

Viabilidade técnica e econômica para implantação de um protótipo de aerador fotovoltaico aplicado à Piscicultura Familiar no interior de Rondônia

Jerônimo Vieira Dantas Filho¹, Robson Fernandes Pereira², Kewry Mariobo Franck Dantas¹, Alerhandro Rodrigues Vidal¹, Andrey Góis Medeiros¹, Danieli Souza Santos¹, Mirela Ferreira da Silva¹, Sinvaldo Pissinatti Silva, Thiago Coelho da Costa¹, Douglas Guedes Gotardi²

¹Grupo de Estudo e Pesquisa em Tecnologia e Inovação Darth Vader, Centro Universitário Afya de Ji-Paraná, Ji-Paraná, RO, Brasil

³Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, RO, Brasil

*Autor correspondente: Jerônimo Vieira Dantas Filho, Dr. e Professor do Centro Universitário Afya de Ji-Paraná, Ji-Paraná, RO, Brasil. Av. Eng. Manoel Barata Almeida da Fonseca, 542 - Jardim Aurelio Bernardi, Ji-Paraná - RO, 76907-524. E-mail: jeronimo.filho@saolucasjiparana.edu.br

Editor: Prof. Dr. Francisco Carlos da Silva

Recebido em: 02/05/2025 Aceito em: 12/07/2025 Publicado em: 19/07/2025

Resumo

Este estudo teve como objetivo propor a implementação de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica isolado (*Off-Grid*) para atender às demandas energéticas de uma unidade de piscicultura familiar no interior de Rondônia, considerando a hipótese de inexistência de fornecimento convencional de energia elétrica. Inicialmente, foi realizado o levantamento das cargas elétricas típicas — aerador, bomba submersa, balança eletrônica e alimentador automático —, resultando em um consumo mensal estimado de 1.650 kWh. A partir dessas informações, foi dimensionado um sistema composto por módulos fotovoltaicos de 280 Wp, inversor de 3 kW, dois controladores de carga de 70 A e banco de baterias estacionárias de 70 Ah cada, operando a 24 Vcc. Considerou-se uma irradiação solar média de 4,95 kWh/m²/dia e uma margem de perda de 20% para garantir maior precisão na estimativa da energia gerada. A necessidade de energia foi atendida com a instalação de 11 módulos solares, distribuídos para maximizar a produção e assegurar a autonomia do sistema. A análise contemplou também a escolha de cabos e conectores compatíveis, assegurando a eficiência e a segurança do sistema. O custo total estimado para a aquisição dos materiais foi de R\$ 14.408,43, e o custo adicional para projeto, homologação e instalação foi de R\$ 12.418,56, totalizando R\$ 26.826,99. Este valor foi calculado considerando preços médios do mercado local. O sistema proposto mostrou-se viável para garantir a operação contínua dos equipamentos essenciais para a piscicultura, promovendo a sustentabilidade energética e reduzindo a dependência de fontes convencionais de energia. Estes resultados reforçam a viabilidade técnica e econômica da adoção de soluções fotovoltaicas em pequenas propriedades aquícolas, especialmente em regiões remotas.

Palavras-chave: Energias renováveis; Sistema *Off-Grid*; Soluções tecnológicas; Sustentabilidade rural.

Technical and economic feasibility for implementing a prototype photovoltaic aerator applied to family fish farming in the interior of Rondônia state

Abstract

This study proposes a technical and economic assessment for the implementation of an autonomous Off-Grid photovoltaic energy system to meet the energy demands of a small-scale aquaculture facility in Rondônia state. Due to the assumed lack of access to conventional grid electricity, a detailed analysis was conducted, encompassing load estimation, system sizing, equipment
Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão, Empregabilidade, Inovação e Internacionalização (ProPPexii)
Centro Universitário Afya de Ji-Paraná

specification, and cost estimation. The load survey considered typical aquaculture equipment, including aerators, submersible pumps, electronic scales, and automatic feeders, resulting in an estimated monthly energy demand of 1,650 kWh. System sizing was based on the average daily solar irradiation of 4.95 kWh/m² and incorporated a 20% loss factor to account for practical inefficiencies. The photovoltaic system consists of eleven 280 W panels, a 3 kW inverter with a 20% overload margin, two 70 A charge controllers, and a battery bank comprising five 70 Ah sealed lead-acid batteries, operating at 24 V DC. Standardized 4 mm² cables and MC4 connectors were specified to ensure safe and efficient energy transfer. The technical design ensured that the energy production would meet the continuous demand, even under suboptimal irradiation conditions. The total estimated material cost was R\$ 14,408.43. Including basic project services, permitting, and installation costs (R\$ 12,418.56), the overall system investment totaled R\$ 26,826.99. This solution offers energy autonomy for rural aquaculture operations, enhancing operational reliability and promoting sustainable energy practices. Variations in final costs are expected depending on regional market conditions and specific project adaptations. The proposed system represents a viable alternative for energy supply in isolated areas, contributing to the technological and economic strengthening of family aquaculture in the Brazilian Amazon.

Keywords: Off-Grid system; Renewable energy; Rural sustainability; Technological solutions.

1. Introdução

As fontes de energia renovável, como a energia solar (ou fotovoltaica), biomassa e eólica, são geradas a partir de recursos naturais capazes de se regenerar ao longo do tempo, sendo, por isso, consideradas mais sustentáveis do que as fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis – carvão mineral, petróleo e gás natural (Araújo et al., 2022). No contexto brasileiro, essas fontes renováveis – especialmente a energia solar, biomassa e eólica – apresentam um grande potencial de aproveitamento, tanto por parte de empreendimentos quanto pela população em geral (Camboim et al., 2018). Dentre elas, destaca-se a energia solar, em virtude dos elevados índices de radiação solar no país. Esse fator torna a região Norte especialmente promissora para a geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos, quando comparada às demais regiões do Brasil (Sá et al., 2019; Silva; Araújo, 2022).

Nos diferentes sistemas produtivos, como é o caso da piscicultura, há demanda por fontes de energia – sejam elas renovavam ou não – para garantir o funcionamento de diversos equipamentos (Martins et al., 2020). Na piscicultura, em particular, um dos maiores desafios enfrentados pelos

produtores é assegurar a oxigenação adequada da água, especialmente em sistemas com muitos tanques, o que geralmente exige o uso de aeradores (Cornejo-Ponce et al., 2020; França; Silva, 2022). Nesse cenário, a adoção de sistemas fotovoltaicos – isolados ou conectados à rede – pode representar uma solução viável tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. A utilização de energia solar reduz os impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa (Lira et al., 2019), ao mesmo tempo em que promove a introdução de tecnologias limpas no meio rural, contribuindo para uma transformação nos modos de produção e consumo (Ioakeimidis; Polatidis; Haralambopoulos, 2013; Hungaro Micheletti; Corrêa, 2022).

A produção de pescado na região Norte do Brasil alcançou, em 2023, a marca de 143.096 toneladas, com o estado de Rondônia ocupando a quarta posição no ranking nacional, respondendo por 39,48% desse total – com predomínio de espécies nativas (Peixe BR, 2024; Cavali e Dantas Filho, 2024).

Apesar da relevância econômica da piscicultura no cenário nacional, muitos pequenos produtores enfrentam dificuldades de acesso à rede

elétrica ou sofrem com o alto custo da energia, o que compromete o uso de equipamentos essenciais como bombas d'água, aeradores, balanças e alimentadores automáticos (Cardoso et al., 2023). Diante desse contexto, torna-se essencial buscar alternativas que ajudem os produtores a minimizarem custos e, ao mesmo tempo, utilizem fontes de energia mais sustentáveis. Com base nisso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da implementação de um sistema fotovoltaico isolado (*Off-Grid*) em unidades de piscicultura familiar, por meio da análise dos custos envolvidos e do cálculo do tempo de retorno do investimento (*payback*) para os produtores.

2. Material e Métodos

2.1. Fundamentação técnica

Inicialmente, foi realizado um estudo detalhado das demandas energéticas da unidade de piscicultura familiar, partindo da hipótese de ausência de fornecimento de energia elétrica convencional por meio da concessionária local. Diante disso, propôs-se a implementação de um sistema de geração de energia elétrica a partir da fonte solar, do tipo fotovoltaico isolado (*Off-Grid*), autônomo (24 horas) e independente da rede pública de distribuição.

A análise abrangeu os aspectos técnicos e econômicos do projeto, contemplando desde o dimensionamento do sistema até a estimativa de custos dos principais componentes e da instalação. O sistema *Off-Grid* proposto é composto por módulos fotovoltaicos, inversor CC/CA, controlador de carga e banco de baterias, conforme recomendações

técnicas disponíveis na literatura especializada (Zelba et al., 2022). Cada um desses elementos desempenha uma função essencial no processo de conversão, regulação, armazenamento e entrega da energia elétrica gerada.

2.2. Levantamento de carga

O levantamento de carga é uma etapa fundamental para o dimensionamento correto do sistema fotovoltaico. Para tanto, foram considerados os equipamentos comumente utilizados em unidades de piscicultura familiar: aerador, bomba submersa, balança eletrônica e alimentador automático. A demanda energética diária de cada equipamento foi estimada a partir da potência nominal (W) multiplicada pelo tempo médio de funcionamento diário (h/dia), conforme expressa a Equação (1):

Equação (1):

Consumo diário de energia (Wh) = Potência (W) × Tempo de uso diário (h)

Com os valores individuais diários, foi possível obter o consumo mensal total em Wh, o qual foi convertido posteriormente para kWh, dividindo-se por 1000.

2.3. Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Com base no consumo energético estimado, foram calculadas as quantidades dos componentes do sistema fotovoltaico. Os módulos solares utilizados possuem potência nominal de 280 Wp. Considerou-se uma irradiação solar média diária de 4,95 kWh/m² para o município de Ji-Paraná – RO,

aplicando-se uma margem de perda de 20% para representar perdas por sujeira, temperatura, orientação inadequada e outras variáveis práticas. A energia produzida por painel é estimada pela Equação (2):

Equação (2):

$$\text{Energia gerada por painel (Wh)} = \text{Potência do painel (W)} \times \text{Irradiação solar (h)} \times (1 - \text{Perdas})$$

A energia mensal por módulo é obtida pela Equação (3):

Equação (3):

$$\text{Energia mensal por painel (kWh/mês)} = \text{Energia diária (kWh)} \times 30$$

Finalmente, a quantidade de painéis necessária para suprir a demanda é dada pela Equação (4):

Equação (4):

$$\text{Qtd. de módulos} = \text{Consumo mensal (kWh)} / \text{Energia mensal por painel (kWh)}$$

2.4. Inversores

O inversor é o equipamento responsável pela conversão da corrente contínua (CC), proveniente dos módulos, em corrente alternada (CA), que é a forma de energia utilizada pela maioria dos dispositivos elétricos.

O dimensionamento do inversor é feito com base na potência total instalada nos painéis, conforme a Equação (5):

Equação (5):

$$\text{Potência total (kW)} = \text{Qtd. de painéis} \times \text{Potência do painel (kW)}$$

Recomenda-se adicionar um fator de segurança de 20% (overload) sobre essa potência para garantir que o equipamento suporte variações na demanda e nas condições operacionais.

2.5. Cabos, conectores e controladores de carga

Para a conexão entre os módulos e os demais componentes, foram selecionados cabos de seção transversal de 4 mm², compatíveis com os níveis de corrente do sistema e adequados às normas técnicas de segurança e desempenho. Utilizaram-se conectores MC4, específicos para aplicações fotovoltaicas, devido à sua resistência à umidade e à fácil conexão.

O controlador de carga é um componente indispensável em sistemas Off-Grid, pois regula o fluxo de energia entre os módulos e o banco de baterias, evitando sobrecargas e descargas profundas. A corrente nominal do controlador é determinada pela Equação (6):

Equação (6):

$$\text{Corrente total (A)} = \text{Produção diária (Wh)} / \text{Tensão do sistema (Vcc)}$$

Considerou-se um sistema com tensão de operação em 24 Vcc. O controlador deve ser selecionado com base nessa corrente estimada, entre os modelos disponíveis no mercado, cujas faixas vão de 10 A a 100 A.

2.6. Banco de baterias

As baterias estacionárias são responsáveis pelo armazenamento da energia gerada, garantindo o fornecimento contínuo mesmo em períodos de baixa irradiação solar. Devido às características do sistema,

optou-se por baterias do tipo chumbo-ácido seladas, com capacidade unitária de 70 Ah, próprias para aplicações em sistemas fotovoltaicos.

A quantidade de baterias é obtida com base na corrente estimada para o banco, conforme Equação (7):

Equação (7):

Qtd. de baterias = Corrente do banco (Ah) / Capacidade da bateria (Ah)

A corrente do banco (Ah) foi estimada a partir da potência do inversor, com a premissa de que a cada 100 W de potência são requeridos 10 Ah de armazenamento. Além disso, considerou-se a profundidade de descarga admissível, o número de dias de autonomia desejados e o ciclo de vida útil das baterias.

3. Resultados

O protótipo de aerador xafariz com sistema Venturi movido por energia solar (Figura 1), como uma solução sustentável e eficiente para atender às necessidades energéticas de unidades de piscicultura familiar no interior de Rondônia. O aerador, que utiliza o princípio do efeito Venturi, aumenta a oxigenação da água sem depender de energia elétrica convencional, sendo alimentado por um sistema fotovoltaico *off-Grid*, que converte energia solar em eletricidade armazenada em baterias. Este sistema autossustentável garante a operação contínua do aerador, melhorando a saúde dos peixes e reduzindo os custos operacionais, além de ser uma alternativa limpa e econômica

para áreas rurais com acesso limitado à rede elétrica.

A análise de viabilidade técnica baseou-se no estudo de Roy et al. (2022) e nos dados obtidos a partir dos cálculos do consumo energético estimado para os equipamentos elétricos que, hipoteticamente, seriam empregados no sistema de piscicultura familiar, incluindo aerador, bomba hidráulica, balança eletrônica e alimentador automático.

A Tabela 1 apresenta o levantamento de carga dos principais equipamentos elétricos hipoteticamente empregados em um sistema de piscicultura familiar. Foram considerados quatro dispositivos: aerador, bomba d'água, balança eletrônica e alimentador automático. Para cada equipamento, foram estimadas a potência (em watts), o tempo médio diário de uso (em horas) e o consumo energético diário (em watt-hora, Wh). O aerador, com potência de 377 W e funcionamento contínuo (24 horas por dia), apresenta o maior consumo diário, totalizando 9.048 Wh. A bomba d'água, com potência de 180 W e operando 24 horas por dia, consome 4.320 Wh diariamente.

Figura 1. Implementação de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica isolado (Off-Grid) aplicada à piscicultura familiar no interior de Rondônia, sob a perspectiva da vista lateral (A) e vista frontal (B) do aerador, protótipo em pleno funcionamento e destacando as placas solares, conjunto de baterias (D), baterias em pleno funcionamento e painel de *inputs* do alimentador (F).



Fonte: Arquivos dos autores, desenvolvendo o protótipo com suporte financeiro da FAPERO pelo Programa Centelha 02.

A balança eletrônica, com potência de apenas 5 W e uso estimado de 4 horas por dia, apresenta consumo diário reduzido de 20 Wh. O alimentador automático, com potência igual à do aerador (377 W), é utilizado por 3 horas diárias, resultando em um consumo de 754 Wh por dia. A soma total do consumo energético diário dos quatro equipamentos é de 14.142 Wh. Projetando esse valor para um mês de operação contínua, estima-se um consumo energético mensal de 424.260 Wh, o que equivale a 1.650 kWh (Tabela 1).

A Tabela 2 apresenta os equipamentos necessários para a implantação de um sistema fotovoltaico em uma piscicultura familiar, com consumo mensal estimado de 319,90 kWh. Foram dimensionados 10 painéis solares de 250 W, considerando irradiação média de 4,66 kWh/m² e perdas de 15%, resultando em 30,62 kWh/mês por painel. A potência total instalada é de 2,92 kWp, conectada a um inversor de 3 kW, com capacidade máxima de 3,3 kW. Utilizam-se 19 metros de cabos 4 mm² e 10 pares de

conectores MC4. A geração diária de 2.741,22 Wh requer 2 controladores de carga de 70 A (total de 144 A), operando em 24 V. O banco de baterias é composto por 5 baterias estacionárias de 60 Ah, somando 300 Ah, suficiente para atender à demanda do sistema.

O conjunto está adequadamente dimensionado para garantir eficiência, autonomia e viabilidade energética na atividade aquícola.

Para estimar o orçamento do material necessário para a instalação do sistema fotovoltaico isolado em uma piscicultura familiar, foram consideradas as seguintes especificações: utilização de 11 painéis solares de 280W cada, 1 inversor de 3 kW, 2 controladores de carga de 70A/24Vcc, 5 baterias estacionárias de 70Ah/24Vcc, 22 cabos de 24mm² e 11 conectores do tipo MC4. Os preços unitários adotados para o orçamento foram R\$ 646,60 para cada painel solar, R\$ 2.493,00 para o inversor, R\$ 701,90 para cada controlador de carga, R\$ 650,52 para cada bateria estacionária, R\$ 1,26 para cada cabo 24mm² e R\$ 10,71 para cada conector MC4.

Tabela 1. Estimativa de Consumo Energético de Equipamentos em Sistema de Piscicultura Familiar.

Levantamento de Carga				
Item	Equipamento	Potência (W)	Uso diário (h)	Consumo (Wh)
1	Aerador	377,00	24	9.048,00
2	Bomba d'água	180,00	24	4.320,00
3	Balança eletrônica	5,00	4	20,00
4	Alimentador automático	377,00	3	754,00
Total Diário (Wh)				14.142,00
Total Mensal (Wh)				424.260,00
Total Mensal (kWh)				1.650,00

Tabela 2. Equipamentos necessários para a implantação de um projeto fotovoltaico em uma piscicultura familiar

Painéis Solares	
Potência por painel (W)	250
Irradiação solar média (kWh/m ²)	4,66
Perda (%)	15
Energia gerada por painel (Wh)	1.006,20
Energia gerada por painel (kWh)	1,02
Energia gerada por painel (kWh/mês)	30,62
Consumo mensal (kWh)	319,90
Quantidade de painéis	9,60
Quantidade de painéis (exato)	10
Inversor	
Quantidade painéis	10
Potência painel (kW)	0,26
Potência total em painéis (kWp)	2,92
Potência Inversor (kW)	3
<i>Overload</i>	0,2
Máxima potência Inversor (kW)	3,3
Cabos e Conectores	
Cabos 4mm ² (m)	19
Conectores MC4	10 pares
Controladores de carga	

Produção (Wh)	2.741,22
Corrente contínua (Vcc)	24
Corrente total (A)	117,67
Corrente Controlador de Carga (A)	70
Quantidade de Controladores	2
Total Corrente Controladores (A)	144
Banco de baterias	
Potência Inversor (kW)	3
Potência Inversor (W)	3.300
Corrente do banco de bateria (Ah)	300,0
Capacidade da bateria estacionária (Ah)	60,0
Quantidade de baterias	4,66
Quantidade baterias (exato)	5

Tabela 3. Inventário do orçamento dos equipamentos e mão de obra para a implantação.

Orçamento do material necessário			
Item	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Subtotal (R\$)
Painel 250W	10	808,50	8085
Inversor 3kW	1	3.117,38	3117,38
Controlador de carga 70A/24Vcc	2	877,38	1754,76
Bateria estacionária 70A/12Vcc	5	813,15	4065,75
Cabos 4mm ²	20	1,58	31,60
Conectores MC 4 (pares)	10	13,39	133,90
Total (R\$)			17.188,39
Mão de obra e projeto			
Item	Potência total dos painéis (kWp)	Valor do kWp (R\$)	Subtotal (R\$)
Projeto, Homologação, Instalação	2,90	5.241,60	15.201,00
Total (R\$)			32.389,39

Dessa forma, o custo total estimado dos materiais necessários para a obtenção do sistema fotovoltaico isolado perfaz o valor de R\$ 14.408,43 (quatorze mil, quatrocentos e oito reais e quarenta e três centavos). Além disso, deve-se levar em consideração o valor referente ao projeto básico, à homologação e à instalação do sistema. Para essa estimativa, foi considerada a premissa de que, para cada quilowatt-pico (kWp) instalado, o custo médio seria de R\$ 4.032,00, valor praticado no mercado local. Como a potência total dos painéis solares é de 3,08 kWp, o custo estimado para essas etapas foi de R\$ 12.418,56.

Portanto, somando os valores dos materiais, do projeto, da homologação e da instalação, o custo total estimado do sistema fotovoltaico foi de R\$ 26.826,99 (vinte e seis mil, oitocentos e vinte e seis reais e noventa e nove centavos). Ressalta-se que todos os valores apresentados foram obtidos com base em preços praticados comercialmente no mercado local, podendo variar conforme a região, a marca dos equipamentos e as características específicas de cada projeto.

A tarifa rural no município de Ji-Paraná - RO é classificada na categoria B2 – Convencional. As tarifas de TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) e TE (Tarifa de Energia), acrescidas dos impostos ICMS, PIS e COFINS, resultam em um valor aproximado de R\$ 1,17 por kWh para áreas rurais, conforme estabelece a Resolução Homologatória nº 3.243, de 15 de agosto de 2023, que homologou o resultado do quarto ciclo de revisão tarifária da Equatorial Pará Distribuidora de Energia S.A.

Esses resultados estão de acordo com a Revisão Tarifária Periódica (RTP) de 2023 da Equatorial Pará Distribuidora de Energia S.A. (Equatorial Pará), as tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A Tabela 3 apresenta o inventário do orçamento dos equipamentos e dos custos de mão de obra necessários para a implantação do sistema fotovoltaico. No orçamento do material necessário, foram considerados 10 painéis solares de 250W, ao preço unitário de R\$ 808,50, totalizando R\$ 8.085,00; 1 inversor de 3kW, ao custo de R\$ 3.117,38; 2 controladores de carga de 70A/24Vcc, com valor unitário de R\$ 877,38, totalizando R\$ 1.754,76; 5 baterias estacionárias de 70A/12Vcc, ao preço de R\$ 813,15 cada, resultando em R\$ 4.065,75; 20 metros de cabos 4 mm², ao custo de R\$ 1,58 por metro, somando R\$ 31,60; e 10 pares de conectores MC4, ao preço unitário de R\$ 13,39, totalizando R\$ 133,90. Dessa forma, o custo total estimado para aquisição dos materiais necessários foi de R\$ 17.188,39.

Em relação à mão de obra e ao projeto, considerou-se o custo para elaboração do projeto, homologação e instalação do sistema. Para essa estimativa, adotou-se o valor de R\$ 5.241,60 por kWp instalado, conforme prática média do mercado local. Como a potência total dos painéis solares foi de 2,90 kWp, o custo total da mão de obra e do projeto foi de R\$ 15.201,00. Assim, somando-se os valores referentes ao material e à mão de obra, o custo total do sistema fotovoltaico foi estimado em R\$ 32.389,39.

A análise da fatura de energia elétrica revelou um consumo mensal de 467,29 kWh. Considerando a tarifa vigente, já acrescida dos impostos (ICMS, PIS e COFINS), no valor de R\$ 1,52 por kWh, o custo mensal de energia elétrica ficou em R\$ 543,73. Além desse valor, há a cobrança referente à iluminação pública, no montante de R\$ 24,00. Assim, o valor total da fatura mensal de energia elétrica corresponde a R\$ 567,73.

O projeto analisado apresenta uma trajetória financeira de investimentos e retornos mensais ao longo de 62 meses, iniciando em novembro de 2023 e se estendendo até dezembro de 2028. Após a aplicação de uma redução de 10% em todos os valores, observa-se que o investimento inicial e os aportes posteriores foram ligeiramente diminuídos, assim como os retornos mensais projetados.

Durante a maior parte do período, o saldo acumulado permaneceu negativo, com reduções progressivas mês a mês à medida que os retornos constantes foram abatendo o saldo devedor. Pequenos investimentos adicionais foram necessários em alguns meses (nov/23, jan/24, jan/25, jan/26, jan/27 e jan/28) para a manutenção do projeto.

O payback — ponto em que o retorno acumulado ultrapassa o valor investido — ocorreu apenas em fevereiro de 2028, quando o saldo acumulado passou de negativo para positivo (Tabela 4). A partir daí, o projeto entrou em fase de lucro crescente, evidenciado

pelo saldo positivo contínuo nos meses subsequentes (Tabela 4). A dinâmica geral indica um projeto de retorno lento, mas consistente a longo prazo, exigindo resiliência financeira nos primeiros anos até a consolidação do investimento (Figura 2 A e B).

O gráfico de análise do payback acumulado apresenta a evolução do saldo financeiro do projeto ao longo do tempo, considerando os investimentos iniciais e os retornos mensais. Observa-se que, a partir de novembro de 2023 (nov/23), o projeto inicia com um investimento significativo de aproximadamente R\$ 24.144,29 negativos, resultando em um saldo inicial negativo. Nos meses subsequentes, embora haja uma entrada constante de receitas (retornos) variando entre R\$ 378,50 e R\$ 544,69 por mês, o valor acumulado de payback continua negativo ao longo de todo o período analisado. Isso indica que os retornos mensais ainda não são suficientes para cobrir o investimento inicial (Figura 2 A e B).

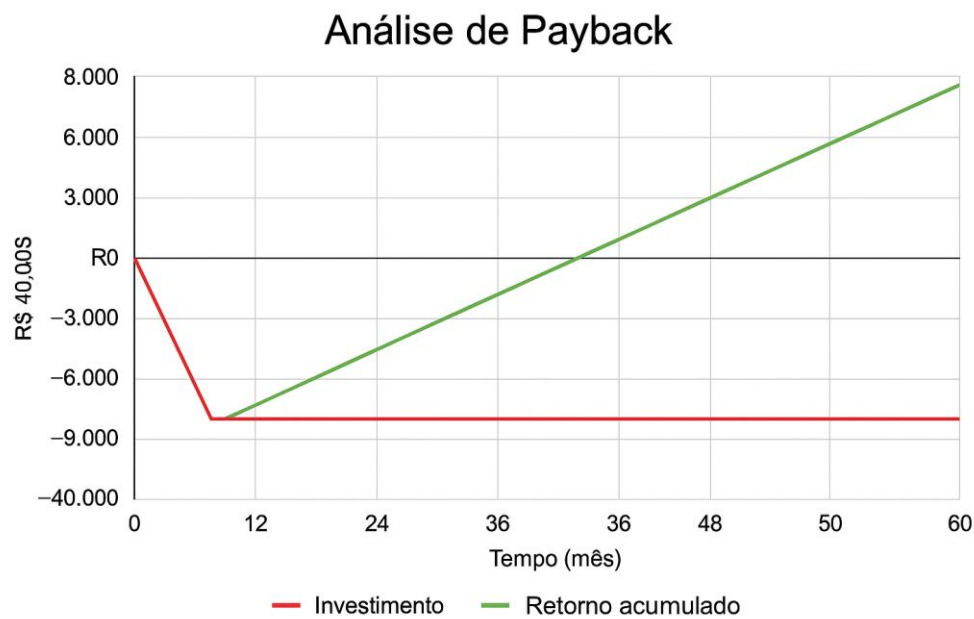
Tabela 4. Análise do fluxo de caixa, para cálculo de *payback*

Tempo (mês)	Mês	Investimento	Retorno acumulado	Payback	Negativo	Positivo
1	nov/23	-R\$ 24.144,29	R\$ 378,50	-R\$ 23.765,79	-R\$ 23.765,79	FALSO
2	dez/23	-R\$ 10,14	R\$ 378,50	-R\$ 23.397,43	-R\$ 23.397,43	FALSO
3	jan/24	-R\$ 131,95	R\$ 378,50	-R\$ 23.150,88	-R\$ 23.150,88	FALSO
4	fev/24		R\$ 378,50	-R\$ 22.904,34	-R\$ 22.904,34	FALSO
5	mar/24		R\$ 378,50	-R\$ 22.657,80	-R\$ 22.657,80	FALSO
6	abr/24		R\$ 378,50	-R\$ 22.411,26	-R\$ 22.411,26	FALSO
7	mai/24		R\$ 378,50	-R\$ 22.164,72	-R\$ 22.164,72	FALSO
8	jun/24		R\$ 378,50	-R\$ 21.918,18	-R\$ 21.918,18	FALSO
9	jul/24		R\$ 378,50	-R\$ 21.671,64	-R\$ 21.671,64	FALSO
10	ago/24		R\$ 427,33	-R\$ 21.244,31	-R\$ 21.244,31	FALSO
11	set/24		R\$ 427,33	-R\$ 20.816,99	-R\$ 20.816,99	FALSO
12	out/24		R\$ 427,33	-R\$ 20.389,66	-R\$ 20.389,66	FALSO
13	nov/24		R\$ 427,33	-R\$ 19.962,33	-R\$ 19.962,33	FALSO
14	dez/24		R\$ 427,33	-R\$ 19.535,01	-R\$ 19.535,01	FALSO
15	jan/25	-R\$ 144,22	R\$ 427,33	-R\$ 19.251,90	-R\$ 19.251,90	FALSO
16	fev/25		R\$ 427,33	-R\$ 18.824,58	-R\$ 18.824,58	FALSO

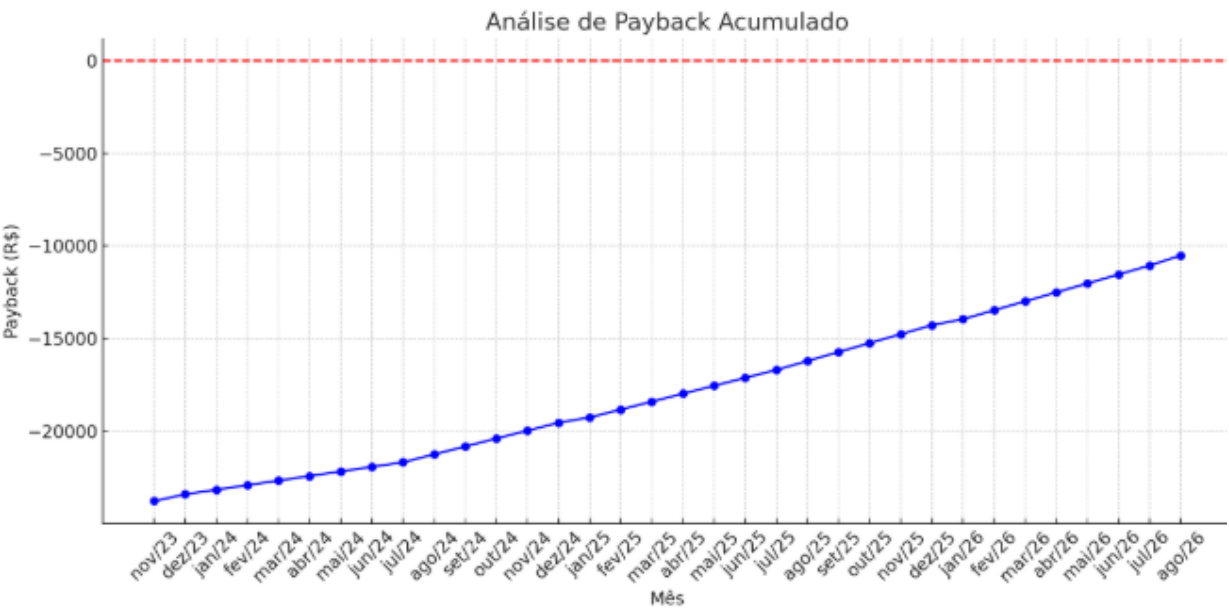
17	mar/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			427,33	18.397,25	18.397,25	
18	abr/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			427,33	17.969,93	17.969,93	
19	mai/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			427,33	17.542,60	17.542,60	
20	jun/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			427,33	17.115,28	17.115,28	
21	jul/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			427,33	16.687,95	16.687,95	
22	ago/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	16.205,50	16.205,50	
23	set/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	15.723,05	15.723,05	
24	out/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	15.240,60	15.240,60	
25	nov/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	14.758,15	14.758,15	
26	dez/25		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	14.275,70	14.275,70	
27	jan/26	-R\$	R\$	-R\$	-R\$	FALSO
		157,63	482,45	13.950,88	13.950,88	
28	fev/26		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	13.468,43	13.468,43	
29	mar/26		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	12.985,98	12.985,98	
30	abr/26		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	12.503,53	12.503,53	
31	mai/26		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	12.021,08	12.021,08	
32	jun/26		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	11.538,63	11.538,63	
33	jul/26		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			482,45	11.056,18	11.056,18	
34	ago/26		R\$	-R\$	-R\$	FALSO
			544,69	10.511,48	10.511,48	

Figura 2. Análise de *payback* (A) e *payback* acumulado (B) da comercialização do protótipo de aerador fotovoltaico aplicado à piscicultura familiar.

(A)



(B)



A linha do gráfico mostra uma trajetória ascendente lenta, refletindo a recuperação gradual do investimento; no entanto, mesmo após 34 meses (até agosto de 2026), o saldo acumulado permanece negativo, em torno de - R\$ 10.511,48. Dessa forma, o ponto de equilíbrio (payback = 0) ainda não foi alcançado dentro do horizonte temporal considerado. O comportamento da curva sugere que, sem aumento significativo no retorno mensal ou sem redução nos custos, o projeto demandará um período ainda mais longo para atingir o retorno total sobre o investimento (Figura 2 B).

4. Discussão

Os equipamentos utilizados no presente estudo correspondem aos mais básicos e essenciais empregados em sistemas de piscicultura familiar. A seleção dos mesmos, bem como o tempo de uso previsto, mostra-se plenamente compatíveis com o manejo adotado, considerando-se que a aeração contínua dos viveiros e o bombeamento de água são indispensáveis para a manutenção da qualidade do ambiente aquático. Tal necessidade decorre do fato de tratar-se de um sistema aberto, com renovação constante da água, fundamental para o bom desempenho dos peixes, como já destacado por Brabo et al. (2015) e Souza, Pontuschka e Sousa (2017).

Ademais, para aprimorar a eficiência do manejo alimentar, optou-se pela implementação de um alimentador automático. Esta tecnologia proporciona múltiplos benefícios: redução dos custos com mão de obra, melhoria na conversão alimentar e,

por consequência, superior desempenho zootécnico. A automatização da alimentação ainda permite o ajuste da oferta de ração em função dos parâmetros físico-químicos da água, diminuindo significativamente o desperdício e os impactos ambientais associados, conforme evidenciado por Yang et al. (2017). No tocante ao projeto fotovoltaico especificamente, adotou-se um sistema isolado, também conhecido como *Off-Grid*. Esse tipo de sistema é ideal para propriedades afastadas da rede elétrica convencional ou que buscam maior autonomia energética. Assim, procedeu-se à estimativa das quantidades necessárias de módulos fotovoltaicos, inversores, cabos, conectores, controladores de carga e baterias estacionárias, conforme exposto na Tabela 2.

De acordo com as especificações técnicas apresentadas na Tabela 2, o sistema projetado seria composto por 10 painéis solares, com capacidade de geração média de 30 kWh/mês. Para viabilizar a conversão da energia solar em corrente alternada utilizável, selecionou-se um inversor de 3 kW, com capacidade de sobrecarga de até 3,3 kW (considerando 20% de overload). A infraestrutura de cabos seria constituída por 22 unidades de cabos de 4 mm², devidamente conectados por 10 pares de conectores MC4. Para a regulação da carga e proteção do banco de baterias, seriam empregados dois controladores de carga com capacidade de 70 A cada. O armazenamento da energia seria garantido por um banco de baterias composto por cinco baterias estacionárias de 60 Ah cada, garantindo o funcionamento noturno do sistema.

Cabe salientar que o Brasil possui características geográficas e climáticas extremamente favoráveis à geração de energia solar. Além disso, a matriz energética nacional já é reconhecida por sua elevada participação de fontes renováveis, cenário pouco comum em escala mundial, e que contribui substancialmente para a redução das emissões de gases de efeito estufa por unidade de energia consumida (Ferreira et al., 2018; Soares et al., 2023). A adoção de fontes renováveis, como a energia solar, no meio rural apresenta-se não apenas como uma alternativa de economia, mas também como uma oportunidade de fortalecimento da sustentabilidade das atividades produtivas. Contudo, apesar do vasto potencial, a utilização ainda é incipiente entre pequenos produtores, seja por questões culturais, falta de informação técnica, ou mesmo limitações financeiras para o investimento inicial.

A integração entre sistemas fotovoltaicos e atividades aquícolas vem se popularizando, especialmente diante dos benefícios econômicos e ambientais proporcionados. Estudos recentes mostram que o uso de aeradores solares construídos com materiais reaproveitados, combinados a sistemas eletrônicos de controle e módulos fotovoltaicos, é uma estratégia viável para tornar a piscicultura familiar mais sustentável (Camboim *et al.*, 2018). De igual forma, a aplicação de energia solar no fornecimento de energia para sistemas de aquaponia (Siqueira et al., 2018; Alam et al., 2022) ou para o acionamento de bombas de recirculação em sistemas de criação intensiva de peixes (Silva et al., 2019) reforçam o potencial de expansão desta tecnologia.

O sistema fotovoltaico proposto para a piscicultura familiar analisada revelou-se tecnicamente viável. Os equipamentos dimensionados atendem plenamente às demandas energéticas da propriedade, inclusive para o funcionamento noturno, em que o fornecimento da energia depende exclusivamente do banco de baterias. A viabilidade técnica é ainda corroborada por estudos como o de Alam et al. (2022), que testaram a conexão de sistemas solares a bombas d'água em aquaponia. Apesar de registrarem falhas em dias nublados, os autores concluíram que o investimento se mostrou altamente vantajoso na redução dos custos operacionais. Outro ponto de atenção é a necessidade de um banco de baterias robusto, como demonstrado por Segundo, Mota e Vieira (2015), para garantir o fornecimento contínuo de energia, mesmo em condições de baixa insolação.

Comparativamente, o consumo elétrico mensal de 359,45 kWh registrado para o conjunto de equipamentos analisados (balança digital, aeradores, alimentador automático e bomba d'água) pode ser considerado baixo, sobretudo considerando que alguns dispositivos, como aeradores e bombas, operam em regime contínuo (24 horas). Para efeito de comparação, Souza, Pontuschka e Sousa (2017) reportaram o consumo de 249,75 kWh/mês apenas para o aerador de uma piscicultura semi-intensiva de tambaqui em tanque escavado. Ainda no tocante ao consumo energético, é oportuno destacar que no projeto denominado "Sisteminha EMBRAPA", foi registrado o consumo de apenas 21,6 kWh/mês por uma bomba d'água de 30 W de potência operando continuamente (Silva et al., 2019). No presente

estudo, a bomba d'água utilizada apresenta potência de 100 W, justificando assim o maior consumo observado.

A análise econômica realizada fundamentou-se no cálculo do Payback, ou seja, o tempo necessário para que o investimento inicial seja integralmente recuperado a partir da economia gerada com a produção de energia própria. Para tanto, considerou-se um reajuste médio anual da tarifa de energia de 12,90%, a manutenção do sistema (estimada em 0,5% ao ano do valor inicial), e a inflação média de 9,3%, conforme os dados de 2022 (ANEEL, 2023).

Observa-se que o valor da manutenção de sistemas fotovoltaicos é relativamente baixo e proporcional à dimensão do sistema instalado, como evidenciado pelo Portal Solar (2014). Assim, os reajustes aplicados anualmente garantem a atualização dos custos, refletindo melhor a realidade econômica.

Os cálculos apontam para um Payback de aproximadamente 52 meses (ou seja, 4 anos e 4 meses), conforme ilustrado na Figura 1. Admitindo a instalação do sistema em novembro de 2023, o retorno do investimento estaria previsto para ocorrer em fevereiro de 2028. Este tempo de retorno pode ser considerado excelente, especialmente se se levar em conta que a vida útil de sistemas fotovoltaicos bem instalados e corretamente mantidos é da ordem de 25 a 30 anos (Pinho; Galdino, 2014). Tal longevidade assegura a geração de energia praticamente gratuita por mais de duas décadas após o retorno do investimento inicial. No âmbito econômico, a viabilidade do sistema é reforçada pelo fato de que quanto menor o tempo de retorno, menor o risco associado ao investimento, conforme ressaltado por

Junior e Sousa (2015). A análise de fluxo de caixa evidencia que, a partir do quinto ano de operação, toda a energia produzida representará economia direta para o piscicultor.

O uso de energia solar também é fortalecido pelas políticas públicas que estimulam a adoção de tecnologias renováveis no meio rural, oferecendo linhas de crédito com condições facilitadas (Hungaro Micheletti; Corrêa, 2022). Outros estudos de caso corroboram a viabilidade do uso de energia solar em contextos similares. Por exemplo, Silva *et al.* (2019) demonstraram que, mesmo diante do custo elevado inicial, o sistema fotovoltaico isolado foi a melhor solução para abastecer bombas d'água em áreas rurais sem acesso à rede elétrica. Do mesmo modo, Jerônimo *et al.* (2016) destacaram a viabilidade econômica e ambiental da integração da piscicultura com a irrigação agrícola, utilizando águas residuais, apontando para a importância de soluções integradas e sustentáveis.

As vantagens do uso da energia solar transcendem a mera economia de custos. Pereira *et al.* (2017) destacam que sistemas fotovoltaicos oferecem benefícios adicionais como a redução de impactos ambientais, a promoção da bioeconomia e a melhoria do bem-estar animal, sobretudo quando se utilizam módulos semitransparentes que favorecem o controle da temperatura ambiente. Por fim, a diversificação das atividades produtivas e o uso inteligente dos recursos naturais da Amazônia, conforme defendido por Monteiro *et al.* (2023), evidenciam que o desenvolvimento sustentável é viável e desejável, especialmente quando associado a tecnologias limpas como a energia solar.

5. Conclusões

Em síntese, os resultados obtidos no presente estudo indicam que a implementação de um sistema fotovoltaico em uma piscicultura familiar é tecnicamente viável e economicamente atraente. A compatibilidade dos equipamentos com as necessidades energéticas, a análise criteriosa de custos, o prazo de retorno relativamente curto e a longevidade do sistema reforçam a recomendação do uso de energia solar no contexto da produção aquícola familiar. Além dos benefícios diretos para a produção e a redução de custos, a adoção da energia solar contribui significativamente para a promoção da sustentabilidade ambiental, a diversificação da matriz energética rural e a valorização dos recursos naturais locais, apontando para um caminho de desenvolvimento mais autônomo, resiliente e integrado à bioeconomia.

Agradecimentos

À FAPERO - Fundação de Amparo ao Desenvolvimento das Ações Científicas e Tecnológicas e à Pesquisa do Estado de Rondônia, por meio do Programa Centelha 02, nossos agradecimentos pelo suporte financeiro para o desenvolvimento desse projeto de pesquisa e desenvolvimento de inovação tecnológica.

6. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Resolução Homologatória nº 3.243/2023, de 15 de agosto de 2023*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 157, p. 71, v. 161, 17 ago. 2023.

ARAÚJO, R. S.; SOUSA, F. L. N.; VANDERLEY, P. S.; BENTES, S. O. DA S.; GOMES, L. M.; FERREIRA, F. C. L. *Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis*. Research, Society and Development, v. 11, n. 11, e468111133893, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33893>

BRABO, M. F.; VERAS, H. M. D.; VERAS, G. C.; SILVA, M. J. M.; SILVA, A. S. L.; SOUZA, R. A. L. *Viabilidade econômica da produção de alevinos de espécies reofilicas em uma piscicultura na Amazônia Oriental*. Boletim do Instituto da Pesca, v. 41, n. 3, p. 667-685, 2015.

CARDOSO, H. S.; SILVA, C. C. S.; DANTAS FILHO, J. V.; HURTADO, F. B. *Levantamento de pontos críticos e potencialidades da cadeia produtiva e análise do índice de sustentabilidade de pisciculturas*. Scientia Naturalis, v. 5, n. 1, p. 194-224, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/269504.5.1-14>

CAMBOIM, L. F.; ANJOS, T. B.; SANTOS, L. A. P. *Desenvolvimento de protótipo de aerador fotovoltaico aplicado à piscicultura de pequeno e médio porte*. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 5, n. 10, p. 665-675, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21438/rbgas.051019>

CAVALI, J. B.; DANTAS FILHO, J. V. *Estimativas da piscicultura no estado de Rondônia*. Scientia Naturalis, v. 6, n. 1, p. 335-351, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/269504.6.1-22>

CORNEJO-PONCE, L.; VILCA-SALINAS, P.; LIENQUEO-ABURTO, H.; ARENAS, M. J.; PEPE-VICTORIANO, R.; CARPIO, E.; RODRIGUEZ, J. *Integrated Aquaculture Recirculation System (IARS) Supported by Solar Energy as a Circular Economy Alternative for Resilient Communities in Arid/Semi-Arid Zones in Southern South America: A Case Study in the Camarones Town*. Water, v. 12, n. 3469, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12123469>

FERIOLI, K. C. O.; VILHENA, A. L.; AGUIAR, M. A. S.; ARRIFANO, R. C. D.; CORRÊA, F. *Projeto de sistema fotovoltaico isolado (OFF GRID) para residências*. Belém: IESAM, v. 22, 2022.

- FERREIRA, A.; KUNH, S. S.; FAGNANI, K. C.; SOUZA, T. A.; TONEZES, C.; SANTOS, G. R.; COIMBRA-ARAÚJO, C. H. *Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 81, p. 181-191, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.102>
- FRANÇA, I.; SILVA, W. *Compressor radial: o uso do aerador no sistema de piscicultura*. Journal of Innovation and Science: Research and Application, v. 2, n. 1, p. 9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.56509/joins.2022.v2.118>
- HUNGARO MICHELETTI, D.; CORRÊIA, A. F. *O uso da energia solar fotovoltaica como incentivo ao desenvolvimento rural sustentável*. Conjecturas, v. 22, n. 14, p. 650–670, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.53660/CONJ-1790-2L06>
- IOAKEIMIDIS, C.; POLATIDIS, H.; HARALAMBOPOULOS, D. *Use of renewable energy in aquaculture: an energy audit case-study analysis*. Global NEST Journal, v. 15, n. 3, p. 282-294, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.30955/gnj.000943>
- JERÔNIMO, M. K.; GOMES, M. B.; SOUZA, C. E.; BRITO, T. O. S.; ALVARENGA, E. M. *Perspectivas de viabilidade econômica e ambiental: integração entre a piscicultura e fruticultura irrigada em São João do Piauí (PI)*. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 11, n. 5, p. 103-109, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i5.3816>
- JUNIOR, F. W.; SOUSA, J. O. *Indicadores e técnicas para análise e decisão de investimentos*. Revista Científica FACPED, v. 61, n. 62, 2016.
- LIRA, M. A. T.; MELO, M. L. S.; RODRIGUES, L. M.; SOUZA, T. R. M. *Contribuição dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica para redução de CO₂ no estado do Ceará*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 3, p. 389-397, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786343046>
- MARTINS, L. P.; FRANCO, V.; DANTAS FILHO, J. V.; FREITAS, C. DE O. *Viabilidade econômica para o cultivo do Tambaqui (Colossoma macropomum) em viveiro escavado no município de Urupá, Rondônia – Brasil*. Revista de Administração e Negócios da Amazônia, v. 12, n. 2, p. 64-89, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v12n2p64-89>
- MONTEIRO, E. P.; SANTOS, M. A.; ARAÚJO, J. G.; BRABO, M. F. *Aquicultura na Amazônia: entraves e possibilidades do desenvolvimento endógeno na atividade*. Acta of Fisheries and Aquatic Resources, v. 11, n. 2, p. 72-80, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.46732/actafish.2023.11.2.72-80>
- PEIXE BR. *Associação Brasileira da Piscicultura*. São Paulo: Anuário da Piscicultura, 2024. 63 p.
- PEREIRA, E. B. et al. *Atlas brasileiro de energia solar*. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.34024/978851700089>
- (continua na próxima resposta com o restante das referências)
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar/CEPEL, 2014.
- PORTAL SOLAR. *Tudo sobre a manutenção do painel solar e do sistema fotovoltaico*. 2014. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/manutencao-painel-solar.html>
- ROY, S. M.; MACHAVARAM, R.; MOULICK, S.; MUKHERJEE, C. K. *Economic feasibility study of aerators in aquaculture using life cycle costing (LCC) approach*. Journal of Environmental Management, v. 302, Part A, 114037, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114037>
- SÁ, R. J. S.; FÉLIX, I. B.; CRUZ, M. C. S.; SOUZA, L. L. R.; SOUZA, A. G. S.; AIRES, C. C. S. *Energias renováveis: energia solar fotovoltaica e energia eólica*. Multidisciplinary Reviews, v. 2, p. 1-7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/multi.2019018>
- SEGUNDO, D.; MOTA, M.; VIERA, A. *Aerador de piscicultura alimentado com fonte de energia solar*. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 4, p. 1-

- 14, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rber.v4i2.38850>
- SILVA, C. F. L.; SOUZA, H. G.; SILVA, J. V. R.; PINTO, A. C. *Implementação de um sistema fotovoltaico para abastecimento de um tanque de piscicultura do “Sisteminha Embrapa”*. Extramuros - Revista de Extensão da UNIVASF, v. 7, n. 2, p. 115-135, 2019.
- SILVA, H. M. F.; ARAÚJO, F. J. C. *Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica*. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 8, n. 3, p. 859-869, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v8i3.4654>
- SIQUEIRA, P. K. M. S.; ANDREAZZI, M. A.; SCHMIDT FILHO, E.; REZENDE, L. C. S. H.; PEDRANGELO, A. C. S.; SILVA, C. N. *Diretivas de projeto e metodologia de implantação de um sistema aquapônico sustentável*. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 9, n. 5, p. 209-217, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0019>
- SOARES, C. A. B.; NADAE, J.; NASCIMENTO, D. S.; FIRMINO, P. R. A.; MARIOKA, S. N. *Photovoltaic solar energy and sustainability in higher education institutions: a multiple case study*. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 18, e02939, p. 103-135, 2023.
- SOLAR BRASIL. *Como escolher a bateria para um sistema de energia fotovoltaica Offgrid?* Blog Solar Brasil, 15 nov. 2016. Disponível em: <https://www.solarbrasil.com.br/blog/como-escolher-a-bateria-para-um-sistema-de-energia-fotovoltaica-offgrid/>
- SOUZA, E. S.; PONTUSCHKA, R. B.; SOUSA, R. G. C. *Viabilidade econômica do uso de aerador para o cultivo semi-intensivo de tambaqui em tanques escavados*. Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 4, n. 1, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2017v4n1p50>
- YANG, H.; FENG, Q.; XIA, S.; WU, Z.; ZHANG, Y. *AI-driven aquaculture: a review of technological innovations and their sustainable impacts*. Artificial Intelligence in Agriculture, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2025.01.012>
- ALAM, M. N. H. Z.; KAMARUDDIN, M. J.; ADZILA, S.; NORDIN, N.; OTHMAN, R. M. N. H. et al. *Solar-powered aquaponics prototype as sustainable approach for food production*. Materials Today Proceedings, v. 65, n. 7, p. 2953-2959, 2022.
- ZELBA, M.; DEVEIKIS, T.; BARAKAUSKAS, J.; BARONAS, A.; GUDZIUS, S.; JONAITIS, A.; GIANNAKIS, A. *A grid-tied inverter with renewable energy source integration in an off-grid system with a functional experimental prototype*. Sustainability, v. 14, n. 20, 13110, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su142013110>