XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Sistema fotovoltaico de bombeamento de água: Aplicação piloto em poço tubular profundo

Photovoltaic water pumping system: Pilot application in a deep tube well

SANTIAGO, A. L. S.
IPT | São Paulo | Brasil | andre.lsantiago@uol.com.br
SOWMY, D. S
IPT | São Paulo | Brasil | dss@ipt.br
USP| São Paulo | Brasil | dss@usp.br

Resumo

A energia solar fotovoltaica é uma das alternativas possíveis de energia limpa. O presente artigo propõe abordar a viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água, em um poço tubular profundo, com 450 metros, localizado no SESC Interlagos. Os resultados obtidos demonstram que o conjunto motobomba dimensionado consegue superar a altura manométrica do sistema, em função da vazão de 5,0 m³/h, sendo possível alimentá-lo com 33 módulos fotovoltaicos. O retorno do investimento em 6 anos é satisfatório e mostra que a tecnologia fotovoltaica se faz necessária para garantir maior autonomia aos sistemas de bombeamento de água.

Palavras-chave: Energia Solar fotovoltaica. Poço tubular profundo. Bomba.

Abstract

The photovoltaic solar energy is one of the possible alternatives of clean energy. The present article proposes to address the technical and economic feasibility of a photovoltaic water pumping system, in a deep tubular well, with 450 meters, located at SESC Interlagos. The results obtained show the dimensioned motor-pump set is able to overcome the manometric height of the system, according to the flow of 5,0 m³/h, being possible to feed it with 33 photovoltaic modules. The return on investment in 6 years is satisfactory and shows that photovoltaic technology is necessary to ensure greater autonomy to water pumping systems.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Deep tube well. Pump.

Como citar:
SANTIAGO, A. L. S. SOWMY, D. Sistema fotovoltaico de bombeamento de água: Aplicação piloto em poço tubular profundo. . In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-13.

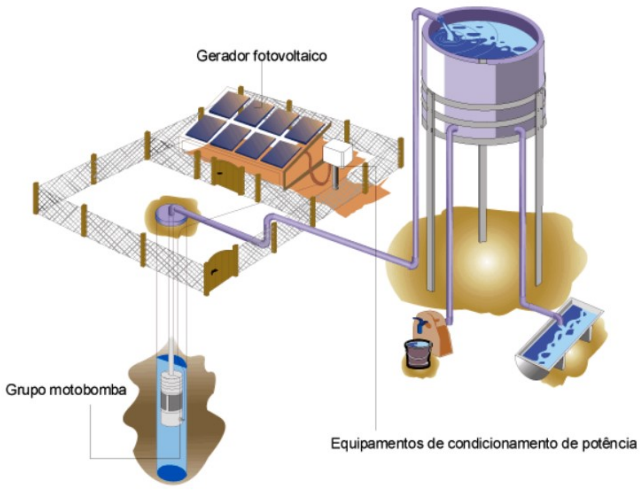
INTRODUÇÃO

O relatório “OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction” apresenta números preocupantes quanto à crescente demanda, até 2050, do consumo de energia e recursos naturais, oriundo do aumento potencial da população mundial, de 7 bilhões para aproximadamente 9 bilhões de pessoas. Propor políticas sustentáveis de geração de energia limpa e renovável é um desafio atual das nações, considerando que, se ações nesse sentido fracassarem, em 2050 a parcela de energia baseada em combustíveis fósseis ainda permanecerá em cerca de 85% da produção mundial (OECD, 2012) [1].

O presente artigo trata do dimensionamento de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água (SFB), aplicado em um poço tubular profundo. Para que seja possível a implantação do sistema, é necessário que sejam previstos os seguintes componentes: gerador fotovoltaico, equipamentos de condicionamento de potência (inversor, controlador etc.), grupo motobomba, reservatório para armazenar água e sistema de distribuição (PINHO E GAUDINO, 2014) [2].

Na figura 1, é demonstrado um sistema de bombeamento fotovoltaico padrão, sendo a captação oriunda de um poço tubular que pode atender ao abastecimento humano, animal e irrigação.

Figura 1: Esquema de um sistema de bombeamento fotovoltaico



Fonte: Morales (2011). [3]

Trabalhos em diversos países já trataram do tema em múltiplas perspectivas e diferentes momentos, seja tratando da viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água, desenvolvimento de bombas de energia solar para aplicação em poços tubulares, avaliação de desempenho de bombas solares, dentre outros, onde podemos mencionar os descritos na tabela 1.

Tabela 1: Estudos realizados em países sobre sistemas de bombeamento fotovoltaico

Países	Ano	Estudo

Texas-EUA	1997	Clark e Vick (1997) [4] investigaram o desempenho de duas bombas de diafragma solar 100 W alimentadas por energia solar a 30m de profundidade em Bushland, Texas. Em um dos conjuntos, as análises foram realizadas com painel fotovoltaico em posição fixa e, no outro, com sistema de rastreamento passivo. Concluiu-se que o sistema de rastreamento forneceu mais energia solar durante o ano e aumentou o nível de intensidade de irradiação acima de 800 W/m2.
Sudão	2001	Omer (2001) [5] investigou a viabilidade técnica e econômica dos SBFV no Sudão, para atender aos requisitos hídricos para consumo de água, alimentação pecuária e irrigação. O autor considerou o SBFV a solução de bombeamento mais viável para atender às demandas de água local.
Tunísia	2009	Hamrouni et al. (2009) [6] realizaram investigações teórica e experimental sobre o desempenho de SBFV autônomos sob as condições meteorológicas da Tunísia. Foi utilizado um software para modelar o sistema. Sob irradiação solar constante, observou-se que a saída do gerador fotovoltaico e a taxa de fluxo da bomba dependiam significativamente da radiação.
Brasil	2016	Morales (2016) [7] identificou as vantagens e problemas da aplicação de sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados em cinco estados brasileiros com características climáticas diferentes. Observou problemas técnicos nos conjuntos motobombas e na concepção, dimensionamento e implantação de projetos dos sistemas de bombeamento fotovoltaico. O estudo fornece orientações para utilização de um novo modelo de conversor de frequência nos sistemas, capacitação para manutenção e planejamento dos projetos desses sistemas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

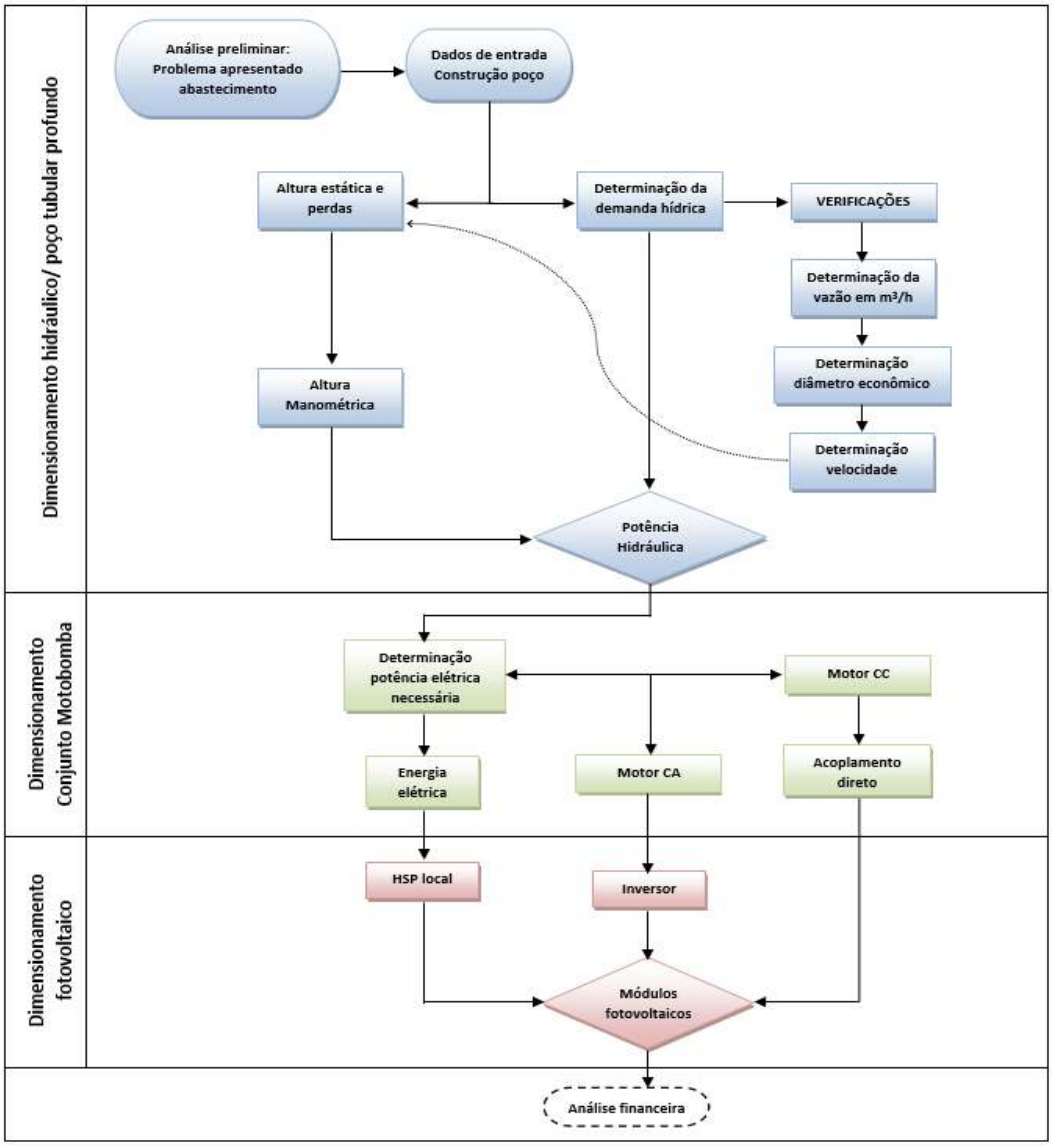
Na pesquisa realizada, não foram identificados trabalhos relativos a sistemas fotovoltaicos em poços com grandes profundidades, principalmente tendo 450 metros de perfil.

O principal objetivo do presente artigo, nesse contexto, é analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de bombeamento fotovoltaico, em um projeto piloto de captação de água subterrânea através de um poço tubular profundo, incluindo as limitações do sistema, dimensionamento, especificação e escolhas dos componentes que irão integrá-lo.

Para tanto, é necessário entender os principais desafios propostos no estudo para obtenção dos dados de entrada, a fim de realizar os dimensionamentos corretos pelo ponto de vista do recurso hídrico, do conjunto motobomba e do recurso solar,

finalizando com a análise financeira da implantação (PINHO e GAUDINO, 2014) [2]. Na figura 2 é possível traçar a linha metodológica para os resultados finais gerados.

Figura 2: Fluxograma detalhado da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

METODOLOGIA

ESTUDO DE CASO: SESC INTERLAGOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi escolhida uma das 45 unidades operacionais do Serviço Social do Comércio - SESC, do Estado de São Paulo, o SESC Interlagos (Figura 3). A unidade Interlagos tem uma área equivalente a 453.294,77m², sendo 90.052,91m² de área construída. O espaço é estruturado em 21 macro ambientes com características distintas, a depender das atividades desenvolvidas.

Figura 3: Sesc Interlagos, vista parcial superior.



Fonte: Acervo do autor.

O SESC Interlagos tem o seu abastecimento de água potável realizado por meio de quatro poços tubulares profundos. Após o levantamento de dados e informações constantes nos relatórios de manutenção e análises de água realizados, percebeu-se que os poços existentes possuíam danos estruturais, e a água apresentava restrições de qualidade. Após diagnósticos locais, os resultados mostraram risco de perda dos poços por consequência dos rompimentos dos filtros observados, e consequente assoreamento.

Após essa constatação, e considerando o risco de desabastecimento da Unidade, foram elaborados projetos de poços tubulares profundos, considerando perfil construtivo do poço, instalações elétricas, hidráulicas, supervisão e controle, de forma a atender à demanda de consumo da Unidade. A premissa do projeto se baseou em quatro objetivos principais para a construção dos novos poços: captação exclusiva do aquífero cristalino; isolamento estanque da camada sedimentar; aplicação de técnicas de construção e materiais com características adequadas e sustentáveis; soluções de equipamentos para inclusão da tecnologia fotovoltaica para alimentação do poço, tornando-o autossustentável.

O poço do qual trata esse artigo alimenta diretamente o reservatório de maior volume da Unidade. A área destacada em amarelo na figura 4 refere-se à zona potencialmente contaminada de água subterrânea, de acordo com parecer elaborado pela CETESB-SP.

Figura 4: Localização dos poços novos.



Fonte: Google Earth, (2021).

POÇO TUBULAR

O projeto do poço foi desenvolvido prevendo a captação do Aquífero Cristalino, com profundidade total da ordem de 250 m e com isolamento adequado de acordo com a NBR 12212 (ABNT, 1992).[8]

Perfil geológico previsto: De 0 a 40 m: Formação Resende: conglomerado, arenito, diamictito e lamito; De 40 a 250 m: Xistos e migmatitos do Complexo Embu.

Programa de perfuração: De 0 a 40 m: diâmetro final 350 mm (14") – método rotativo circulação direta de fluido de bentonita; De 40 a 42 m: diâmetro final 250 mm (10") – método rotativo circulação direta de fluido de bentonita; De 42 a 250 m: diâmetro final 200 mm (8") – método roto-percussão a ar comprimido.

Revestimento: De 0 a 42 m: diâmetro 200 mm (8"), tubo liso de aço inox 7,11 mm, união por solda. Por razões de segurança sanitária e para garantir a longevidade do poço, com um tempo de vida útil adequado (mínimo 20 anos), é recomendada a utilização de aço inox, que é exigência padrão das normas técnicas aplicadas nas indústrias alimentícias e de bebidas e na extração e produção de água mineral.

Cimentação: De 0 a 42 m: 4 m^3 de pasta de cimento injetada por sapata flutuante.

No entanto após a perfuração, alguns parâmetros mudaram de acordo com o perfil da figura 6. No poço estudado (figura 5), após a finalização da sua perfuração, foi realizado teste de bombeamento, a 252 metros de profundidade, com vazão controlada e medição da variação do nível d'água. O teste foi realizado de acordo com a NBR 12244 (ABNT, 2017) [9], em um período total de 48 horas, com nível dinâmico oscilando entre 230 e 233 metros de profundidade e a vazão entre 3,8 e 5m3/h.

A interpretação dos dados obtidos com o teste de bombeamento indicou que a capacidade específica de produção do poço era de 0,018 m3/h/m, em longo prazo, possibilitando extrair a vazão máxima de 5m3/h, com nível dinâmico a 300 metros de

profundidade. Observou-se também que a água encontrada apresentava aspecto cristalino e de boa qualidade.

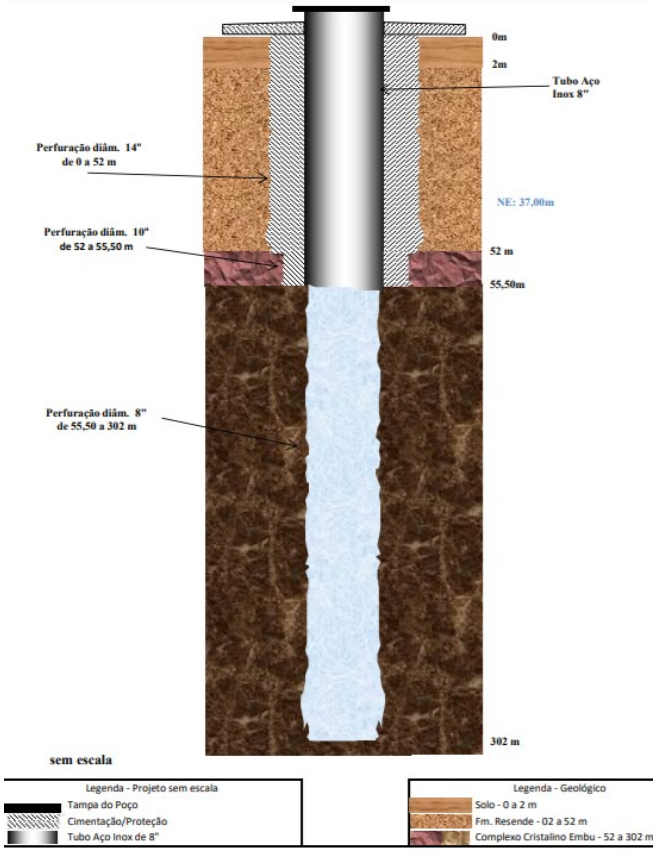
Figura 5: Perfuração Poço P11.



Fonte: Acervo Autor, (2020).

Diante das condições apresentadas, foi necessário rebaixamento para instalação da bomba do poço até 310 metros de profundidade. Portanto a potência do equipamento de bombeamento, foi dimensionada de acordo com a NBR 12244 (ABNT, 2017) [9], que serão descritos adiante. A profundidade total do poço foi de 450 metros.

Figura 6: Perfil Poço P11.



Fonte: Acervo Autor, (2020)

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO

O sistema foi projetado e outorgado para elevar o máximo de 100m^3/dia, por 20 horas, durante o dia e a noite. Cabe ressaltar que, considerando o recurso solar, o tempo estimado de uso do sistema fotovoltaico seria de 8 horas. Fora desse período, o sistema funcionaria com a rede elétrica da concessionária. Desse modo, temos a vazão média igual a **5,0 m³/h**.

Como o sistema funcionará de forma intermitente, devido ao seu funcionamento fotovoltaico, o diâmetro econômico é calculado, onde a vazão é adotada em m^3/s, obtendo-se um valor de $\mathbf{0{,}0461}$**metros**.

O diâmetro comercial para tubulações adotado foi de **50mm**. Para validação do diâmetro, o cálculo da velocidade econômica foi realizado. A velocidade obtida foi de **0,70m/s,** sendo aceito entre a velocidade econômica, considerando a faixa ideal que ficou entre 0, 50 ≤ 0, 70 ≤ 4,0 (JUSTINO E NOGUEIRA, 2017) [10].

Posteriormente, foi necessário calcular as perdas dos acessórios presentes na tubulação, para determinação da altura real do sistema. Para tanto, considerou-se que o sistema, de acordo com o caminho até o reservatório, seria composto de cinco curvas de raio longo de PVC marrom PBS Classe 20, um tê de passagem e um registro de gaveta para coleta de água no cavalete do poço, um registro globo para possível regulação de vazão e um hidrômetro para controle do fluxo. Com isso, a perda calculada de carga dos acessórios foi de **0,352 metros**.

Em seguida, calculou-se a perda de carga do hidrômetro, que compõe o cavalete da laje sanitária do poço, de acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1998) [11], resultando em um valor de **0,277 metros.**

Após encontrar o valor da perda de carga dos acessórios, calculou-se o número de Reynolds e o fator de atrito, para encontrar a perda de carga na tubulação, de acordo com as equações encontradas na literatura. O valor de rugosidade de acordo com material também foi encontrado, e a perda de carga total da tubulação resultou no valor de **0,537 metros.**

Logo, a perda de carga total do sistema, considerando tubulação, peças e acessórios foi a somatória dos valores calculados, resultando em **1,166 metros,** (GHONEIM, 2006). Com isso a altura manométrica corrigida do sistema ficou em 342,28 metros.

Por uma questão de margem de segurança, foi adotado 10% no final da altura manométrica. Após determinação da vazão do sistema e altura manométrica corrigida, a potência hidráulica do sistema foi calculada em função da altura manométrica total, resultando no valor de **4,663 KW** (HELLER,2006; PÁDUA, 2006).[12]

DETERMINAÇÃO DO CONJUNTO MOTOBOMBA

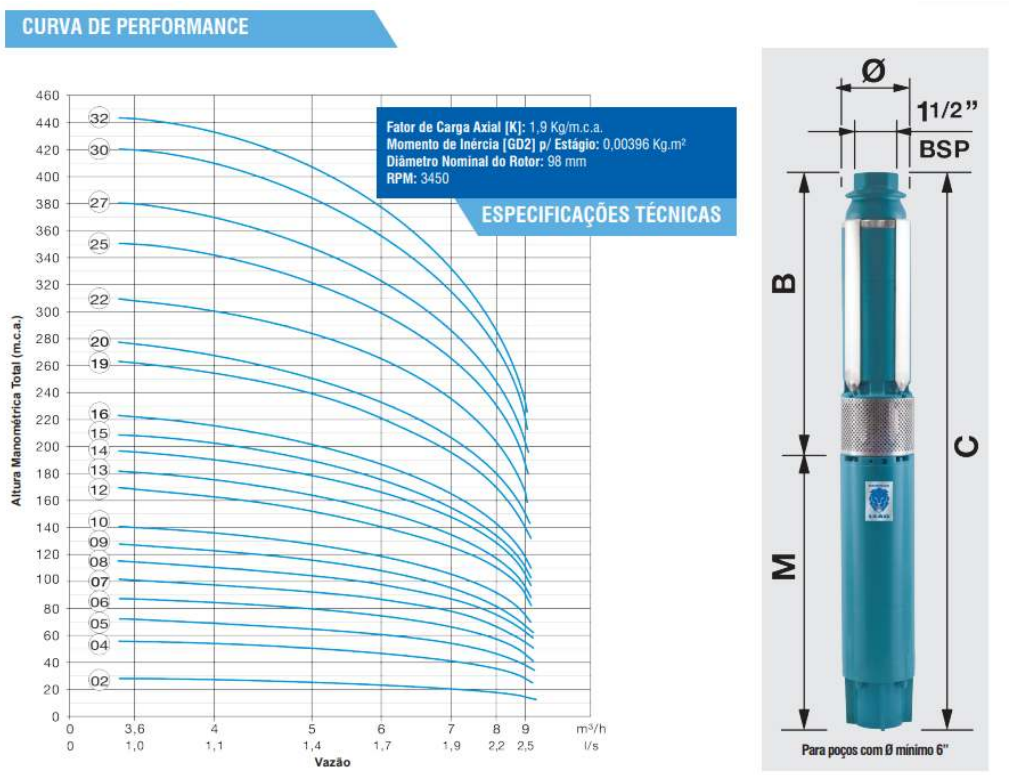
Diferentes tipos de bombas podem ser utilizados com sistemas fotovoltaicos, podendo-se dividi-las em dois tipos básicos: as bombas volumétricas e as bombas centrífugas (MORALES, 2011).

As bombas centrífugas são mais sensíveis à variação da radiação solar incidente nos módulos fotovoltaicos. Portanto, é muito importante que seja escolhida criteriosamente a bomba mais adequada às circunstancias (SONTAKE E KALAMKAR, 2016). [13]

Após o cálculo da potência hidráulica, realizado de acordo com a altura corrigida e vazão do sistema, foi necessário determinar a potência do motor de acordo com a instalação. A eficiência adotada foi de 50%, dentro do grau de eficiência que Sontake e Kalamkar (2016) [13] sugerem para bombas centrífugas submersíveis, aplicadas em bombeamento fotovoltaico, resultando no valor de **8.478,18 W**, e que atenda uma altura manométrica máxima de **342,28 metros**, considerando uma vazão de até **5m³/h.**

Após a obtenção dos dados como vazão, altura e potência, foi escolhido o modelo adequado pelo catálogo de bombas, de acordo com a necessidade do sistema. A figura 7 apresenta a curva da bomba e a escolha do equipamento de acordo com a vazão e altura pretendida.

Figura 7: Equipamento que foi instalado no poço com camisa de sucção.



Fonte: Catálogo de bombas do fabricante, (2020).

DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Após os cálculos envolvendo os recursos hidráulicos e de bombeamento, foi necessário determinar a energia máxima gerada pelo sistema. Para tanto, levou-se em consideração o local de instalação do poço e o respectivo recurso solar.

Para isso, utilizou-se o SunData, que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional. Com os valores das coordenadas de latitude − 23° 32' 56'" S e longitude 46° 38' 20'' W, aplicados ao SunData, foi obtido o valor médio diário anual de HSP de São Paulo como 4,66kWh/m².dia.

Como o uso estimado da bomba pelo sistema fotovoltaico por dia é de oito horas, a energia máxima requerida foi calculada pelo produto do tempo de uso e da potência elétrica da bomba, que resultou no valor de **67.825,44 Wh** (PINHO e GALDINO, 2014).[2]

Para o cálculo da energia total gerada pelos painéis, foram utilizadas informações dos valores da área e eficiência de acordo com Datasheet do módulo fotovoltaico escolhido. O módulo fotovoltaico estipulado para o projeto foi o painel de modelo ODA450-36-MHT, que possui potência de 450W para uso em geração de energia. Ele é composto por 144 células monocristalinas. A placa solar possui 2115 x 1050 x 60 mm de dimensão, pesa 23,5 kg, com eficiência de 20,70%, assegurando alta eficiência para instalação.

A Energia máxima requerida por módulo foi calculada pelo produto da área do módulo escolhido, da sua eficiência e da média diária anual de HSP de São Paulo, que resultou no valor de **2.096,67 Wh**. A média diária anual de HSP de São Paulo é igual a 4,66 kWh/$m2$ $.dia$ para instalação dos módulos no ângulo igual a latitude local (PINHO e GALDINO, 2014). [2]

Com isso, a quantidade de módulos para o sistema dimensionado foi o quociente entre a energia máxima requerida pelo sistema, pela energia máxima requerida por módulo, que resultou no valor de **33** módulos (PINHO e GALDINO, 2014). [2]

De acordo com a bomba escolhida, possivelmente não será necessário o uso de inversor externo, devido ao seu sistema eletrônico integrado. Esta bomba é compatível com alimentação elétrica em corrente contínua (CC) quanto em corrente alternada (CA). No entanto, será objeto de estudo mais aprofundado na segunda fase da pesquisa.

ANÁLISE FINANCEIRA

Para avaliar a viabilidade econômica do projeto proposto, foi realizada análise dos custos envolvendo o Sistema de Bombeamento Fotovoltaico. Como parte do estudo de caso já foi executado, o equipamento de bombeamento escolhido de acordo com os cálculos realizados no dimensionamento já foi instalado, bem como a execução do poço tubular profundo. Portanto, a análise se atentou as placas fotovoltaicas e componentes de instalação do sistema.

Para isso, realizou-se uma cotação dos equipamentos com preço de mercado (tabela 2). O valor de instalação e montagem do sistema foi estimado em 15% do valor total do sistema proposto, de acordo com informações fornecidas pelo mercado em consulta de preços.

Tabela 2: Levantamento de custos do sistema projetado

Equipamentos	Modelo	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Módulo Fotovoltaico	ODA450-36-MHT	33	R$ 1.898,00	R$ 62.634,00
Bomba	R7A-27-600 12 cv	1	Já adquirido	Já adquirido
Supervisão e controle	Hidrobox V3 Pase	1	Já adquirido	Já adquirido
Instalação e montagem	Terceirizada	1	15%	R$ 9.395,10
Valor total				**R$ 72.029,10**

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após a pesquisa de mercado dos componentes que são incluídos no sistema, foi realizado um levantamento do custo que o equipamento de bombeamento tem na conta de energia do SESC Interlagos, considerando o consumo do equipamento, e o tempo em horas que ele é utilizado.

Cabe ressaltar que a consulta de preços levantada tem caráter provisório, podendo ser adicionados mais componentes ao logo da finalização da pesquisa e de acordo com a atualização dos preços do mercado.

Posteriormente, levantou-se o valor do quilowatt hora, com impostos incluídos, que é cobrado pela concessionária a Unidade do Sesc, que foi de R$ 0,3336 de acordo com tarifa para o mês de fevereiro de 2022. O consumo da bomba foi equivalente a 8 horas diárias.

Tabela 3: Levantamento de custos do sistema em relação a conta de consumo

Consumo Energia diária	Concessionária Sesc	Consumo Energia Mensal	Custo mensal
67,825 Kw/h	R$ 0,3336 /Kw/h	2034,76 KW/h	R$ 678,79

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após os levantamentos pertinentes ao custo mensal do sistema, temos que anualmente o custo gira em torno de R$ 8.145,48 e o investimento inicial seria de R$ 72.029,10. Com isso, foram realizados os cálculos para um payback simples, que resultou em um retorno total do investimento a partir do 6° ano.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa desenvolvida elencou diversos parâmetros, equações e informações buscadas na literatura nacional e internacional, publicadas acerca do tema proposto. Os resultados do dimensionamento do sistema de bombeamento fotovoltaico no poço tubular profundo, estão inseridas resumidamente na tabela 4.

Tabela 4: Resultados dimensionamento P11

Parâmetros calculados	Poço P11
Altura manométrica (m)	342,28
Potência Hidráulica (KW)	4,663
Motobomba (KW)	8.478,18
Modelo Leão	R7A – 27 600 12 cv
Energia (Wh)	67.825,44
Energia Gerada (Wh)	2.096,67

Número de módulos	33

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A escolha do equipamento de bombeamento do fabricante, atendeu, pela curva de performance exposta, as expectativas quanto a vazão a ser extraída na profundidade proposta da instalação da bomba até a chegada no reservatório. Ou seja, tecnicamente o sistema se mostrou viável.

Quando realizamos os cálculos para o retorno do investimento, percebemos que o sistema apresenta um retorno positivo a partir do 6° ano de instalação.

Além do retorno financeiro ser considerável, não podemos deixar de destacar o aspecto sustentável da implantação do sistema, que dialoga com as políticas institucionais do SESC, no sentido de promover o debate e a educação dos temas ligados a sustentabilidade. Este aspecto destaca-se, principalmente, pela Unidade do SESC Interlagos ser um polo de difusão de educação ambiental na zona sul de São Paulo.

CONCLUSÕES

Os desafios múltiplos, pela especificidade do sistema piloto projetado, foram superados a cada capítulo do estudo de caso. Um sistema de bombeamento fotovoltaico é um conjunto de subsistemas complexos, envolve muitas variáveis e pode operar em condições muito diferentes ao longo do ano. Desde as análises que envolveram as demandas ao recurso hídrico estudado, passando pela criteriosa observação do melhor equipamento de bombeamento a ser instalado, para captar água cristalina diretamente da rocha, em um poço tão profundo, e terminando nas análises do recurso solar da região onde foi perfurado o poço para dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, totalizando 33, podemos afirmar que a pesquisa mostrou resultados satisfatórios quanto à viabilidade técnica da implantação e, principalmente, quanto à viabilidade econômica do sistema proposto.

O tempo de retorno do investimento em 6 anos mostra que, mesmo em situações extremas como a estudada, principalmente pela profundidade de 450 metros do poço, a tecnologia fotovoltaica se mostra viável para garantir mais autonomia a um equipamento tão valioso quanto um poço tubular. Destaca-se também a importância social, ligada à sustentabilidade, que o projeto irá trazer para a unidade do SESC Interlagos e ao público que frequenta seus espaços, podendo haver encontros informativos e atividades de mediação sobre a temática da energia solar no local onde possa ser implantado o sistema.

Ressalta-se que o estudo será aprofundado em uma nova etapa, para melhor escolha e especificação dos componentes do sistema, de acordo com o dimensionamento, em face a coleta de dados do poço em operação, em um período histórico pós pandemia.

REFERÊNCIAS

[1] OECD. **Environmental Outlook to 2050:** the Consequences of Inaction**.** Paris, 2012.

[2] PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

[3] MORALES, Luis Roberto Valer. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais**. 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado em ciências). Universidade de São Paulo., São Paulo, 2011.

[4] Clark, R.N., Vick, B.D. Performance comparison of tracking and non-tracking solar photovoltaic water pumping systems. **American Society of Agricultural Engineers Paper,** No. 97-4003. pp. 12. mar. 2007.

[5] OMER, Abdeen Mustafa. Solar water pumping clean water for Sudan rural áreas, **Renewable Energy**, v. 24, n 2. p. 245-258, abr.2001. https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00095-1.

[6] HAMROUNI, Nejib; JRAIDI, Moncef; CHÉRIF, Adnéne. Theoretical and experimental analysis of the behaviour of a photovoltaic pumping system, **Solar Energy**, vol. 83, n 8. abr, 2009. https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.03.006.

[7] MORALES, L. R. V. **Sistemas fotovoltaicos de bombeamento com conversores de frequência e motobombas de fabricação nacional**: **avaliação e orientações para sua implantação**. 2016. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12212:** Projeto de poço tubular profundo para captação de água subterrânea**.** Rio de Janeiro, 2017.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12244:** Construção de poço tubular profundo para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2017.

[10] JUSTINO, D.; NOGUEIRA, É. Dimensionamento do sistema de recalque para abastecimento de água da comunidade de macundú, distrito de são joão marcos, município de rio claro, rio de janeiro. **Cadernos UniFOA**, v. 7, n. 18, p. 11–25, mar. 2017.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626:** Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

[12] HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte, 2006.

[13] SONTAKE, Vimal Chand; KALAMKAR, Vilas R.. Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 1038-1067, jun, 2016. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.021.