

**GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ**  
**SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO**  
**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL NEWTON FREIRE MAIA**  
**CURSO TÉCNICO EM SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**  
***OFF-GRID* EM SALAS DE ORDENHA DE PEQUENO E GRANDE PORTE**

**PINHAIS**

**2024**

**ANA CLARA ALVES PLETSCH  
ESTÊVÃO OLÍMPIO PEREIRA DO PRADO  
MATEUS SILVA EVANGELISTA  
VICTÓRIA SOARES DE CARLI**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
*OFF-GRID* EM SALAS DE ORDENHA DE PEQUENO E GRANDE PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico de Sistemas de Energia Renovável do Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia como parte do requisito para obtenção do título de Técnico em Sistemas de Energia Renovável.

Orientador: Prof. Esp. José Ailton Gonçalves de Lima.  
Coorientador: Prof. Me. Victor Veríssimo Cardoso Lima.

ANA CLARA ALVES PLETSCH  
ESTÊVÃO OLÍMPIO PEREIRA DO PRADO  
MATEUS SILVA EVANGELISTA  
VICTÓRIA SOARES DE CARLI

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS *OFF-GRID*  
EM SALAS DE ORDENHA DE PEQUENO E GRANDE PORTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico de Sistemas de Energia Renovável do Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia como parte do requisito para obtenção do título de Técnico em Sistemas de Energia Renovável.

Orientador: Prof. Esp. José Airton Gonçalves de Lima.

Coorientador: Prof. Me. Victor Veríssimo Cardoso Lima.

Pinhais, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. José Airton Gonçalves de Lima  
Engenheiro Eletricista, Esp. em Engenharia de Produção  
Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia

---

Prof. Cleiton Rodrigues das Neves  
Lic. em Matemática  
Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia

---

Prof. Marcelle Michelotti Bettoni  
Engenheira Agrônoma, Dra. Agrônoma  
Centro Estadual de Educação Profissional Newton Freire Maia



## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão a todos que contribuíram na realização deste trabalho. Primeiramente, agradecemos a Deus por iluminar nossos caminhos e nos conceder força durante toda essa jornada acadêmica.

À cada uma de nossas famílias, pois sempre permaneceram presentes, acreditando em nós, incentivando e cobrando-nos. Todo o suporte emocional que nos concederam foi muito necessário, à vocês, nossos profundos agradecimentos e amor.

Ademais, devemos uma dedicação especial aos nossos professores orientadores, José Airton Gonçalves de Lima, Victor Veríssimo Cardoso Lima e também à nossa professora Marcelle Michelotti Bettoni, pela orientação, paciência e pelo conhecimento compartilhado ao longo desse processo. Juntamente ao nosso ex-coordenador Reinaldo Strapasson, por ter nos proporcionado a oportunidade de ingressar na instituição CEEP Newton Freire Maia. Agradecemos de coração por toda a dedicação e carinho de vocês com nosso projeto.

Uma imensa gratidão a todos os professores que acompanharam a nossa jornada acadêmica ao longo desses três anos de formação na instituição. Obrigado pela preocupação e comprometimento de vocês conosco, saibam que carregaremos para sempre o conhecimento e os ensinamentos que vocês nos proporcionaram.

Aos nossos amigos, amigas e colegas, saibam que vocês foram fundamentais, não somente para a finalização do curso, mas como também para a formação do nosso caráter. Para cada momento difícil que enfrentamos, vocês estavam lá para nos acompanhar e aconselhar, nos fazendo rir e deixando o ambiente mais leve. Vocês foram realmente essenciais para não desistirmos e conseguirmos concluir esta etapa de cabeça erguida. Nossa eterna gratidão à vocês.

Em conclusão, cada um de vocês exerceu um importante papel para a nossa formação neste curso. Não temos palavras para conseguir expressar toda a gratidão e carinho que sentimos por todos vocês. Por isso, dedicamos o nosso muito obrigado a todos que contribuíram de alguma forma para as nossas vidas, vocês estarão sempre gravados em nossas memórias, mas principalmente, estarão

ocupando um lugar muito especial em nossos corações.

*“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.”*

*(Eleanor Roosevelt)*

## RESUMO

O trabalho propõe avaliar as vantagens e a viabilidade econômica da implementação de sistemas fotovoltaicos autônomos (*off-grid*) em salas de ordenha de pequeno e grande porte, visando amenizar as falhas no fornecimento de energia elétrica nas áreas rurais. A produção de leite de pequeno e médio porte no Brasil enfrenta desafios devido a quedas repentinas de energia, resultando em prejuízos financeiros e comprometimento da qualidade do leite. A pesquisa utilizou uma abordagem mista, combinando dados qualitativos e quantitativos para dimensionar um sistema fotovoltaico adequado, incluindo baterias e inversores, para a realização dos estudos de caso. Além disso, foi avaliada a eficiência energética e a viabilidade econômica da atualização do sistema. Os resultados mostraram uma redução de até 85% na dependência da rede elétrica e uma melhoria na autonomia durante dias nublados. O estudo conclui que, embora o investimento inicial seja alto, os benefícios a longo prazo, como a economia de energia e a sustentabilidade, justificam a adoção dessa tecnologia em fazendas leiteiras de ambos os portes, entretanto, há a necessidade da utilização de muitas baterias para conseguir suprir a demanda energética das fazendas, fazendo com que o investimento inicial seja alto. As conclusões são baseadas em dados reais coletados de uma fazenda modelo no Paraná e também de uma fazenda hipotética, considerando uma escala menor de produção e também os equipamentos elétricos necessários para seu funcionamento. Esse projeto contribui para a modernização da agropecuária, promovendo o uso de energias renováveis.

**Palavras-chave:** Energia solar. Salas de ordenha. Sistema *off-grid*.

## **ABSTRACT**

The work proposes to evaluate the advantages and economic feasibility of implementing autonomous photovoltaic (off-grid) systems in milking parlors of both small and large scales, aiming to mitigate power supply failures in rural areas. Small- and medium-scale milk production in Brazil faces challenges due to sudden power outages, resulting in financial losses and compromised milk quality. The research employed a mixed approach, combining qualitative and quantitative data to size an adequate photovoltaic system, including batteries and inverters, for the case studies. Additionally, energy efficiency and the economic feasibility of system upgrades were assessed. The results demonstrated a reduction of up to 85% in grid dependency and an improvement in autonomy during cloudy days. The study concludes that, although the initial investment is high, long-term benefits, such as energy savings and sustainability, justify the adoption of this technology in dairy farms of both scales. However, the need for multiple batteries to meet the farms' energy demand makes the initial investment significant. The conclusions are based on real data collected from a model farm in Paraná and a hypothetical farm, considering a smaller production scale and the necessary electrical equipment for its operation. This project contributes to the modernization of agriculture, promoting the use of renewable energy sources.

**Keywords:** Solar energy. Milking parlors. Off-grid system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética brasileira em 2022.....	16
Figura 2 - Sistema solar fotovoltaico on-grid.....	17
Figura 3 - Sistema solar fotovoltaico off-grid.....	19
Figura 4 - Composição de um painel e um arranjo fotovoltaico.....	20
Figura 5 - Controlador de carga.....	21
Figura 6 - Bateria.....	22
Figura 7 - Inversor de frequência.....	23
Figura 8 - Cristal de Silício Intrínseco.....	25
Figura 9 - Silício dopado com fósforo.....	25
Figura 10 - Silício dopado com Boro.....	26
Figura 11 - Painel fotovoltaico monocristalino.....	26
Figura 12 - Painel solar policristalino.....	27
Figura 13 - Painel de filme fino.....	28
Figura 14 - Paineis Bifacial.....	29
Figura 15 - Concentrador solar.....	30
Figura 16 - Células de Perovskita.....	31
Figura 17 - Economia de energia obtida através do uso de energia solar.....	32
Figura 18 - Ordenha manual.....	34
Figura 19 - Ordenha automatizada.....	35
Figura 20 - Ordenha robotizada.....	36
Figura 21 - Cálculo do Plano Inclinado.....	39
Figura 22 - Principais características elétricas.....	43
Figura 23 - Localização.....	45
Figura 24 - Informações Atlas Solar.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dos equipamentos das salas de ordenha da fazenda de grande porte.....	38
Tabela 2 - Dados dos equipamentos das salas de ordenha de pequeno porte..	39
Tabela 3 - Coeficiente de Rendimento.....	40
Tabela 4 - Dados dos equipamentos das salas de ordenha de grande porte.....	47
Tabela 5 - Dados dos equipamentos das salas de ordenha da fazenda de pequeno porte.....	48
Tabela 6 - Resultados do dimensionamento dos equipamentos para fazendas de grande porte.....	50
Tabela 7 - Resultados do dimensionamento dos equipamentos para fazendas de pequeno porte.....	51
Tabela 8 - Comparativo dos investimentos.....	53
Tabela 9 - Comparativo payback.....	54

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
3.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	17
3.2 SISTEMAS OFF-GRID.....	18
3.2.1 Paineis fotovoltaicos.....	19
3.2.2 Controlador de carga.....	20
3.2.3 Baterias.....	21
3.2.4 Inversor.....	22
3.3 TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS.....	24
3.3.1 Paineis de silício cristalino.....	24
3.3.1.1 Silício monocristalino.....	26
3.3.1.2 Silício policristalino.....	27
3.3.2 Paineis de filme fino.....	27
3.3.3 Tecnologia bifacial.....	28
3.3.4 Concentradores solar.....	29
3.3.5 Células de perovskita.....	30
3.4 APLICAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AMBIENTES RURAIS..	31
3.5 ASPECTOS ECONÔMICOS DA ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	32
3.6 TIPOS DE ORDENHA.....	33
3.6.1 Ordenha manual.....	33
3.6.2 Ordenha automatizada.....	34
3.6.3 Ordenha robotizada.....	35
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID.....	37
4.1.1 Consumos.....	38
4.1.2 Dados solarimétricos.....	39
4.1.3 Fator de desempenho global.....	40
4.1.4 Dimensionamento dos módulos.....	41
4.1.5 Dimensionamento do inversor.....	42
4.1.6 Dimensionamento das baterias.....	42
4.2 ESTUDO DE CASO REAL DE UMA FAZENDA DE GRANDE PORTE.....	45
4.3 ESTUDO DE CASO HIPOTÉTICO DE UMA FAZENDA DE PEQUENO	
PORTE.....	47
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>49</b>
5.1 RESULTADOS OBTIDOS DA FAZENDA DE GRANDE PORTE.....	49

5.2 RESULTADOS OBTIDOS DA FAZENDA DE PEQUENO PORTE.....	51
5.3 DISCUSSÕES.....	52
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Instituto Brasileiro Geográfico de Estatística (IBGE) de 2020, o Brasil destaca-se como um dos maiores produtores agropecuários do mundo, e a produção de leite tem uma relevância significativa nesse contexto. Nesse ano, o país produziu aproximadamente 35 bilhões de litros de leite, colocando-se entre os maiores produtores globais.

No Paraná, a produção de leite ocupa uma posição de destaque na economia agropecuária nacional. O estado é o segundo maior produtor de leite do país, contribuindo com mais de 13% da produção nacional. Ainda em 2020, o Paraná produziu cerca de 4,6 bilhões de litros de leite, sendo a atividade leiteira uma das principais fontes de renda para os pequenos e grandes produtores. A região oeste do estado, em especial, se sobressai, com alta concentração de propriedades leiteiras e um uso intensivo de tecnologias.

Diversos relatos de proprietários de fazendas pecuárias foram constatados num curto período, no fim do ano de 2023 e início de 2024, sobre quedas constantes de energia elétrica. Muitos produtores no estado mencionaram sofrer perdas de eletrodomésticos e também da produção de suas fazendas, onde a eletricidade é essencial para conservar o leite armazenado. Tudo isso causado pelos problemas de transmissão de energia elétrica da Companhia Paranaense de Energia (COPEL).

Uma alternativa para as propriedades rurais é o uso da energia fotovoltaica, popularmente conhecida como solar, que é uma fonte de energia renovável e limpa que utiliza a luz do sol para produzir eletricidade. Os proprietários agropecuários podem se beneficiar dos sistemas fotovoltaicos solares para economizar dinheiro, garantir a sustentabilidade de sua fazenda e também para aumentar a eficiência de suas produções.

Embora o investimento inicial necessário seja alto, em alguns casos, os benefícios podem compensar o valor gasto. Com o tempo, o retorno sobre o investimento (*payback*) acontece, permitindo a recuperação do valor inicial e posteriormente, também gerando lucro a partir do excedente de energia produzida.

As vantagens do uso desse tipo de sistema se dão também pela eficiência dos painéis que mantêm seu rendimento alto mesmo após anos de uso; pela sua longa vida útil, de 15 a 20 anos; e por sua fácil manutenção, que consiste principalmente na limpeza das placas semestralmente.

Esse projeto possui uma proposta para solucionar de maneira alternativa os problemas nas redes de transmissão enfrentados pelos proprietários de fazendas produtoras de leite das regiões rurais, fazendo uma proposta de atualização de sistema fotovoltaico autônomo (*off-grid*) em salas de ordenha de pequeno e grande porte. Com o uso do sistema de baterias, é possível potencializar a produção e a refrigeração do leite, aumentando a qualidade do produto e promovendo a preservação ambiental.

Com o excedente de energia das placas solares, seria possível também alimentar a casa do produtor ou comercializá-la para a concessionária de energia, utilizando o sistema de baterias, que armazena-a. Além do mais, esse projeto promove o desenvolvimento sustentável e a preservação do meio ambiente, exemplificando como os produtores rurais podem utilizar as fontes de energia renovável a seu benefício. Esses fatores combinados podem ser uma solução atraente para implementação em fazendas, atraindo cada vez mais jovens para os trabalhos em regiões rurais e contribuindo com a modernização geral das operações agropecuárias.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma atualização de sistema fotovoltaico *off-grid* em salas de ordenha de pequeno e grande porte, visando a análise da viabilidade econômica e da eficiência energética destes dois tamanhos de propriedades, para a redução da dependência energética da rede elétrica convencional.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

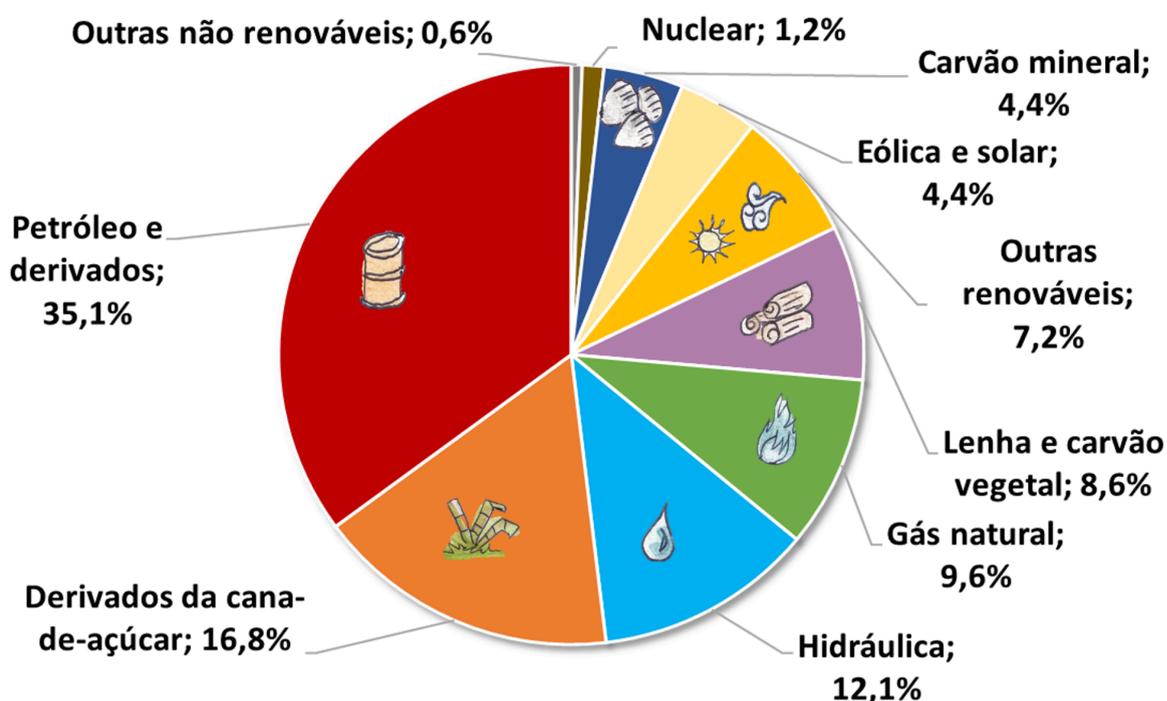
- Analisar os componentes e a viabilidade técnica dos sistemas fotovoltaicos *off-grid* aplicados em ambientes rurais;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico autônomo para garantir a eficiência em salas de ordenha;
- Analisar a viabilidade econômica para a implementação de sistema de baterias e inversores em módulos fotovoltaicos em propriedades rurais.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil tem buscado cada vez mais diversificar as fontes de energia na obtenção de eletricidade, tornando necessária a mudança de matriz energética para a preservação do planeta. Atualmente, a matriz das fontes de energia do país se baseia principalmente na utilização de hidrelétricas, combustíveis fósseis e biomassa.

Com a poluição e o desmatamento se intensificando, as oscilações climáticas se tornaram inevitáveis, entretanto, é possível diminuir a velocidade que esses fenômenos ocorrem, visando a transição energética. A mesma se baseia na troca de fontes de energia não renováveis e poluentes por fontes renováveis e limpas. Alguns exemplos de fontes renováveis são as hidrelétricas, eólicas, geotérmicas, maremotrizes, biomassa e fotovoltaicas.

**Figura 1 - Matriz energética brasileira em 2022**



Fonte: EPE (2024)

Nos últimos anos, essas fontes de energia passaram por significativas melhorias tecnológicas, através da crescente busca por alternativas energéticas mais sustentáveis. Essa demanda tem levado ao reajuste de tecnologias

tradicionais, adaptando-as para atender as condições atuais de eficiência e sustentabilidade.

### 3.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

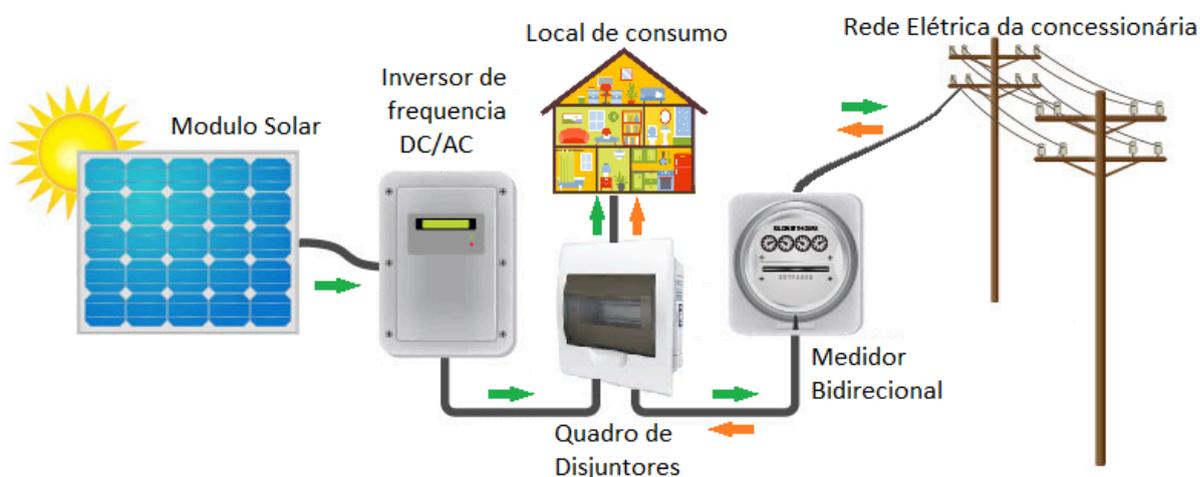
A energia do sol já existe desde sempre, mas a origem de sua exploração como fonte de geração de eletricidade ocorreu no século XIX, quando Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico. Os módulos fotovoltaicos, compostos por várias células conectadas em série ou paralelo, convertem a luz solar em eletricidade por meio desse efeito, onde a incidência de fótons excita elétrons no material semicondutor. (CÂMARA, 2011)

Os sistemas fotovoltaicos são divididos em dois grandes grupos: os conectados à rede (*on-grid*) e os desconectados da rede (*off-grid*).

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* são ligados diretamente à rede elétrica pública. A energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é consumida diretamente pela residência ou empresa, e o excedente é enviado para a rede. Quando a produção é insuficiente, a energia é obtida da rede (BLUESOL, 2016).

Já os sistemas isolados são desconectados da rede e por não possuírem outra forma de obter energia elétrica além dos sistema fotovoltaico, necessitam de um sistema de armazenamento que atua com utilização de baterias. (BLUESOL, 2016).

**Figura 2** - Sistema solar fotovoltaico *on-grid*.



Fonte: Energiasolartur (2023).

As vantagens dos sistemas fotovoltaicos *on-grid* são muitas, incluem: redução significativa na conta de energia, energia renovável e ecologicamente correta, maior acessibilidade financeira.

Já as desvantagens são: não funciona em locais sem acesso à rede elétrica, em caso de quedas de energia, o sistema para de operar.

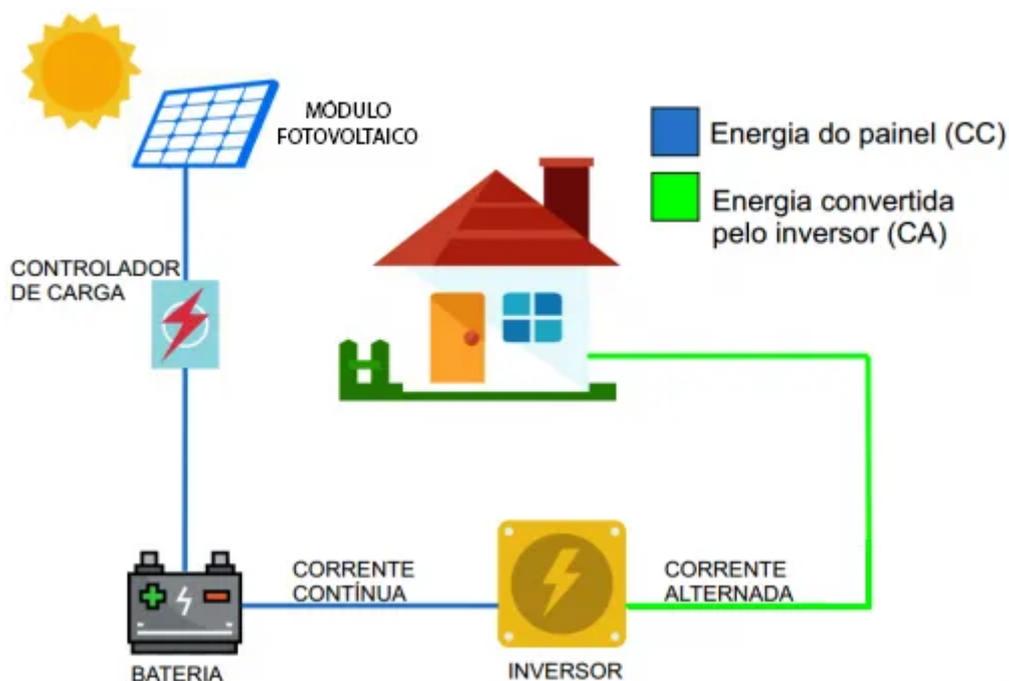
### 3.2 SISTEMAS OFF-GRID

Um sistema fotovoltaico autônomo puro não conta com outra fonte de geração de eletricidade. Essas redes de baterias são dimensionadas de acordo com a autonomia necessária, que varia conforme as condições climáticas do local onde o sistema será instalado. (BLUESOL, 2016).

Suas principais características incluem: autossuficiência energética, pois funcionam de maneira isolada; possuir um inversor, que transforma a energia gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA); ter custo inicial alto devido à necessidade de baterias e controladores; fácil manutenção, que embora regular, normalmente são práticos e simples de realizar.

Por não contar com o suporte da rede elétrica pública, o sistema *off-grid* é ideal para ser implementado em áreas remotas, como zonas rurais ou de difícil acesso. Isso elimina a necessidade de pagar contas de luz, pois você dependerá exclusivamente da energia solar. Além disso, o armazenamento em baterias garante energia mesmo em períodos sem Sol (BORTOLOTTI et al, 2017).

**Figura 3** - Sistema solar fotovoltaico *off-grid*.



Fonte: Trxsolar (2019).

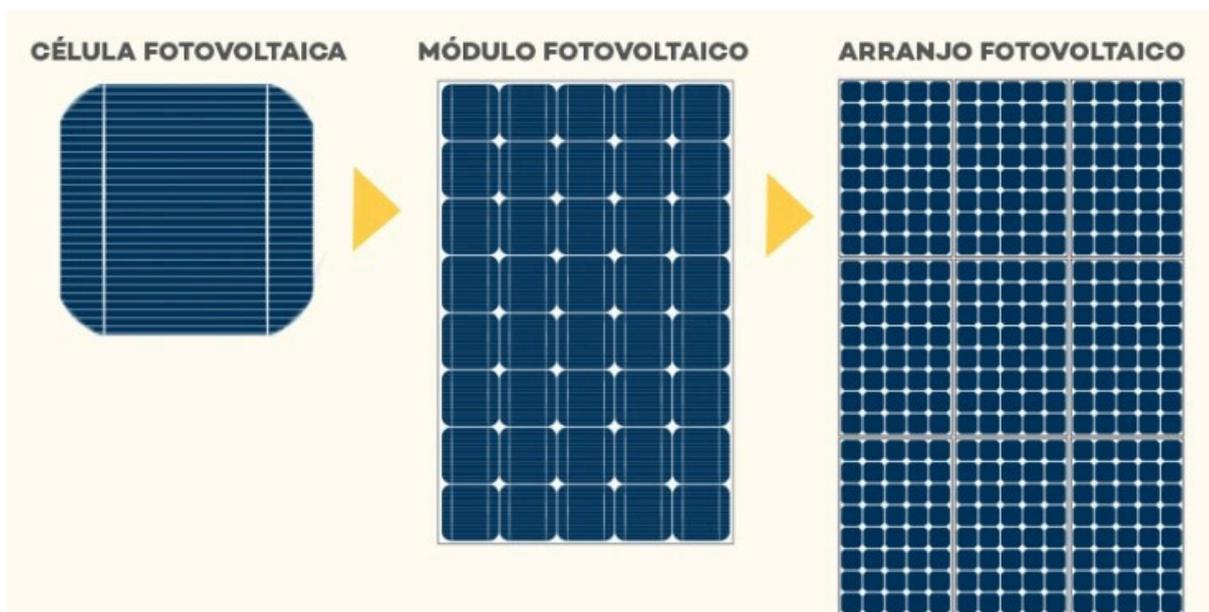
As suas vantagens são: total independência da rede elétrica, ideal para áreas rurais, locais isolados ou regiões onde a rede elétrica é instável.

Desvantagens: custo inicial elevado, manutenção constante das baterias que possuem vida útil limitada, desperdício de energia em dias de alta geração.

### 3.2.1 Paineis fotovoltaicos

Os painéis solares são um dos principais componentes dos sistemas fotovoltaicos. Um módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas conectadas a sistemas que geram tensão e corrente elétrica, ao mesmo tempo que protege essas células. As células são ligadas em série para que suas tensões sejam somadas. No entanto, por serem extremamente frágeis, é necessário que sejam protegidas por uma placa para garantir sua durabilidade e eficiência durante o processo de conversão de energia solar. (PINHO e GALDINO, 2014).

**Figura 4** - Composição de um painel e um arranjo fotovoltaico.



Fonte: Neosolar (2021).

### 3.2.2 Controlador de carga

Os controladores de carga são equipamentos de regulação do fluxo de energia entre os painéis solares e o banco de baterias, garantindo o carregamento eficiente e a proteção contra sobrecargas e descargas profundas. (PINHO e GALDINO, 2014).

**Figura 5** - Controlador de carga.



Fonte: 60Hzenergias (2024).

### 3.2.3 Baterias

As baterias são componentes dos sistemas acumuladores de energia. As baterias em sistemas fotovoltaicos são componentes críticos para armazenar a energia gerada pelos painéis solares, permitindo o uso dessa energia em momentos em que não há produção direta de eletricidade, como à noite ou em dias nublados. (PINHO e GALDINO, 2014).

**Figura 6 - Bateria.**

Fonte: JL Comércio de baterias (2024).

As baterias em sistemas fotovoltaicos *Off-grid* são essenciais para armazenar a energia gerada pelos painéis solares, permitindo o fornecimento contínuo de eletricidade em locais remotos e durante períodos sem sol. No entanto, para que o sistema funcione de forma eficiente e duradoura, a escolha das baterias e a sua manutenção adequada são essenciais. Se as baterias não forem bem cuidadas ou não forem adequadas para as necessidades do sistema, o desempenho pode ser comprometido, prejudicando a continuidade no fornecimento de energia.

### **3.2.4 Inversor**

São dispositivos essenciais que convertem a energia elétrica gerada pelos painéis solares de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), permitindo que essa energia seja utilizada pelo consumidor. (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Para cada sistema, integrado à rede elétrica (*on-grid*) ou não (*off-grid*), existe um inversor com características próprias. Embora os inversores de sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid* realizem a mesma função básica — converter a

corrente contínua (CC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA) — suas especificidades variam de acordo com o tipo de sistema em que estão instalados. Nos sistemas on-grid, os inversores devem ser otimizados para sincronizar com a rede elétrica, enquanto nos sistemas *off-grid*, os inversores desempenham um papel mais complexo, pois devem gerenciar a carga das baterias e garantir que a energia seja fornecida de forma autossuficiente.

Em resumo, sua principal diferença é que os inversores *off-grid* são mais potentes para suportar a demanda e possuem recursos mais avançados para a sua autonomia.

Outro fator necessário a levar em consideração da escolha é a exigência de possuir uma potência maior que os equipamentos, para os dias de grande produção, evitando danificações em mais aparelhos por alguma produção a pico.

Leva-se em consideração que o inversor funciona somente com, no máximo, 70% da capacidade, para não trabalhar com potência próxima a potência máxima das cargas, assim, preservando a vida útil dos equipamentos, e também garantindo a segurança exigida pelos protocolos técnicos.

**Figura 7** - Inversor de frequência.



Fonte: RR Motores e bombas (2024).

Em conclusão, os inversores são componentes fundamentais para o sucesso de qualquer sistema fotovoltaico, pois garantem não só a conversão da energia solar, mas também a integração eficiente com as redes elétricas (no caso dos sistemas *on-grid*) ou o gerenciamento autossuficiente de energia (nos sistemas *off-grid*). A evolução tecnológica tem permitido o desenvolvimento de inversores cada vez mais eficientes e adaptáveis, contribuindo para a sustentabilidade e o desempenho de longo prazo desses sistemas.

### 3.3 TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS

Tecnologias fotovoltaicas são equipamentos avançados que auxiliam ou inovam as mudanças de conversão de energia elétrica para luz solar, um exemplo disso são os painéis fotovoltaicos.

Existem cerca de cinco (5) tipos de tecnologias fotovoltaicas: Painéis de

Silício Cristalino. Painéis de Filme Fino. Tecnologia Bifacial. Concentradores Solares. Células de *Perovskita*.

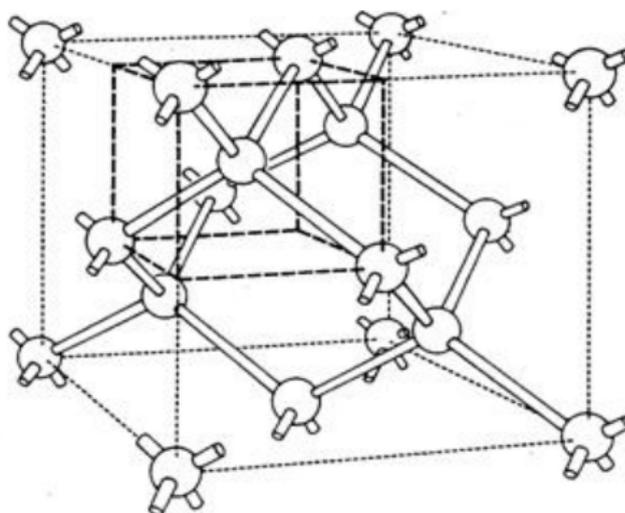
### 3.3.1 Painéis de silício cristalino

O funcionamento dos painéis de silício agem com efeito fotovoltaico, (conforme Figura 7) com a luz solar excitando os elétrons gerando corrente elétrica, (assim como em todos os painéis), contendo duas camadas de silício: uma dopada com fósforo (camada negativa) conforme a Figura 8 e outra com boro (camada positiva) conforme a Figura 9.

Um módulo fotovoltaico de silício cristalino é composto, geralmente, por cinco camadas. A camada externa é formada por vidro ou filme polimérico. A segunda camada contém um material responsável por unir e encapsular a terceira camada, que é composta de silício (monocristalino ou policristalino) e inclui os contatos metálicos. A quarta camada também possui material encapsulante, seguida pela quinta camada, que é formada por um substrato. Por fim, uma moldura metálica envolve todas as camadas do módulo (BENEVIT e VEIT, 2014).

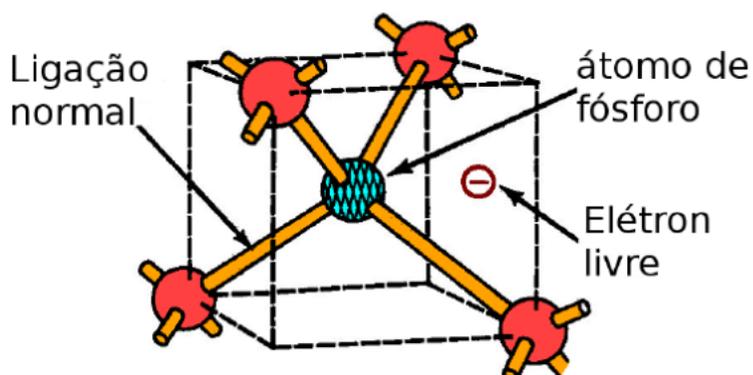
Os painéis de silício cristalino são divididos em dois grupos, os monocristalinos e os policristalinos.

**Figura 8** - Cristal de Silício Intrínseco.



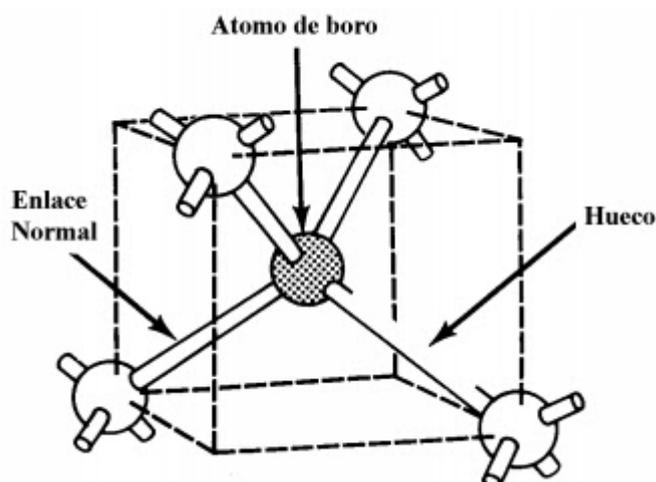
Fonte: LightdropHarvest (2004).

**Figura 9** - Silício dopado com fósforo.



Fonte: Santos [S.d.].

**Figura 10** - Silício dopado com Boro.



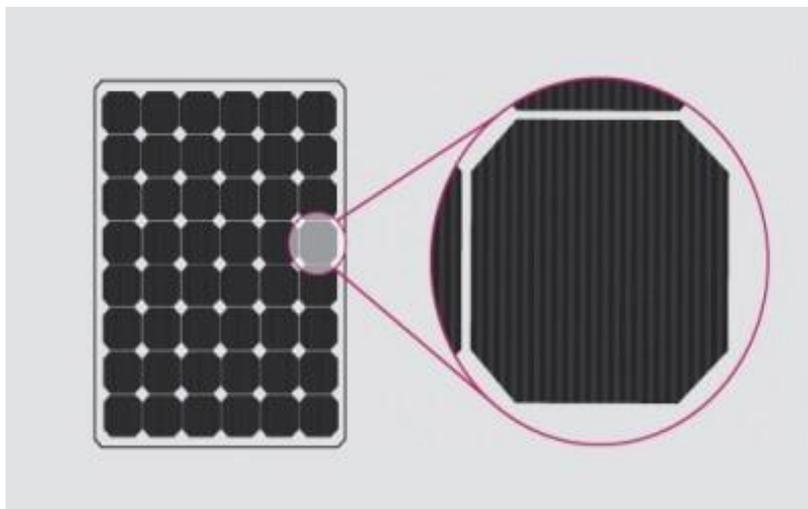
Fonte: Andreotti (2013).

### 3.3.1.1 Silício monocristalino

Os painéis fotovoltaicos monocristalinos são compostos por células fotovoltaicas vindas de um único cristal de silício, o que proporciona uma grande eficiência na conversão da luz solar em eletricidade. Este tipo de painel se destaca por sua resistência e durabilidade, mantendo um alto desempenho mesmo em condições de baixa luminosidade. Além disso, os painéis monocristalinos possuem uma aparência uniforme, com cores mais escuras, próximas do preto, como pode

ser visto na Figura 10. Entretanto, seu custo tende a ser elevado na produção (FACCHINELLO, 2014).

**Figura 11** - Painel fotovoltaico monocristalino.

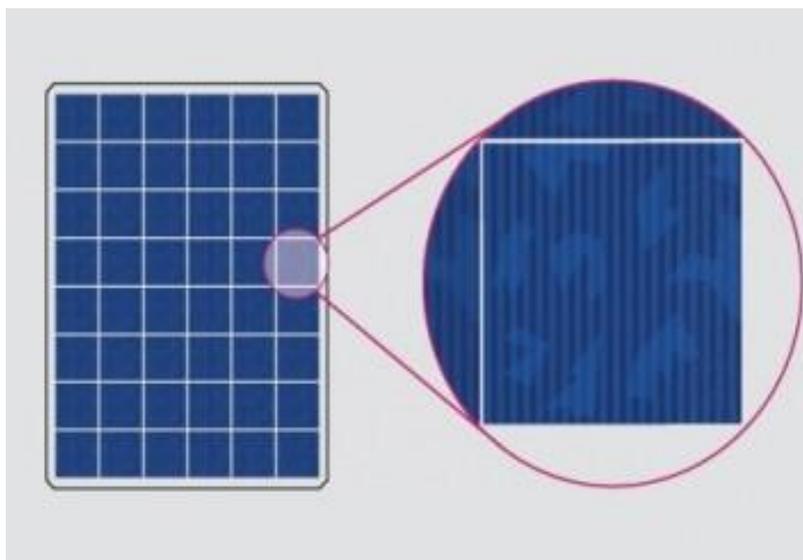


Fonte: Neosolar (2023).

### 3.3.1.2 Silício policristalino

Os painéis fotovoltaicos policristalinos são um dos principais exemplos das tecnologias utilizadas na indústria solar. Eles são produzidos a partir de múltiplos cristais de silício fundidos em uma única célula solar. A aparência deles, diferente dos painéis monocristalinos, é de uma cor azulada, com uma textura granulada visível e inconstante em toda a superfície da placa, conforme a Figura 6 (FACCHINELLO, 2014).

**Figura 12** - Painel solar policristalino.



Fonte: Neosolar (2023).

### 3.3.2 Painéis de filme fino

Os módulos fotovoltaicos de filme fino são uma tecnologia que utiliza camadas finas de materiais semicondutores para a conversão de luz solar em energia elétrica. São menos utilizados do que os registrados acima.

São feitos com diversos condutores, como telureto de cádmio, cobre índio 40 e gálio seleneto (CIS/CIGS) ou até mesmo de silício na forma de silício amorfo (PORTAL SOLAR, 2018).

**Figura 13** - Painel de filme fino.

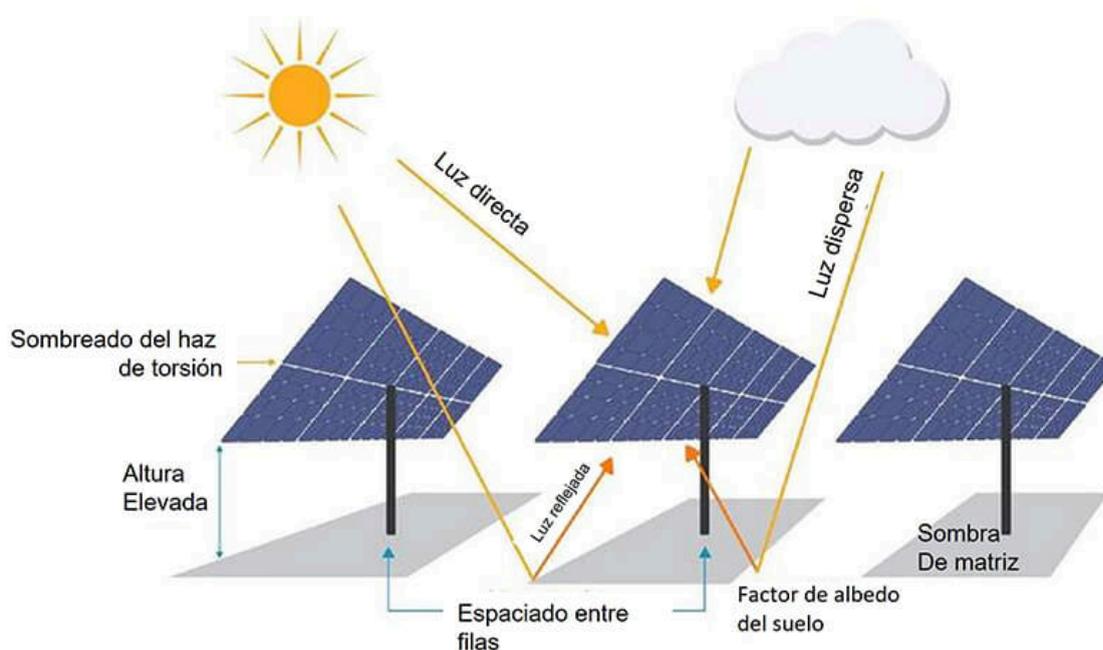


Fonte: Neosolar (2023).

### 3.3.3 Tecnologia bifacial

São painéis fotovoltaicos com sistema de dupla face, que geram energia de ambos os lados, frontal e traseira. Diferente das células fotovoltaicas monofaciais que são capazes de produzir somente pelos raios solares diretamente sobre as superfícies frontais das placas. Os painéis bifaciais ocorrem da seguinte maneira: a parte frontal, gera energia a partir dos raios direcionados a sua superfície, já os módulos traseiros ocorrem da seguinte forma, com os raios solares refletidos no chão que chegam por baixo da placa, autodenominado como albedo. Com isso, a tecnologia bifacial também permite o aproveitamento da propagação da luz refletida das nuvens. Na Figura 8 pode ser visto as placas bifaciais, como precisam ser instaladas e como sua geração de energia funciona (MACHADO, 2021).

**Figura 14 - Painéis Bifacial.**



Fonte: RaterPower (2024).

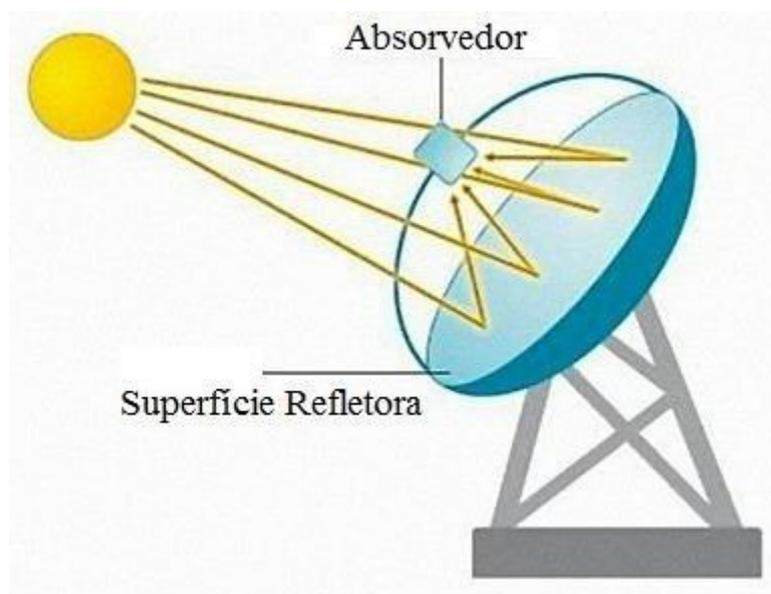
### 3.3.4 Concentradores solar

Um concentrador de carga é um equipamento projetado para aglomerar energia solar, transformando-a em duas possíveis fontes de energia, tanto energia

térmica quanto energia fotovoltaica, para o armazenamento como no sistema *off-grid* ou utilização na *on-grid* (RIBEIRO, 2008).

A Figura 9 representa um concentrador solar, com coletores de forma parabólica. Para que possa desempenhar melhor a função do sistema, precisando de radiação direta, com o céu limpo e sem nevoeiros.

**Figura 15** - Concentrador solar.



Fonte: Vieira (2015).

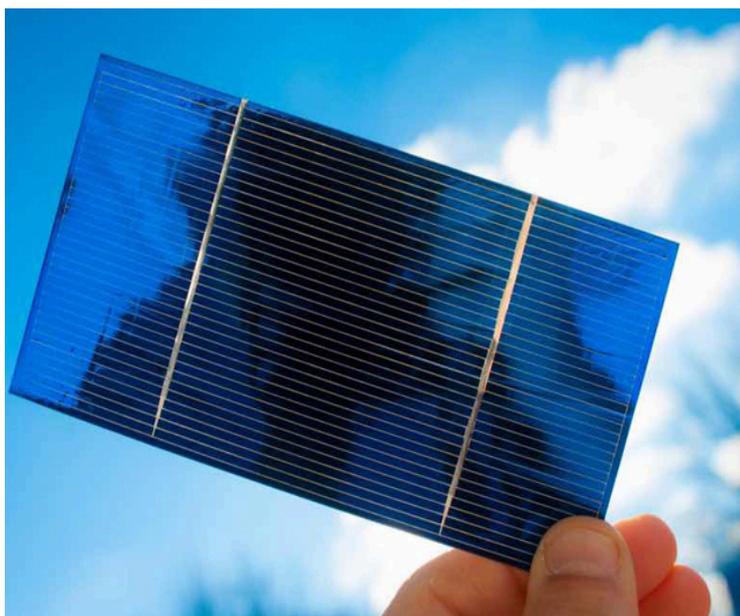
### 3.3.5 Células de *perovskita*

Células solares de *perovskita* são usadas para converter a energia solar em energia elétrica, usando o mineral de *perovskita*. Além de muita eficiência, essas células podem ser formadas com materiais e ótimas técnicas de baixo custo. Logo após a descoberta do material, apareceram diversos novos com a mesma estrutura encontrada.

As *perovskitas* de haleto de metilamônio de chumbo têm se destacado como materiais promissores para células solares, principalmente por suas propriedades únicas. Elas conseguem absorver luz de maneira muito eficiente na região visível do espectro solar e possuem uma *bandgap* ajustável, o que significa que suas propriedades podem ser modificadas alterando certos componentes químicos. Além disso, essas *perovskitas* apresentam um transporte eficiente de cargas positivas e

negativas, alta mobilidade de elétrons e buracos (o que é raro em materiais semelhantes), e permitem que as cargas percorram distâncias maiores, chegando a ultrapassar micrômetros em monocristais. Tudo isso as torna uma opção muito interessante para a tecnologia fotovoltaica. (NOGUEIRA et al, 2017, 63 p.). A Figura 10 indica a camada ativa que é composta de perovskita.

**Figura 16** - Células de *Perovskita*.



Fonte: PortalSolar (2021).

### 3.4 APLICAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AMBIENTES RURAIS

Os sistemas fotovoltaicos podem ter várias utilidades em ambientes rurais, como o fornecimento de energia elétrica para residências, irrigação, cercas elétricas, iluminação e abastecimento de água. Além disso, em áreas distantes dos centros urbanos, a adoção desses sistemas reduz a dependência de fontes fósseis, proporciona economia a longo prazo, além de promover o desenvolvimento sustentável no campo.

É de suma importância a implementação de sistemas inovadores, promovendo a contribuição não somente econômica mas também sustentável (MICHELETTI e BELUSSO, 2022). Para que a sociedade construa uma relação mais equilibrada e sustentável com o meio ambiente, é importante que as empresas

adotem práticas ecológicas no seu dia a dia. Dessa forma, os investimentos não só trazem retorno financeiro, mas também ajudam a preservar o planeta, reduzindo impactos ambientais e priorizando ações preventivas.

### 3.5 ASPECTOS ECONÔMICOS DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar pode proporcionar uma redução significativa na conta de energia elétrica. O valor investido na instalação de placas solares é compensado pela economia gerada com a diminuição dos gastos. No Brasil, essa fonte de energia é ainda mais vantajosa devido à abundância de raios solares, que são facilmente captados pelos painéis solares. Um exemplo de economia alcançada por meio da energia solar é a Fazenda Sausen, uma das propriedades analisadas neste projeto.

**Figura 17** - Economia de energia obtida através do uso de energia solar.

Itens de fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$) com tributos	Valor (R\$)
Energia Elet Uso Sistema	kWh	4040	0.422324	1.706.19
Energia Elet Consumo	kWh	4040	0.388589	1.569.90
Energia Elet Usd Per Reserv	kWh	3800	0.422326	1.604.84
Energia Elet Te Per Reserv	kWh	3800	0.388595	1.476.66
Energia Injetada TUSD	kWh	-2760	0.346308	-955.81
Energia Injetada Te	kWh	-2760	0.318645	-879.46
Total - Preço (1)				4.522.32
<b>TOTAL:</b>				<b>4.522.32</b>

Fonte: Autores (2024).

Do ponto de vista econômico, os sistemas fotovoltaicos apresentam vantagens como a redução significativa dos custos com energia elétrica, a valorização dos imóveis que possuem a tecnologia e a previsibilidade financeira, já que protegem os consumidores de aumentos nas tarifas de energia. Por outro lado, é importante considerar que o investimento inicial pode ser elevado, dependendo da capacidade instalada, e que o retorno financeiro ocorre ao longo de anos, necessitando de planejamento financeiro adequado.

Apesar de possuir uma vida útil longa, as placas exigem algumas manutenções ao longo do tempo, um exemplo de manutenção das placas é a limpeza das mesmas. Segundo Cruz et al. (2018), caso essa limpeza não ocorra, a eficiência dos módulos fotovoltaicos estará comprometida, impedindo o rendimento máximo dos painéis.

## 3.6 TIPOS DE ORDENHA

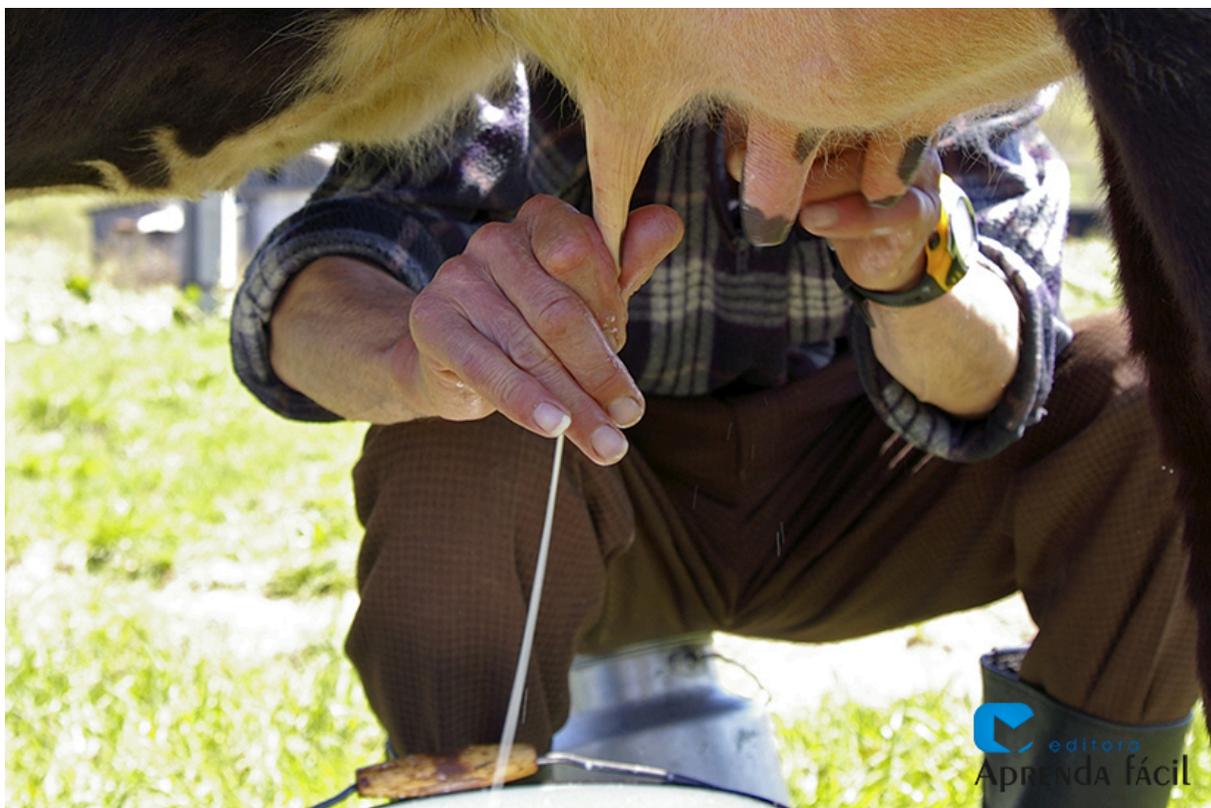
Na agropecuária existem três grandes diferentes tipos de ordenha, que se diferenciam principalmente pelo método do manejo das vacas e pelos equipamentos utilizados na ordenha. Sendo eles a ordenha manual, a ordenha automatizada e a ordenha robotizada.

### 3.6.1 Ordenha manual

A ordenha de uma vaca consiste no processo de esvaziamento completo do seu úbere, realizado de maneira cuidadosa e habilidosa, de modo que o animal não experimente dor ou qualquer sensação desagradável. (VASCONCELLOS, 1999)

A ordenha manual, como o próprio nome diz, ocorre de maneira 100% manual, necessitando de vários funcionários para o manejo, a avaliação de saúde, a ordenha e para a higienização dos currais e salas de ordenha.

**Figura 18** - Ordenha manual.



Fonte: AprendaFácilEditora (2024).

### 3.6.2 Ordenha automatizada

Diferentemente da ordenha manual, a ordenha automatizada é feita com equipamentos elétricos automáticos, que facilitam o trabalho dos funcionários, entretanto, ainda é necessário operários para conduzir os animais para a máquina de ordenha, para verificar as condições de saúde deles e também para conectar as mangueiras de sucção nos tetos das vacas. A higienização dessas mangueiras e dos tanques de refrigeração são feitos de forma automática também.

**Figura 19** - Ordenha automatizada.



Fonte: MilkPoint (2024).

### 3.6.3 Ordenha robotizada

A ordenha robotizada, por sua vez, é independente de funcionários para seu funcionamento, podendo ficar com pouco ou nenhum monitoramento humano. Essa

ordenha é realizada por meio de robôs autônomos que escaneiam os chips das vacas, verificando seus estados de saúde; após o animal se encaminhar sozinho para a máquina de ordenha, o robô identifica com câmeras e sensores o local dos tetos do mamífero e conecta as mangueiras de sucção, ocorrendo assim a ordenha totalmente autônoma e evitando a sobreordenha das glândulas mamárias das vacas.

**Figura 20** - Ordenha robotizada.



Fonte: AgroceresMultimix (2019).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é mista, combinando pesquisa qualitativa e quantitativa. Primeiro foi feita a identificação das salas de ordenha, considerando a facilidade do acesso aos dados.

A coleta de dados foi embasada em uma fazenda leiteira da região interiorana oeste do Paraná, onde já existe um sistema fotovoltaico *on-grid* instalado para alimentar a energia necessária nas salas de ordenha robotizada, também realizara-se entrevista com o proprietário Anderson, da fazenda foco de estudo, para a obtenção de dados técnicos, relação de consumo energético, para compreender e dimensionar um sistema fotovoltaico solar autônomo.

No segundo estudo de caso, foi realizada uma pesquisa sobre dados hipotéticos de uma fazenda leiteira de pequeno porte localizada na região oeste do Paraná, onde também já existe um sistema fotovoltaico *on-grid* instalado.

Com esses dados, foi realizada a análise de custos, a qual incluiu os investimentos iniciais, retorno previsto do investimento (*payback*), as economias esperadas e a avaliação da viabilidade econômica. Essa avaliação foi efetuada por meio da comparação dos dados gerais e dos cálculos de dimensionamento dos equipamentos necessários para o funcionamento de módulos fotovoltaicos *off-grid*, tanto em uma fazenda real de grande porte quanto em uma fazenda hipotética de pequeno porte.

Utilizou-se da análise qualitativa para compreender os aspectos sociais, econômicos e ambientais da implementação da energia fotovoltaica, e a análise quantitativa para avaliar a viabilidade financeira da instalação para produtores de pequena e grande escala.

### 4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID*

Para que exista um maior aproveitamento da energia gerada pelas placas e diminuição do valor na fatura de energia, é necessário um dimensionamento adequado do sistema fotovoltaico. Um dimensionamento correto é fundamental para que mantenha o rendimento e produtividade, já que erros podem causar problemas operacionais e reduzir a durabilidade dos componentes, diminuindo a vida útil dos

componentes.

Para que não haja problemas, é importante dividir o processo em etapas.

#### 4.1.1 Consumos

Primeiramente, é necessário listar e calcular o consumo diário e mensal dos equipamentos em funcionamento, utilizados para cada fazenda. Uma tabela é realizada para controlar organizadamente as informações para cada sistema, levando em consideração o equipamento, quantidade, tensão em Volts, potência do equipamento em quiloWatts, potência total de todos os equipamentos em quiloWatts, tempo de consumo em horas e dias por mês, com o resultado dos consumos na última coluna.

A potência de cada equipamento foi registrada a partir de pesquisas em modelos disponibilizados na internet, já outros dados são da fazenda em exemplo, fornecidos pelo produtor.

**Tabela 1** - Dados dos equipamentos das salas de ordenha da fazenda de grande porte.

Equipamentos	Tensão (V)	Quantidade	Potência (kW)	Total (kW)	Tempo de consumo (h)	Dias	Consumo diário (kWh/dia)	Consumo mensal (kWh/mês)
Robô DeLaval VMS 300	220	1	4	4	24	30	96	2.880
Resfriador 1	220	1	9,248	9,248	24	30	222	6.658,56
Resfriador 2	220	1	2,108	2,108	24	30	50,59	1.517,76
Climatizador	220	9	0,6	5,4	24	30	129,6	3.888

Fonte: Autores (2024).

Aplicadas as equações:

$$\text{Consumo diário} = \text{Potência Total} \times \text{Tempo de Consumo}$$

$$\text{Consumo mensal} = \text{Potência Total} \times \text{Tempo de Consumo} \times \text{Dias}$$

**Tabela 2** - Dados dos equipamentos das salas de ordenha de pequeno porte.

Equipamentos	Tensão (V)	Quantidade	Potência (kW)	Total (kW)	Tempo de consumo (h)	Dias	Consumo diário (kWh/dia)	Consumo mensal (kWh/mês)
Resfriador 1	220	1	1,16	1,16	24	30	27,84	835,2
Climatizador	220	2	0,6	1,2	24	30	28,8	864
Máquina de ordenha simples automática	220	5	0,55	2,75	7	30	19,25	577,5

Fonte: Autores (2024).

#### 4.1.2 Dados solarimétricos

Horas de Sol Pleno (HSP) é o índice de irradiação solar incidente em uma determinada área. Os dados podem ser obtidos através do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB) assim que se insere as coordenadas geográficas da cidade em estudo.

**Figura 21** - Cálculo do Plano Inclinado.

Estação: Missal  
Município: Missal, PR - BRASIL  
Latitude: 25,101° S  
Longitude: 54,249° O  
Distância do ponto de ref. ( 25,05234° S; 54,229502° O ): 5,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,31	5,81	5,32	4,26	3,30	2,90	3,09	4,08	4,36	5,28	6,16	6,63	4,79	3,73
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	25° N	5,65	5,54	5,54	4,92	4,15	3,82	4,00	4,92	4,68	5,17	5,61	5,83	4,99	2,01
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	5,84	5,65	5,56	4,84	4,03	3,68	3,86	4,81	4,67	5,24	5,78	6,05	5,00	2,37
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	45° N	4,66	4,81	5,15	4,94	4,41	4,16	4,31	5,08	4,48	4,59	4,69	4,72	4,67	,99

Fonte: CRESESB (2024).

É utilizado o menor índice de radiação solar conforme o ângulo igual a latitude

como resultado (3,82 kWh/m<sup>2</sup>.dia) — coluna 8; linha 4 —, aplicando o pico para que não ocorram imprevistos numa maior produção, evitando assim estragos nos equipamentos por sobrecarga.

#### 4.1.3 Fator de desempenho global

O Fator de Desempenho Global (FDG) é uma medida que avalia a eficiência de um sistema fotovoltaico. Ele é calculado com base na relação entre a real energia gerada e aquela que poderia ter sido produzida sob condições ideais.

Quanto mais próximo o FDG estiver de 1 (ou 100%) melhor o funcionamento operacional, enquanto valores mais baixos indicam perdas que podem ser relacionadas a diversos fatores, como sombreamento, sujeira nos painéis, na conversão da corrente contínua para a alternada, entre outros. Um bom fator de desempenho para sistemas varia de 80% a 90% de acordo com as condições locais e a qualidade do sistema instalado, além de uma possível otimização pela manutenção e limpeza frequente.

**Tabela 3 - Coeficiente de Rendimento.**

<b>Coeficiente de rendimento por</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Equação e valores em %</b>	<b>Valores em decimal</b>
Sombreamento	Csomb	100% - 5% = 95%	0,95
Sujeira	Csuj	100% - 2% = 98%	0,98
Tolerância de potência	Ctol	100% - 0% = 100%	1
<i>Mismatching</i>	Cmis	100% - 2% = 98%	0,98
Cabeamento CC	Ccc	100% - 1% = 99%	0,99
SPMP	Cspmp	100% - 2% = 98%	0,98
Conversão CC/CA	Cinv	100% - 5% = 95%	0,95
Cabeamento CA	Cca	100% - 1% = 99%	0,99

**Fonte:** Autores (2024).

Cálculo do fator de desempenho global:

$$FDG = 0,95 \times 0,98 \times 1 \times 0,98 \times 0,99 \times 0,98 \times 0,95 \times 0,99$$

$$FDG \cong 0,83$$

#### 4.1.4 Dimensionamento dos módulos

Com os dados obtidos, é possível calcular a quantidade de módulos necessária para a alimentação do sistema juntamente com o HSP e o FDG, fornecidos pelo CRESESB conforme a Figura 20, aplicando a equação:

$$Potência\ fotovoltaica = \frac{Consumo\ diário}{HSP \cdot FDG}$$

Sendo assim:

Fazenda pequena:

$$Potência\ fotovoltaica = \frac{75.890}{3,82 \times 0,83} = \frac{75.890}{3,17} = 23.940W$$

Fazenda grande:

$$Potência\ fotovoltaica = \frac{498.200}{3,82 \times 0,83} = \frac{498.200}{3,17} = 157.160,8W$$

Em seguida, para resultado final da quantidade de placas:

$$Quantidade\ de\ Placas = \frac{Potência\ fotovoltaica}{Potência\ do\ módulo}$$

$$\text{Fazenda pequena: } Q = \frac{23.940}{340} = 71 \text{ placas}$$

$$\text{Fazenda grande: } Q = \frac{157.160,8}{340} = 463 \text{ placas}$$

#### 4.1.5 Dimensionamento do inversor

Como explicado anteriormente, levou-se em consideração que o inversor funciona somente com, no máximo, 70% da capacidade, esse valor é incluso na equação.

$$\text{Potência do inversor} = \frac{\text{Total de potência das cargas}}{0,7}$$

Sendo assim:

Fazenda pequena:

$$\text{Potência do inversor} = \frac{5,11 \text{ kW}}{0,7} = 7,3 \text{ kW}$$

Fazenda grande:

$$\text{Potência do inversor} = \frac{20,756 \text{ kW}}{0,7} = 29,65 \text{ kW}$$

#### 4.1.6 Dimensionamento das baterias

Para realizar o dimensionamento da quantidade de baterias, considerou-se baterias estacionárias de 12V associadas duas em série para suprir um sistema de 24V, recomendada pelo fabricante, especificamente o modelo Moura 12MS234 (C20), capacidade de 220Ah — coluna 4; linha 14 — .

**Figura 22** - Principais características elétricas.

Modelo (C120)	Tensão nominal	Capacidade a 25°C (Ah) / 1,75V <sub>pe</sub>			Dimensões (mm)				Peso (Kg)
	(V)	(C10)	(C20)	(C120)	Comp.	Larg.	Alt.		
							com polo	sem polo	
12MS32	12	27	30	33,6	197	130	184	159	9,9
12MS38	12	33	36	40	212	175	175	175	11,36
12MS48A	12	41	45	50,4	212	175	190	190	12,8
12MS58	12	50	55	61,2	242	175	175	175	14,4
12MS64A	12	52	60	67,1	242	175	190	190	15,5
12MS68	12	55	63	70,8	282	175	175	175	17,8
12MS74	12	63	70	77,4	282	175	190	190	19,3
12MS85	12	74	80	88,8	306	172	227	202	22,4
12MS111	12	95	105	116,4	330	172	244	219	26,5
12MS162	12	135	150	169,2	509	211	246	221	42,5
12MS186	12	160	175	194,4	517	272	246	221	52,15
12MS234	12	200	220	244,8	517	272	246	221	57,35

Fonte: NeoSolar (2024).

Como requisito para calcular a energia da bateria, a profundidade de descarga é a porcentagem de carga retirada da bateria, a fim de manter uma vida útil da mesma, considerando 0% quando possui carga cheia e 100% de profundidade de descarga (0% de carga).

São utilizadas as equações:

$$Energia da bateria = \frac{\text{Consumo diário}}{FDG}$$

$$Energia da bateria = \frac{\text{Consumo diário corrigido}}{\text{Profundidade de descarga}}$$

$$Energia da bateria = \frac{\text{Resultado anterior}}{\text{Tensão da bateria}}$$

$$Quantidade de baterias = \frac{\text{Energia da bateria}}{\text{Capacidade da bateria}}$$

Fazenda pequena:

$$\text{Energia da bateria} = \frac{75,89}{0,83} = 91,43\text{kWh} = 91.430\text{Wh}$$

$$\text{Energia da bateria} = \frac{91.430}{0,7} = 130.614,29\text{Wh}$$

$$\text{Energia da bateria} = \frac{130.614,29}{24} = 5.442,26\text{Ah}$$

$$\text{Quantidade de baterias} = \frac{5.443,26}{220} = 24,7 = 25 \text{ baterias}$$

$$\text{Quantidade de baterias} = 25 \times 2 = 50 \text{ baterias}$$

Das 25 baterias comportadas, é multiplicado por dois, levando em consideração a associação de duas em série, para maior aproveitamento da energia gerada.

Fazenda Grande:

$$\text{Energia da bateria} = \frac{498,19}{0,83} = 600,23\text{kWh} = 600.230\text{Wh}$$

$$\text{Energia da bateria} = \frac{600.230}{0,7} = 857.471,43\text{Wh}$$

$$\text{Energia da bateria} = \frac{857.471,43}{24} = 35.727,97\text{Ah}$$

$$\text{Quantidade de baterias} = \frac{35.727,9}{220} = 162,4 = 163 \text{ baterias}$$

*Quantidade de baterias = 163 x 2 = 326 baterias*

#### 4.2 ESTUDO DE CASO REAL DE UMA FAZENDA DE GRANDE PORTE

A fazenda de grande porte do primeiro estudo de caso, chamada Fazenda Sausen, está localizada na cidade de Missal, região oeste do Paraná. Com uma população de aproximadamente 11.064 habitantes e uma densidade demográfica de 34,11 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022), Missal serve como o contexto geográfico da área de estudo.

**Figura 23** - Localização.



Fonte: GoogleEarth (2023).

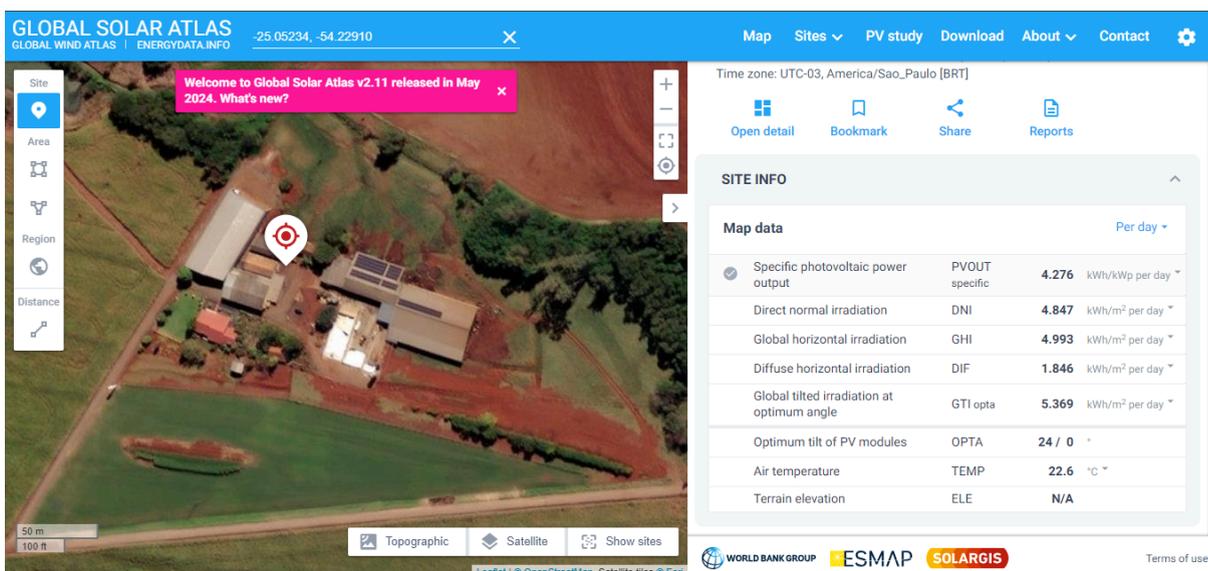
A imagem acima (Figura 22), obtida por meio da ferramenta Google Earth utilizando as coordenadas -25.05234, -54.22910, ilustra a fazenda foco desta pesquisa.

Esse contexto está diretamente relacionado à economia de Missal, que se baseia principalmente na atividade pecuária, incluindo suinocultura (28%), avicultura (18%), piscicultura e pecuária leiteira. Além disso, a cidade também depende de atividades agrícolas, como o cultivo de grãos de soja e milho, que são fontes adicionais de renda para a região (Prefeitura de Missal-PR, 2022).

Além disso, Missal possui um potencial significativo para a geração de energia solar. A região conta com uma média elevada de incidência solar durante o ano, tornando-se ideal para a instalação de sistemas fotovoltaicos. Essa abundância de luz solar oferece vantagens na adoção de energia renovável, promovendo a sustentabilidade e diminuindo a dependência de fontes não renováveis.

O índice solarimétrico da cidade no mês de maior incidência solar é de aproximadamente 6,63 kWh/m<sup>2</sup> dia, enquanto no mês de menor incidência é de aproximadamente 2,90 kWh/m<sup>2</sup> dia (CRESESB, 2014). Essa abundância de irradiação solar gera condições favoráveis para a implementação de sistemas fotovoltaicos eficientes.

**Figura 24 - Informações Atlas Solar.**



Fonte: GlobalSolarAtlas (2023).

Segundo (Rüther, 2004), existe uma relação direta entre a posição dos painéis solares e a eficiência energética, explicando que a inclinação correta otimiza a captação de energia ao alinhar os módulos com o ângulo ideal de incidência da luz solar ao longo do ano. No caso desse projeto, os painéis fotovoltaicos devem ser voltados para a direção Norte, por ser localizado no Hemisfério Sul, apontando para a linha do Equador, região de maior incidência solar do planeta. E a inclinação deve ser de aproximadamente 25°, a fim de corrigir a curvatura terrestre em relação ao Sol.

Para a realização deste estudo, foram considerados a quantidade de vacas

(80 unidades), a quantidade média de leite produzido por vaca (26L) e os equipamentos elétricos utilizados nas salas de ordenha. Os equipamentos considerados foram os climatizadores, os tanques de refrigeração e o robô DeLaval VMS 300 . Seus respectivos valores podem ser observados na Tabela 4, abaixo.

**Tabela 4** - Dados dos equipamentos das salas de ordenha de grande porte.

Equipamentos	Quantidade	Tensão	Potência (kW)	Potência total (kW)	Tempo (h) por dia	Consumo diário (kWh/dia)	Consumo mensal (kWh/mês)
Tanque de refrigeração 1 (4000L)	1	220V	9,248	9,248	24	222	6.660
Tanque de refrigeração 2 (1000L)	1	220V	2,108	2,108	24	50,6	1.518
Climatizador	9	220V	0,6	5,4	24	129,6	3.888
Robô DeLaval VMS 300	1	220V	4	4	24	96	2.880

**Fonte:** Autores (2024).

#### 4.3 ESTUDO DE CASO HIPOTÉTICO DE UMA FAZENDA DE PEQUENO PORTE

A segunda fazenda como objeto de estudo é uma propriedade hipotética de pequena escala de produção leiteira. A localização usada foi a da cidade de Missal - PR, mesma cidade que se localiza a Fazenda Sausen. Logo, considerou-se o mesmo índice solarimétrico da região.

Para a realização deste estudo, foram considerados a quantidade de vacas (20 unidades), a quantidade média de leite produzido por vaca (26L) e os equipamentos elétricos utilizados nas salas de ordenha. Os equipamentos considerados foram os climatizadores, o tanque de refrigeração e as máquinas de ordenha elétrica simples. Seus respectivos valores podem ser observados na Tabela 5, abaixo.

**Tabela 5** - Dados dos equipamentos das salas de ordenha da fazenda de pequeno porte.

Equipamentos	Quantidade	Tensão	Potência (kW)	Potência total (kW)	Tempo (h) por dia	Consumo diário (kWh/dia)	Consumo mensal (kWh/mês)
Tanque de refrigeração	1	220V	1,16	1,16	24	27,84	835,2
Climatizador	2	220V	0,6	1,2	24	28,8	864
Máquina de ordenha elétrica simples	5	220V	0,55	2,75	7	19,25	577,5

**Fonte:** Autores (2024).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a justificativa para a escolha do tema foi considerado a existência de uma necessidade crescente por soluções de energia sustentável nas áreas rurais, principalmente no agronegócio. A energia da rede elétrica muitas vezes é cara e nem sempre confiável devido a possíveis falhas no fornecimento.

Para os cálculos da previsão de retorno dos investimento (*payback*), considerou-se a tarifa mais alta do valor do quiloWatt hora registrado no Brasil (um real por kWh), aplicando a fórmula:

$$\textit{Payback simples} = \frac{\textit{Investimento inicial}}{\textit{Valor economizado por mês}}$$

Sendo assim:

Fazenda pequena:

$$\textit{Payback simples} = \frac{139.089,00 \textit{ reais}}{2.276,70 \textit{ reais por mês}} \cong 61 \textit{ meses}$$

Fazenda grande:

$$\textit{Payback simples} = \frac{805.754,00 \textit{ reais}}{14.945,00 \textit{ reais por mês}} \cong 54 \textit{ meses}$$

### 5.1 RESULTADOS OBTIDOS DA FAZENDA DE GRANDE PORTE

A partir do dimensionamento dos equipamentos que integram os sistemas fotovoltaicos *off-grid* obteve-se os resultados apresentados na Tabela 6, os quais indicam um custo total de R\$ 805.754,00.

**Tabela 6** - Resultados do dimensionamento dos equipamentos para fazendas de grande porte.

Equipamentos	Quantidade	Tensão	Potência	Potência total (kW)	Valor (R\$) individual	Valor (R\$)
Painel Solar	463	220V	340W	498,2	509,00	235.667,00
Baterias	326	24V	220Ah	-	1.699,00	553.874,00
Inversor de frequência	1	220V	30kW	30	16.213,00	16.213,00
Total						805.754,00

**Fonte:** Autores (2024).

Os resultados mostram como esse sistema pode ser viável financeiramente, tendo em vista a capacidade produtiva mensal da fazenda. No entanto, o valor inicial é relativamente alto, principalmente, pelo preço das baterias estacionárias, os quais representam mais de 68% do custo total, necessárias para suprir a demanda do consumo energético de todos os equipamentos da sala de ordenha.

Analisando os dados, estimou-se um investimento aproximado de meio milhão de reais, então, por conta desse investimento inicial, tornar o sistema fotovoltaico solar *on-grid* desta fazenda em sistema autônomo é desafiador, porém, é possível afirmar ser um projeto viável economicamente, considerando o alto valor produtivo mensal da fazenda.

A previsão de retorno do investimento (*payback*), chegou-se no resultado de aproximadamente 54 meses ou, 4 anos e 6 meses. Um período não tão longo quanto o retorno do investimento (*payback*) para a fazenda de pequeno porte, mas que por conta da elevada quantidade de equipamentos necessários para o pleno funcionamento do sistema, se torna um projeto não viável do ponto de vista técnico e operacional, sendo necessário uma mão de obra grande para conseguir uma manutenção recorrente, aumentando ainda mais os custos para a adoção desse sistema.

## 5.2 RESULTADOS OBTIDOS DA FAZENDA DE PEQUENO PORTE

Por meio de equações de dimensionamento dos equipamentos que integram os sistemas fotovoltaicos *off-grid* foi possível chegar nos seguintes resultados observados na Tabela 7.

**Tabela 7** - Resultados do dimensionamento dos equipamentos para fazendas de pequeno porte.

Equipamentos	Quantidade	Tensão	Potência	Potência total (kW)	Valor (R\$) individual	Valor (R\$)
Painel Solar	71	220V	340W	23,94	509,00	36.139,00
Baterias	50	24V	220Ah	-	1.699,00	84.950,00
Inversor de frequência	1	220V	7,3 kW	7,3	18.000,00	18.000,00
Total						139.089,00

**Fonte:** Autores (2024).

Analisando os dados para obter os resultados financeiros, foi possível observar que a quantidade de baterias diminuiu em aproximadamente 84,67% em comparação ao resultado do estudo de caso em uma fazenda leiteira de larga escala de produção. Tornando a proposta de atualização de sistema fotovoltaico solar *off-grid* em salas de ordenha um pouco mais viável em propriedades menores em relação às maiores, levando em consideração uma produção mensal proporcional ao tamanho da fazenda.

No caso das salas de ordenha, a energia precisa ser estável para que os equipamentos funcionem sem interrupções. Então, o sistema fotovoltaico *off-grid* surge como uma boa alternativa. Além disso, muitos sistemas mais antigos não conseguem acompanhar o aumento da demanda por energia que veio com a automação dos processos. Os resultados mostram que essa atualização tecnológica realmente fez diferença na eficiência energética.

A previsão de retorno do investimento (*payback*), chegou-se no resultado de aproximadamente 61 meses, ou, 5 anos e 1 mês. Apesar do *payback* ser maior, as

viabilidades técnica e operacional são melhores, pois, o número de placas, baterias e inversores são muito menores em relação à fazenda de grande porte, facilitando a instalação e manutenção desses equipamentos ao longo do ano.

### 5.3 DISCUSSÕES

Apesar dos bons resultados nas fazendas, foi possível encontrar algumas limitações, em dias com muitas nuvens, houve uma queda na eficiência, o que mostra a limitação natural dos sistemas fotovoltaicos nessas condições. Outro ponto é o custo inicial para comprar os equipamentos, que ficou bem alto, sendo uma barreira para produtores rurais menores que não possuem incentivo fiscal público. Mesmo com essas limitações, os resultados são promissores para quem quer usar sistemas fotovoltaicos *off-grid* em áreas rurais que exigem energia de confiança, como as salas de ordenha. O maior desafio prático ainda é o custo inicial, que pode não ser acessível para todos. O valor aumenta ainda mais para a fazenda de grande porte, principalmente por conta da manutenção que deve ser realizada recorrentemente ao longo dos anos. Do ponto de vista teórico, o sistema atualizado confirma os princípios da energia renovável, mas levanta a questão de como melhorar a captação de energia em regiões onde o índice de irradiação solar é mais baixo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que a proposta de atualização do sistema fotovoltaico *off-grid* em salas de ordenha representa uma importante contribuição para a modernização do setor agropecuário, especialmente na produção leiteira. Ao longo deste trabalho, foram discutidos vários aspectos importantes que justificam a implementação desse sistema, além de seus impactos econômicos, ambientais e operacionais.

O uso de um sistema fotovoltaico autônomo em salas de ordenha de pequeno porte proporciona operação sustentável, reduzindo a dependência de energia não renovável, diminuindo custos e emissões de gases de efeito estufa. A proposta de um sistema *off-grid* oferece autonomia energética, essencial para manter o funcionamento das máquinas e refrigeração, preservando a qualidade do leite. Apesar do alto investimento inicial, que pode exigir financiamentos, os benefícios econômicos a longo prazo são significativos, especialmente com incentivos governamentais como o programa Agro Energia. Para fazendas leiteiras de grande porte, os sistemas fotovoltaicos on-grid são mais viáveis devido ao menor custo e necessidade de manutenção.

Em conclusão, essa atualização do sistema abre espaço para novas pesquisas. Um caminho seria combinar essa tecnologia com outras fontes de energia, como a eólica, para dias com pouca luz solar, tornando o sistema solar *on-grid* em sistema híbrido. Também seria interessante desenvolver baterias mais duráveis e baratas, o que ajudaria a tornar o sistema mais acessível para pequenos produtores. Esses avanços podem mudar a forma como as áreas rurais lidam com a energia, incentivando ainda mais o uso de tecnologias sustentáveis no campo.

**Tabela 8** - Comparativo dos investimentos.

<b>Tipos de fazenda</b>	<b>Paineis fotovoltaicos (R\$)</b>	<b>Baterias (R\$)</b>	<b>Inversor (R\$)</b>	<b>Total</b>
Fazenda Grande	235.667,00	553.874,00	16.213,00	805.754,00
Fazenda Pequena	36.139,00	84.950,00	18.000,00	139.089,00

**Fonte:** Autores (2024).

**Tabela 9** - Comparativo *payback*.

<b>Tipo de fazenda</b>	<b><i>Payback</i> (meses)</b>	<b><i>Payback</i> (anos)</b>
Fazenda Grande	54	4,5
Fazenda Pequena	61	5

**Fonte:** Autores (2024).

## REFERÊNCIAS

AGROCERES MULTIMIX. **Novas tecnologias na produção de leite: ordenha robotizada.** 2019. Disponível em: <<https://agroceresmultimix.com.br/blog/novas-tecnologias-na-producao-de-leite-ordenha-robotizada/>>. Acesso em: 30 nov. 2024.

ALMEIDA, Pedro Machado de. **Condicionamento da Energia Solar Fotovoltaica para Sistemas Interligados à Rede Elétrica.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011. Disponível em: <<https://www2.ufjf.br/labsolar/files/2011/05/Condicionamento-da-Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2024.

ANDREOTTI, Ingeniero. **Plan Solar San Juan: fabricación de paneles solares con tecnología local.** 2013. Disponível em: <<https://ingenieroandreotti.blogspot.com/2013/01/plan-solar-san-juan-fabricacion-de.html?m=1>>. Acesso em: 6 dez. 2024.

APRENDAFÁCILE EDITORA. **Qual a melhor forma de realizar a ordenha manual na pecuária de leite.** 2024. Disponível em: <<https://www.afe.com.br/artigos/qual-a-melhor-forma-de-realizar-a-ordenha-manual-na-pecuaria-de-leite>>. Acesso em: 30 nov. 2024.

BASSOTTO, Leandro Carvalho. **Energia fotovoltaica: análise de custos de produção em propriedade leiteira de Minas Gerais.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) — Faculdade Mogiana, Agronegócio. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente - RAMA. Disponível em: <<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/9619>>. Acesso em: 02 out. 2024.

BLUESOL. **Introdução aos sistemas fotovoltaicos.** [S.l.]: [s.n.], 2016. Disponível em: <<https://idoc.pub/documents/idocpub-qn85xx2o12n1>>. Acesso em: 09 maio. 2024.

BORTOLOTO, V. A.; SOUZA, A. J.; GOIS, G.; MARTINS, M. A.; BERGHE, M. J.; MONTANHA, G. K. **Geração de energia solar on grid e off grid.** In: VI JORNACITEC - Jornada Científica e Tecnológica. 2017. Disponível em: <<https://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/view/1069>>. Acesso em: 02 out. 2024.

CAMÂRA, C. F.; **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** Disponível em: <[https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/07\\_monografia-carlos-fernando-camara.pdf](https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/07_monografia-carlos-fernando-camara.pdf)>. Monografia (especialização) — Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2011. Acesso em: 05 dez. 2024.

CRESESB. **Sundata.** Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 05 nov. 2024. Publicado em: 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética e Elétrica do Brasil.** 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 09 dez. 2024.

ENERGIASOLARTUR. **Energia solar on-grid.** 2023. Disponível em: <<https://energiasolar.tur.br/energia-solar-on-grid/>>. Acesso em: 30 nov. 2024.

FOTUS. **7 Passos Fáceis para Dimensionar um Projeto Fotovoltaico do Grupo B.** 2021. Disponível em: <<https://fotus.com.br/blog/7-passos-faceis-para-dimensionar-um-projeto-fotovoltaico-do-grupo-b/>>. Acesso em: 28 set. 2024.

JL COMÉRCIO DE BATERIAS. **Bateria Estacionária Moura 12MN500 12V 40Ah.** 2024. Disponível em: <<https://www.atacadaobaterias.com.br/produto/bateria-estacionaria-moura-nobreak-12mn45-45ah>>. Acesso em: 10 out. 2024.

LIGHTDROP HARVEST. **Behind the name. The Story of Harvesting Lightdrops.** Disponível em: <<https://www.lightdropharvest.com/behindthename.htm>>. Acesso em: 5 dez. 2024.

MICHELETTI, Igor Talarico da Silva; BELUSSO, Diane. **Desenvolvimento rural sustentável e a tecnologia fotovoltaica na região administrativa de Umuarama-PR.** 2022. Dissertação. Disponível em: <[https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao\\_ambiental/articlo/view/12406/5960](https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/articlo/view/12406/5960)>. Acesso em: 03 out. 2024.

MILKPOINT. **Uso da extração automática em equipamentos de ordenha.** 2024. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/canais-empresariais/delaval/uso-da-extracao-automatizada-em-equipamentos-de-ordenha-211801/>>. Acesso em: 30 nov. 2024.

MACHADO, Ricardo. **Projeto e implantação de usina solar fotovoltaica com módulos de tecnologia bifacial.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. p. 27.

NEOSOLAR. **Bateria estacionária Moura Solar 12MS234 220Ah.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-moura-solar-12ms234-220ah.html#:~:text=Com%20uma%20capacidade%20de%202244,energia%2C%20mesmo%20em%20altas%20temperaturas>>. Acesso em: 6 dez. 2024.

NEOSOLAR. **Placa Solar Fotovoltaica: Saiba Mais.** 2022. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/placa-solar-fotovoltaica>>. Acesso em: 03 out. 2024.

NEOSOLAR. **Tipos de Placa Solar.** 2022. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/placa-solar-fotovoltaica/tipos>>. Acesso em: 04 out. 2024.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** 2014. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6848038/mod\\_resource/content/2/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6848038/mod_resource/content/2/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em: 04 dez. 2024.

PINTO, Maria Raquel Elias. **Energia Solar Fotovoltaica: Aplicação na Produção Leiteira.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) — Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação – CECAU. Disponível em: <<https://monografias.ufop.br/handle/35400000/3709>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

PREFEITURA DE MISSAL. **Missal possui o 34º maior valor bruto de produção do estado do Paraná.** Disponível em: <<https://abrir.link/clquD>>. Acesso em: 5 dez. 2024. Publicado em: 2024.

PORTAL SOLAR. **Impactos Ambientais da Energia Solar.** 2014. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-impactos-ambientais>>. Acesso em: 22 set. 2024.

RR Motores e Bombas. **Inversor de Frequência Weg CFW500 4,3A 2CV 380/440V Trifásico.** 2024. Disponível em: <<https://www.rrbombasemotores.com.br/produtos/inversor-de-frequencia-weg-cfw500-43a-2cv-380-440v-trifasico-11575839/>>. Acesso em: 10 out. 2024.

RAPHAEL, Ellen; SILVA, Mariana Nascimento; SZOSTAK, Rodrigo; SCHIAVON, Marco Antônio; NOGUEIRA, Ana Flávia. **Células solares de perovskitas: uma nova tecnologia emergente.** Química Nova, v. 40, n. 1, p. 72-84, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/7fGqwHXzFZwLMr8X6vMhVZR/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 6 dez. 2024.

RÜTHER, Ricardo. **Energia Solar Fotovoltaica: Tecnologia e Meio Ambiente.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Disponível em: <<https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2024.

SANTOS, Caio César Carmo dos. **Agrivoltaica Animal: Painéis Solares, uma Alternativa Sustentável para o Sombreamento de Vacas Holandesas.** 2023. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/6e756cb8-4349-4af0-b526-557bd0b1b618>>. Acesso em: 26 set. 2024.

SANTOS, Priscila Carla dos. **Materiais semicondutores.** Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/2312850/materiais-semicondutores-2>>. Acesso em: 6 dez. 2024.

TRX Solar. **O que são os sistemas fotovoltaicos OffGrid?** 2019. Disponível em: <<https://loja.trxsolar.com1/loja/noticia.php?loja=655927&id=31>>. Acesso em: 04 dez.

2024.

VASCONCELLOS, Paulo Mário Bacariça. **Guia prático para o fazendeiro**. São Paulo: Nobel, 1983. 220 p.

VIEIRA, L. G. M. **Estado da arte em tecnologias de captação da energia solar para fins térmicos**. 2014. Disponível em: <<https://abrir.link/mxKvY>>. Acesso em: 05 dez. 2024.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012. 228 p.

60HZ ENERGIAS. **Controlador de Carga 30A PWM 12V/24V – ESOLAR**. 2024. Disponível em: <<https://60hz.com.br/produto/mp-controlador-de-carga-pwm-solar-30a-esolar/>>. Acesso em: 10 out. 2024.