

SISTEMA BOMBEAMENTO SOLAR FLUTUANTE PARA COMUNIDADES ISOLADAS NA AMAZÔNIA: UMA ABORDAGEM SOCIAL E EDUCACIONAL

Norah Nadia Sánchez Torres¹

Ivonete Borne²

Jorge Javier Gimenez Ledesma³

Oswaldo Hideo Ando Junior⁴

Resumo: A desigualdade e a carência de serviços básicos em algumas regiões da Amazônia destacam a necessidade de abordagens inovadoras que integrem Educação Ambiental, Gestão Ambiental e a promoção de soluções sustentáveis. Este estudo propõe a análise do dimensionamento de um sistema de bombeamento solar flutuante, de maneira educativa e participativa, visando atender às residências unifamiliares de ribeirinhos em comunidades isoladas na Amazônia. O método de pesquisa inicia-se com o levantamento de dados de irradiação no Amazonas, envolvendo a comunidade local no processo de coleta de informações. A delimitação do consumo de água é realizada em conjunto com os moradores, promovendo uma abordagem participativa e educativa. Após o dimensionamento e simulação, são analisados três cenários, considerando variáveis técnicas e ambientais, mas também a inclusão da comunidade na tomada de decisões. Concluindo, o sistema proposto busca não apenas atender às demandas hídricas da comunidade, mas também proporcionar uma experiência educativa e conscientizadora. A tecnologia renovável adotada é apresentada não apenas como solução técnica, mas como uma ferramenta para promover a compreensão da importância da sustentabilidade e da transição energética. Destaca-se a ênfase na capacitação da comunidade para a manutenção do sistema, fortalecendo a autonomia e o comprometimento com a preservação ambiental.

Palavras-chave: Educação Ambiental; Gestão Ambiental Participativa; Sustentabilidade; Recursos Hídricos; Tecnologia Renovável.

¹Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), E-mail: norah.torres@aluno.unila.edu.br, Link para o Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0240994718518017>.

²Universidade Federal da Paraíba- UFPB. Email: ivo.borne@gmail.com, Link para o Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0653962350353174>.

³, Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), E-mail: jorge.ledesma@unila.edu.br, Link para o Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9489296690332026>.

⁴Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), E-mail: oswaldo.ando@ufrpe.br. Link para o Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3515465412634126>.

Abstract: Inequality and the lack of basic services in some regions of the Amazon highlight the need for innovative approaches that integrate Environmental Education, Environmental Management and the promotion of sustainable solutions. This study proposes the analysis of the dimensioning of a floating solar pumping system, in an educational and participatory manner, aiming to serve single-family riverside homes in isolated communities in the Amazon. The research method begins with collecting irradiation data in Amazonas, involving the local community in the information collection process. The delimitation of water consumption is carried out together with residents, promoting a participatory and educational approach. After sizing and simulation, three scenarios are analyzed, considering technical and environmental variables, but also the inclusion of the community in decision-making. In conclusion, the proposed system seeks not only to meet the community's water demands, but also to provide an educational and awareness-raising experience. The adopted renewable technology is presented not only as a technical solution, but as a tool to promote understanding of the importance of sustainability and energy transition. The emphasis on training the community to maintain the system stands out, strengthening autonomy and commitment to environmental preservation.

Keywords: Environmental Education; Participatory Environmental Management; Sustainability; Water Resources; Renewable Technology.

Introdução

Os sistemas de abastecimento e tratamento de águas estão evoluindo para soluções cada vez mais modernas, como, por exemplo, sistemas automáticos e inteligentes. Esses sistemas apresentam a vantagem de promover a eficiência e a sustentabilidade energética, por meio do tratamento e recuperação de resíduos, além da inclusão de sistemas de *Energy Harvesting* para a redução de pressão e geração de energia, como os geradores da *Lucid Energy*.

No âmbito da saúde, pós-pandemia COVID-19, o avanço da tecnologia permitiu um aumento significativo na produção de vacinas. A inserção da inteligência artificial na medicina tem um potencial de transformar verdadeiramente o tratamento do câncer (NIH, 2022). Enquanto isso, os sistemas energéticos estão evoluindo para tornar-se *smart grid* e *smart city*, com a inclusão das energias renováveis, sistemas de *IoT* e alternativas de transporte com baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) para promover a sustentabilidade energética.

Apesar de toda a evolução tecnológica no século XXI, estima-se que cerca de 26% da população mundial (cerca de 2 bilhões de pessoas) não tem acesso ou possui acesso precário aos serviços de água potável, enquanto aproximadamente 46% (3,6 bilhões) não contam com saneamento básico (Connor; Miletto; UNESCO, 2023).

Conforme os dados da UNESCO na Conferência das Nações Unidas sobre a Água em 2023. Em 2016, havia 930 milhões de pessoas sofrendo com a falta de água, e estima-se que esse número aumentará para entre 1,7 e 2,4

bilhões até 2050 (Koncagul; Connor, 2023). Com isso, prevê-se que o consumo de água da população urbana global dobrará até 2050, enfrentando assim uma crescente escassez de água. Atualmente, aproximadamente 2-3 bilhões de pessoas sofrem com a escassez de água por pelo menos um mês ao ano, representando sérios riscos para seus meios de subsistência, principalmente em relação à segurança alimentar e ao acesso à eletricidade (Koncagul; Connor, 2023).

Conforme a UNESCO, a América Latina e Caribe (ALC) são a região que apresenta 15,4% de estresse hídrico, detendo cerca de 33% de todos os recursos renováveis de água doce do mundo. Destaca-se o Rio Amazonas, com um volume de água superior ao somatório dos rios Nilo, Yangtze e Mississippi juntos (UNESCO, 2021).

Destaca-se que ALC, em termos de desigualdade de acesso e oportunidade, ranqueada como uma das regiões que apresentam maior déficit no mundo, segundo o índice de GINI. Esse índice mede as desigualdades sociais e o nível de concentração de renda, sendo publicado no relatório de desenvolvimento sustentável, ficando à frente apenas de regiões da Ásia e África (Sachs et al., 2022). Mesmo que recentemente apresente ações de melhorias, os níveis de redução de desigualdade não proporcionam avanços significativos e estão sendo distribuídos desigualmente. Isso é evidente principalmente em zonas rurais, zonas áridas, semidesérticas localizadas a grandes altitudes com uma menor captação de água, comunidades ribeirinhas e de fronteira ou afetadas por conflitos (CODS, 2022; World Population Review, 2022).

Dentro desta perspectiva, alguns autores apresentam pesquisas para mitigar o problema de falta de serviços de água. Autores como Chadel (2015) apresentam uma revisão das tecnologias de bombeamento solar e uma comparação com sistemas baseados em eletricidade ou diesel, demonstrando que as bombas solares têm um retorno de investimento entre 4 a 6 anos.

Enquanto Bohorquez (2014) apresenta um retorno de investimento com base na demanda, indicando que para 5000 litros de água diários o retorno é de 4 anos e para 10 000 litros de água é de 6 anos. A diferença das duas primeiras bibliografias, Sharma (2020) apresenta um sistema de bombeamento solar utilizando o software PV system para realizar as simulações de dimensionamento e design do projeto. Seguindo a mesma linha, Wernius e Olausson (2019) apresentam uma comparação entre dois tipos de bombas, uma de superfície e outra submersível, sendo a última a de melhor preferência devido ao menor custo, peso e manutenção. Por outro lado, Domond (2018) apresenta um sistema de bombeamento solar de água subterrânea com uso de armazenamento hidráulico. Entre os trabalhos mais relevantes para nossa pesquisa, temos Jiménez (2017) mostrando um sistema fotovoltaico para bombeamento de irrigação, tanto conectado à rede como isolado. Indicando que os sistemas solares ainda são produtos caros, mas têm uma alternativa

promissora quando o objetivo é aumentar a segurança no abastecimento da água e a mitigação ambiental.

Na região da Amazônia, encontramos pesquisas como o autor Gomes et al. (2019), que apresenta uma análise dos fatores históricos, técnicos e ambientais que influenciaram o desenvolvimento de um sistema de abastecimento de água para pequenas comunidades rurais em áreas sazonalmente inundadas da Amazônia. Na mesma linha, o autor Tarazona-Romero et al. (2021) apresenta um projeto na Colômbia para realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico que permita sua integração com um sistema de condensação para a produção de água doce em áreas isoladas (rurais). Para gerar uma aplicação de condensação sustentável capaz de produzir água doce para abastecer pequenos grupos de habitantes em áreas onde o suprimento básico de líquido é deficiente. Para aprimorar ainda mais o projeto, Naderipour (2021) propõe um algoritmo de gotas de água inteligente por meta-heurísticas para otimizar o sistema de bombeamento.

Neste contexto, e visando contribuir para a solução, o objetivo é desenvolver o estudo do dimensionamento de um sistema, que seja modular e expansível, para atender residências unifamiliares de ribeirinhos (2 até 8 pessoas), em comunidades isoladas na Amazônia. Composto por um sistema de bombeamento solar com um flutuador de material de PVC.

Destaca-se que a pesquisa contribui para o atendimento das metas do Brasil da Agenda 2030, especificamente nos ODS, abordando as temáticas do ODS 1 (Erradicação da Pobreza), ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).

Por fim, fica evidente que, apesar de o foco desta pesquisa estar na região amazônica do Brasil, espera-se que o projeto possa ser adaptado para enfrentar a realidade de outras comunidades isoladas. Como na região do Chaco localizada no Paraguai, a região andina na Bolívia, na costa do mar do Perú, na região da Amazônia Colombiana, assim como, em regiões de conflito armado, caso haja recursos disponíveis.

Metodologia

Os passos do delineamento metodológico serão detalhados, incluindo a descrição de suas etapas, a justificativa das decisões tomadas e as ferramentas utilizadas. A metodologia adotada nesta pesquisa baseia-se principalmente na seleção e dimensionamento do melhor Kit Amazônico de bombeamento solar de água, para aplicação em uma residência unifamiliar, visando atender à desigualdade e à falta de serviços básicos, como água potável nas famílias da região da Amazônia. A metodologia utilizada pode ser dividida nas seguintes etapas básicas, conforme ilustrado na Figura 1.

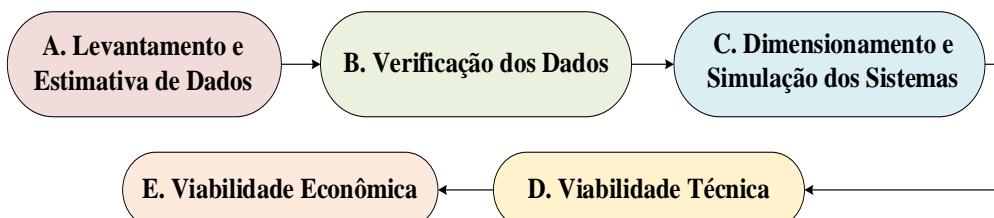


Figura 1: Fluxograma da metodologia proposta.

Fonte: Dos Autores (2023).

Etapa A: Trata-se de realizar um levantamento inicial das informações disponíveis referente à água da comunidade. Para tal fim, recomenda-se iniciar pela avaliação da viabilidade técnica e pelas necessidades energéticas, incluindo fatores como, a localização, a demanda e o consumo de água estimado, às horas de autonomia, entre outras.

Etapa B: Verificar os dados coletados anteriormente, visando identificar possíveis problemas que podem comprometer o desempenho do sistema instalado.

Etapa C: Serão avaliados e simulados os dados coletados e verificados nas etapas anteriores, visando dimensionar reservatórios, encanamento, unidades de bombeamento, reservatórios de reguladores de vazão e o sistema de bombeamento que será instalado na comunidade.

Etapa D: Realiza-se uma análise técnica que garanta a otimização de cada proposta simulada e avaliada na etapa anterior. Caso alguma não apresente resultados satisfatórios, deve-se voltar ao procedimento anterior e reavaliar o problema.

Etapa E: Por último, apresenta-se o estudo da viabilidade econômica, com foco na análise dos custos, incluindo custos de instalação e transporte. Considerando que, a aplicação está voltada a cidades isoladas, existem custos adicionais no transporte dos equipamentos por exemplo, proporcionando uma ideia para a implementação do projeto em outras cidades.

Levantamento e estimativa dos dados

Nesta etapa, serão detalhados o levantamento, validação e verificação dos dados utilizados para o bombeamento solar flutuante, incluindo o índice de irradiação média, a estimativa de crescimento populacional e a estimativa do consumo de água.

Índice de irradiação média

Será detalhada a análise dos índices de irradiação média para a região Norte, que servirão de base para o sistema de bombeamento solar flutuante no Amazonas.

Com a medição do índice de irradiação média, busca-se quantificar a radiação solar global incidente sobre o módulo fotovoltaico. Muitas vezes, esses dados não estão disponíveis, sendo necessário utilizar métodos de tratamento de dados que permitam estimar as grandezas de interesse. Para obter uma boa estimativa da radiação incidente no plano do módulo, deve-se considerar os elementos de sombreamento atuais, potenciais elementos de sombreamento e superfícies reflexivas próximas, incluindo o chão.

Para o estudo do recurso solar disponível na região Norte, foi utilizada a ferramenta Sun Data do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito - CRESESB (Pinho; Galdino, 2014) e a base de dados do National Renewable Energy Laboratory - NREL, na qual foram localizados os índices de irradiação mínimos e máximo da região. Portanto, com ajuda do Gráfico 1, pode-se observar que a irradiação solar no Norte pode variar de 4.323 Wh/m² · dia até 5.566 Wh/m² · dia, sendo que para o Amazonas, onde nosso projeto será implementado, o índice varia em torno de 4.323 Wh/m² · dia até 4.664 Wh/m² · dia.

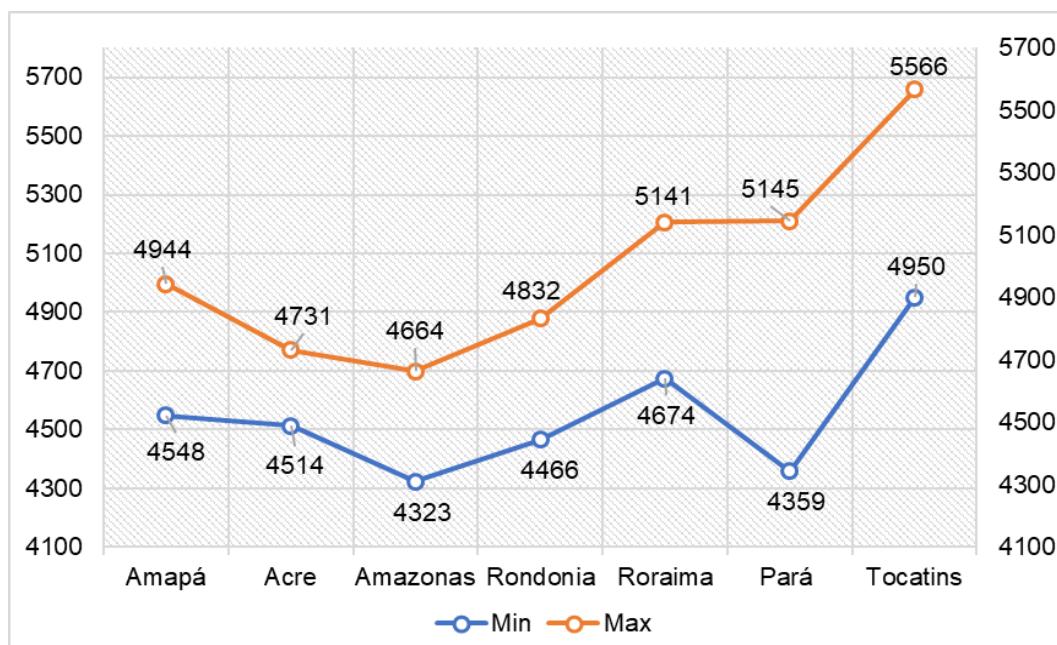


Gráfico 1: Perfil de Irradiação solar média do Norte.
Fonte: Dados adaptados pela autora do (INPE; LABREN, 2023).

Estimativa de crescimento populacional

Para o dimensionamento dos sistemas, é crucial conhecer a população a ser abastecida e seu crescimento populacional. Para o dimensionamento do sistema de bombeamento solar flutuante destinado a residências unifamiliares de ribeirinhos, a estimativa de crescimento populacional será definida com base no número de pessoas por residências, considerando uma variação de 2 até 8 pessoas por residência. Portanto, os cálculos futuros serão realizados considerando essa faixa específica de pessoas por residência.

Estimativa do consumo de água

Uma vez que o projeto está focado em um sistema de bombeamento solar para o abastecimento de água utilizável nas comunidades ribeirinhas da Amazônia, é necessário realizar uma avaliação das necessidades energéticas. Serão coletados e calculados parâmetros, incluindo o consumo de água por pessoa.

Após definir a estimativa de crescimento populacional, o próximo passo é conhecer o consumo per capita, para o qual é necessário revisar a Norma Técnica Nº 3/2022/COOUT/SER da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. Conforme mostrado na Tabela 1, para uma comunidade rural com uma população inferior a 100.000 habitantes, o consumo varia de 90 a 140 l/hab. dia. Para o projeto, é considerada uma média de 115 Litros/hab. dia.

Tabela 1: Consumo per capita de referência

POPULAÇÃO ATENDIDA	CONSUMO PER CAPITA DE REFERÊNCIA (L/HAB·DIA)
<100.000	90 a 140
De 100.000 a 500.000	100 a 220
>500.000	150 a 300

Fonte: Adaptado pelo autor da (ANA, 2022).

Com os dados coletados para o bombeamento solar flutuante, é calculada a estimativa de consumo de água por residência, abrangendo um mínimo de 230 Litros até 920 Litros para residências com 2 até 8 pessoas, respectivamente.

No decorrer da pesquisa, não é considerada a estimativa de água para outras aplicações, como irrigação de lavouras, abastecimento público, atividades industriais, extração mineral, aquicultura, navegação, turismo, lazer, entre outras. Isso ocorre porque o projeto está delimitado para o consumo de água utilizável destinado à população ribeirinha na Amazônia.

Dimensionamento e especificações do bombeamento solar flutuante

Serão detalhados os passos de cálculos para o dimensionamento do sistema de bombeamento solar flutuante. Esses cálculos são baseados no equacionamento de Bolaños (2018) e nas diretrizes do CRESESB (2014), considerando o dimensionamento analítico e, por último, a escolha e seleção dos equipamentos.

Após calcular a estimativa de crescimento populacional e o consumo de água com base no número de pessoas por residência, realiza-se o dimensionamento dos seguintes componentes: (i) Reservatório, (ii) Bomba Solar e (iii) Módulos Fotovoltaicos. Estes serão descritos a seguir.

Dimensionamento do reservatório

O reservatório é um dos componentes críticos do dimensionamento, devendo conseguir abastecer o sistema de bombeamento de água. Seu papel é garantir um fornecimento constante e estável de água para as comunidades ribeirinhas da Amazônia, especialmente em eventuais interrupções de energia, contribuindo assim para a eficiência e confiabilidade do sistema. Conforme a ABNT – 5626 – 2020, o volume total de água reservado deve ser suficiente para atender no mínimo 24 horas de consumo normal em um edifício. Na impossibilidade de determinar o volume máximo permitível, recomenda-se limitar o volume total a um valor correspondente a três dias de consumo diário ou prever meios que assegurem a preservação das características da água. Além disso, a norma estabelece que o reservatório deve ser projetado para garantir sua efetiva operação, verificação e manutenção, de maneira simples e econômica. Para o bombeamento solar flutuante, o reservatório escolhido possui uma capacidade de 2000 Litros, e os cálculos subsequentes referem-se a esse valor (ABNT, 2020).

Dimensionamento da bomba solar

Para o dimensionamento da bomba solar, escolhe-se o tipo de bomba, podendo ser submersa ou superficial, considerando as necessidades energéticas do local. No caso de instalação em um rio, é importante considerar os resíduos presentes (galos, restos de folhas, mato, etc.) a fim de evitar interrupções no funcionamento da bomba.

A bomba solar é alimentada pela energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos, e o gerenciamento da energia produzida pelos módulos e da energia consumida pela bomba solar é realizado pelo inversor de frequência. O dimensionamento preciso da bomba solar é crucial para garantir que todas as necessidades sejam atendidas, mesmo em períodos de baixa irradiação solar, como no inverno. Para esse dimensionamento, são essenciais os parâmetros da altura manométrica, vazão volumétrica e potência da bomba.

A altura manométrica corresponde à distância vertical entre a bomba solar e a superfície do reservatório, adicionada às perdas de carga ao longo da trajetória do fluxo. Essas perdas de carga podem ser contínuas e localizadas ao longo da tubulação, nas peças e curvas utilizadas. Para calcular a altura manométrica, utiliza-se a equação (1), e para as perdas de carga, a fórmula de Hazen Williams expressa pela equação (2) (Azevedo; Fernández, 2022).

$$H_M = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + h_f \quad (1)$$

$$h_f = 10,646 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85} \cdot \frac{L}{D^{4,87}} \quad (2)$$

Onde P é a pressão, V é a velocidade média do fluxo, z é o nível geográfico, h_L é a perda de carga total do sistema, ρ é a massa específica do fluido, g é a gravidade, C é o coeficiente de rugosidade para o PVC, D é o diâmetro da tubulação e L é o comprimento da tubulação.

A vazão representa o volume de água que a bomba solar consegue movimentar por hora. Para determinar essa vazão, utiliza-se a equação (3), onde Q_{md} é o volume diário a ser bombeado, e HSP representa as horas de sol pleno.

$$Q_{mb} = \frac{Q_{md}}{HSP} \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (3)$$

A potência da bomba solar deve ser suficiente para movimentar a água proveniente de poços, ribeirões e cisternas até os reservatórios elevados, como caixas de água. Para calcular essa potência, utiliza-se a equação (4), onde η_b é a eficiência da bomba.

$$P_b = \frac{g \cdot H_M \cdot \rho}{\eta_b} \cdot \frac{Q_{mb}}{3600} [W] \quad (4)$$

Outra forma de pré-seleção de uma bomba é por meio dos gráficos, conforme mostrado na Figura 2, utilizando os valores da altura manométrica e da vazão. Após a seleção do modelo, é possível estudar a ficha técnica dos fabricantes para escolher a bomba mais adequada para o projeto.

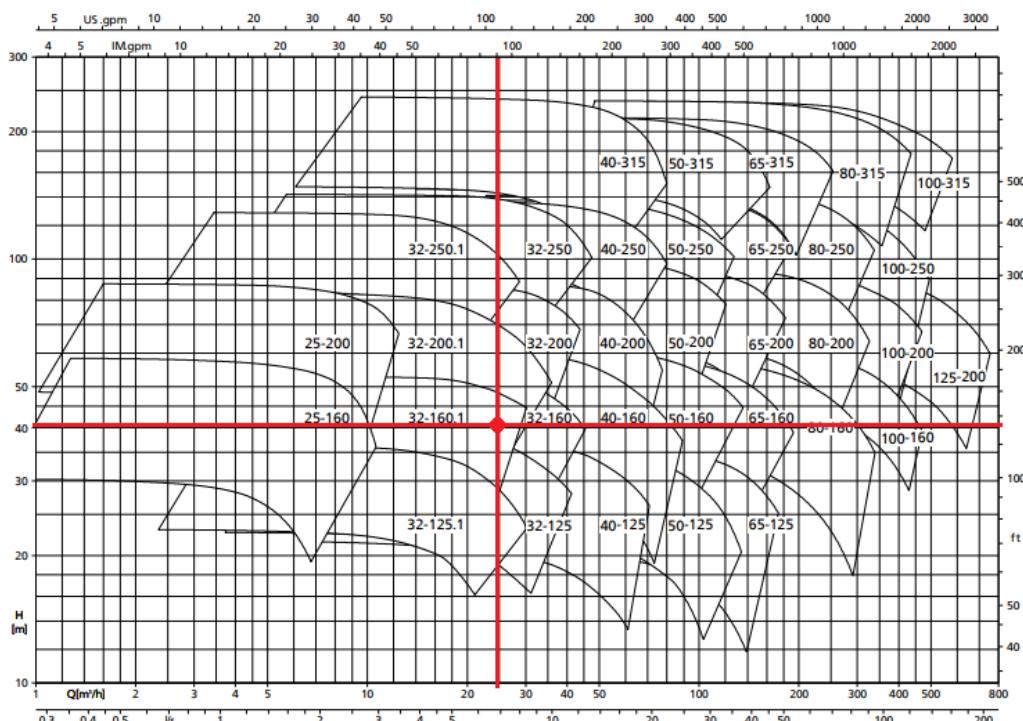


Figura 2: Pré-seleção de uma bomba em função da vazão e da altura manométrica
Fonte: Adaptado de (KSB, 2013).

Para o dimensionamento e escolha da bomba solar na nossa configuração, após estimar o crescimento populacional, que varia de 2 a 8 pessoas, é necessário considerar a estimativa de consumo de água por residência e com o reservatório definido anteriormente (2000 Litros). Portanto, a bomba escolhida é uma bomba submersível alimentada por energia solar fotovoltaica, modelo 3P – 48V ZM/TF 100/1400, com uma potência de 500 W. As especificações técnicas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Especificações técnicas da bomba 3P-48V ZM/TF 100/1400-500W

BOMBA 3P-48V ZM/TF 100/1400-500W	
Potência nominal da bomba [Ws]	500
Tensão nominal da bomba [V]	48
Corrente nominal [A]	10
Tensão mínima de circuito aberto no controlador [V]	21,5
Entrada de Tensão no controlador [V]	≥ 60
Tensão máxima de circuito aberto no controlador [V]	< 100
Corrente mínima de funcionamento [A]	1,3
Corrente máxima de funcionamento [A]	12
Peso da Bomba [Kg]	15

Fonte: Adaptado de (Energy Shop, 2015)

Outra característica importante da bomba escolhida é que o fornecedor fornece dados simulados, incluindo a altura manométrica desde o reservatório até o ponto de captação, variando de 0 a 100 metros, as perdas de carga e uma vazão que varia de 380 Litros/hora até 1400 Litros/hora, conforme mostrado na Tabela 3. Com esses dados, será possível realizar os cálculos para o número de horas de sol pico obtidas na região da Amazônia.

Tabela 3: Dados Simulados de Altura Manométrica e Vazão

ALTURA MANOMÉTRICA (Metros)	VAZÃO (Litros/Hora)
100	380
80	650
60	850
40	1000
20	1050
0	1400

Fonte: Adaptado de (Energy Shop, 2015)

Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Quanto aos módulos fotovoltaicos, eles podem ser instalados no solo ou flutuantes, dependendo da localização do poço, reservatório ou aquífero. Serão utilizados dois módulos fotovoltaicos de 340 W cada, com as especificações detalhadas na Tabela 4, conforme recomendado pelo fabricante. Além disso, o projeto contará com um controlador de carga, desempenhando um papel crucial

na proteção do sistema contra sobrecarga e descarga profunda. Este controlador não apenas regula a tensão, otimizando a eficiência do sistema, mas também fornece informações de monitoramento cruciais. Ele é essencial para garantir a operação confiável e autônoma de sistemas de bombeamento solar em locais remotos, contribuindo significativamente para a eficiência e longevidade do sistema.

Tabela 4: Especificações Técnicas dos módulos utilizados para a bomba solar

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	
Eficiência [%]	17,5
Potência máxima [Wp]	340,0
Tensão de máxima potência [V]	38,3
Corrente de máxima potência [A]	8,9
Tensão de circuito aberto – Voc [V]	46,8
Corrente de curto-circuito - Isc [A]	9,4
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Área do módulo [mm ²]	1956 x 992 x 40
Célula	Silício Policristalino
Peso do módulo [Kg]	25,5

Fonte: Adaptado de (Energy Shop, 2015)

Dimensionamento do flutuador

A estrutura de suporte do sistema de bombeamento solar flutuante visa principalmente manter todos os componentes em segurança, protegendo o sistema todo e proporcionando estabilidade e flutuabilidade aos seus componentes. Dentre os diferentes tipos de estruturas flutuantes disponíveis, destacam-se (i) flutuadores para suporte e fixação direta dos módulos, (ii) flutuadores associados a estruturas metálicas, (iii) membranas e tapetes e (iv) estruturas tubulares.

Para garantir a fixação da estrutura nas margens e/ou, no fundo do corpo de água, é necessário um sistema de ancoragem e amarração capaz de resistir aos esforços causados pela variação do nível de água e pelo vento. Além de pequenos galhos e resíduos que podem ser deslocados pela água em períodos de cheias. Existem três formas comuns de ancoragem: (i) banco de ancoragem ou ancoragem em bloco, (ii) ancoragem inferior ou de fundo e(iii) pilar ou estaca, como ilustrado na Figura 3 (EPE, 2020).

A estrutura flutuante de canos de PVC é escolhida para o sistema devido ao seu baixo custo e facilidade de transporte para as comunidades próximas ao rio. Para o dimensionamento da estrutura flutuante de PVC, é necessário conhecer o peso do tubo, o peso total do sistema e, com isso, analisar o empuxo. Para encontrar o peso do tubo (m_{Tubo}) é necessário aplicar a equação (5), onde V_{Tubo} (m^3) é o volume do tubo e ρ_{PVC} ($\frac{kg}{m^3}$) é a densidade do PVC.

$$m_{Tubo}(kg) = V_{Tubo}(m^3) * \rho_{PVC} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad (5)$$

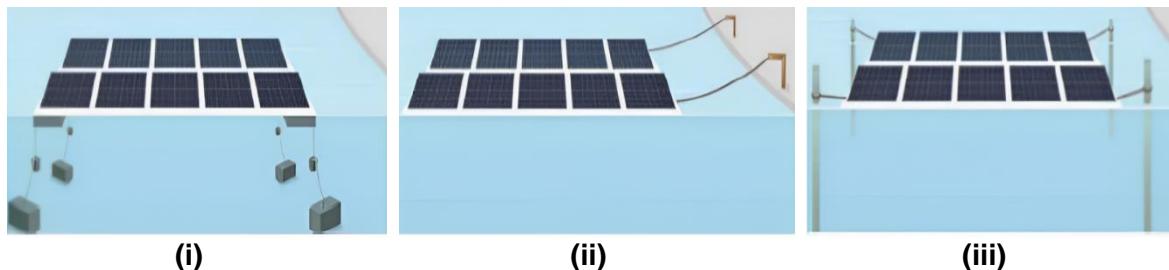


Figura 3: Demonstrativo dos tipos de ancoragem (i) banco de ancoragem ou ancoragem em bloco, (ii) ancoragem inferior ou de fundo e (iii) pilar ou estaca

Fonte: (World Bank Group; ESMAP; SERIS, 2019).

Para calcular o volume do tubo $V_{Tubo}(m^3)$, como se trata de um cilindro oco, utiliza-se a equação (6):

$$V_{Tubo}(m^3) = \pi \cdot h_{Tubo} \cdot (R_{ext}^2 - R_{int}^2) \quad (6)$$

Continuando com o dimensionamento do flutuador, e após calcular o peso dos tubos, é necessário determinar o peso dos componentes que serão fixados no flutuador, como os módulos, a bomba e o sistema de fixação. A instalação e fixação das placas solares serão realizadas de maneira semelhante à montagem em telhados de casas convencionais. Nossa sistema utilizará barras de alumínio, perfil de alumínio, *mid clam* e *end clamp* para fixar os módulos fotovoltaicos na estrutura de PVC.

Após encontrar os dados do peso do sistema fotovoltaico e dos tubos, é necessário analisar a força de flutuabilidade, sendo a diferença entre o empuxo da água e o peso. Para o cálculo da força de flutuabilidade, segue-se a equação (7), onde $V_{deslocado}$ é o volume deslocado, que pode ser encontrado pela equação (6) ou pela equação (8).

$$F_{flutuabilidade} = Empuxo - Peso \quad (7)$$

$$F_{flutuabilidade} = \rho_{água} \cdot V_{deslocado} \cdot g - (P_{tubo} + P_{SFV}) \cdot g$$

$$V_{deslocado} = A_{base} * h_{deslocada} \quad (8)$$

No final dos cálculos, é feita uma análise da força de flutuabilidade, seguindo o princípio de Arquimedes. Se a força de flutuabilidade for positiva, o sistema flutuará; se a força for zero, o sistema se manterá em equilíbrio; e se a força for negativa, o sistema vai submergir ou afundar.

Simulação do bombeamento solar flutuante

Após o dimensionamento do sistema de bombeamento solar flutuante, com base nos dados mostrados anteriormente, além dos dados fornecidos pelo fabricante, detalhados na Tabela 3, incluindo altura manométrica e vazão, são realizadas as simulações com a avaliação de três cenários. Para a estrutura flutuante são realizadas simulações variando o comprimento e diâmetro da tubulação.

Bombeamento solar

Para o bombeamento solar, são simulados três cenários com base na vazão e altura manométrica fornecida pelos dados do fabricante.

O cenário otimista (Cenário 1) assume uma vazão de 1050 Litros/hora e uma altura manométrica de 20 m. O cenário moderado (Cenário 2) considera uma vazão de 1000 Litros/hora e uma altura de 40 m. Já o cenário pessimista (Cenário 3) utiliza uma vazão 380 Litros/hora e uma altura de 100 m.

Para cada um desses cenários, realizamos a simulação em função da distância linear da tabulação, variando de 0 a 300 m, desde o ponto de captação até o local onde será instalado o reservatório, conforme mostrado na Figura 4. Além disso, consideramos uma variação dos diâmetros da tubulação, desde $\frac{3}{4}$ ' até 2' polegadas.

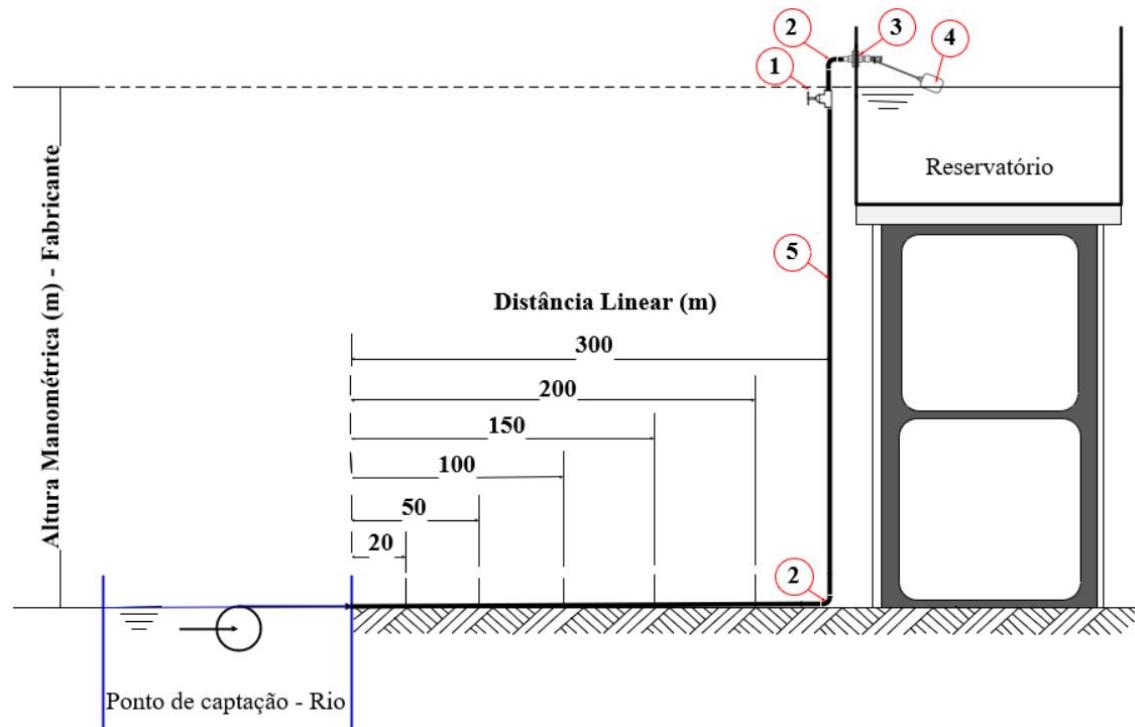


Figura 4: Desenho estrutural dos dados fornecidos pelo fabricante e equipamento considerado para os cenários propostos. *(1) Regulador de Gaveta, (2) Curvas de 90°, (3) Flange, (4) Torneira de boia, (5) Tubulação de PVC.

Fonte: Dos Autores (2023).

As perdas de carga consideradas ao longo da tubulação, bem como as perdas de carga localizadas nos componentes utilizados, tais como registo de gaveta (1), curvas de 90° (2), flange (3), torneira de boia (4) e luva (considerando-se que a perda de carga da última peça é desconsiderada devido à sua magnitude insignificante).

Portanto, com os parâmetros detalhados e utilizando a equação de perda de carga, é possível determinar a nova vazão para cada cenário proposto, conforme apresentado na Tabela 5. Observa-se que, ao considerar as perdas de carga, os valores diminuem à medida que a distância linear aumenta. Além disso, a redução da vazão é mais notável à medida que o diâmetro do tubo diminui.

Tabela 5: Variação da vazão em função da distância linear e dos diâmetros da tubulação

CENÁRIO 1								
DISTÂNCIA LINEAR (Metros)		0	20	50	100	150	200	300
\emptyset (pol)	$\frac{3}{4}'$	1050	967,2	871,6	748,4	655,8	583,5	478,1
	1'	1050	1026,5	996,0	949,1	906,4	867,4	798,7
	$1\frac{1}{2}'$	1050	1046,6	1042,4	1035,4	1028,5	1021,7	1008,4
	2'	1050	1049,2	1048,1	1046,5	1044,8	1043,1	1039,7
CENÁRIO 2								
\emptyset (pol)	$\frac{3}{4}'$	1000	962,3	914,5	844,5	784,5	732,5	646,6
	1'	1000	989,6	975,8	953,7	932,5	912,3	874,3
	$1\frac{1}{2}'$	1000	998,5	996,7	993,6	990,5	987,5	981,5
	2'	1000	999,6	999,2	998,5	997,7	997,0	995,5
CENÁRIO 3								
\emptyset (pol)	$\frac{3}{4}'$	380	379,0	377,6	375,4	373,2	371,0	366,6
	1'	380	379,7	379,4	378,8	378,2	377,6	376,4
	$1\frac{1}{2}'$	380	380,0	379,9	379,8	379,8	379,7	379,5
	2'	380	380,0	380,0	380,0	379,9	379,9	379,9

Fonte: Dos Autores (2023).

Com os dados do índice médio de irradiação mínima e máxima por região, conforme apresentados no início, e os dados da nova vazão calculadas anteriormente, foram obtidos os dados de vazão em litros por dia, com base no número de horas de sol pico. Conforme indicado pelo fabricante no *datasheet* da bomba solar escolhida (Energy Shop, 2015).

Nos três cenários apresentados, observa-se que, à medida que aumenta a distância linear do ponto de captação até o local onde será instalado o reservatório, a vazão diminui. Esse mesmo padrão é observado ao longo da variação de todos os diâmetros considerados. A redução da vazão é mais expressiva em diâmetros pequenos ($\frac{3}{4}'$ e 1') em comparação com diâmetros maiores ($1\frac{1}{2}'$ e 2'), sendo que, para diâmetros pequenos, a diferença é em torno

de valores de quatro dígitos, enquanto em diâmetros maiores a diferença é de três ou dois dígitos. O comportamento de redução da vazão, conforme o aumento do comprimento da tubulação, está relacionado às perdas de carga contínuas e perdas localizadas. Quanto maior o comprimento do tubo, maiores serão as perdas e a resistência ao fluxo, resultando em uma diminuição da vazão.

Para distâncias lineares fixas e com uma variação nos diâmetros da tubulação, a vazão apresenta um aumento gradual, sendo mais expressivo em diâmetros pequenos do que em diâmetros maiores. Esses comportamentos estão alinhados com os princípios fundamentais da hidrodinâmica, pois ao aumentar os diâmetros das tubulações, afeta-se a velocidade do fluido e, portanto, a vazão.

Na Tabela 6, mostram-se os dados da vazão para a região do Amazonas. Para o cenário 1, simulado para o sistema de bombeamento solar flutuante, são apresentados os dados só do Cenário 1 já que se observa o mesmo comportamento na hora de variar a distância linear e o diâmetro da tubulação nos três cenários.

Tabela 6: Vazão em litros no dia baseado no índice médio de irradiação mínima e máxima para a região Amazonas.

DIÂMETRO DE TUBULAÇÃO - (POLEGADAS)	VAZÃO (Litros/Hora)	DISTÂNCIA LINEAR (Metros)	AMAZONAS	
			MIN	MAX
CENÁRIO 1				
$\frac{3}{4}'$	1050,0	0	4539,2	4897,2
	967,2	20	4181,0	4510,8
	748,4	100	3235,5	3490,7
	478,1	300	2066,9	2230,0
1'	1026,5	20	4437,4	4787,5
	949,1	100	4103,0	4426,7
	798,7	300	3452,6	3725,0
	1046,6	20	4524,3	4881,2
$1\frac{1}{2}'$	1035,4	100	4475,9	4829,0
	1008,4	300	4359,4	4703,2
	1049,2	20	4535,5	4893,3
2'	1046,5	100	4523,8	4880,6
	1039,7	300	4494,8	4849,3

Fonte: Dos Autores (2023).

Flutuador

Quanto à estrutura de suporte do sistema de bombeamento solar flutuante, é necessário calcular primeiro a capacidade de carga que a estrutura pode suportar e verificar se ela consegue resistir ao peso de todos os materiais que serão utilizados. De acordo com dados do fabricante, o peso total do sistema é de 66 kg, conforme mostrado na Tabela 2 e na Tabela 4.

Com o peso do sistema em mãos, seguimos as equações (5) e (6) para determinar o peso do tubo de PVC. No dimensionamento do flutuador, analisamos três tipos de tubos com diâmetros variando entre 100, 200 e 300 mm, cada um com comprimentos de 2, 3 e 6 m. Os valores resultantes estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Peso da tubulação

COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO [M]	DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO [MM]		
	100	200	300
6	4,5 kg	17,8 kg	26,2 kg
3	2,3 kg	8,9 kg	13,2 kg
2	1,5 kg	5,9 kg	8,7 kg

Fonte: Dos Autores (2023).

Para analisar a força de flutuabilidade, é necessário calcular o volume deslocado usando a equação (7), e para isso, utilizamos os dados da Tabela 8 para determinar o empuxo da água.

Com esses valores, é encontrada a força de flutuabilidade e analisada para cada um dos tipos de tubulação. Para tubos de 100 mm de diâmetro, a força de flutuabilidade é negativa, indicando que o sistema afundará. Já com um diâmetro de 200 mm, apenas os tubos de 6 m e 3 m de comprimento flutuam, enquanto a tubulação de 2 m tem uma força negativa. Em contraste, para a tubulação de 300 mm de diâmetro, a força de flutuabilidade é positiva para qualquer comprimento, o que significa que o sistema flutua.

Tabela 8: Volume deslocado [m³]

COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO [M]/ UNID.	DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO [MM]		
	100	200	300
6	0,05	0,19	0,42
3	0,02	0,09	0,21
2	0,02	0,06	0,14

Fonte: Dos Autores (2023).

Ao avaliar os três cenários e os dados simulados, observamos que o sistema de bombeamento solar flutuante opera de maneira mais eficaz a uma distância linear de 20 m, com um diâmetro de 2" na tubulação. Tanto o cenário 1 quanto o 2 conseguem encher o reservatório em menos de um dia de horas de sol pico, enquanto o cenário 3 precisa de mais um dia. Quanto ao flutuador, após realizar a análise e considerar a possibilidade de aumento de módulos do sistema ou possíveis manutenções, optamos pelo flutuador com tubo de PVC de 300 mm de diâmetro e um comprimento de 6 m, capaz de suportar um peso maior.

Concepção do sistema de bombeamento solar flutuante

Como resultado do dimensionamento e simulação do sistema de bombeamento solar flutuante, assim como das características dos componentes, concluímos que o sistema é composto de 2 módulos em série, uma bomba solar e um reservatório de elevação, conforme mostra o diagrama unifilar da Figura 5.

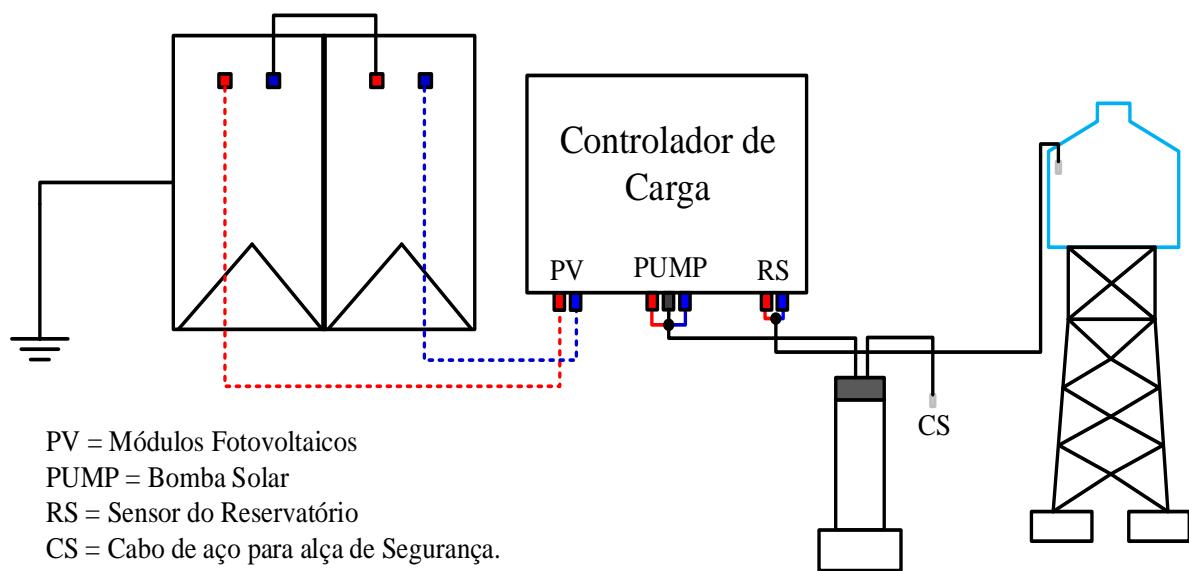


Figura 5: Diagrama Unifilar do Sistema de Bombeamento Solar Flutuante
Fonte: Dos Autores (2023).

Com a escolha do flutuador reforçado por serem mais resistentes e capazes de suportar o peso dos componentes, como mostrado na Figura 6.a. A estrutura inclui joelhos de 90°, deixando uma abertura de 40 cm no centro para uma proteção adicional de PVC. Nessa abertura, é instalada a bomba solar, projetada para proteger contra qualquer sujeira que possa ser encontrada no rio.

A ancoragem da plataforma é realizada com cabos de poliéster em ambos os lados da estrutura, formando uma configuração em "Y" para oferecer uma melhor proteção ao sistema, como ilustrado na Figura 6.b. Esse tipo de ancoragem serve como proteção contra os detritos que podem se chocar contra a estrutura.

O SFV instalado na parte superior do flutuador é mostrado na Figura 6.c, com dois trilhos de base. Além disso, observa-se o controlador, o qual é instalado abaixo dos módulos. Serão acopladas e fixadas duas placas ligadas em série sobre o flutuador.

Para auxiliar na fixação dos demais materiais, serão utilizadas abraçadeiras metálicas com barras de alumínio, proporcionando uma melhor fixação da estrutura, como é possível observar na Figura 6.d.

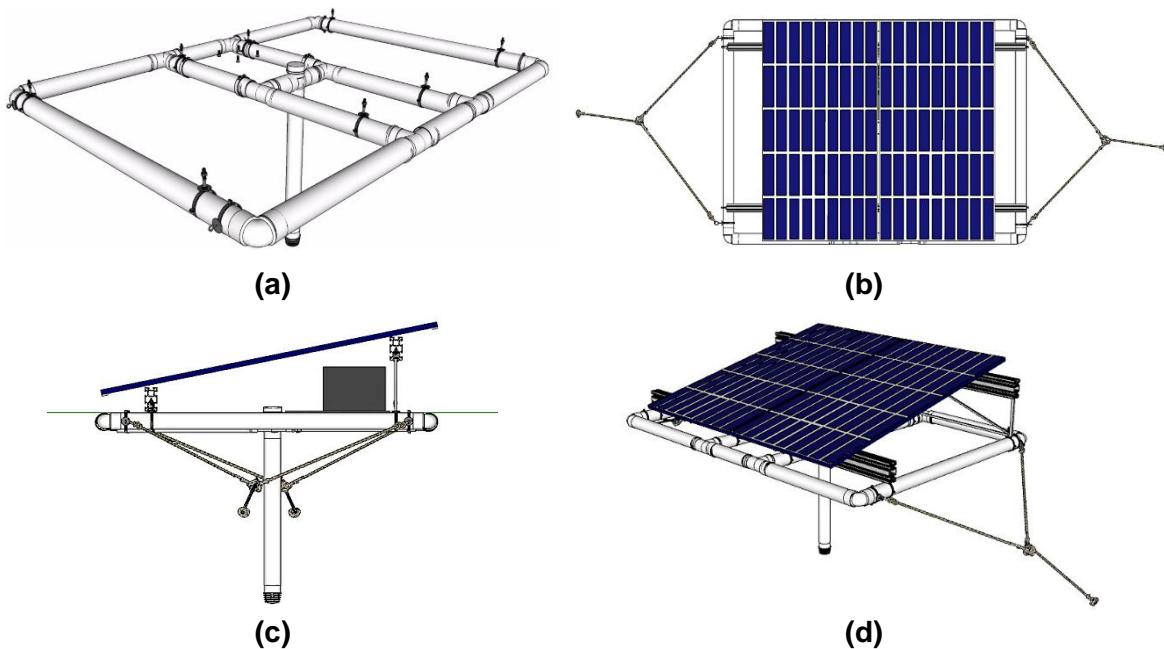


Figura 6: Sistema de bombeamento solar flutuante: (a) flutuador de PVC e proteção da bomba solar, (b) ancoragem do flutuador, (c) sistema fotovoltaico e controlador, (d) visão geral do sistema de bombeamento solar flutuante do Kit Amazônia

Fonte: Dos Autores (2023).

Treinamento e Capacitação: Um Guia Prático

Diante dos desafios ambientais atuais, que demandam uma resposta rápida para mitigar danos ao meio ambiente, é crucial adotar medidas que garantam um futuro sustentável para as gerações vindouras. A energia solar surge como uma alternativa aos combustíveis fósseis, responsáveis por grande parte das emissões de gases de efeito estufa, e representa uma fonte renovável e limpa de energia, aproveitando a luz do sol para gerar eletricidade.

Nesse contexto, o treinamento e capacitação propostos consistem em ações integradoras com foco na produção e desenvolvimento de materiais didáticos e aplicação prática do sistema proposto como um experimento para divulgação tecnológica que também irá melhorar a qualidade de vida. Esses recursos visam ensinar, de forma lúdica, interativa e intuitiva, a importância do sistema de bombeamento fotovoltaico flutuante para as comunidades isoladas na Amazônia. A Figura 7 apresenta o passo a passo dessa dinâmica a ser aplicada, seguida de um breve detalhamento das etapas.

Destaca-se que esta abordagem é inspirada no Programa SAVE que faz parte do conjunto de ações interdisciplinares de promoção da sustentabilidade desenvolvida pelo Grupo de Pesquisa em Energia & Sustentabilidade Energética (GPEnSE) coordenador pelo Dr Oswaldo Hideo Ando Jr que faz partes desta pesquisa (Frigo et al., 2019).

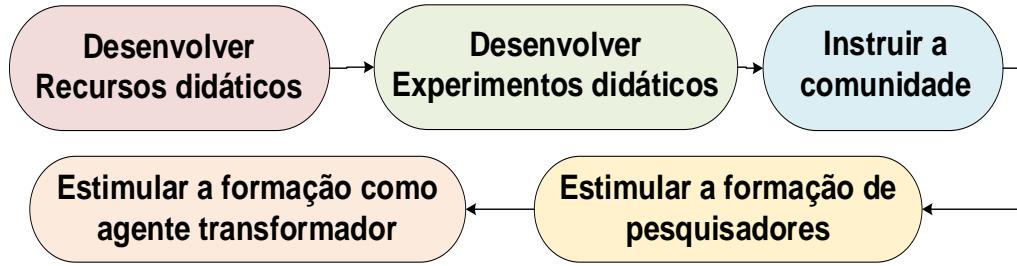


Figura 7: Etapas para treinamento e capacitação do guia prático.

Fonte: Adaptado de (Frigo et al., 2019).

Confirme a Figura 7 têm-se as cinco etapas para o treinamento e capacitação do guia prático sobre o sistema de bombeamento fotovoltaico flutuante para as comunidades isoladas na Amazônia, que são:

Etapa 1 - Desenvolver Recursos Didáticos: Envolve a criação de materiais impressos, como cartilhas e folhetos, e materiais eletrônicos, como vídeos educativos e apresentações, para fornecer informações claras e acessíveis sobre o sistema de bombeamento solar para a comunidade ribeirinha na Amazônia.

Etapa 2 - Desenvolver Experimentos Didáticos: Nesta etapa cria-se atividades práticas e interativas que cativem a comunidade, despertando seu interesse pela temática da energia solar. Isso pode incluir demonstrações de funcionamento do sistema de bombeamento solar e experimentos simples que ilustrem os conceitos-chave.

Etapa 3 - Instruir a Comunidade: Esta etapa consiste em fornecer treinamento prático e orientação sobre como utilizar os materiais e equipamentos do sistema de bombeamento solar. Além disso, é importante capacitar membros da comunidade para que possam compartilhar esse conhecimento com outros, promovendo a disseminação do uso de sistemas propostos.

Etapa 4 - Estimular a Formação dos Moradores como Agentes Transformadores: Visa promover uma mudança de hábitos na sociedade local, capacitando os moradores para se tornarem agentes ativos na promoção da energia solar e na adoção de práticas sustentáveis.

Etapa 5 - Estimular a Formação de Futuros Pesquisadores: Por fim, busca-se despertar o interesse na área de energia solar entre os membros da comunidade, incentivando a formação de futuros pesquisadores e profissionais no campo da energia renovável.

Conclusões

A pesquisa analisou o dimensionamento de um sistema de bombeamento de água de qualidade, avaliando diferentes cenários. No sistema de bombeamento de água, foram avaliados 3 cenários em função da distância linear e do diâmetro da tubulação, e para o flutuador, consideraram-se o comprimento e o diâmetro da tubulação.

Através dessa análise, obteve-se um sistema modular e expansível como resultado da pesquisa. Com um bombeamento solar flutuante, composto por uma bomba capaz de abastecer um reservatório de 2000 litros em uma hora de sol pico, aproximadamente para 2 dias de consumo, e um flutuador de PVC de 300 mm.

Esta abordagem difere das tecnologias previamente apresentadas no início da pesquisa, uma vez que oferece um sistema para fornecer serviços essenciais, como água de qualidade, em residências unifamiliares de ribeirinhos em comunidades isoladas na Amazônia.

Vale ressaltar que o estudo preenche uma lacuna significativa na literatura ao propor um sistema modular e expansível, baseado em tecnologia renovável. Este sistema não só oferece oportunidades de adaptação às necessidades das comunidades, mas também facilita a manutenção dos sistemas. A implementação contribui para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos na agenda 2030, ao oferecer uma solução limpa, sustentável e acessível para melhorar a qualidade de vida e reduzir a dependência de fontes não renováveis de energia.

Por fim, o estudo do dimensionamento de um sistema para fornecimento de água de qualidade busca não apenas atender as demandas hídricas da comunidade, mas também proporcionar uma experiência educativa e conscientizadora. A tecnologia renovável adotada é apresentada não apenas como solução técnica, mas como uma ferramenta para promover a compreensão da importância da sustentabilidade e da transição energética. Destaca-se a ênfase na capacitação da comunidade para a manutenção do sistema, fortalecendo a autonomia e o comprometimento com a preservação ambiental.

Agradecimentos

Agradecimento ao apoio da agência FACEPE (Fundação de Amparo à Pesquisa de Pernambuco) durante o projeto com referências APQ-0616-9.25/21 e APQ-0642-9.25/22. O.H.A.J. foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), bolsas números 407531/2018-1, 303293/2020-9, 405385/2022-6, 405350/2022-8 e 40666/2022-3. O J.J.G.L e O.H.A.J. foi financiado pela Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA).

Referências

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5626 - Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutenção.** Segunda Ediçãoed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **NOTA TÉCNICA No 3/2022/COOUT/SER.** Documento no 02500.014663/2022-10. 2022.
- AZEVEDO, José M. Netto; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández. **Manual de hidráulica.** 9ed.: Editora Edgard Blucher, 2022.
- BOHORQUEZ, Carlos Mario Pinilla; CASTRO, Roby Antony González; ZABAleta, Roberto Jose Muñoz. **Análisis de factibilidad de un sistema fotovoltaico para generación de energía eléctrica como alternativa en el sistema de bombeo de agua en la Vereda de Apiay, municipio de Villavicencio.** Especialización en Gerencia de Recursos Energéticos, 2014.
- CHANDEL, S.S.; NAGARAJU NAIK, M.; CHANDEL, R. Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1084–1099, 2015.
- CODS, Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe. **Índice ODS 2021 para América Latina y el Caribe.** Bogotá, Colombia, 2022.
- CONNOR, Richard; MILETTO, Michela; UNESCO, Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de Iso Recursos Hídricos. **Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023:** alianzas y cooperación por el agua, resumen ejecutivo. In: Día Mundial da Água 2023, 2023, Colombella, Perugia, Italy. Anais [...]. Colombella, Perugia, Italy., 2023. p. 12.
- DOMOND, Pierre Rubens. *Sistema de bombeamento fotovoltaico de água subterrânea com armazenamento hidráulico: caso de Ecole Nationale de Lacroix-Jacmel-Haiti.* 2018.
- ENERGY SHOP. **Bomba Solar 3P-48V ZM/TF 100/1400 - 500W.** 2015. Comercial. Disponível em: <<https://www.energyshop.com.br/bomba-d-agua-solar/bomba-d-agua-ate-10-mil-litros-dia/bomba-de-agua-solar-zm-500w>>.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Solar Fotovoltaica Flutuante:** aspectos Tecnológicos e Ambientais Relevantes ao Planejamento. Expansão da Geração, 2020.
- FRIGO, Jiam Pires et al. Conjunto de práticas interdisciplinares proposta pelo Programa Save: Green Park (Parque de diversão que gera energia limpa). In: BONATTO, Franciele; OLIVEIRA, Jair De; DALLAMUTA, João. **Ciência, Tecnologia e Inovação.** 1. ed.: Antonella Carvalho de Oliveira, 2019. p. 41–49. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/02/e-book-Ci%C3%A3ncia-Tecnologia-e-Inova%C3%A7%C3%A3o.pdf>>.

GOMES, Maria Cecilia Rosinski Lima et al. Surrounded by sun and water: development of a water supply system for riverine peoples in Amazonia. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 15, n. 35, 2019.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; LABREN, Laboratório de Modelagem e Estudos em Recursos Energéticos Renováveis. **Atlas Brasileiro de Energia Solar 2017** - Base de Dados Metadados, 2023. Disponível em: <<http://labren.ccst.inpe.br>>.

JIMÉNEZ, Jonathan Paúl Valverde. **Projeto e dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado/conectado à rede para atender a demanda de irrigação de UVA**, 2017.

KONCAGUL, Engin; CONNOR, Richard. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: alianzas y cooperación por el agua; datos, cifras y ejemplos de acción. In: 2023, COLOMBELLA, Perugia, Italy. **Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de Iso Recursos Hídricos UNESCO**, Org. Colombella, Perugia, Italy.: 2023.

KSB, Bombas Hidráulicas SA. **Manual Técnico** - Bomba química Standard MEgaCPK. São Paulo, SP., 11 abr. 2013. Fica técnica.

NADERIPOUR, A et al. Technical-economic framework for designing of water pumping system based on photovoltaic clean energy with water storage for drinking application. **Environmental Science and Pollution Research**, 2021.

NIH, National Cancer Institute (org.). **The Tech Revolutionizing Cancer Research and Care**. 2022. Disponível em: <<https://www.cancer.gov/news-events/nca50/stories/technologies-and-innovations>>.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

SACHS, Jeffrey et al. **Sustainable Development Report 2022**. 1. ed.: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009210058/type/book>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SHARMA, Rakhi; SHARMA, Shivanshu; TIWARI, Sumit. Design optimization of solar PV water pumping system. **Materials Today: Proceedings**, v. 21, p. 1673–1679, 2020.

TARAZONA-ROMERO, B E et al. Sizing of a sustainable condensation system for the production of sweet water through the use of photovoltaic panels in La Mesa de los Santos, Santander, Colombia. IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**, v. 1154, n. 1, p. 012040, 2021.

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. **The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water**, 2021.

WERNIUS, Emma; OLAUSSON, Hanna. **Optimization of a solar water pumping system in Progreso**, Amazonas, Colombia, 2019.

WORLD BANK GROUP; ESMAP, Energy Sector Management Assistance Program; SERIS, Solar Energy Research Institute of Singapore. Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report. Washington, DC: © World Bank, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10986/31880>.

WORLD POPULATION REVIEW. **Gini Coefficient by Country 2022**. In: 2022. Disponível em: <<https://worldpopulationreview.com/>>.