têm validade de 60 meses (5 anos), dentro desse período podem compensar o consumo em períodos de pouca produção do sistema. Vale ressaltar que esse arcabouço legal é válido para sistemas fotovoltaicos com ligação à rede elétrica das concessionárias (projetos *on-grid*), já os projetos *off-grid* são autônomos e não participam do sistema de compensação ou da cobrança de infraestrutura, já que não têm ligação na rede.

O projeto apresentado neste trabalho se enquadra como geração autônoma *off-grid* e, portanto, várias condições de compatibilidade com a rede, cálculo de retorno financeiro, faturamento mínimo, dentre outros, não serão analisadas. Além disso, o projeto *off-grid* não necessita de aprovação como os demais sistemas de microgeração. Caso o projeto seja implementado e se deseje uma futura ligação na rede, todas as normativas das novas regras se aplicam e deve ser feita a solicitação junto à concessionária de energia.

2. Métodos

2.1 Localização

A comunidade está localizada às margens da rodovia RJ 168, no município de Macaé, que faz parte da região norte fluminense. A rodovia liga a região central da cidade com o distrito de Córrego do Ouro. O trecho do Acampamento é próximo ao encontro do Rio

Macaé com a rodovia, em uma área com características de aglomerado rural. A área de instalação dos módulos seria próxima à entrada, na parte descampada em frente a pista. É uma parte plana do terreno e que não tem objetos ao redor para causar sombreamento.

Figura 1: Vista superior da comunidade.



Fonte: Google Maps

2.2 Demanda de energia

Para estimar a demanda exigida pelo sistema, está sendo considerado que o sistema não será ligado à rede, e a comunidade irá depender da autonomia deste para o abastecimento diário de água. O sistema então contará com a energia produzida nas horas de incidência solar e mais a energia excedente armazenada em bateria. A partir de dados da população foi estimado o consumo diário de água per capita, dessa forma adotou-se um reservatório de água que supra a demanda diária de consumo e que será alimentado por uma bomba de água. A população foi calculada a partir de estimativas locais de 50 famílias, com média de 3 indivíduos por família. Além disso, foi utilizado o dado divulgado pelo Instituto Trata Brasil [7], em que a ONU estabeleceu que 110 litros/dia é a quantidade de água suficiente para atender as necessidades básicas de uma pessoa.

$$\text{Pop} = 50 \times 3 = 150 \text{ pessoas}$$

$$\text{Qd} = \text{Pop} \times \text{Cd}$$

$$\text{Qd} = 150 \times 110 = 16.500 \text{ L /pessoa}$$

Pop = população total

Cd = Consumo diário de água per capita

Qd = Demanda diária de água da comunidade

A partir da demanda de 16.500 litros, decidiu-se adotar um reservatório comercial de 20.000 litros, construído em concreto armado, em formato cilíndrico. O reservatório deve ser disposto no ponto mais alto do terreno, e possuir uma altura de projeto. Para o cálculo da altura manométrica foi adotado como referência o projeto básico de uma licitação da Prefeitura de Oeiras/PI [5], que trata exatamente de um reservatório de 20.000L. De acordo com o projeto básico, a altura total do reservatório (volume útil e elevação) é de 11 metros. É sabido que o terreno da comunidade possui um morro com desnível de aproximadamente 10 metros, sendo o seu ponto mais alto o local destinado para a instalação do reservatório.

$$\text{Hm} = \text{Hr} + \text{Ht}$$

$$\text{Hm} = 11 + 10 = 21 \text{ metros}$$

Hm = Altura manométrica total

Hr = Altura do reservatório construído

Ht = Desnível do terreno

Para encontrar o equipamento mais adequado para o bombeamento, foi consultado um catálogo comercial onde foi possível consultar a capacidade de vazão de acordo com a altura manométrica do projeto. Foi adotada a Bomba modelo *Schneider BC-92S 1C* monofásica 110/220V, com potência nominal de 1CV [6]. A tabela do fabricante pode ser visualizada no Anexo A.

Pela tabela, a altura de 22 metros corresponderia a uma vazão de 8,6 m³/h. Considerando as incertezas das estimativas populacionais e de desnível do terreno, os quais não passaram por levantamento técnico, optou-se adotar uma altura de 28 metros, que corresponde à vazão de 4,3 m³/h, um valor mais conservador. Assim, temos a demanda de energia dada como o funcionamento da bomba de água ligada na vazão de 4,3 m³/h durante um período de tempo t_f , para encher o reservatório de 20.000L. A energia será o tempo de funcionamento do equipamento multiplicado pela sua potência (1 cv = 735,5W).

$$t_f = V/Q$$

$$t_f = 20.000/4.300 = 4,7 \approx 5 \text{ horas}$$

t_f = tempo de funcionamento

V = Volume total

Q = Vazão

$$E = \text{Pot} \times t$$

$$E = 735,5 \times 5 \times 30 = 110,32 \text{ kWh}$$

E = Energia calculada

Pot = Potência do equipamento

t = tempo de operação mensal

O valor de consumo de energia de 110 kWh será usado como referência para avaliar a produção do sistema que consiga atender essa demanda mínima, que será simulada no software gratuito SAM (*System Adviser Module*), do NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) do departamento de energia dos Estados Unidos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Produção da energia solar

A produção de energia do sistema foi simulada no SAM, a partir do seu modelo

PVWatts Battery, que une módulos fotovoltaicos a um sistema de armazenamento por baterias. Optou-se por não utilizar o modelo detalhado, onde são conhecidos os equipamentos (módulo, inversor e bateria) para não aumentar a complexidade das simulações e sim trabalhar com um sistema genérico, tendo foco nas variações causadas pela mudança nos ângulos de inclinação dos módulos.

Os principais dados de entrada são os dados meteorológicos, a capacidade nominal do sistema e dados da bateria. Para os dados meteorológicos, o SAM dispõe de uma série histórica com dados de clima, a *National Solar Radiation Database (NSRDB)*, que contém dados de diversas fontes ao redor do mundo. A base usada foi a Climate One Building, região *WMO Region 3 – South America*. Os dados estão em formato TMY (*Typical Meteorological Year*).

Tabela 1: Dados de entrada em TMY

Latitude	-22,343	Graus
Longitude	-41,766	Graus
Zona	GMT-3	
Elevação	2,4	Metros
Intervalo de tempo	60	Minutos
Horizontal global	5,18	hWh/m ² /dia
Normal direta	4,38	hWh/m ² /dia
Difusa Horizontal	2,02	hWh/m ² /dia
Temperatura média	24,1	° Celsius
Velocidade do vento	3,0	m/s

Fonte: Autoria própria

Para o banco de bateria, o SAM pede dados de entrada de potência, mas conta com uma interface de otimização do cálculo de bateria, essa ferramenta é o *REopt API* e foi utilizado para encontrar os valores de uma bateria de Ferro e Lítio. Lá é possível configurar os objetivos do seu sistema para calcular a capacidade ótima da bateria.

Com o resultado foi obtida capacidade da bateria de 4,0 kWh ac, e potência da bateria em 1,0 kW ac. Na entrada de degradação do sistema foi usada a taxa de 0,5%/ano do total anual do sistema, que começa a ser contado a partir do segundo ano. A capacidade nominal do sistema usado foi de 1,05 kW ac, que o sistema calcula como sendo uma área equivalente de 5,526 m², usando módulos fixos.

3.2 Variação dos ângulos de inclinação e azimute

Em simulações preliminares foi identificado que azimutes maiores que 45° representavam cenários negativos, no sentido da piora da produção de energia, dessa forma o intervalo de valores foi refinado para 5 valores variando em 11°, de 0° a 44° (0°, 11°, 22°, 33°, 44°), variando, portanto, de norte a nordeste.

O mesmo ocorre com a inclinação, que demonstrou pior desempenho nos valores quanto mais próximos a 90°, e nesse caso foi usado uma quantidade maior de valores para verificar a influência de inclinações próximas à latitude. A inclinação teve como entradas 0°, 11°, 20°, 22°, 25°, 33°, 38° e 42°. O cálculo de energia usando essas combinações foi feito através da ferramenta de parâmetros do SAM, usando como input o azimute (*azimuth*) e a inclinação (*tilt*), tendo como resultado a energia mensal.

Optou-se pelo resultado mensal para poder avaliar o desempenho do sistema nos meses de inverno, quando a produção atinge seu valor mínimo, e entender qual a posição contribui para a geração nesse período. Dessa forma, não é necessário sobredimensionar o sistema, nem aumentar sua potência e custo inicial (que poderia inviabilizar o projeto) e também a quantidade de energia excedente em outros períodos do ano. O total desses arranjos resultou em 40 combinações, que foram

simuladas e os dados extraídos em formato de planilha.

A partir dos resultados disponíveis no Apêndice A, é possível visualizar que há ajustes de posição do azimute e da inclinação que fazem com que a produção do mês de junho (mês com menor produção de energia em 22°) supra a demanda fixada em 110kW. Esses valores são para o azimute de 0°, 11° e 22°, e inclinação de 33°, 38° e 42°. Os valores de geração que não atendem à demanda estão marcados em vermelho.

A produção do mês de junho tende a aumentar nas configurações com o azimute a 0°, ou com a inclinação a 42°, quando comparado aos arranjos possíveis (e fixando um dos ângulos), atingindo o maior valor com a combinação desses dois valores. Enquanto que a posição tradicional, com inclinação igual a latitude de 22° não atingiu a demanda mínima.

Podemos ainda verificar a análise da energia anual produzida, ainda que neste estudo o foco seja a produção mensal. Os maiores valores foram extraídos e apresentados na Tabela 2. A posição que resultou a maior produção de energia anual foi em azimute 11° e inclinação 20°, com um total de 1578,01 kWh/ano.

É provável que essa combinação varie consideravelmente de acordo com a localização escolhida, que possui um padrão típico de irradiação solar no ano, além de outras questões meteorológicas. Para essa cidade, a posição igual a latitude resulta na 4ª maior produção anual, tendo 3 outras combinações que superam seu valor.

Tabela 2: Combinações com maiores valores de geração anual, com maior valor destacado.

Azimute	Inclinação	Energia anual (kWh)
0	20	1576,33
0	22	1574,33
11	20	1578,01
11	22	1576,33
22	20	1574,22

Fonte: Autoria própria

No entanto, como a análise deste estudo privilegia o atendimento de uma demanda durante o ano todo e não uma maximização da produção total, podemos ver que os resultados foram mais favoráveis em valores de inclinação maiores que a latitude local. Na tabela 3 podemos ver o resumo das combinações que permitem a geração do mês de Junho atingir a demanda de projeto de 110 kWh, e em destaque em verde a combinação que tem o maior valor de geração de energia.

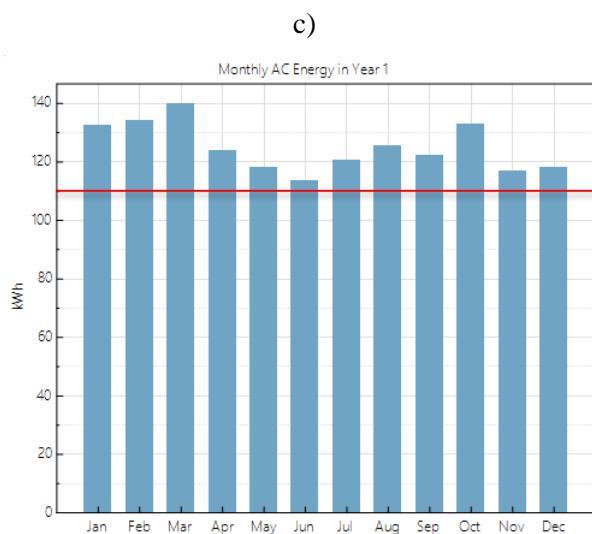
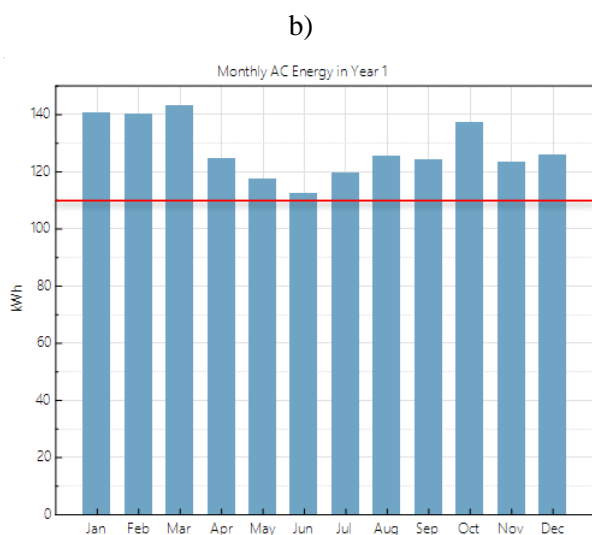
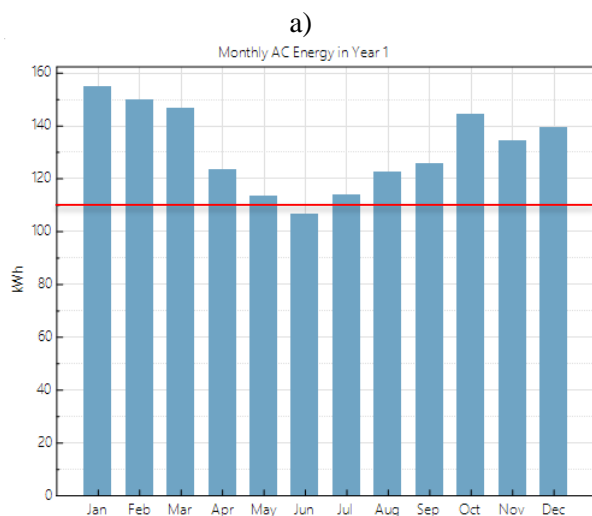
A figura 2 ilustra a geração de energia de algumas dessas combinações, todas com azimute a 0°, em comparação com a posição padrão na figura 2(a). É possível observar que com o aumento da inclinação, o excesso de geração em novembro e dezembro diminui, sendo necessário avaliar o melhor ponto de equilíbrio, para que a demanda seja atendida em todos os meses, visando o equilíbrio durante o ano. Nesse sentido, a inclinação de 38° parece fornecer uma margem mínima mais segura considerando todos os meses do ano.

Tabela 3: Combinações que superam o valor mínimo mensal, com maior valor destacado

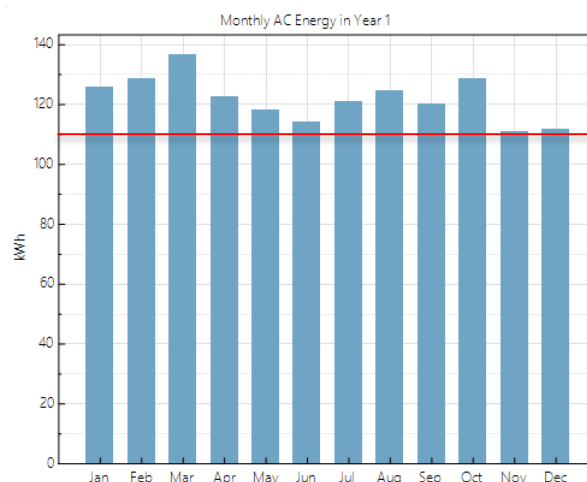
Azimute	Inclinação	Energia mensal (kWh)
0	33	112,18
0	38	113,57
0	42	114,12
11	33	111,90
11	38	113,25
11	42	113,78
22	33	110,22
22	38	111,34
22	42	111,69

Fonte: Autoria própria

Figura 2: Produção de energia mensal nas inclinações a) 22°, b) 33°, c) 38°, d) 42°



d)



Fonte: Autoria própria.

4. Conclusão

Através dos resultados gerados pelas simulações foi possível identificar que existem algumas combinações de azimute e inclinação que geram mais energia na localidade estudada, ou ainda que tem maior produção nos meses críticos do ano. Essa análise privilegiou o desempenho de um sistema que seja capaz de suprir uma demanda mínima mensal, de forma a minimizar as ocasiões em que seja necessário para a comunidade recorrer ao uso da bateria, principalmente nos meses de menor incidência solar, que poderia fazer com que não fosse possível atingir a demanda, configurando um quadro de escassez de água para 50 famílias.

O uso da bateria deve ser considerado no sistema pois os valores mensais trazidos nos gráficos se tratam de médias, em que certamente haverá variação nos dias de intensa nebulosidade, e dessa forma a bateria é uma ferramenta que regula a distribuição mensal da energia e auxilia na garantia de segurança hídrica da comunidade.

Na análise de produção anual se confirma que a posição (0, 22°) tem uma das maiores produções de energia, dentre as 40 combinações pontua em quarto lugar, perdendo ainda para combinações com azimute 11° e inclinação 22°. Na análise de produção mensal para este projeto, foi

verificado que a posição mais usualmente utilizada, com orientação ao norte e inclinação igual a latitude não é a melhor configuração nessa localidade, pois gera excessos nos meses de verão e escassez menor do que a demanda no inverno (principalmente no mês de junho).

As configurações que priorizam a segurança hídrica são as com azimute 0°, 11°, 22°, e inclinação 33°, 38° e 42°, atingindo o valor máximo no par (0°,42°). Apesar disso, os gráficos mostram que a inclinação de 38° apresenta uma distribuição de margem mínima maior, considerando o desempenho de todos os meses. Dessa forma, dentre os ângulos avaliados nesse estudo, a posição dos módulos que traz maior estabilidade para o sistema de bombeamento de água e, portanto, maior segurança hídrica, é com a orientação a 0° (norte) e inclinação de 38°.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao financiamento desta pesquisa pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio (Faperj) pelo provimento da bolsa UENF de pesquisa.

5. Referências

- [1] ONU. *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*. 2015. Disponível em: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- [2] NÓBREGA, B. S.; et al. *Desempenho de um sistema solar fotovoltaico com diferentes inclinações e orientações azimutais em cidades da Paraíba*. Revista Principia de Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, nº 43. João Pessoa/PB, 2018.
- [3] BRASIL. ANEEL. Resolução Normativa Aneel nº 1.000, De 7 de dezembro de 2021. *Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica e dá outras providências*.
- [4] BRASIL. LEI Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. *Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS)*; altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências.
- [5] OEIRAS. Prefeitura Municipal. *Projeto básico de sistema de abastecimento de água*. Convênio SICONV nº: 854.748/2017. Oeiras, Piauí. 2018.
- [6] FRANKLIN ELETRIC. *Tabela de Seleção de bombas*. Joinville, Santa Catarina. 2022. Disponível em: https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/309005/schneider_tabela_selecao_2022_08_web.pdf. Acesso em: 14 jan. 2024.
- [7] INSTITUTO TRATA BRASIL. *Principais Estatísticas: Água*. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/agua/>. Acesso em: 14 jan. 2024.

6. Anexos e Apêndices

ANEXO A – Especificações técnicas da bomba

MODELO	Potência (cv)	Monofásico	Trifásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m.c.a.)	Altura máxima de sucção (m.c.a.)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS														
									Altura Manométrica Total (m.c.a.)														
									2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
									Vazão em m³/h válida para sucção de 0 m.c.a.														
BC-92 S/T 1A	3/4	x	x	1 1/2	1	26	8	123	7,0	6,9	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1	5,8	5,5	5,0	3,9	2,4			
	1	x	x	1 1/2	1	31	8	135	7,1	7,0	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,3	6,2	6,0	5,7	5,4	4,9	3,8	2,3
	1,5	x	x	1 1/2	1	39	8	150	7,2	7,2	7,1	7,0	6,9	6,8	6,7	6,7	6,5	6,4	6,3	6,2	6,0	5,8	5,5
BC-92 S/T 1B	1	x	x	1 1/2	1	20	8	105	*	*	*	19,7	17,8	15,7	13,4	10,9	7,9						
	1,5	x	x	1 1/2	1	25	8	117	*	*	*	*	21,9	20,2	18,4	16,4	14,3	12,0	9,3	6,1			
	2	x	x	1 1/2	1	30	8	127	*	*	*	*	*	*	22,0	20,4	18,6	16,8	14,7	12,5	10,0	7,1	
	2	x	x	1 1/2	1	35	8	137	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	14,8	12,7	10,4
	3	x	x	1 1/2	1	38	8	143	*	*	*	*	*	*	*	*	23,2	21,8	20,4	18,9	17,2	15,5	13,6
	3	x	x	1 1/2	1	45	8	155	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
BC-92 S/T 1C	3/4	x	x	1 1/2	1	26	8	119	*	*	*	13,4	12,4	11,3	10,1	8,9	7,5	6,0	4,2	2,2			
	1	x	x	1 1/2	1	32	8	128	*	*	*	*	14,1	13,3	12,5	11,6	10,7	9,7	8,6	7,4	6,0	4,3	2,0
	1,5	x	x	1 1/2	1	36	8	142	*	*	*	*	14,6	14,0	13,3	12,6	11,9	11,1	10,3	9,4	8,4	7,3	6,0
	2	x	x	1 1/2	1	44	8	158	*	*	*	*	*	15,3	14,8	14,3	13,8	13,2	12,7	12,0	11,4	10,7	10,0
	3	x	x	1 1/2	1	47	8	159	*	*	*	*	*	18,1	17,7	17,3	16,8	16,4	15,9	15,4	14,8	14,2	13,5

Fonte: Franklin Eletric (2022) [6]

Apêndice A - Energia Mensal (kWh) de acordo com combinações de azimute e inclinação

run	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Azimuth</i>	0	11	22	33	44	0	11	22	33	44	0	11	22	33	44	0	11	22	33	44
<i>Tilt</i>	0	0	0	0	0	11	11	11	11	11	20	20	20	20	20	22	22	22	22	22
Janeiro	167,33	167,33	167,33	167,33	167,33	163,79	164,04	164,34	164,68	165,06	156,73	157,19	157,73	158,36	159,05	154,67	155,19	155,79	156,49	157,25
Fevereiro	153,99	153,99	153,99	153,99	153,99	154,51	154,53	154,46	154,32	154,10	150,97	151,00	150,86	150,61	150,24	149,71	149,75	149,60	149,33	148,94
Março	139,52	139,52	139,52	139,52	139,52	145,62	145,79	145,68	145,28	144,62	146,88	147,18	146,96	146,23	145,02	146,71	147,04	146,80	146,00	144,65
Abril	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	117,80	117,93	117,65	116,98	115,95	122,56	122,76	122,25	121,03	119,14	123,24	123,46	122,89	121,55	119,47
Maio	93,07	93,07	93,07	93,07	93,07	105,05	105,05	104,56	103,61	102,23	112,00	111,98	111,10	109,38	106,92	113,19	113,16	112,21	110,32	107,63
Junho	83,73	83,73	83,73	83,73	83,73	96,90	96,81	96,20	95,10	93,56	104,95	104,80	103,72	101,75	99,00	106,41	106,23	105,06	102,90	99,89
Julho	91,13	91,13	91,13	91,13	91,13	104,45	104,42	103,85	102,77	101,23	112,46	112,40	111,40	109,46	106,71	113,89	113,81	112,72	110,60	107,58
Agosto	104,54	104,54	104,54	104,54	104,54	115,61	115,62	115,17	114,29	112,98	121,61	121,59	120,76	119,14	116,78	122,57	122,53	121,62	119,85	117,26
Setembro	116,53	116,53	116,53	116,53	116,53	123,33	123,46	123,30	122,84	122,10	125,72	125,96	125,66	124,80	123,39	125,87	126,14	125,80	124,84	123,29
Outubro	143,92	143,92	143,92	143,92	143,92	146,60	146,68	146,61	146,38	146,00	145,09	145,24	145,09	144,57	143,77	144,32	144,48	144,30	143,71	142,83
Novembro	143,27	143,27	143,27	143,27	143,27	141,13	141,33	141,53	141,75	141,95	135,87	136,21	136,57	136,90	137,22	134,29	134,66	135,04	135,41	135,76
Dezembro	152,91	152,91	152,91	152,91	152,91	148,67	148,80	149,01	149,31	149,68	141,48	141,71	142,12	142,65	143,29	139,45	139,71	140,16	140,75	141,47
Anual	1498,14	1498,14	1498,14	1498,14	1498,14	1563,43	1564,45	1562,37	1557,32	1549,47	1576,33	1578,01	1574,22	1564,88	1550,52	1574,33	1576,15	1571,98	1561,72	1546,02

run	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
<i>Azimuth</i>	0	11	22	33	44	0	11	22	33	44	0	11	22	33	44	0	11	22	33	44
<i>Tilt</i>	25	25	25	25	25	33	33	33	33	33	38	38	38	38	38	42	42	42	42	42
Janeiro	151,28	151,88	152,57	153,38	154,30	140,52	141,26	142,28	143,53	144,82	132,57	133,36	134,73	136,24	137,85	125,54	126,45	128,07	129,84	131,94
Fevereiro	147,54	147,56	147,40	147,13	146,69	139,96	139,98	139,83	139,56	139,07	133,98	133,99	133,89	133,66	133,26	128,54	128,52	128,52	128,37	128,17
Março	146,16	146,53	146,25	145,34	143,78	142,97	143,45	143,08	141,80	139,80	139,73	140,28	139,81	138,37	136,21	136,47	137,08	136,54	134,99	132,81
Abril	124,01	124,25	123,61	122,07	119,71	124,57	124,87	124,02	121,97	118,96	123,85	124,18	123,18	120,85	117,52	122,69	123,05	121,92	119,39	115,84
Maio	114,74	114,70	113,63	111,50	108,47	117,47	117,42	116,02	113,26	109,38	118,16	118,10	116,49	113,37	109,02	118,16	118,08	116,32	112,93	108,20
Junho	108,36	108,15	106,83	104,40	101,01	112,18	111,90	110,22	107,08	102,72	113,57	113,25	111,34	107,79	102,88	114,12	113,78	111,69	107,84	102,49
Julho	115,79	115,69	114,45	112,06	108,66	119,40	119,25	117,65	114,56	110,18	120,59	120,42	118,60	115,09	110,17	120,96	120,78	118,78	114,96	109,63
Agosto	123,74	123,70	122,67	120,65	117,73	125,38	125,31	123,97	121,31	117,57	125,31	125,23	123,69	120,66	116,48	124,67	124,58	122,87	119,57	115,08
Setembro	125,84	126,14	125,75	124,63	122,88	124,28	124,65	124,10	122,60	120,42	122,24	122,65	121,97	120,30	117,95	120,03	120,47	119,70	117,92	115,47
Outubro	142,87	143,04	142,80	142,12	141,15	137,35	137,52	137,14	136,31	135,23	132,71	132,85	132,44	131,61	130,59	128,37	128,49	128,08	127,31	126,30
Novembro	131,66	132,07	132,48	132,90	133,31	123,13	123,60	124,17	124,79	125,43	116,71	117,27	117,96	118,76	119,70	111,06	111,67	112,45	113,55	114,61
Dezembro	136,12	136,44	136,94	137,65	138,50	125,70	126,12	126,91	127,95	129,14	118,10	118,63	119,63	120,90	122,53	111,49	112,11	113,26	114,94	116,87
Anual	1568,11	1570,14	1565,38	1553,84	1536,18	1532,89	1535,33	1529,39	1514,73	1492,73	1497,51	1500,21	1493,73	1477,59	1454,14	1462,09	1465,06	1458,20	1441,60	1417,40

Fonte: Autoria própria