

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CECA – RIO LARGO
CURSO: ENGENHARIA DE ENERGIA

HELIANDER DE MELO ROCHA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA
ALIMENTAÇÃO DE UM REATOR DE HIDROGÊNIO**

Rio Largo - AL

2026

HELIANDER DE MELO ROCHA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA
ALIMENTAÇÃO DE UM REATOR DE HIDROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Energia da
Universidade Federal de Alagoas, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharelado em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Faustino
Lacerda de Souza.

Rio Largo - AL

2026

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Stefano João dos Santos

R586d Rocha, Heliander de Melo

Dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid para alimentação de um reator de hidrogênio/ Heliander de Melo Rocha. – Rio Largo - Al, 2026.

55 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia,) Universidade Federal de Alagoas, Campus Ceca – Rio largo, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Faustino Lacerda de Souza.

1 Classificação supervisionada; Aprendizado de máquina; PE3D; Uso e cobertura da terra;

CDU: 631.95

Folha de Aprovação

HELIANDER DE MELO ROCHA

(Dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid para alimentação de um reator de hidrogênio)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Aprovado em: 08/06/2026

Documento assinado digitalmente
 LEONARDO FAUSTINO LACERDA DE SOUZA
Data: 01/07/2026 11:11:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Leonardo Faustino Lacerda de Souza, Universidade Federal de Alagoas (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 ALANA KELLY XAVIER DE BARROS BRANCO
Data: 30/06/2026 15:38:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Alana Kelly

Universidade Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente
 JERUSA GOES ARAGAO SANTANA
Data: 01/07/2026 10:40:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Jerusa C

Universidade Federal de Alagoas

Dentre todos aqueles que tiveram alguma participação ao longo dessa minha jornada, dedico esse trabalho principalmente à minha mãe, que tanto me ajudou e incentivou para que eu pudesse chegar até aqui.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso apresenta a simulação e o dimensionamento de um sistema fotovoltaico *off-grid* destinado à alimentação contínua de um reator de hidrogênio. Considerando as condições de fornecimento de energia, muitas vezes precária, principalmente em regiões mais afastadas de zonas urbanas, propõe-se o desenvolvimento de um sistema autônomo de geração de energia capaz de manter esse fornecimento com qualidade e de forma contínua. Objetiva-se dimensionar a potência de geração ideal, considerando todas as perdas de conversão, condução e até mesmo o sombreamento local com potencial para prejudicar a captação de radiação solar, bem como a capacidade de armazenamento adequada para o contínuo funcionamento do reator. Os cálculos realizados de forma empírica e, posteriormente, será simulada em software para maior veracidade. Com isso, ao final deste trabalho, será apresentado um sistema completo capaz de alimentar o reator, com demanda energética de aproximadamente 4.320 Wh/dia, com uma autonomia operacional de até 48 horas ininterruptas. De forma complementar será realizado uma análise de viabilidade econômica, considerando a economia obtida, o investimento e o tempo de retorno, ao qual indicará a aplicabilidade e os benefícios de investir nesse tipo de sistema.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica; sistemas *off-grid*; energia renovável; sustentabilidade.

ABSTRACT

This undergraduate thesis presents the simulation and sizing of an *off-grid* photovoltaic system designed to provide continuous power supply to a hydrogen reactor. Considering the often precarious energy supply conditions, especially in regions distant from urban centers, the development of an autonomous power generation system capable of maintaining a reliable and continuous energy supply is proposed. The objective is to determine the ideal generation capacity, taking into account all conversion and conduction losses, as well as local shading effects that may negatively impact solar radiation capture, in addition to the appropriate storage capacity required for the reactor's continuous operation. The calculations will initially be performed empirically and subsequently validated through software simulations to ensure greater accuracy and reliability. As a result, this study will present a complete system capable of supplying power to the reactor, which has an energy demand of approximately 4,320 Wh/day, while providing up to 48 hours of uninterrupted operational autonomy. Additionally, an economic feasibility analysis will be conducted, considering the expected savings, investment costs, and payback period. This analysis will indicate the applicability and potential benefits of investing in this type of energy system.

Keywords: Photovoltaic energy; *off-grid* systems; renewable energy; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Diagrama unifilar do Circuito 1.....	19
Figura 2	- Diagrama unifilar do Circuito 1.....	35
Figura 3	- Diagrama unifilar do Circuito 2.....	36
Figura 4	- Diagrama unifilar do Circuito 3.....	38
Figura 5	- Diagrama unifilar geral do sistema.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Gráfico de irradiação solar.....	33
Gráfico 2	– Energia Gerada.....	42
Gráfico 3	– Índice de Performance (PR).....	43
Gráfico 4	– Gráfico de iso-sombras.....	45
Gráfico 5	– Fluxo de caixa em gráfico de barras.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Parâmetros do sistema.....	30
Tabela 2	- Dados do sistema.....	32
Tabela 3	- Dados da localização da medição de irradiância.....	33
Tabela 4	- Dados da irradiância do local.....	33
Tabela 5	- Componentes do sistema.....	39
Tabela 6	- Características dos módulos fotovoltaicos.....	40
Tabela 7	- Características do banco de baterias.....	40
Tabela 8	- Produção do sistema.....	41
Tabela 9	- Exigências não satisfeitas.....	42
Tabela 10	- Envelhecimento da bateria.....	42
Tabela 11	- Fluxo de caixa.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
BEN	Balanco Energético Nacional
CECA	Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
CRESESB	Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
HSP	Horas de sol pleno
LABEN	Laboratório do Núcleo de Energias
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PFV	Potência Fotovoltaica
PM	Potência dos módulos
PVSYST	Sistema Fotovoltaico
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

LISTA DE SÍMBOLOS

R\$	Real
%	Porcentagem
E	Perdas do sistema
V	Tensão
P	Potência
I	Corrente
W	Watts
Wh	Watts-hora
kWh	Quilowatts-hora
kWh/ano	Quilo-watts-hora por ano
Q_{baterias}	Quantidade de baterias
C_{min}	Capacidade mínima
Wp	Watts-pico
Q_{módulos}	Quantidade de módulos
kWh/m².dia	Quilowatts-hora por metro quadrado-dia
S	Seção da bitola do condutor
L	Comprimento do condutor
ΔV	Variação de tensão
ρ	Resistividade do cobre
Ω*mm²/m	Ohms-milímetros quadrados por metro
A	Amperes
Ah	Ampere-hora
mm²	Milímetros quadrados
E_d	Consumo diário
K_e	Fator de envelhecimento da bateria
K_t	Fator de correção da capacidade com a temperatura
Q_d	Quantidade de dias de autonomia
K_p	Profundidade de descarga
K_c	Eficiência Coulombica da bateria
V_{cc}	Tensão nominal da bateria
U_{mpp}	Tensão de máxima potência dos módulos

I_{mpp}	Corrente de máxima potência dos módulos
R\$/kWh	Reais por quilowatts-hora
H ₂ O	Água
H ₂	Di-oxigênio
CO ₂	Dióxido de Carbono
O ₂	Gás oxigênio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Apresentação do tema	15
1.2	Justificativa	16
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivos gerais	16
1.3.2	Objetivos específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Energia solar	18
2.1.1	Tecnologias de conversão de energia solar	18
2.1.2	Tecnologias de conversão de energia solar fotovoltaica	20
2.1.3	Energia solar off-grid	20
2.2	Energia de hidrogênio	21
3	METODOLOGIA	28
3.1	Coleta de dados	28
3.2	Definição de critérios de operação	29
3.3	Dimensionamento do sistema	29
3.4	Energia diária da carga (ed)	29
3.5	Capacidade útil do banco de baterias	30
3.5.1	Cálculo da capacidade mínima em ah	31
3.5.2	Cálculo da quantidade de baterias necessárias	31
3.6	Dimensionamento do gerador	32
3.7	Controlador de carga	34
3.8	Dimensionamento dos condutores	34
3.8.1	Circuito 1: gerador - controlador	34
3.8.2	Corrente de projeto	34
3.8.3	Queda de tensão no circuito 1	34
3.8.4	Circuito controlador - banco de baterias	36
3.8.5	Circuito controlador - carga (reator)	37
3.9	Proteção	38
3.10	Sistema dimensionado	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40

4.1	Simulação do sistema	40
4.2	Análise de sombreamento	43
4.3	Análise de desempenho anual	45
4.4	Análise financeira	46
5	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

As energias renováveis têm assumido papel importante no cenário energético mundial, tendo em vista os agravantes ambientais que têm crescido preocupantemente, neste contexto, vem a necessidade da substituição das matérias primas usadas na matriz energética, e os incentivos para o desenvolvimento de novas tecnologias que possam contribuir para a geração de uma energia mais limpa e sustentável.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), baseado nos dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2025 (EPE, 2025b), as fontes renováveis totalizam 50% da matriz energética nacional, considerando solar, eólica, hidráulica, entre outras. Um percentual significativamente superior à média mundial que soma apenas cerca de 14%.

Na matriz elétrica, os números brasileiros são ainda melhores, especificamente a fonte solar, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar (ABSolar), de 2026, possui uma partição de cerca de 25,9% do total renovável, tendo ultrapassado a energia eólica, que ficou com 13,1%, e ficando atrás apenas da energia hidráulica com 41,6%.

O crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil também pode ser observado no crescimento da potência instalada. Ainda segundo a ABSolar, o Brasil já soma mais de 68GW de potência instalada até março de 2026, considerando geração distribuída e geração centralizada. Um aumento de pouco mais de 3,5GW desde o final de 2025 que já somava cerca de 65GW. Esse aumento é ainda maior considerando os valores de 2024 que somava cerca de 53GW, o que representa um aumento de quase 12GW. Mas o salto mais notável foi justamente ao longo do ano de 2024, tendo registrado um recorde de crescimento no Brasil, onde as pesquisas apontavam cerca de 37.528GW de potência instalada ao fim de 2023, tendo crescido exponencialmente em pouco mais de 15GW em um único ano. Esse foi o maior aumento já registrado no setor de energia solar fotovoltaica brasileiro, segundo a ABSolar.

No mundo, segundo dados de 2024 do Portal Solar e da Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA), a matriz elétrica nem se compara a brasileira, chegando a pouco mais de 34% do percentual total, que é predominantemente proveniente de combustíveis fósseis como carvão e gás natural, entre outros. O Brasil é uma referência no quesito geração solar, tendo grande potencial de crescimento, por ser um país tropical e ter forte incidência de radiação solar, assim como também pelo seu vasto território, o que abre margem para mais investimentos.

A geração de hidrogênio por meio da eletrólise é uma forma eficiente e ambientalmente correta, ainda mais quando alimentada por um sistema solar fotovoltaico. E quando esse sistema é *off-grid*, ele trabalha de forma autônoma, sem as dependências da rede elétrica convencional, sendo ideal para aplicação em locais mais remotos ou com acesso limitado à energia elétrica.

1.2 Justificativa

A disponibilidade de energia elétrica de qualidade ainda representa um desafio em diversas regiões, especialmente em áreas afastadas dos grandes centros urbanos, onde são frequentes às interrupções no fornecimento e variações de tensão fora dos limites de segurança. Essas limitações podem comprometer o funcionamento adequado de equipamentos que necessitam de alimentação contínua e estável, como os reatores utilizados na produção de hidrogênio por eletrólise. Nesse contexto, um sistema *off-grid* se mostra como uma alternativa capaz de proporcionar maior autonomia energética, confiabilidade no fornecimento e redução da dependência da rede elétrica convencional.

Assim sendo, este trabalho justifica-se pela necessidade de estudar e dimensionar um sistema fotovoltaico capaz de alimentar de forma contínua um reator de hidrogênio, considerando critérios de eficiência energética, autonomia operacional e a viabilidade econômica. Pretende-se avaliar se o sistema proposto é capaz de garantir o funcionamento ininterrupto do reator por até 48 horas consecutivas e assim inferir se a instalação desse sistema realmente irá corresponder ao investimento realizado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos gerais

Dimensionar e analisar um sistema autônomo de geração de energia destinado a abastecer o reator de hidrogênio do laboratório de pesquisas do curso de Engenharia de Energia - LABEN.

1.3.2 Objetivos específicos

- Calcular a demanda energética da carga, ou seja, do reator de hidrogênio;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico *off-grid* capaz de alimentar a carga supramencionada;

- Avaliar o desempenho energético do sistema considerando as condições climáticas, de sombreamento e de irradiação solar da região de estudo;
- Realizar um estudo de viabilidade econômica com base em indicadores como economia gerada, investimento e tempo de retorno;
- Comparar a confiabilidade do sistema *off-grid* em relação ao fornecimento convencional da rede elétrica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia solar

A energia solar destaca-se como uma das principais fontes renováveis para a geração de eletricidade, sendo uma fonte sustentável e com grande potencial de crescimento ante a uma demanda energética mundial cada vez maior.

Sendo um país com vasta extensão territorial, com grande parte localizado em uma região tropical do planeta, o que implica em forte incidência de irradiação solar, o Brasil possui posição de destaque no cenário mundial.

A expansão das energias renováveis é uma resposta à demanda mundial pela redução da dependência de fontes energéticas fósseis e por uma política global expressa em metas de redução das emissões de gases do efeito estufa (GEEs) por diversos países. O Acordo de Paris assinado em 2016 é a mais recente iniciativa que alinhou países signatários com suas respectivas contribuições para redução das emissões. (PETRY; RAMOS; COSTA, 2020, p. 24)

2.1.1 Tecnologias de conversão de energia solar

A energia solar fotovoltaica tem atingido recordes de geração de energia elétrica, chegando a atender cerca de 16% da demanda por eletricidade no Sistema Interligado Nacional (SIN), conforme a classificação proposta por ABSolar (2026).

Ao fazer a captação da luz solar, existem algumas possibilidades para sua utilização, e a escolha vai depender muito da necessidade, dois exemplos muito comuns são a geração de vapor para acionamento de turbinas, algo muito utilizados em indústrias, e a geração de energia elétrica para alimentar equipamentos elétricos. Por isso, existem alguns tipos energia que podem ser gerados, e é baseado nisso que dividimos os tipos específicos de energia solar.

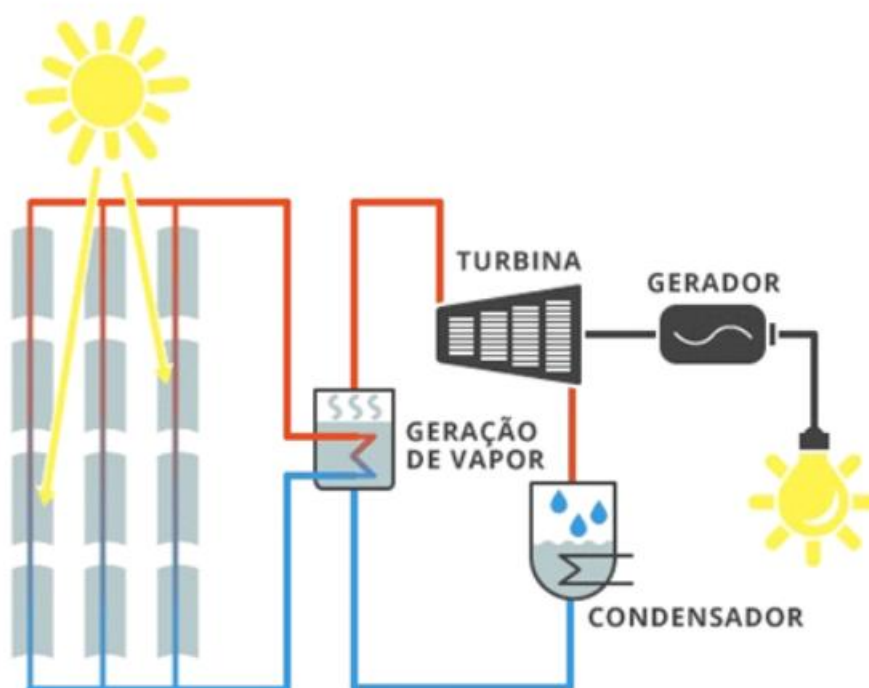
- Energia Solar Fotovoltaica: Esse tipo de geração, que capta a radiação solar e a converte diretamente em energia elétrica, tem como objetivo a geração de energia do tipo Elétrica. Sua tecnologia foi desenvolvida especificamente para isso e envolve uma série de equipamentos específicos que quando interligados formam o que chamamos de “Sistema Solar” ou “Sistema Fotovoltaico”. Os equipamentos mais importantes são: módulo fotovoltaico (responsável pela captação da energia solar e conversão em energia elétrica em corrente contínua), inversor solar

(converte a corrente contínua em corrente alternada, alinha a frequência elétrica com a da distribuidora faz a otimização de energia, entre outros), condutores e equipamentos de proteção como disjuntores e DPS.

- Energia Solar Térmica: Já na geração solar térmica, a energia gerada não necessariamente será energia elétrica, pois o foco é a geração de calor, através do aquecimento de fluidos como óleos ou água. No caso da água, normalmente em sistemas residenciais ou comerciais, o objetivo é aquecer a água para consumo. Já o óleo, geralmente ele é usado para troca de calor, onde, em um circuito fechado, ele transfere seu calor para um reservatório com água para aquecê-la e gerar vapor à alta pressão. Muito usado para acionar turbinas que alimentam geradores através da conversão da energia mecânica em energia elétrica. O óleo também é um fluido muito usado em usinas heliotérmicas que funcionam também gerando vapor e acionando turbinas.

A figura 1 mostra um esquema simplificado de como funciona a energia solar térmica para aquecimentos de água para uso residencial:

Figura 1 – Esquema de Funcionamento da Energia Solar Térmica



Através da radiação solar emitida em determinados materiais, em particular os semicondutores, ocorre a transformação dos efeitos dessa radiação em energia elétrica. Esta fonte de energia, dentre os recursos renováveis, é a que mais se tornaria viável para o contexto brasileiro. (BOSO; GABRIEL; FILHO, 2015, p. 59)

2.1.2 Tecnologias de conversão de energia solar fotovoltaica

Com relação a energia solar fotovoltaica, ela se divide em alguns tipos específicos que são definidos baseado em sua utilização e finalidade. São eles:

- O Sistema Conectado à rede (conhecido como *On-Grid*), que é ligado diretamente a rede da concessionária local e seu funcionamento está condicionado a rede estar em pleno funcionamento;
- O sistema desconectado da rede (conhecido como *Off-Grid*), como o nome já diz, não é ligado à rede da concessionária pois ele possui um sistema de armazenamento de energia em baterias, sendo assim um sistema autônomo, sendo capaz de alimentar as cargas durante o dia e seu armazenamento garante energia também à noite, quando não há luz solar;
- E o Híbrido que junta essas duas tecnologias e tanto dá autonomia quanto mantém o vínculo com a concessionária garantindo um abastecimento de energia caso o sistema apresente alguma falha inesperada.

As baterias conseguem armazenar energia, por determinados períodos, a ponto de atender uma demanda em casos de necessidade como numa falta de energia local ou até mesmo em uma possível falha sistêmica que interrompa o fornecimento natural de energia deste local. Conforme a classificação proposta por FERIOLI (2022).

2.1.3 Energia solar off-grid

Esse tipo de sistema tem uma grande vantagem de não depender da rede de energia local para funcionar, diferente do *on-grid*, por isso sua autonomia. Em casos de queda de energia ou apagão geral, esse sistema continua funcionando, pois os módulos continuam gerando energia abastecendo tanto o consumo diurno quanto o banco de baterias, que por sua vez alimenta o

consumo noturno, ou seja, tem-se um estabelecimento totalmente independente da concessionária.

Sistemas autônomos que operam em corrente contínua tendem a ser viáveis e relativamente de baixo custo se comparados aos demais sistemas fotovoltaicos, pois demandam menos módulos e não necessitam de inversores de corrente e frequência, conforme a classificação proposta por PEREIRA et al (2024, p. 151-152).

Tendo em vista a necessidade de utilizar fontes de energia sustentáveis e renováveis, a energia fotovoltaica tem potencial para atender as demandas de energia em locais afastados da rede de distribuição, atendendo as necessidades e melhorando a qualidade de vida das pessoas inserindo no seu dia a dia o conforto que as tecnologias podem oferecer. (SILVA et al, 2022)

Com os avanços tecnológicos, soluções em fontes alternativas de geração de energia estão cada vez mais populares. Assim, a implementação de sistemas fotovoltaicos com armazenamento em baterias, se torna necessária em organizações que sofrem com os altos níveis de interrupções na rede de distribuição. (SILVA; BELCHIOR; FONSECA, 2023)

2.2 Energia de hidrogênio

A energia de hidrogênio vem ganhando muita força no cenário mundial devido ao seu potencial de ser uma alternativa sustentável frente aos combustíveis fósseis. Além disso, o hidrogênio tem algumas características muito pertinentes a tudo que se refere a demanda energética, porque além de poder ser usado para gerar energia de forma sustentável, ele também consegue atuar como um vetor, armazenando e transportando energia, conseguindo armazenar essa energia por longos períodos, algo que atende e muito a necessidade de consumo atual.

PUGA e ASENCIOS (2023, p. 77) dizem que “Os processos de produção do hidrogênio podem ser divididos em eletroquímicos, fotoquímicos, termoquímicos e combinações a depender da matéria-prima e fonte de energia aplicada.”

Existem alguns métodos que conseguem converter o hidrogênio em energia como:

- A eletrólise da água consiste em um processo eletroquímico onde uma corrente

elétrica é aplicada à molécula de água (H_2O), causando a separação dos gases de hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2). Esse processo é realizado através de um eletrólito de dois eletrodos, denominados ânodo e cátodo, onde acontecem as reações de oxidação e redução;

- A reforma a vapor do gás natural, onde o vapor de água reage com o gás natural (metano) para gerar hidrogênio e alguns outros subprodutos (porém esse método ainda emite CO_2);
- A gaseificação da biomassa converte matéria orgânica em gás hidrogênio através de um processo de aquecimento em um ambiente controlado. Esse procedimento pode ser sustentável e de baixa emissão de carbono caso a biomassa seja de fontes renováveis;
- Os ciclos termoquímicos usam altas temperaturas para dividir a água em hidrogênio e oxigênio (um tipo de fissão nuclear), porém esse método ainda está em fase de pesquisa e desenvolvimento.

A utilização de fontes renováveis, como a solar fotovoltaica, para a realização da eletrólise, gera o chamado hidrogênio verde. Essa tecnologia tem ganhado muito destaque devido a não emissão de gases poluentes como os gases do efeito estufa. No entanto, esse processo demanda um contínuo e estável fornecimento de energia elétrica para garantir o funcionamento adequado do reator e a eficiência na produção de hidrogênio. Nesse contexto, um sistema fotovoltaico associado a um banco de baterias mostra-se uma alternativa viável e segura para garantir a autonomia do processo, principalmente em regiões sujeitas a instabilidades no fornecimento elétrico.

“O processo de produção usa a transformação de água em gás oxigênio e gás hidrogênio, e é totalmente livre de emissões sendo, portanto, uma opção ambientalmente correta.” (LARA; RICHTER, 2023)

Quando o foco de utilização do hidrogênio verde é como combustível, seu subproduto é apenas água, assim, sua alternativa se torna bastante eficaz no que diz respeito a redução nas emissões dos gases de efeito estufa e as mudanças climáticas.

“Com potencial de geração energética três vezes maior que a gasolina, o H_2 pode ser utilizado na indústria, na geração de energia e no transporte, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (GEE), partículas ou outros poluentes.” (DONATO et al, 2023, p. 5)

Um dos exemplos de uso do hidrogênio verde é em foguetes espaciais, o hidrogênio líquido é usado como combustível de alto impulso específico e eficiência energética. Não só

em foguetes, mas já são utilizados também em veículos de transporte como carros, ônibus, caminhões, entre outros. Alguns países se comprometeram a investir pesado na produção de hidrogênio verde para bater a meta de impacto neutro no clima. Alguns países são a Austrália, China, Holanda, Alemanha, Arábia Saudita, Chile. Essa tecnologia é baseada em células de combustível onde não só locomotivas, mas carros, ônibus e caminhões fazem uso dessas células para gerar eletricidade.

Segundo Abe et al. (2019), citado por PUGA e ASENSIOS (2023) “O armazenamento e transporte de hidrogênio ainda apresentam desafios a serem superados à medida que se desenvolve a economia do hidrogênio.”

Portanto, o hidrogênio dispara como uma das melhores opções frente às fontes fósseis, tendo grande abundância (não gera escassez), não gera CO₂ (consequentemente reduzindo as emissões de gases de efeito estufa), armazenamento de energia, e pode ser usado em diversos setores como geração de energia, combustível para veículos, aquecimento e processos industriais. Em contrapartida o grande custo e demanda de energia para sua geração colocam em xeque seu aproveitamento atualmente tornando necessário o avanço de novas tecnologias que tornem esse processo mais eficiente.

Apesar de ser promissor e reduzir a emissão anual de GEE, ainda existem barreiras que dificultam o desenvolvimento do hidrogênio verde e é necessário colocar esse assunto em pauta para que sua implementação se torne mais segura e economicamente atrativa. Conforme proposto por (SANTOS, 2022, p. 7)

2.3 Baterias

As baterias são uma tecnologia que revolucionou o mercado devido a sua capacidade de armazenar energia para utilização posterior. Prova disso é a sua vasta utilização em vários segmentos diferentes em todo o mundo como o de carros elétricos e o segmento de energia solar.

Essas baterias podem operar de duas formas distintas, como supracitado no item 2.1.2, sendo elas conectadas à rede (*on-grid* / híbrida) ou de forma autônoma (*off-grid*). Ambas as formas de operação podem ser utilizadas em sistemas fotovoltaicos.

Os principais pontos a se observar em baterias, para efeito de comparação, são:

- Profundidade de descarga: se refere ao percentual de energia que pode ser utilizada sem afetar a vida útil da bateria;
- Vida útil (ciclos): quantas vezes a bateria pode ser carregada e descarregada sem

perder a capacidade de retenção de energia;

- Eficiência: tempo de recarga e perdas nesse processo;
- Densidade energética: quantidade de energia armazenada por quilo/centímetro cúbico

Dentre os vários tipos de baterias existentes no mercado pode-se citar algumas mais famosas e comercializadas no mundo como as baterias de Íon de Sódio, que utilizam sódio ao invés de lítio e, conforme a classificação proposta por Ramos e Zarbin (2025), surge como opção mais barata e com potencial para substituir as baterias de lítio. Outros exemplos são as baterias de Níquel-Cádmio e as baterias de Fluxo.

Porém, dentro do segmento de energia solar, existem duas tecnologias que dominam a maior parte do setor, são as baterias de chumbo ácido e íons de lítio.

2.3.1 Baterias de chumbo-ácido

Mais antiga no mercado, as baterias de chumbo-ácido são amplamente utilizadas em diversas áreas como bancos de baterias de hospitais, torres de telecomunicação, máquinas e veículos elétricas como carros, motos, barcos, empilhadeiras, entre outros. Essa ampla utilização em todo o mundo mostra a confiabilidade que essa tecnologia possui, mesmo com o desenvolvimento de tecnologias concorrentes e mais avançadas.

Essas baterias também estão presentes em sistemas fotovoltaicos autônomos, não apenas por sua confiabilidade, mas também por ter um custo mais baixo.

Existem dois tipos específicos de baterias de chumbo-ácido, são elas a tecnologia de manta de microfibras de vidro (AGM – sigla em inglês) e a gelificação.

Elas são compostas por chumbo, placas e óxido de chumbo. Dentro da bateria existe uma solução chamada eletrólito, que é constituído por água e ácido sulfúrico, que é colocado em contato com a tecnologia de AGM ou a gelificação. Quando esses componentes são energizados, elétrons são produzidos pela reação química, o que faz com que o carregamento seja concluído.

As principais desvantagens dessa tecnologia são a curta vida útil, baixa profundidade de descarga, são menores e mais pesadas, menos eficientes e com tempo de carregamento mais lento.

2.3.2 Baterias de íons de lítio

Sendo uma tecnologia mais recente no mercado, as baterias de íons de Lítio são uma opção mais avançada e que propõe melhorias em relação às de chumbo-ácido. Elas apresentam uma vida útil maior, com mais ciclos, possuem uma profundidade de descarga maior sem comprometer a sua vida útil, são menores e possuem maior capacidade de armazenamento, não possuem tanta manutenção e são mais eficientes.

Quando uma bateria de íon-lítio é conectada ao carregador, é aplicada uma tensão que faz com que os íons se movam, através de um eletrólito, do cátodo (eletrodo positivo) para o ânodo (eletrodo negativo). Quando é conectado a uma carga, acontece o movimento contrário e os íons vão do ânodo para o cátodo.

O cátodo determina a capacidade e o desempenho da bateria, podendo ser de Níquel-Manganês-Cobalto (NMC), Fosfato de Ferro-Lítio (LFP) e Óxido de Lítio-Cobalto (LCO). O ânodo normalmente é feito de grafite (carbono).

As principais desvantagens dessas baterias são o impacto ambiental pela mineração de lítio, difícil de reciclar, alto custo de produção (principalmente pelos materiais níquel e cobalto), risco de fuga térmico, degradação natural e sensibilidade à temperatura.

2.4 Conversores

Os conversores são componentes eletrônicos que tem como função modificar as características de algumas grandezas da energia elétrica como tensão, corrente ou frequência. Os principais tipos são:

- Retificadores (AC/DC): convertem a corrente alternada em corrente contínua;
- Inversores (DC/AC): convertem a corrente contínua para alternada;
- Controladores de carga (conversores DC-DC): Elevam ou reduzem o nível de tensão da corrente contínua;
- Cicloconversores/Controladores de Tensão (AC-AC): Alteram o valor da tensão ou a frequência da corrente alternada.

Entre os componentes dos sistemas fotovoltaicos os tipos de conversores mais usados são os inversores (DC/AC), sempre presentes em sistemas conectados à rede (*On-grid*), e os controladores de carga (DC/DC).

Os controladores de carga normalmente fazem o controle entre os módulos, as baterias e a carga, e eles são divididos em:

- Buck: usado para reduzir a tensão;
- Boost: usado para aumentar a tensão;
- Buck-boost: realiza as duas funções de elevar ou reduzir a função conforme a necessidade.

Os conversores buck-boost tem a versatilidade de reduzir e aumentar a tensão para dentro dos parâmetros necessários. Como um sistema que opera em 12V sempre terá uma variação para mais ou para menos, este conversor acaba sendo o mais apropriado para o estudo em questão e por isso ele foi adotado.

2.5 Condutores

Os condutores são materiais elétricos que fazem a passagem de corrente elétrica de um equipamento para outro ou de um local para outro. Os materiais mais comuns para esse transporte são o cobre e o alumínio, sendo o cobre mais utilizado devido a sua melhor condutividade. Porém o alumínio aparece como uma opção viável devido ao preço mais acessível.

Esses condutores são formados por uma determinada quantidade de fios de cobre (ou alumínio ou outro material condutor) muito finos que ficam entrelaçados (quanto mais fino o fio, maior a facilidade de dobrar, e, assim, mais fácil fica de trabalhar com eles). Quanto maior a quantidade de fios, maior será sua espessura e maior também será a capacidade de condução de energia.

Por transportarem corrente elétrica, esses condutores são envoltos de uma camada de material isolante, para evitar a fuga de corrente e para minimizar o risco de choque elétrico. Dentre os principais materiais isolantes estão:

- PVC (Policloreto de Vinila): mais comum para instalações de baixa tensão, ele suporta temperaturas de até 70°C e é indicado para tensões que vão de 450V a 750V, podendo suportar até 1000V.
- EPR (Borracha de Etileno Propileno): altamente resistente apesar de ser mais flexível, o que facilita o manuseio, e com alta rigidez dielétrica, o que lhe dá um

isolamento maior, além de ser resistente a água e a umidade. Suporta temperaturas também de até 90°C e tensões que vão de 0,6kV a 1kV para instalações de baixa tensão.

- XLPE (Polietileno Reticulado): é um material mais rígido e com maior isolamento com baixa perda elétrica. Suporta temperaturas de até 90° e tensões de 0,6kV a 1kV. Muito usado em redes de distribuição em média e alta tensão e linhas subterrâneas.
- Borracha de Silicone: consegue suportar temperaturas extremas que podem variar de -60°C a 200°C. É ideal para utilizações em que se terá altas temperaturas como fornos e estufas.

3 METODOLOGIA

A metodologia para execução do trabalho seguiu algumas etapas, descritas nas seções a seguir.

Além dos materiais que foram utilizados como base para a construção desse trabalho, entre eles estão manuscritos, teses de graduação e pós-graduação, matérias publicadas online por empresas consagradas, periódicos, artigos científicos, entre outros.

3.1 Coleta de dados

O ponto de interesse para a instalação do sistema, que será considerado nesse estudo será o telhado do laboratório do Núcleo do curso de Engenharia de Energia, no campus CECA-UFAL, na cidade de Rio Largo - AL. A potência será calculada baseada na potência no reator e a autonomia solicitada para o banco de baterias é de 2 (dois) dias.

- Localização: Rio Largo - AL
- Irradiância solar: $5,25 \text{ W/m}^2$ (Dados obtidos no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - Cresesb)
- Carga: Reator de hidrogênio (eletrolisador)
- Tipo de Alimentação: Contínua (DC-DC)

Como o sistema irá alimentar apenas um equipamento, ele será ligado em potência contínua, onde o gerador mandará a energia para um conversor buck-boost que deixará os padrões de tensão estabilizados dentro da faixa de operação do reator. Com isso, não será necessário a utilização de um inversor de tensão, pois todo sistema vai operar na tensão de 12V.

- Local de instalação: Telhado do Laboratório LABEN
- Potência do reator: $\sim 180\text{W}$
- Tensão do sistema: 12V
- Corrente do reator: 15A
- Autonomia: 2 dias
- Tempo de Operação: 24h/dia

3.2 Definição de critérios de operação

Considerando que o sistema proposto atenderá apenas um único equipamento, pode-se fazê-lo funcionar em potência contínua, sem a necessidade de conversor de corrente, contínua/alternada, ou de tensão. Precisa-se apenas de um regulador que mantenha a estabilidade do sistema mantendo a tensão dentro da faixa de operação necessária de 12 Volts. Com isso, se estabelece que, todos os componentes do sistema deverão operar na tensão de 12 volts, tornando-o mais simples e eficiente, pois elimina as perdas de conversão de corrente.

Outro fator que influenciará no dimensionamento é a autonomia do sistema, que será de 2 dias, como mostrado no item 3.1.

Esse parâmetro foi escolhido considerando a possibilidade de falhas em algum componente desse projeto e interrompendo a alimentação do reator, por tanto, essa autonomia é bastante viável com boa margem de segurança considerando o tempo de reparo para eventuais falhas.

Os resultados serão simulados no *PVsyst*, portanto, o uso do software será usado tanto para dimensionamento quanto para simulação de resultados, para assim, gerar as discussões a respeito. Os gráficos também serão gerados a partir do *PVsyst*.

3.3 Dimensionamento do sistema

Em posse dos dados coletados e todos os parâmetros definidos, fazer-se-á o passo a passo dos cálculos para dimensionamento do sistema como um todo (incluindo potência de geração, correntes do sistema, condutores, proteção, entre outros).

3.4 Energia diária da carga (ed)

Considerando os dados coletados, contidos no item 3.1, será dado início ao dimensionamento calculando o consumo diário da carga. Assim, tem-se:

- Tensão de funcionamento (V): 12V
- Corrente de operação (I): 15A
- Funcionamento (Horas/Dia): 24

A potência (P) do equipamento será dada pela fórmula 1:

$$P = V * I \quad (1)$$

$$P = 12 * 15 \quad (2)$$

$$P = 180W \quad (3)$$

Enquanto o consumo será dado pela fórmula 2:

$$C = (horas/dia) * P \quad (4)$$

$$C = 24 * 180 \quad (5)$$

$$C = 4.320 Wh/dia \text{ ou } 4,32 kWh/dia \quad (6)$$

3.5 Capacidade útil do banco de baterias

Sabendo o consumo diário da carga, precisa-se definir o banco de baterias ideal para suprir a demanda energética do equipamento em caso de interrupção na geração de energia. Nisso, tem-se dois cenários, o primeiro é quando não houver luz solar (durante à noite quando o sol se pôr) e o segundo é em caso de alguma falha técnica nos módulos, cabeamento ou na proteção que acabe interrompendo o abastecimento de energia. No caso do anoitecer, as baterias manterão o reator funcionando normalmente até o dia amanhecer, onde a própria geração assumirá novamente a alimentação do equipamento. Já em casos de falha técnica, o banco terá autonomia de até dois dias inteiros de abastecimento, prazo esse que deve ser usado para a regularização da situação. Após isso, caso o problema não tenha sido resolvido as baterias irão zerar e o reator irá parar. Com isso, para o dimensionamento do banco, consideram-se os parâmetros apresentados na tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros do sistema

COMPONENTE	VALOR
Carga	180W
Consumo	4,32kWh/Dia
DoD	80%

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

3.5.1 Cálculo da capacidade mínima em ah

$$C_{min} = \frac{(E_d * K_e * K_t * Q_d)}{K_p * K_c * V_{cc}} \quad (7)$$

$$C_{min} = \frac{(4.320 * 1,25 * 1,05 * 2)}{0,8 * 0,87 * 12} \quad (8)$$

$$C_{min} = \frac{11.340}{8,352} \quad (9)$$

$$C_{min} = 1.357,75Ah \quad (10)$$

Onde:

- E_d : Consumo diário (Calculado)
- K_e : Fator de envelhecimento da bateria (Fabricante)
- K_t : Fator de correção da capacidade com a temperatura (Fabricante)
- Q_d : Quantidade de dias de autonomia (2 dias)
- K_p : Profundidade de descarga (DoD) (Escolha)
- K_c : Eficiência Coulombica da bateria (Fabricante)
- V_{cc} : Tensão nominal da bateria

3.5.2 Cálculo da quantidade de baterias necessárias

Aqui será considerado uma bateria de 160Ah e 12V. Essa tensão foi adotada para se adequar ao sistema, a amperagem fica a critério do engenheiro responsável pelo projeto.

Adotamos esse parâmetro em específico para fins de comparação com a simulação feita do software *PVsyst*. Ao final deste trabalho serão mostrados ambos os resultados.

$$Q_{baterias} = \frac{C_{min}}{160} \quad (11)$$

$$Q_{baterias} = \frac{1.357,75}{160} \quad (12)$$

$$Q_{baterias} = 8,486 \quad (13)$$

Logo, como não se pode usar meia bateria, arredondamos esse valor para cima, chegando assim a nove baterias de 160Ah e 12V para atender ao consumo desejado. Todas elas

deverão ligadas em paralelo afim de manter a tensão de 12 volts.

3.6 Dimensionamento do gerador

Para o cálculo da quantidade de placas fotovoltaicas, precisamos da localização exata onde este será instalado. Posteriormente será coletado, no site da CRESESB 2026, as horas de sol pleno (HSP) para ter com precisão a média de irradiação incidente naquele local, como mostrado na tabela 2.

Assim como foi feito no cálculo do banco de baterias, para os módulos, será considerado o mesmo usado no dimensionamento do *PVsys*. Desta forma, tem-se módulos de 45Wp.

Tabela 2 – Dados do sistema

COMPONENTE	VALOR
Local	CECA/UFAL, localizado no município de Rio Largo
Dados Cresesb (HSP)	5,25
Eficiência do sistema (E)	80% (Média)
PM (Potência do Módulo)	45Wp
PFV	Potência Fotovoltaica

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

$$PFV = \frac{E_d}{HSP * E} \quad (14)$$

$$PFV = \frac{4.320}{(5,25 * 0,8)} \quad (15)$$

$$PFV = 1.028,57 \text{ Wp} \quad (16)$$

$$Q_{\text{módulos}} = \frac{PFV}{PM} \quad (17)$$

$$Q_{\text{módulos}} = \frac{1.028,57}{45} \quad (18)$$

$$Q_{\text{módulos}} = 22,857 \quad (19)$$

Concluimos então que será preciso 23 placas de 45Wp e 12 volts de tensão para nosso arranjo fotovoltaico. Vale reforçar também que para manter a tensão dentro dos parâmetros estabelecidos de 12V, todas as placas serão ligadas em paralelo. A seguir um resumo dos dados

levantados nas tabelas 3 e 4:

Tabela 3 – Dados da localização da medição de irradiância

Estação	Rio Largo
Município	Rio Largo, AL - Brasil
Latitude	9,501° S
Longitude	35,849° O
Distância do ponto de ref. (9,465808° S; 35,82831° O)	4,5 km

Fonte: Cresesb (2026)

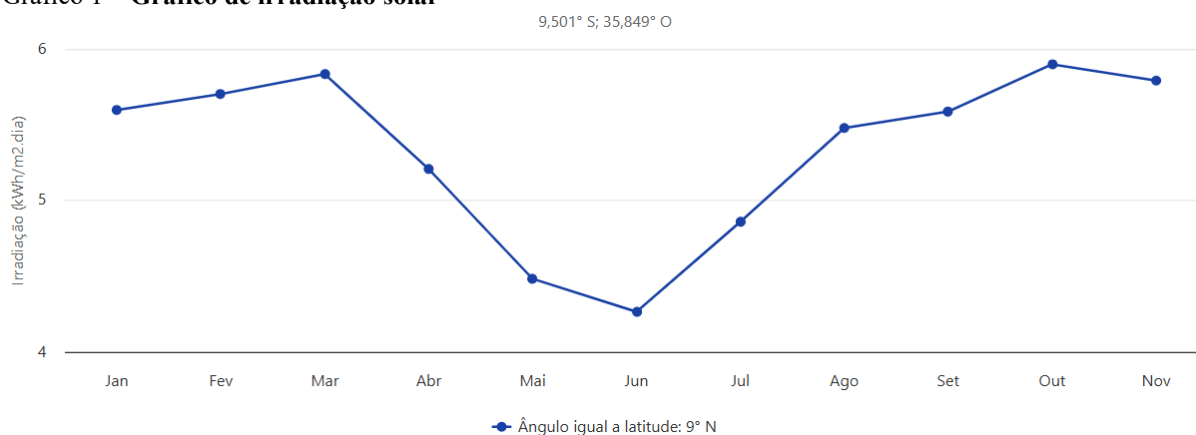
Tabela 4 – Dados da irradiância do local

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Ângulo igual a latitude	9° Norte	5,6	5,7	5,83	5,21	4,48	4,26	4,35	4,86	5,48	5,59	5,9	5,79	5,25	1,63

Fonte: Cresesb (2026)

A tabela 4 mostra os valores de irradiância média para cada um dos meses do ano. Considera-se um período histórico de cerca de 17 anos de dados para chegar aos valores atuais mostrados na tabela 4, conforme a classificação proposta por CRESESB (2018). Abaixo o gráfico mostrando a curva que representa esses valores de irradiação média:

Gráfico 1 – Gráfico de irradiação solar



Fonte: Cresesb (2026)

3.7 Controlador de carga

Dentre os vários modelos possíveis de serem utilizados, considerando que o nosso sistema opera em potência contínua (DC-DC) e a necessidade apenas de regular a tensão tanto inferiores quanto superiores à desejada, 12V, foi adotado o controlador Buck-boost que é ideal para aplicações em baixa tensão devido a sua versatilidade na regulação de tensão, à capacidade de manter o sistema estável, eficiência e boa performance.

3.8 Dimensionamento dos condutores

Para o dimensionamento dos condutores, os circuitos que ligam cada equipamento serão divididos considerando a respectiva corrente de projeto que passa em cada trecho. Os circuitos são Gerador - Controlador, Controlador - Banco de Baterias, Controlador - Carga (Reator).

3.8.1 Circuito 1: gerador - controlador

3.8.1.1 Corrente de projeto

No primeiro circuito a corrente considerada será baseada na potência total do gerador dividido pela tensão no banco de baterias. Como são 23 módulos de 45W, conforme calculado no item 4.3, e uma tensão de 12V no banco de baterias, tem-se:

$$C_1 = \frac{23 * 45}{12} * 1,25\Omega \quad (20)$$

$$C_1 = 107,82 A \quad (21)$$

Foi adotado o valor de 1,25 como fator de segurança para proteção do sistema.

Sabendo a corrente que passa nesse circuito, precisamos agora saber a queda de tensão para definir qual o melhor condutor para nosso circuito.

Como haverá apenas um circuito, não é preciso fazer a correção por agrupamento. Da mesma forma, como eles ficarão na superfície, dispostos em eletroduto, também não haverá correção por temperatura.

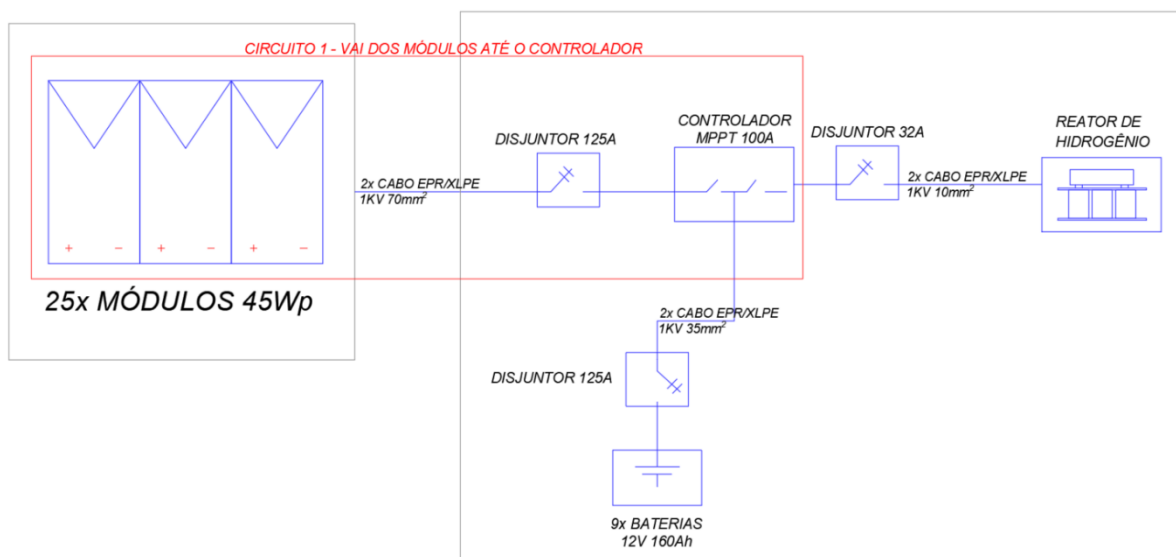
3.8.1.2 Queda de tensão no circuito 1

O cálculo da queda de tensão é de suma importância pois os equipamentos eletrônicos funcionam a partir de alguns parâmetros específicos bem definidos, que quando não cumpridos, podem causar mal funcionamento dos mesmos e até mesmo a queima do equipamento. Este cálculo visa garantir que o condutor tem seção de bitola apropriada para que a tensão chegue dentro dos parâmetros adequados.

De acordo com a ABNT NBR 5410, circuitos de baixa tensão não devem exceder 4% de queda de tensão.

Já a ABNT NBR 16690, circuitos CC (corrente contínua), informa que a queda de tensão não pode ultrapassar 3%. Neste caso, foi adotado uma queda de tensão ainda menor para garantir uma melhor eficiência do sistema, já que a tensão de operação é de 12 Volts. Portanto, a queda de tensão não pode exceder 2%, que representa cerca de 0,24 volts. A seguir uma ilustração do diagrama unifilar enfatizando o circuito 1 calculado nesta seção:

Figura 2 – Diagrama unifilar do circuito 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Logo, para a queda de tensão, tem-se:

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V} \quad (22)$$

$$S = \frac{2 * 0,0172 * 5 * 86,25}{0,24} \quad (23)$$

$$S = \frac{14,835}{0,24} \quad (24)$$

$$S = 61,81 \quad (25)$$

Onde:

- S: Seção da bitola do cabo (em mm^2)
- L: Distância entre controlador e baterias (em metros)
- ρ : Resistividade do cobre (Aproximadamente $0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
- ΔV : Queda de tensão (máximo de 2% para evitar perdas de eficiência)

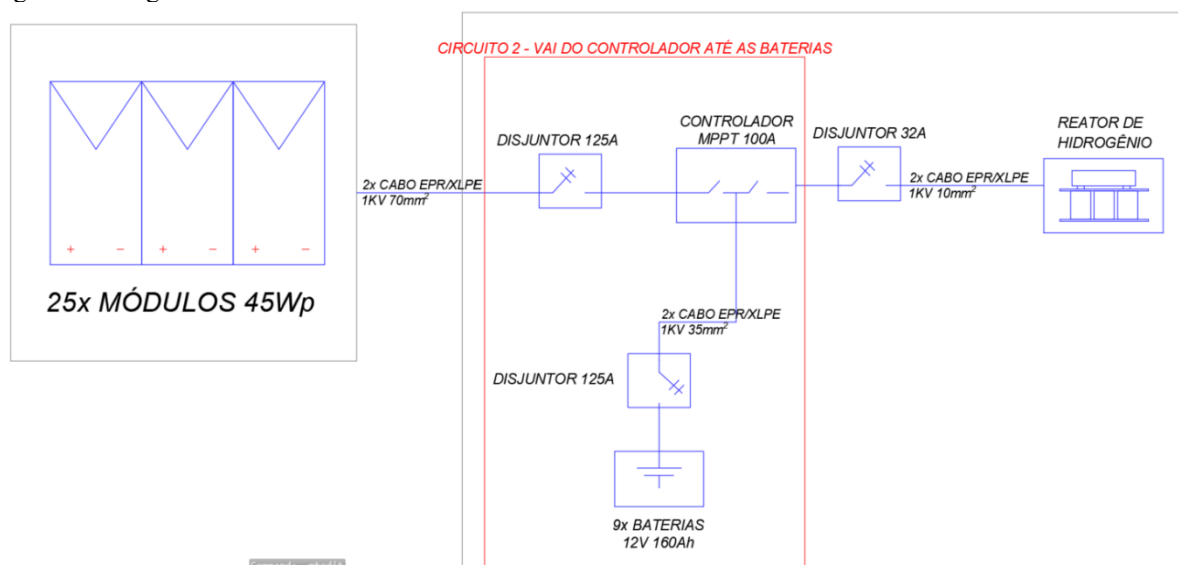
Desse modo, o cabo de 70mm^2 , tendo uma capacidade de condução de corrente de 253A, conforme a NBR 5410, atende aos critérios de corrente e de queda de tensão.

3.8.2 Circuito controlador - banco de baterias

A energia que vai do controlador para o banco de baterias é a mesma da calculada no item anterior.

A única mudança que haverá é a distância entre o controlador e o banco de baterias que será ligeiramente menor (será considerado 2 metros). Portanto, será feito apenas o cálculo de queda de tensão para definir o condutor desse circuito. A seguir uma ilustração do diagrama unifilar ilustrando o circuito 2 calculado nesta seção:

Figura 3 – Diagrama unifilar do Circuito 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V} \quad (26)$$

$$S = \frac{2 * 0,0172 * 2 * 86,25}{0,24} \quad (27)$$

$$S = \frac{5,934}{0,24} \quad (28)$$

$$S = 24,725 \quad (29)$$

Para este segundo trecho, tem-se que o cabo de 25mm² atende aos requisitos, mas, como o valor ficou muito próximo da bitola considerada, será considerado o cabo de 35mm² por questões de segurança.

3.8.3 Circuito controlador - carga (reator)

Neste circuito, sabe-se que o reator opera em uma tensão de 12V e cerca de 15A. Então será calculado a queda de tensão baseada nesses parâmetros:

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V} \quad (30)$$

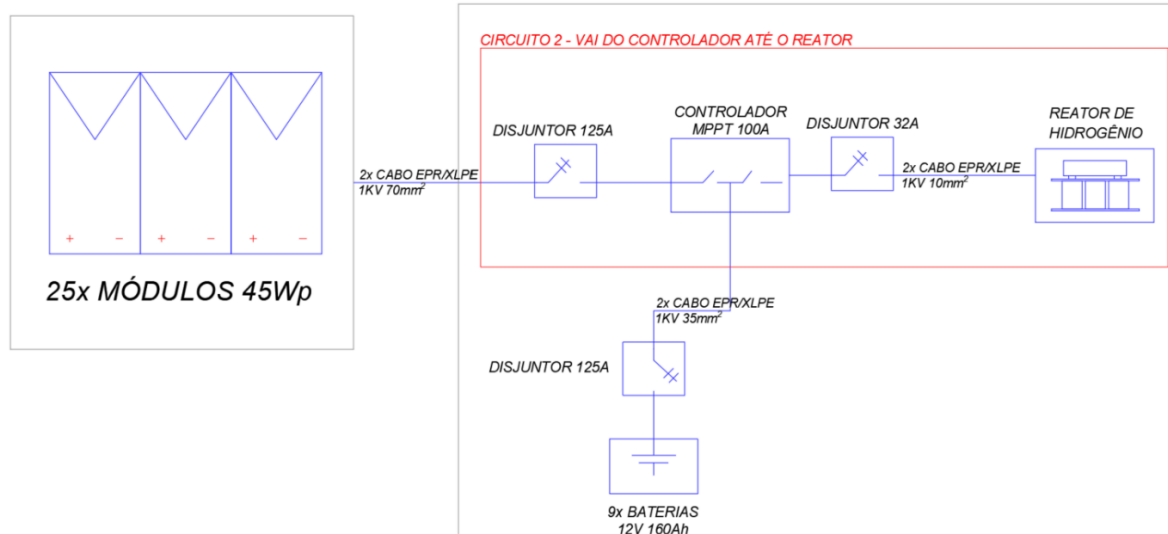
$$S = \frac{2 * 0,0172 * 3 * 15}{0,24} \quad (31)$$

$$S = \frac{1,548}{0,24} \quad (32)$$

$$S = 6,45 \quad (33)$$

Para este último circuito, por operar com uma corrente consideravelmente menor, o cabo de 10mm² atende aos critérios tanto de corrente quanto de queda de tensão. A seguir uma ilustração do diagrama unifilar ilustrando o circuito 3 calculado nesta seção:

Figura 4 – Diagrama unifilar do Circuito 3

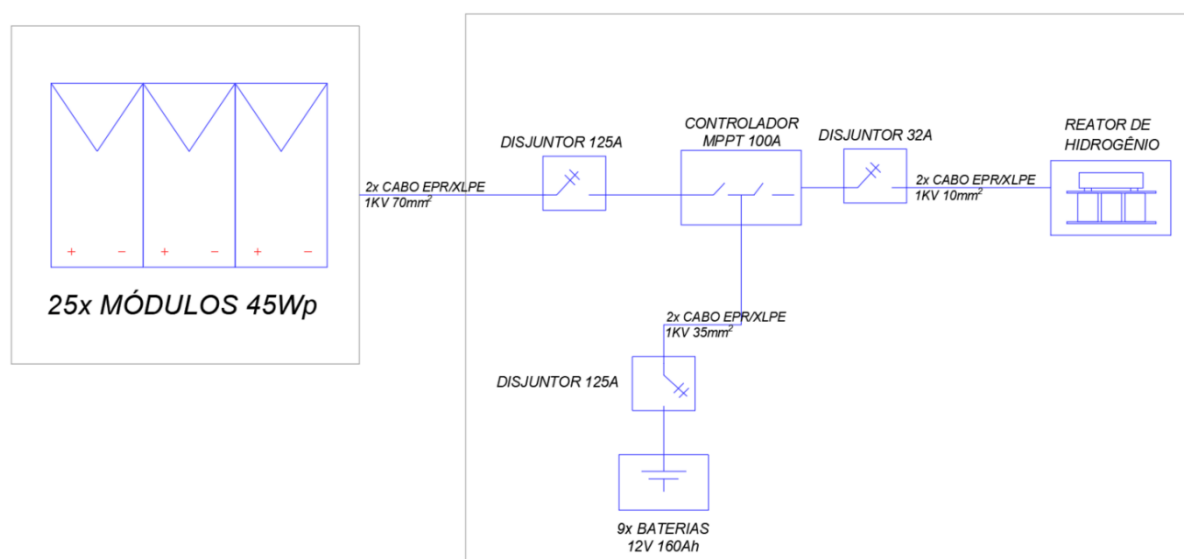


Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

3.9 Proteção

O dimensionamento da proteção seguirá os critérios já adotados para os condutores. Serão usados disjuntores que suportem uma carga maior que a corrente de projeto e que seja menor que a corrente suportada pelos cabos, pois enquanto os disjuntores protegem o sistema, os condutores protegem também os disjuntores. A seguir uma ilustração do diagrama unifilar geral do sistema proposto:

Figura 5 – Diagrama unifilar geral do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Assim, para o circuito 1 e 2 serão utilizados disjuntores de 125A e para o circuito 3 será um de 32A.

3.10 Sistema dimensionado

Com todos os cálculos realizados e o sistema devidamente dimensionado, tem-se tudo que é preciso para a instalação e análise de resultados. A seguir, um breve resumo do dimensionamento na tabela 5:

Tabela 5 – Componentes do sistema

COMPONENTE	QUANTIDADE	VALOR
Sistema	1 unidade	1035Wp
Módulos fotovoltaicos	23 unidades	45Wp e 12V
Baterias de Íons de Lítio	5 unidades	160Ah e 12V
Controlador de Carga	1 unidade	Buck-boost
Cabo de Cobre EPR/XLPE	5 metros	70mm ²
Cabo de Cobre EPR/XLPE	2 metros	35mm ²
Cabo de Cobre EPR/XLPE	3 metros	10mm ²

Fonte: Do autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Simulação do sistema

A simulação no *PVsys* nos permitirá averiguar se o dimensionamento realizado a partir dos cálculos empíricos irão de fato atender as necessidades do reator.

Aqui foi considerado a mesma potência de módulos e baterias para garantir um resultado mais fidedigno, bem como a localização é a mesma, o que garante os mesmos dados de irradiância.

Será mostrado alguns dos parâmetros gerais do gerador (módulos fotovoltaicos) e do armazenamento (banco de baterias) a seguir nas tabelas 6 e 7:

Tabela 6 – Características dos módulos fotovoltaicos

CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS	
Potência unitária	45 Wp
Número de módulos	25
Potência Nominal (STC)	1.125 Wp
Ligação	25 Módulos em paralelo
U_{mpp}	16 V
I_{mpp}	63 A

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Tabela 7 – Características do banco de baterias

CARACTERÍSTICAS DAS BATERIAS	
Modelo	Solar 12V / 160Ah
Tecnologia	Íons de Lítio
Número de unidades	5x em paralelo
Capacidade Nominal	800 Ah
Descarregamento mín. SOC	20%
Energia armazenada	7,7 kWh
Temperatura	20 °C

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

- Sistema de 1125Wp
- 25x Módulos fotovoltaicos de 45Wp e tensão de 12V

- 5x Baterias de Íons de Lítio de 160Ah e tensão de 12V
- 1x Controlador de Carga CD-CD universal
- Cabo de Cobre EPR/XLPE 70mm²
- Cabo de Cobre EPR/XLPE 35mm²
- Cabo de Cobre EPR/XLPE 10mm²

Como esperado, a simulação dimensionou um sistema semelhante no conjunto de módulos e baterias. A tabela 8 mostra os resultados de energia gerada, sendo a energia útil a demanda energética da carga, a energia disponível é toda energia gerada que pode ser usada e o excedente é a energia que não foi utilizada pelo sistema:

Tabela 8 – Produção do sistema

Energia Solar Útil	1562,8 kWh/ano
Energia Solar Disponível	1782,4 kWh/ano
Excedente (inutilizado)	183,3 kWh/ano

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A tabela 9 mostra os resultados de energia que não foram satisfeitas pelo sistema. Nesse ponto é importante frisar que o Software *PVSyst* considerou apenas condições climáticas para geração e períodos em que a irradiância seria menor (como períodos de chuva com baixa incidência solar), por isso houve o déficit, que, apesar de muito pequeno, cerca de 22,8 kWh/ano, não é o ideal para uma carga que precisa ser alimentada de forma ininterrupta. Por isso, para evitar esse pequeno déficit, uma bateria a mais deve ser considerada no sistema gerado pelo software.

A tabela mostra também a fração do tempo que é o percentual do tempo ao longo do ano em que a demanda não foi atingida, cerca de 1,4%. O índice de performance do banco, que foi de 71,89%, um valor considerado bom e a fração solar que representa a porcentagem da demanda que foi atendida pelo sistema, que ficou em cerca de 98,72%. A tabela 9 é mostrada a seguir:

Tabela 9 – Exigências não satisfeitas

Fração do tempo	1,4%
Déficit de Energia	22,8 kWh/ano
Índice de perf. PR	71,87%
Fração Solar	98,72

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Na tabela 10 tem-se os dados sobre envelhecimento das baterias. O ciclo sow é o ciclo de carga e descarga da bateria onde se mede a perda de capacidade da bateria. O sow estático mede o envelhecimento natural da bateria. A seguir a ilustração da tabela 10:

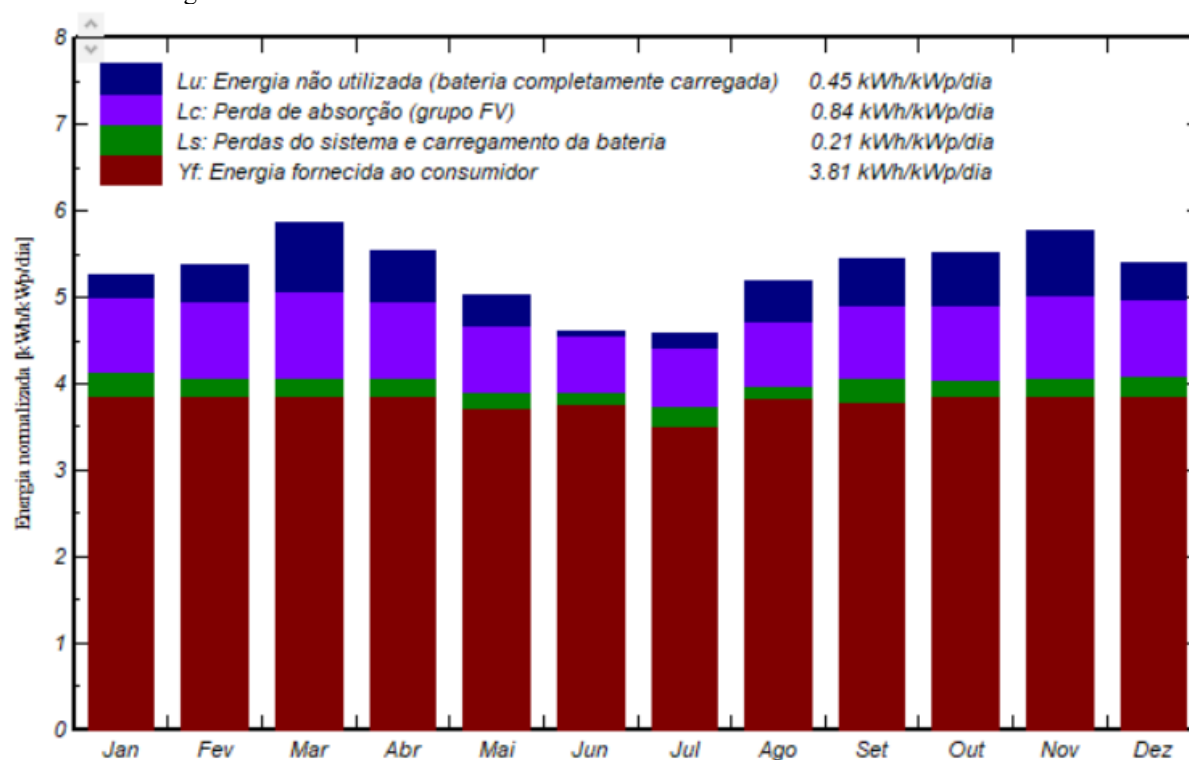
Tabela 10 – Envelhecimento da Bateria

Ciclos SOW	94,7%
SOW Estático	90,0%

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Abaixo, o gráfico 2 mostra a quantidade de energia em kWh/kWp gerada por dia:

Gráfico 2 – Energia Gerada

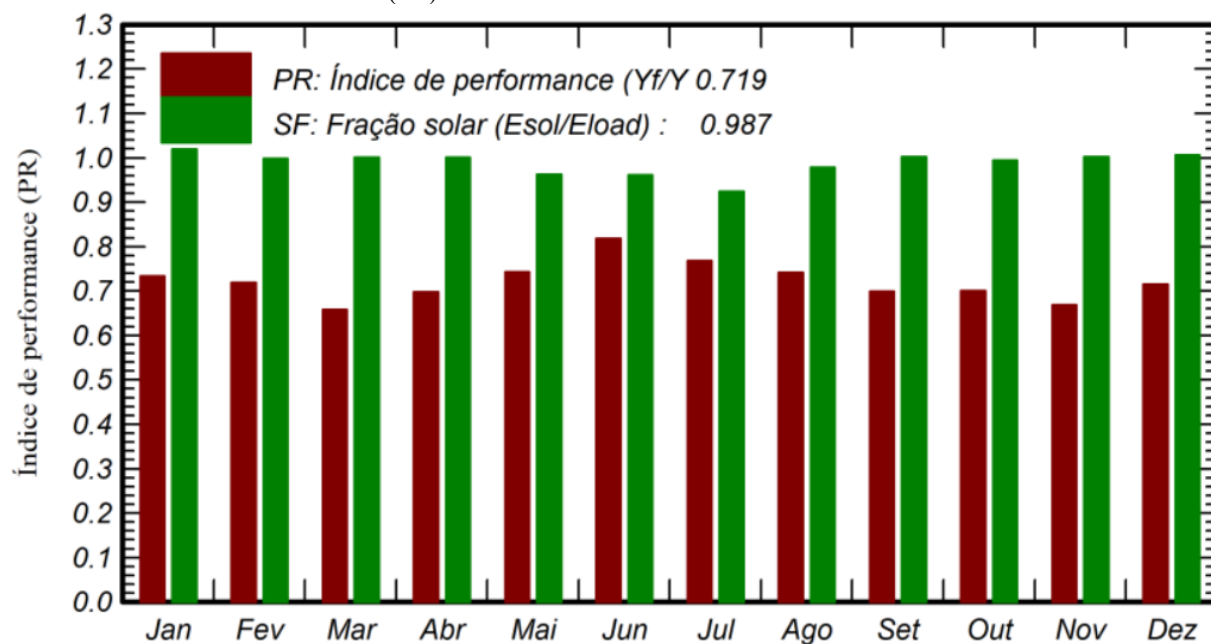


Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Esse gráfico ilustra de uma forma diferente (gráfico de barras) os resultados de energia gerada e demanda atendida mostrados anteriormente.

Já o gráfico 3 ilustra, na forma de um gráfico de barras, os dados de *Performance Ratio* e Fração solar, que indicam o desempenho do sistema. O gráfico é mostrado abaixo:

Gráfico 3 – Índice de Performance (PR)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

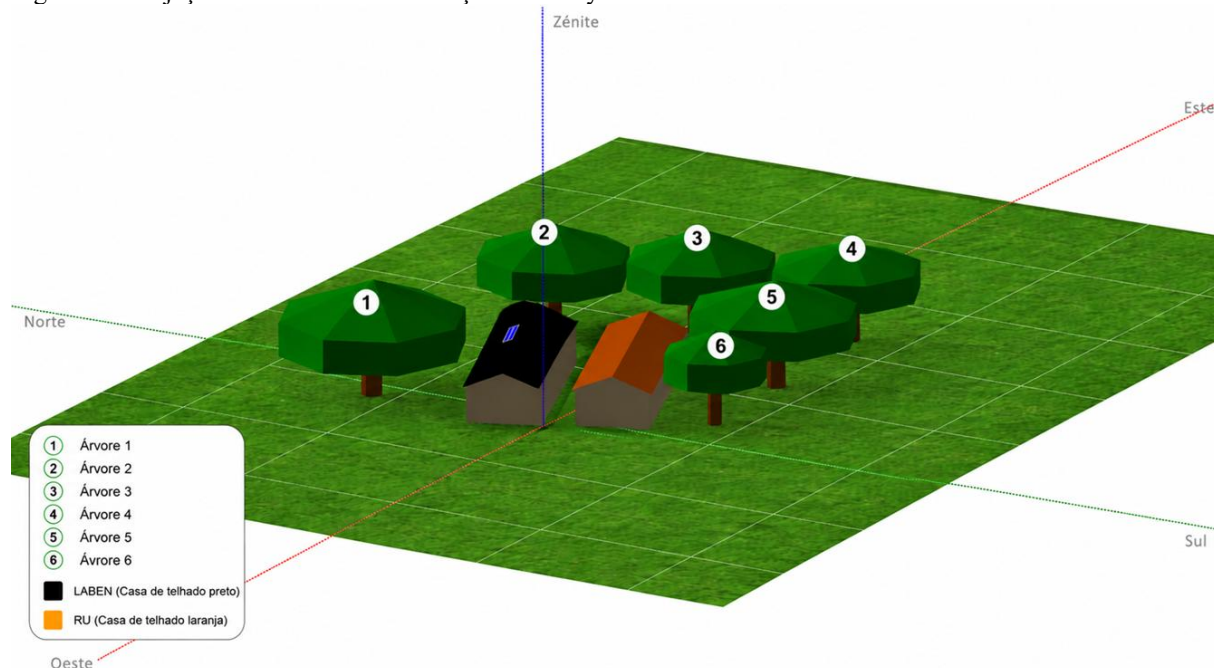
4.2 Análise de sombreamento

Neste item será abordado o principal ponto de diferença entre os dois dimensionamentos, a análise de sombreamento.

Nesta simulação, elaboramos uma projeção 3D do prédio onde as placas serão instaladas e todos os componentes ao redor com potencial para causar sombras nas mesmas, e assim, gerar perdas de energia.

Na figura 8 será mostrado a projeção 3D e o gráfico mostrando os horários de sombreamento ao longo do ano:

Figura 8 – Projeção 3D do local de instalação no PVSyst



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Nesta perspectiva pode-se ver o prédio do Restaurante Universitário ao lado do LABEN, onde o sistema será instalado.

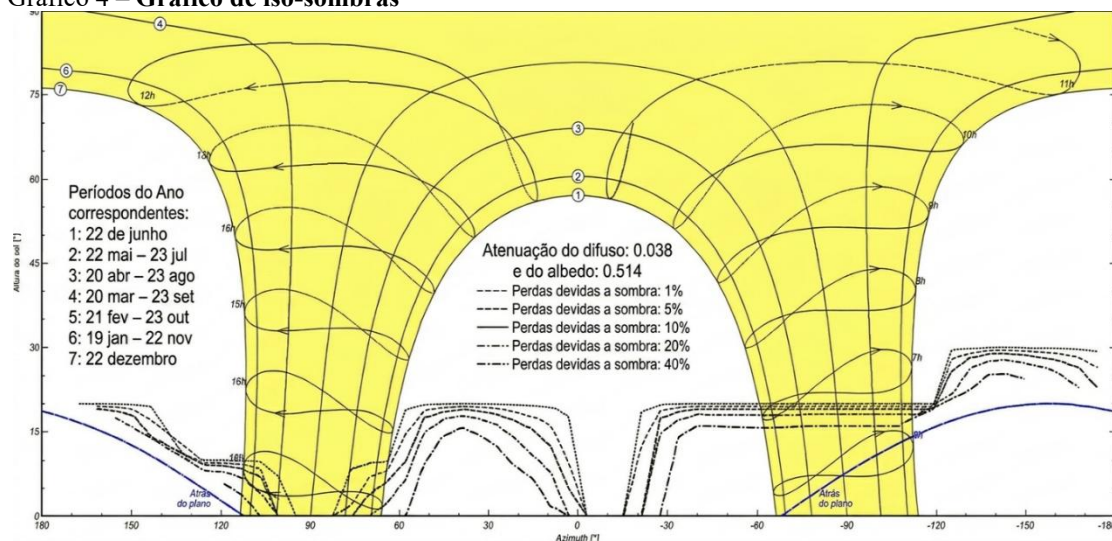
Ao redor foram projetadas as árvores que existem e que tem grande potencial para causar sombreamento ao longo do ano.

Toda essa análise foi levada em conta no dimensionamento final no software, sendo de suma importância para evitar défices de energia para o reator.

A seguir será mostrado como ficou a projeção 3D e o gráfico mostrando os horários de sombreamento ao longo do ano.

No gráfico de iso-sombras, é possível ver as linhas que representam o sombreamento ao longo do dia, durante todo o ano. Por serem muito pequenas, ficando na casa de 1% ao ano, o sombreamento não representa um grande problema para o sistema. O gráfico 4 é mostrado a seguir:

Gráfico 4 – Gráfico de iso-sombras



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

4.3 Análise de desempenho anual

Em seguida, serão mostrados alguns dos resultados do primeiro ano de geração do sistema, assim como algumas das perdas dele:

- Energia solar útil: 1.562,8 kWh/ano
- Energia solar disponível: 1.782,4 kWh/ano
- Excedente (inutilizado): 183,3 kWh/ano
- Déficit de energia: 22,8 kWh/ano
- Perdas ModQual (qualidade dos módulos): 13,760 kWh/ano
- Perdas Ohmicas (resistência dos cabos): 7,219 kWh/ano
- Eficiência das baterias: 97,1%
- Eficiência Faradaica/Coulombica das baterias: 96,4%
- SOCMean (Estado de Carga Médio): 0,687 *ratio*

Ao longo do ano a geração foi capaz de suprir a demanda do reator em sua totalidade mesmo com todas as perdas de eficiência e sombreamento do sistema. Mas, como falado no item 4.1, houve um pequeno déficit de energia, que, para uma carga que precisa funcionar de forma ininterrupta, não é o ideal. Por isso, recomenda-se a instalação de mais uma bateria para completar o banco já que o déficit foi muito pequeno e uma só bateria seria capaz de armazenar essa quantidade de energia.

4.4 Análise financeira

Considerando todos os componentes necessários para o sistema, como módulos, suporte para os módulos, baterias, suporte para o banco de baterias, cabos, conversor DC-DC, entre outros, uma média aproximada de custos para aquisição dos componentes e mão de obra para instalação ficaria em torno de R\$20.750,00. Como mostrado mais detalhadamente abaixo:

- Módulos: ~R\$10.000,00
- Baterias: ~R\$6.000,00
- Cabos: ~R\$2.000,00
- Mão de Obra: ~R\$2.750,00

Alguns parâmetros foram considerados para indicar a viabilidade desse sistema, como a Taxa Interna de Retorno (TIR) que mostra a taxa de juros anual necessária para que o investimento traga retorno, e o *payback* que mostra em quanto tempo será possível ter esse retorno do investimento feito.

O alto investimento se dá principalmente pelo custo das baterias que ainda estão extremamente caras. Mas considerando o valor do custo do consumo de energia convencional, mais impostos, em Alagoas como sendo algo em torno de 0,852 R\$/kWh, é possível ter uma economia anual inicial de cerca de R\$ 1.630,00 podendo chegar a R\$ 1.792,00 ao longo de 20 anos, considerando uma variação anual de 0,5% em relação à tarifa da concessionária, e o *payback* fica em torno de 12 anos, começando a ter retorno a partir do décimo terceiro ano. Já a Taxa Interna de Retorno (TIR) estimada é de cerca de 5,22%. A tabela 11 mostra o fluxo de caixa e o *payback* do sistema:

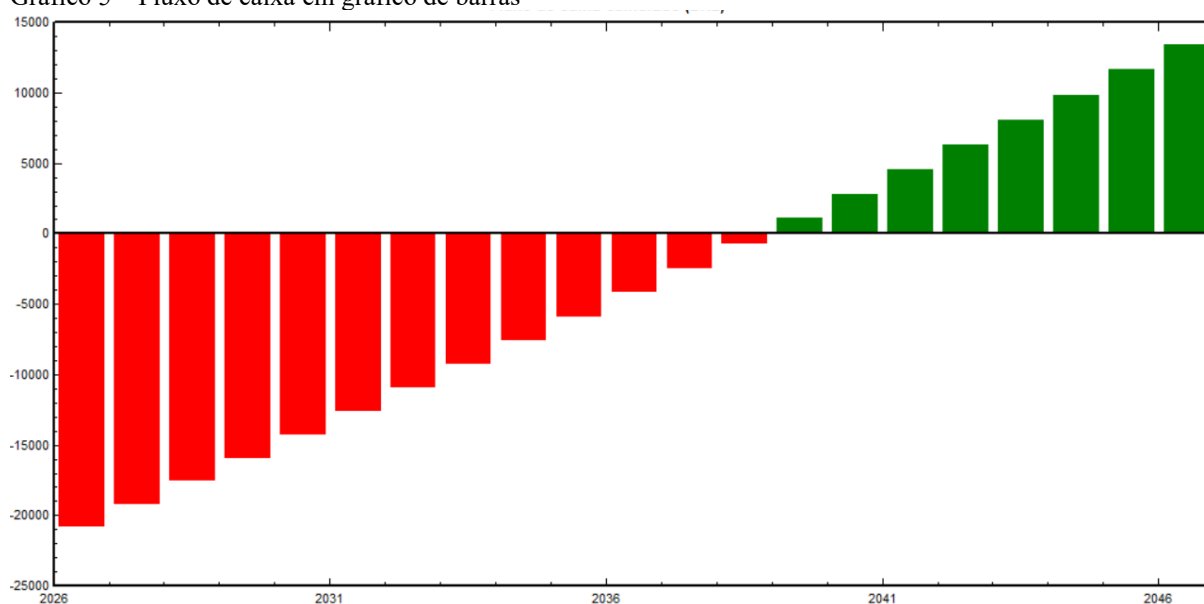
Tabela 11 – Fluxo de caixa

Ano	Fundos próprios	Custos operação	Poupança auto-cons.	Lucro acumulado	% amortec.
0	20.750	0	0	-20.750	0.0 %
1	0	0	1.630	-19.120	7.9 %
2	0	0	1.638	-17.482	15.7 %
3	0	0	1.646	-15.836	23.7 %
4	0	0	1.654	-14.182	31.7 %
5	0	0	1.663	-12.519	39.7 %
6	0	0	1.671	-10.849	47.7 %
7	0	0	1.679	-9.169	55.8 %
8	0	0	1.688	-7.482	63.9 %
9	0	0	1.696	-5.786	72.1 %
10	0	0	1.705	-4.081	80.3 %
11	0	0	1.713	-2.368	88.6 %
12	0	0	1.722	-646	96.9 %
13	0	0	1.730	1.084	105.2 %
14	0	0	1.739	2.823	113.6 %
15	0	0	1.748	4.570	122.0 %
16	0	0	1.756	6.327	130.5 %
17	0	0	1.765	8.092	139.0 %
18	0	0	1.774	9.866	147.5 %
19	0	0	1.783	11.648	156.1 %
20	0	0	1.792	13.440	164.8 %
Total	20.750	0	34.190	13.440	164.8 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

No gráfico 5 pode-se analisar o fluxo de caixa acumulado ao longo dos anos. Ele fica verde a partir do décimo terceiro ano, que é quando o investimento começa a dar lucro. Segue o gráfico 5:

Gráfico 5 – Fluxo de caixa em gráfico de barras



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Finalizados o dimensionamento empírico e as simulações em software, é possível definir um sistema fotovoltaico autônomo capaz de suprir a demanda energética do reator de hidrogênio de forma contínua. A análise dos resultados demonstrou coerência entre os valores obtidos manualmente e aqueles apresentados pelo software, o que mostra consistência nos parâmetros adotados durante o projeto.

Na simulação computacional foi identificado um dimensionamento ligeiramente superior ao calculado empiricamente, principalmente devido à consideração de fatores adicionais de perdas energéticas. Enquanto os cálculos manuais utilizam condições idealizadas e simplificadas, apesar dos fatores aplicados para tentar aproximar os resultados da realidade, o *PVSyst* incorpora variáveis mais próximas das condições reais de operação, como perdas térmicas, sombreamento parcial, eficiência dos componentes, degradação dos módulos e perdas elétricas em cabos e conexões.

Esse aumento no dimensionamento demonstra a importância do uso de softwares especializados em projetos *off-grid*, especialmente em aplicações que exigem elevado nível de confiabilidade energética, como alimentação contínua de um reator de hidrogênio. Em sistemas autônomos, pequenos erros de dimensionamento podem comprometer significativamente a autonomia energética, principalmente em períodos de baixa irradiância solar.

Outro aspecto importante observado foi a importância do banco de baterias para garantir a estabilidade operacional do sistema. A autonomia estimada de até 48 horas permite maior segurança energética, reduzindo impactos causados por oscilações climáticas e períodos de menor geração fotovoltaica.

Os resultados também evidenciam o potencial de integração entre sistemas fotovoltaicos e produção de hidrogênio por eletrólise da água. A utilização de energia solar como fonte primária para alimentação do reator contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis e amplia as possibilidades de aplicação do hidrogênio verde como vetor energético sustentável.

Contudo, apesar dos resultados satisfatórios, o estudo apresenta limitações relacionadas à ausência de validação experimental em campo. Dessa forma, fatores operacionais reais, como acúmulo de sujeira nos módulos, degradação natural dos componentes e variações climáticas extremas, podem influenciar o desempenho do sistema ao longo do tempo.

É importante ressaltar que, por mais que se tenha focado bastante no dimensionamento do sistema e na comparação entre o software e os cálculos empíricos, o principal objetivo deste

trabalho é desenvolver um sistema autônomo com o intuito de difundir e promover o desenvolvimento energético, principalmente se tratando de fontes renováveis.

6 CONCLUSÃO

A partir do dimensionamento realizado e das simulações feitas no *PVSyst*, conclui-se que o sistema proposto se mostra suficientemente capaz de suprir a demanda energética do reator operando 24 horas por dia, por até 48 horas ininterruptas inclusive.

O sistema foi dimensionado com 25 módulos fotovoltaicos de 45Wp, com uma potência total de 1,125kWp, um banco de baterias com 5 baterias de 160Ah em 12V, o que garante sua autonomia mantendo um armazenamento suficiente para a continuidade da operação do reator mesmo em períodos de baixa irradiância solar.

Tais resultados mostram coerência entre os cálculos realizados empiricamente e os dados apresentados na simulação, o que valida o dimensionamento adotado para o sistema. É preciso atentar-se apenas a alguns ajustes pontuais que podem fazer com que o sistema tenha mais perdas do que o esperado, ocasionado por fatores como sombreamento e funcionamento do sistema. Apesar disso, o desempenho do sistema foi satisfatório para atender à demanda requerida.

Diante disso, mesmo com essas perdas adicionais, que foram poucas, este estudo comprova a viabilidade técnica da utilização de um sistema fotovoltaico autônomo para alimentação de um reator de hidrogênio por eletrólise, o que evidencia o potencial de integração entre geração fotovoltaica e produção de hidrogênio como alternativa energética sustentável.

Tendo findado o desenvolvimento do projeto, foi mostrado como funciona o dimensionamento de um sistema autônomo (*off-grid*), inclusive com simulação em software mundialmente utilizado (*PVSyst*), com todos os parâmetros necessários para sua eficácia.

O desenvolvimento deste trabalho permitiu compreender, de forma prática e teórica, as etapas necessárias para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo destinado à alimentação de um reator de hidrogênio. E ainda existe a contribuição do *PVSyst* na validação dos parâmetros adotados no projeto, proporcionando maior confiabilidade aos resultados.

Além da análise técnica, o estudo reforça a importância das fontes renováveis na busca por soluções energéticas, sendo o hidrogênio verde, uma opção viável e vantajosa nesse quesito. A junção dessas tecnologias mostra potencial para futuras aplicações na diversificação da matriz energética e à redução dos impactos ambientais causados por combustíveis fósseis.

Como sugestão de trabalho futuro, recomenda-se a implementação prática do sistema proposto, permitindo a análise de desempenho em condições reais de operação, bem como estudos relacionados à eficiência energética, custos de implantação e armazenamento de hidrogênio.

E por fim, espera-se que este trabalho possa servir como base para futuras pesquisas e contribuir para o avanço de estudos relacionados à energia solar fotovoltaica e à produção sustentável de hidrogênio.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: instalações elétricas em baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. Versão corrigida 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto. Rio de Janeiro, 2019.

BALANÇO Energético Nacional 2025. EPE, 2025b. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>>. Acessada em: 25/09/2025.

BATERIA solar: o que é, tipos e como funciona?. Portal Solar, 2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/bateria-solar.html>>. Acessada em: 25/06/2026.

BOSO, Ana Cláudia Marassá Roza; GABRIEL, Camila Pires Cremasco; FILHO, Luís Roberto Almeida Gabriel. **Análise De Custos Dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid E Off-Grid No Brasil**. Revista Científica ANAP Brasil, V. 8, p. 59, Pérola, 2015.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO (CRESESB). **Potencial Solar – Sundata v 3.0**. Cresesb, 2026. Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acessada em: 16/04/2026.

CIENTISTAS desenvolvem reator que utiliza água e luz do Sol para produzir combustível do futuro – hidrogênio verde!. ABSolar, 2025. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/https-clickpetroleoegas-com-br-cientistas-desenvolvem-reator-que-utiliza-agua-e-luz-do-sol-para-produzir-hidrogenio-marcando-uma-revolucao/>>. Acessado em: 01/06/2025.

CONVERSORES de potência, tipos e aplicações!. Mundo da Elétrica, 2020. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com/conversores-de-potencia-tipos-aplicacoes/>>. Acessada em: 25/06/2026.

DONATO, Vitorio; VIEIRA, Carolina Sacramento; ANDRADE, Maíra Silva; ALBUQUERQUE, Rosana Vieira; SANTOS, Carlos Cesar Ribeiro. **Resiliência Da Cadeia De Suprimentos Do Hidrogênio Verde**. Revista Foco, V. 16, p. 5, Curitiba, 2023.

DADOS do mercado de energia solar no Brasil. Portal Solar, 2026a. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>>. Acessada em: 08/05/2026.

ENERGIA solar avança no Brasil e adiciona 10,6 GW em 2025, com mais de R\$ 32,9 bi em investimentos. ABSOLAR, 2026. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/home/energia-solar-avanca-no-brasil-e-adiciona-106-gw-em-2025-com-mais-de-r-329-bi-em-investimentos/>>. Acessada em: 08/05/2026.

A ENERGIA Solar no Mundo. Portal Solar, 2026. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo>>. Acessada em: 07/05/2026.

ENERGIA fotovoltaica: o que é, como funciona e para que serve. Portal Solar, 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acessado em: 29/05/2025.

ENTENDA o poder da energia do hidrogênio e os benefícios para o futuro. Portal Solar, 2024b. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-do-hidrogenio>>. Acessada em: 27/10/2025.

FONTES renováveis atingem 49,1% na matriz energética brasileira. EPE, 2025c. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/fontes-renovaveis-atingem-49-1-na-matriz-energetica-brasileira>>. Acessada em: 08/05/2026.

HIDROGÊNIO verde: o Brasil se tornará uma potência mundial?. Instituto de Energia e Ambiente - USP, 2024. Disponível em: <<https://www.iee.usp.br/noticia/hidrogenio-verde-o-brasil-se-tornara-uma-potencia-mundial/>>. Acessada em: 29/10/2025.

HIDROGÊNIO verde: os 6 países que lideram a produção do 'combustível do futuro'. BBC News Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-56604972>>. Acessada em: 29/10/2025.

HIDROGÊNIO. U. S. Energy Information Administration, 2024. Disponível em: <<https://www.eia.gov/kids/energy-sources/hydrogen/>>. Acessada em: 27/10/2025.

LARA, Daniela Mueller De; RICHTER, Marc François. **Hidrogênio verde:** a fonte de energia do futuro. Novos Cadernos NAEA, V. 26, p. 420, Belém, 2023.

MATRIZ Energética e Elétrica. EPE, 2025a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acessado em: 08/05/2026.

MATRIZ energética brasileira e matriz elétrica brasileira. Portal Solar, 2024. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/matriz-energetica-brasileira-matriz-eletrica-brasileira>>. Acessada em: 23/06/2026.

PEREIRA, Renato Tadeu; MONTEIRO, Luiz Jerônimo Melo; REIS, Mari Aurora Favero; FERREIRA, Fernanda Cristina Silva. **Rede doméstica em corrente contínua alimentada por energia fotovoltaica.** Latin American Journal of Energy Research, V. 11, p. 151-152, Vitória-ES, 2024.

PETRY, Paola Mercadante; RAMOS, Karina Ninni; COSTA, Hirdan Katarina De Medeiros. **A Expansão Da Energia Solar Fotovoltaica No Brasil E O Desenvolvimento Local:** Uma Proposição De Abordagem. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, V. 9, p. 24, Florianópolis, 2020.

PINTO, Yuryanne Carvalho; ALCÂNTRA, Aline Marculino De; AMORIM, Fábio De Oliveira. **Análise de viabilidades técnica e econômica para uma piscicultura familiar**

integrada à energia solar. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, V. 17, p. 5, Maringá, 2024.

PUGA, Mariana Dos Santos; ASENCIOS, Yvan Jesús Olortiga. **Avanços e limitações da produção, armazenamento e transporte de hidrogênio verde.** Revista LAJER, V. 10, p. 77 e 80, Vitória-ES, 2023.

QUAIS são os diferentes tipos de baterias solares?. SolarReviews, 2025. Disponível em: <<https://www.solarreviews.com/blog/types-of-solar-batteries>>. Acessada em: 25/06/2026.

RAMOS, Maria Karolina; ZARBIN, Aldo José Gorgatti. **Bateria de íon-sódio ecológica, transparente, flexível e aquosa.** Energia e Combustíveis Sustentáveis, V. 9, Curitiba, 2025.

SANTOS, Luís; COSTA, Sebastião Patrício Mendes Da. **Raízes E Perspectivas Do Hidrogênio Verde: Origens Históricas Do Interesse No Hidrogênio Como Vetor Energético E Os Desafios Para A Viabilização Da Indústria Do Hidrogênio Verde.** Revista Regeo, V. 16, p. 7, São José dos Pinhais, 2025.

SILVA, Alex Alves Da; SILVA, Thiago Dias; RIBEIRO, Edgar Augusto Nascimento; LOPES, Rogério Santiago. **Vantagens e desvantagens de implementação do sistema off-grid em zonas rurais: uma revisão.** Research, Society and Development, V. 11, p. 4, Pará, 2022.

SILVA, Fernando Carvalho Assunção Da; BELCHIOR, Fernando Nunes; FONSECA, Marcelo Nunes. **Análise aplicada a sistemas fotovoltaicos off-grid em processos industriais na zona rural.** Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, p. 2679, São Paulo, 2023.

SISTEMA de Energia Solar Off Grid. Portal Solar, 2024a. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>>. Acessado em: 01/06/2025.

SISTEMA híbrido de hidrogênio-bateria para residências com energia fotovoltaica off grid. PV Magazine, 2024. Disponível em: <<https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/05/21/sistema-hibrido-de-hidrogenio-bateria-para-residencias-com-energia-fotovoltaica-off-grid/>>. Acessado em: 01/06/2025.

TIPOS de energia solar: quais são, como funcionam e qual a melhor. Portal Solar, 2025. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-energia-solar.html>>. Acessada em: 08/10/2025.

TIPOS de bateria solar: Como escolher a melhor para o meu projeto?. WEG, 2025. Disponível em: <<https://www.weg.net/solar/blog/tipos-de-bateria-solar-como-escolher-a-melhor-para-o-meu-projeto/>>. Acessada em: 25/06/2026.

TIPOS de Isolação para Condutores Elétricos: Conheça sua importância. Disnacon, 2020. Disponível em: <<https://disnacon.com.br/noticias/cabos/tipos-de-isolacao-para-condutores-eletricos-conheca-sua-importancia/>>. Acessada em: 25/06/2026.