



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE ENERGIA  
FOTOVOLTAICA EM PIVO CENTRAL**

CARMEN JUCELE DAGA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA-DF  
DEZEMBRO/2023**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE ENERGIA  
FOTOVOLTAICA EM PIVÔ CENTRAL**

CARMEN JUCELE DAGA

ORIENTADORA: DR<sup>a</sup> MAÍSA SANTOS JOAQUIM

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA-DF  
DEZEMBRO/2023**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE ENERGIA  
FOTOVOLTAICA EM PIVÔ CENTRAL**

CARMEN JUCELE DAGA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

---

Maísa Santos Joaquim, Dr<sup>a</sup>/FAV-UnB/Orientadora  
Email: maisajoaquim@unb.com

---

Álvaro Nogueira de Souza, Dr./FT-Unb/Membro Interno  
E-mail: alvarosouza@unb.com

---

Luiz Moreira Coelho Junior, Dr./UFPB/Membro Externo  
E-mail: luiz@cear.ufpb.br

Brasília/DF, 08 de dezembro de 2023.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Daga, Carmen Jucele

Análise da viabilidade financeira do uso de energia fotovoltaica em pivô central

/Carmen Daga; orientação: Maísa Santos Joaquim. – Brasília, 2023.

79 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2023.

1. Energia Solar 2. Valor Presente Líquido 3. Taxa Interna de Retorno 4. Taxa Interna de Retorno Modificada I. Joaquim, M.S. II. D.Sc.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Daga, C. J. **Análise da viabilidade financeira do uso de energia fotovoltaica em pivô central**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2023, 79 p. Dissertação de mestrado.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: CARMEN JUCELE DAGA

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PIVÔ CENTRAL.**

GRAU: Mestra ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

-----  
Nome: CARMEN JUCELE DAGA

Email: juceledaga@gmail.com

“A realidade é como é, não como desejamos que ela fosse.”

Maquiavel

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a todos aqueles que, de alguma forma, participaram para que esta dissertação se tornasse realidade. Aos meus filhos, Caio e Clara; ao meu marido Kadu; aos meus pais Waldir e Nelci; aos meus irmãos e as minhas amigas Daniela, Francis e Tais, pelo incentivo ao retorno a vida acadêmica.

Agradeço a minha orientadora Máisa por acreditar em mim mesmo quando eu mesma não acreditava. Por me incentivar durante o percurso até aqui, pela disponibilidade em sanar dúvidas, pelo conhecimento compartilhado, pelas críticas construtivas e pela colaboração na construção dessa dissertação.

Agradeço ainda a Faculdade de Agronomia e Veterinária (FAV) da Universidade de Brasília (UNB) por possibilitar o desenvolvimento deste trabalho e o apoio financeiro da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF).

## RESUMO GERAL

A agricultura brasileira desempenha um papel fundamental no fornecimento de alimentos para o mundo, e a adoção de sistemas de irrigação é essencial para aumentar a produtividade de forma sustentável. Um dos principais desafios para a expansão da agricultura irrigada no Brasil é a infraestrutura relacionada à energia elétrica, seja pela falta de disponibilidade, pela baixa qualidade ou pelo alto custo. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica surge como uma opção e financeiramente viável para a expansão da agricultura irrigada, reduzindo os gastos com energia e garantindo a autossuficiência energética. O trabalho é dividido em 3 capítulos: o primeiro trata-se do referencial teórico, o segundo consiste em um artigo de revisão bibliográfica sobre os principais índices utilizados para análise de energia fotovoltaica na agricultura e, por último, um artigo da análise de viabilidade financeira do uso de energia fotovoltaica para uso em pivô central no Estado do Goiás. Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade financeira da implementação de um conjunto de pivôs centrais utilizando energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural, para isso foram realizadas análises utilizando o Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Taxa Interna de Retorno Modificada e Benefício Periódico Equivalente. A escolha dos índices de viabilidade foi baseada nos achados de trabalhos semelhantes publicados entre os anos de 2018 a 2023 referente a temática de energia fotovoltaica na agricultura e foi utilizado o Método de Monte Carlo para análise de risco. No terceiro capítulo fez-se um estudo sobre a viabilidade financeira do uso de energia solar fotovoltaica para pivô central no estado do Goiás, além da EFV foi analisada, ainda, o uso de energia térmica (óleo diesel) e energia da concessionária. Conclui-se pelo presente trabalho que o uso de energia fotovoltaica para pivô central é viável financeiramente por apresentar valor presente líquido de R\$ 14.401.762,03, percebeu-se que a partir do 4º ano ocorre a inversão do fluxo de caixa de negativo para positivo e o BPE foi de R\$ 1.291.991,74. A TIR e a MTIR apresentaram valor de 36% e 18%, respectivamente, sendo superior ao valor da TMA de 12,75%. Após a análise de sensibilidade utilizando o Método Monte Carlo e utilizando os valores com probabilidade acima de 74% de ocorrência o resultado encontrado foi VPL de R\$ 19.074.982,12 e o valor da BPE foi de R\$ 1.711.229,46, a TIR e a MTIR encontradas foram de 46% e 19%, respectivamente, ratificando a viabilidade do presente estudo. Em relação às demais fontes de energia analisadas, todas apresentaram VPL maior que zero, sendo o EFV o que apresentou os melhores resultados, seguido pela energia elétrica e por último o óleo diesel.

**Palavras-Chave:** Energia Solar; Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Taxa Interna de Retorno Modificada; Benefício Periódico Equivalente.

## ABSTRACT

The Brazilian agriculture plays a crucial role in supplying food to the world, and the adoption of irrigation systems is essential for increasing productivity sustainably. One of the main challenges for expanding irrigated agriculture in Brazil is related to electrical infrastructure, whether due to lack of availability, low quality, or high cost. In this context, photovoltaic solar energy emerges as a financially viable option for expanding irrigated agriculture, reducing energy costs, and ensuring energy self-sufficiency. The work is divided into three chapters: the first covers the theoretical framework, the second consists of a literature review article on the main indices used for photovoltaic energy analysis in agriculture, and finally, an article on the financial feasibility analysis of using photovoltaic energy for central pivots in the State of Goiás. This study aims to evaluate the financial feasibility of implementing a set of central pivots using photovoltaic solar energy on a rural property. Analyses were conducted using Net Present Value, Internal Rate of Return, Modified Internal Rate of Return, and Equivalent Periodic Benefit. The choice of feasibility indices was based on findings from similar works published between 2018 and 2022 regarding photovoltaic energy in agriculture, and the Monte Carlo Method was used for risk analysis. In the third chapter, a study was conducted on the financial feasibility of using photovoltaic solar energy for central pivots in the state of Goiás. In addition to NPV, the use of thermal energy (diesel oil) and grid electricity was also analyzed. The present study concludes that the use of photovoltaic energy for central pivots is financially viable, with a net present value of R\$ 14,401,762.03. It was observed that from the 4th year onwards, there is a reversal of cash flow from negative to positive, with NPV reaching R\$ 1,291,991.74. The IRR and MIRR were 36% and 18%, respectively, higher than the TMA value of 12.75%, indicating that the project has financial attractiveness. After sensitivity analysis using the Monte Carlo Method and considering values with a probability of occurrence above 74%, the result was an NPV of R\$ 19,074,982.12. At the end of the planning horizon, the BPE value was R\$ 1,711,229.46, and the IRR and MIRR were 46% and 19%, respectively, making the investment project unattractive relative to the adopted TMA. Regarding other energy sources analyzed, all showed NPV greater than zero, with EFV yielding the best results, followed by grid electricity and diesel oil.

**Keywords:** Solar Energy; Net Present Value, Internal Rate of Return, Modified Internal Rate of Return; Equivalent Periodic Benefit.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Crescimento do mercado fotovoltaico – 2011-2021. <b>Fonte:</b> (REN21, 2022).....	14
<b>Figura 2</b> - Diagrama esquemático de Usina Solar Fotovoltaica. <b>Fonte:</b> (TESTEZLAF, 2011) .....	19
<b>Figura 3</b> - Diagrama esquemático de Usina Solar Fotovoltaica. <b>Fonte:</b> ALMEIDA, 2011 (adaptado). .....	21
<b>Figure 4</b> – Graphical Representation of Cash Flow. <b>Source:</b> Souza (2008).....	66
<b>Chart 1</b> – Energy Production Generated (KWh). <b>Source:</b> Partner Company.....	64
<b>Chart 2</b> – Equivalent Periodic Benefit Chart. <b>Source:</b> The author .....	71

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Resumo dos trabalhos referente ao uso de energia FV.....	26
<b>Tabela 2</b> - Estudo de viabilidade econômica do sistema fotovoltaico em armazéns.....	44
<b>Tabela 3</b> - Estudo do Valor Presente Líquido (VPL) .....	44
<b>Tabela 4</b> - Indicadores econômicos da utilização da energia tradicional e da fotovoltaica em pivô central. ....	45
<b>Tabela 5</b> - Índices apresentados nas análises dos trabalhos avaliados.....	49
<b>Tabela 6</b> – Cash Flow. ....	69
<b>Tabela 7</b> - Financial indicators for the use of Diesel, electrical energy and photovoltaic energy in a central pivot. ....	70

## SUMÁRIO

<b>1- INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
<b>2- HIPÓTESE</b> .....	13
<b>3- OBJETIVOS</b> .....	13
3.1- Objetivo geral .....	13
3.2- Objetivos específicos.....	13
<b>4- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
4.1 – Energia fotovoltaica no Brasil e no mundo .....	13
4.2- Uso de energia fotovoltaica na agricultura.....	15
4.2.1- Agrovoltáica .....	15
4.2.2 – Uso de energia solar fotovoltaica na irrigação .....	17
4.3- Sistema de irrigação por pivo central .....	19
4.4- O sistema fotovoltaico.....	20
4.5 – Análise de viabilidade financeira em energia solar fotovoltaica .....	22
4.5.1 - Fluxo de Caixa.....	22
4.5.2 - Indicadores de análise de investimento .....	23
<b>5 – ANÁLISE DE CENÁRIO UTILIZANDO MÉTODO MONTE CARLO</b> .....	26
<b>6- BIBLIOGRAFIA</b> .....	28
<b>CAPÍTULO II</b> .....	35
<b>1- INTRODUÇÃO</b> .....	36
<b>2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	37
2.1- Consumo de energia elétrica .....	37
2.2- Energia fotovoltaica no Brasil.....	38
2.3- Uso energia fotovoltaica no meio rural Brasileiro .....	38
<b>3- METODOLOGIA</b> .....	40
<b>4- RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41

<b>5- CONCLUSÃO</b> .....	51
<b>6- REFERÊNCIAS</b> .....	52
<b>CAPÍTULO III</b> .....	57
<b>1- INTRODUCTION</b> .....	59
<b>2- MATERIALS AND METHODS</b> .....	61
2.1- Data survey .....	62
2.1.1- <i>Location and Description of the Property</i> .....	62
2.1.2- <i>Crops</i> .....	62
2.1.3- <i>Irrigation System Sizing</i> .....	63
2.1.4- <i>Characteristics of energy generating systems</i> .....	63
2.1.5- <i>Photovoltaic System</i> .....	63
2.1.6- <i>Diesel Generator Set</i> .....	64
2.1.7- <i>Electric Energy from the Supplier</i> .....	65
2.2- Financial Viability Analysis .....	65
2.3- Monte Carlo Simulation Method.....	67
<b>4- RESULTS AND DISCUSSION</b> .....	68
5- CONCLUSIONS.....	72
<b>6- REFERENCES</b> .....	74

## 1- INTRODUÇÃO GERAL

A matriz energética vem evoluindo rapidamente ao longo dos séculos. O uso de fontes renováveis de energia predominou da pré-história até o século XVIII utilizando a força dos ventos, a energia hidráulica e a força muscular. A partir do século XVIII o uso de fontes não renováveis como o gás natural, o carvão mineral e o petróleo, foram as principais fontes geradores de energia elétrica mundial. (NOGUEIRA e CARDOSO, 2021).

O consumo de eletricidade está em constante crescimento, impulsionado pelo aumento da população mundial, urbanização, industrialização e avanços tecnológicos e varia a cada ano, em 2020 o consumo global de eletricidade atingiu cerca de 25.000 terawatts-hora (TWh), no Brasil esse consumo atingiu o patamar de 475.648 GWh no mesmo período. Mundialmente, mais de 70% da energia elétrica gerada é proveniente de fontes não renováveis principalmente do carvão mineral, menos de 30% é produzida a partir de fontes renováveis, sendo as hidroelétricas a principal fonte geradora (SIF, 2020; EPE b, 2023). O Energy Information Administration (EIA) projeta um crescimento na demanda por energia elétrica de 3,1% ao ano até 2050 e que as energias renováveis têm capacidade de se tornar 38% da fonte de energia disponível. (CAMPOS *et al.*, 2020). Dessa forma, a utilização da energia solar, aquela que transforma a luz solar em energia elétrica, vem se mostrando uma das melhores opções para suprir essa demanda de crescimento, uma vez que tal recurso energético proporciona vantagens econômicas, e ambientais, diminuindo a construções de novas barragens, termelétricas e usinas nucleares (SANTOS, 2021).

No Brasil, em 2011, foi instalada a primeira usina fotovoltaica com a capacidade de gerar 1 megawatt (MW) no Estado do Ceará (ORIGO ENERGIA, 2020). Em 2012, a potência instalada foi de 7 MW, já, em 2021 o Brasil alcançou a marca de 13.055 MW o que representa um crescimento de 65% em relação ao ano anterior, mesmo em meio a pandemia global. A evolução é tanta que em 2021 o país ocupou a 13ª posição no ranking de energia fotovoltaica (FV) da *Internation Renewable Energy Agency* (Absolar, 2022) e ocupa o 5º lugar de país que mais acrescentou capacidade solar FV em 2021 no mundo (REN21, 2022). Segundo dados da Absolar (2022) a geração de energia em propriedades rurais, utilizando tecnologia FV, representa 13% dos sistemas de energia instalada atualmente, no Brasil. Podendo chegar à capacidade instalada de 820 MW, essa participação deve crescer muito até 2050.

Diante desse cenário são inúmeros os estudos e aplicações da energia FV no meio rural, como exemplo, temos projeto de desenvolvimento de comunidades ribeirinhas na

Amazônia que fazem o uso da energia do sol para produzir e armazenar os produtos do extrativismo e pesca (MOTA et al, 2018). Outro exemplo de uso foi o relatado por LIMA *et al.* (2020) que consiste no desenvolvimento da agricultura familiar com a implantação, no município de Alcântara/MA, de um sistema FV que possibilitou a instalação e operacionalização do sistema de irrigação. Nesse mesmo sentido Campos *et al.* (2020) escreveu sobre sistema fotovoltaico de bombeamento para fins de irrigação na agricultura familiar no município de São Miguel do Guamá/PA. Também são relatados avanços tecnológicos como, por exemplo, o desenvolvimento do 1º pivô central do mundo alimentado 100% por energia solar fotovoltaica na cidade de Perdizes/MG. A usina fotovoltaica consegue manter os parâmetros de pressurização e a velocidade de um pivô com área irrigada de 96,4 hectares (CANAL SOLAR, 2020).

O Brasil possui papel primordial no fornecimento de alimentos para o mundo, sendo associada à nossa agricultura a responsabilidade de disponibilizar 40% da demanda mundial extra por alimentos dos próximos anos. Um dos maiores desafios da agricultura nesse sentido é fomentar esse crescimento de forma sustentável, em outras palavras, buscar formas de aumentar a produtividade tendo acréscimo mínimo de áreas novas. Na última década houve um aumento significativo na produtividade do setor agropecuário, e esse deve-se principalmente a incorporação de novas tecnologias pelo setor agropecuário brasileiro, impulsionado principalmente pela adoção de técnicas de irrigação, o que possibilita a colheita de até 3 safras anualmente, com maior produtividade e menor risco do que em condições de sequeiro (RODRIGUES e ZACARRIA, 2020).

Um dos principais problemas de infraestrutura que impedem a expansão da agricultura irrigada no Brasil está relacionado à energia elétrica, seja, pela indisponibilidade de energia para instalação de novos sistemas de irrigação, baixa qualidade da energia fornecida ou pelo alto custo. Nesse cenário, a justificativa desse trabalho é que a energia solar fotovoltaica tem a capacidade de ser uma fonte financeiramente viável para a expansão da área de agricultura irrigada no Brasil, diminuindo os gastos com energia, minimiza possibilidades de adicionais na conta de energia em períodos de estiagem prolongada, e gerando uma autossuficiência energética ao produtor rural.

## **2 - HIPÓTESE**

O uso da energia solar fotovoltaica com alternativa de fonte energética para um sistema de irrigação por pivô central minimiza os custos de produção, conseqüentemente gera maior receita.

## **3- OBJETIVO**

### **3.1- OBJETIVO GERAL**

Avaliar a viabilidade financeira da energia solar fotovoltaica para irrigação sob sistema de pivô central.

### **3.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar análise de sensibilidade com a utilização do Método Monte Carlo considerando cenários de incertezas da matriz energética fotovoltaica;
- Comparar as fontes energéticas (energia elétrica da concessionária, energia solar fotovoltaica e gerador a diesel) para sistemas de irrigação por pivôs centrais e determinar qual apresenta maior viabilidade financeira.

## **4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 – ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL E NO MUNDO**

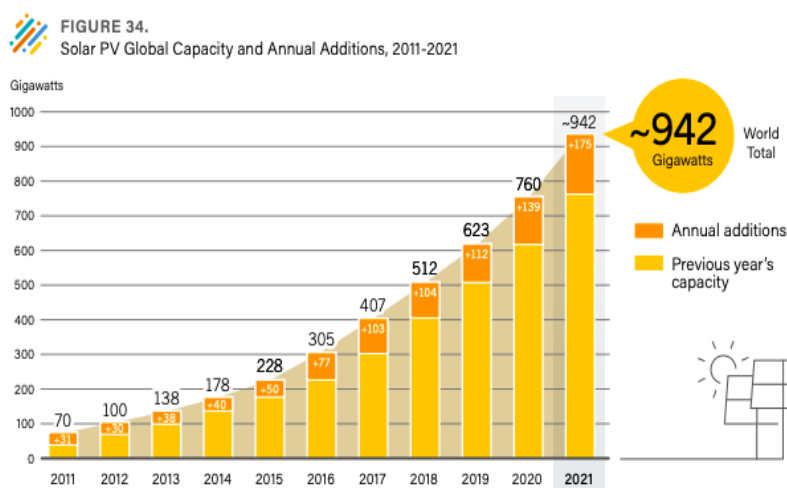
Em 1839, Edmond Becquerel observou que ao expor placas (feitas de platina ou prata) a um eletrólito, estas produziam uma pequena diferença de potencial ao receber luz solar, nascia assim o fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico. Mais tarde, no século XX, houve avanços científicos significativos, como a "Teoria do Efeito Fotoelétrico" desenvolvida por Albert Einstein, a teoria das bandas e a física dos semicondutores. Com base nessas descobertas, os inventores W. G. Adams e R. E. Day criaram um dispositivo sólido capaz de gerar eletricidade através da exposição à luz. Esses avanços científicos e tecnológicos pavimentaram o caminho para o desenvolvimento da energia fotovoltaica que utilizamos atualmente. (VALLÊRA e BRITO, 2006)

A primeira célula solar foi desenvolvida por Calvin Fuller, em 1953, que construiu uma barra de silício dopada com uma concentração baixa de gálio, que foi mergulhada em um

banho quente de lítio e na junção entre o silício e o lítio surgiu um campo elétrico permanente que ao ser exposta a luz gerava uma corrente elétrica. Após diversas tentativas Fuller substituiu o gálio por arsênio tendo uma célula fotovoltaica com 6% de eficiência. Desde a sua descoberta até os dias atuais as células fotovoltaicas passaram por diversos avanços e conseguiram atingir, em 2021, uma eficiência de 26,7% (VALLÊRA e BRITO, 2006; GREEN *et al.*, 2021)

O mercado mundial fotovoltaico vem crescendo exponencialmente nos últimos anos, atingindo, em 2021, conforme a Renewables 2022 Global Status Report (GRS), a capacidade total instalada de 942 GW um aumento de aproximadamente 25% em relação a 2020, conforme figura 1 (REN21, 2022).

**Figura 1** - Crescimento do mercado fotovoltaico – 2011-2021.



**Fonte:** (REN21, 2022)

O continente Asiático liderou pelo nono ano consecutivo, foi o continente com maior incremento, contribuindo com 52% das novas instalações solar fotovoltaico, seguido pelas Américas (21%) e Europa (17%) (CANAL SOLAR, 2022). China, Estados Unidos, Índia, Japão e Brasil nessa ordem, juntos representam 61% da capacidade (REN21, 2022). No Brasil, a primeira usina solar foi instalada em 2011 com a capacidade de geração de 1 megawatt (MW) no Estado do Ceará (AHISTORIA, 2020). Em 2012 a potência instalada foi de 7 MW, já em 2021 alcançamos a marca de 13.055 GW, representando um crescimento na ordem de 65% em relação a 2020, mesmo em meio à pandemia global (LUMENK, 2022). A evolução é tanta que em 2021 o país ocupou a 13ª posição no ranking de energia fotovoltaica da *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2022) e ocupa o 5º lugar de país que mais acrescentou capacidade solar fotovoltaica em 2021 no mundo. (REN21, 2022).



A estimativa do Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2050 é que a capacidade instalada de geração de energia solar atinja o patamar de 27 a 90 GW em 2050, evidenciando o importante papel na matriz elétrica brasileira, podendo representar de 5% a 16% da capacidade total instalada no país até 2050. (EPE, 2021). Segundo dados da ABSOLAR (2023), a geração de energia solar fotovoltaica em propriedades rurais utilizando painéis fotovoltaicos representa atualmente, no Brasil, algo em torno de 13% do total de UFV instalados, chegando à capacidade instalada de 820 MW. A mesma associação relata que essa participação era de apenas 5% há cinco anos, com projeção de crescer ainda mais nas próximas décadas. Estima-se que já existem cerca de 56 mil produtores rurais que geram a própria energia solar fotovoltaica em suas propriedades com investimentos superiores a 5 bilhões, e que até 2050 devam investir algo em torno de R\$ 140 bilhões na construção de novas usinas (ABSOLAR, 2022).

## **4.2- USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NA AGRICULTURA**

MARSHALL e BROCKWAY (2020) investigaram o consumo de energia na agricultura, aquicultura, pesca e silvicultura (sigla em inglês AAFF – Agriculture, Aquaculture, Fishing and Forestry System) para o período 1971-2017. Concluíram que, em 2017, a energia utilizada para produção de alimentos representa 20,8% do suprimento total de energia global.

### **4.2.1- Agrovoltaica**

Diante desse consumo de energia para produção de alimentos, a busca de energia alternativa e sustentável faz com que o uso de usinas fotovoltaicas agrícola, chamadas de agrovoltaicas, estejam ganhando cada vez mais interesse, apesar de terem sido desenvolvidas há mais de uma década. (REN21, 2022). O conceito de agrofotovoltaica (APV), agroPV ou ainda agrovoltaico, foi proposto por Goetzberger e Zastrow, em 1982, como meio de alterar as usinas solares para integrar a produção de energia e de culturas na mesma área. A ideia consistia em elevar as placas solares a 2 m do solo e aumentar o espaçamento entre elas para evitar o sombreamento excessivo das lavouras. (WESELEK, 2019)

Esse novo layout foi desenvolvido para amenizar a competição entre terras agricultáveis e usinas fotovoltaicas, geralmente os locais destinados as usinas de energia solar são classificadas como terras agrícolas, devido principalmente à incidência de luz e características topográficas (SEKIYAMA e NAGASHIMA, 2019). Essa competição acaba

inviabilizando a implantação de usinas fotovoltaicas em regiões densamente povoadas, áreas montanhosas e pequenas ilhas habitadas (ENERGIA3S, 2023).

Em 2004, no Japão, Akira Nagashima analisou o desenvolvimento de culturas abaixo dos módulos fotovoltaicos e desenvolveu a tecnologia “solar sharing” em tradução literal “compartilhamento solar”. Em 2014 a China instalou os primeiros sistemas agrovoltáticos de grande escala. A França foi o primeiro país europeu a apoiar sistematicamente a instalação do sistema agrovoltático a partir de 2017. (SEKIYAMA e NAGASHIMA, 2019)

O maior projeto agrovoltático do mundo foi concluído em 2021 com capacidade de produção de cerca de 1 GW e está localizado na China. Este projeto produz energia solar fotovoltaica consorciado a produção de goji berries, um ingrediente da medicina tradicional asiática (IMPERIO SOLAR, 2020). O projeto além da produção de energia limpa ainda retornou a agricultura em 107 mil quilômetros quadrados de terras consideradas desertificadas, até 2014. (SEKIYAMA e NAGASHIMA, 2019)

A maioria dessas usinas está localizada na Ásia, embora outros os países como Chile, Gâmbia e Mali possuam instalações consideráveis. Também é possível encontrar projetos na Europa, em países como França, Grécia, Holanda e Espanha, entre outros. (REN21, 2022). Segundo ALÉ (2021) no Brasil ainda não existem projetos agrovoltáticos voltados para a produção comercial em funcionamento. Em 2019, o primeiro projeto piloto de sistema agrovoltático foi desenvolvido por pesquisadores brasileiros em parceria com o CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Conduzido na escola de agroecologia SERTA em Pernambuco, o projeto integra os painéis fotovoltaicos, com reuso da água e criação de peixes, buscando a geração de alimentos e energia elétrica e com reutilização da água (LACERDA, 2020).

Outra iniciativa utilizando o agropv pode ser visto no Estado de Minas Gerais, um projeto entre a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e a Companhia de Energética de Minas Gerais (CEMIG) tem o objetivo de implantar seis projetos-pilotos de sistemas agrovoltáticos em Campos Experimentais da Epamig. (SEAPA-MG, 2021). Estamos iniciando a utilização dos sistemas agrovoltáticos, principalmente por sermos um país com dimensões continentais e não enfrentamos problema da competição entre as terras agricultáveis e as de terras para a instalação de usina solar convencional. Mas não se pode descartar esse sistema pois existem diversas aplicações possível como: viticultura solar, irrigação solar, granjas solares, estufas fotovoltaicas, aquicultura fotovoltaica. (AGROVOLTAIC,2021).

#### 4.2.2 – Uso de energia solar fotovoltaica na irrigação

O Brasil nos últimos 50 anos desenvolveu exponencialmente a produção agrícola, sendo na atualidade um grande fornecedor de alimentos devido principalmente ao desenvolvimento de tecnologia que conseguiu adaptar a produção agrícola a todas as regiões do país (CNA, 2020). Esse crescimento, em grande medida, se deve a expansão da agricultura no Cerrado. Em 1975, o bioma contribuía com apenas 18% da produção temporárias e permanentes, de alimentos no Brasil, já em 2015 essa contribuição foi de 41%. Um dos fatores que mais contribuíram nesse crescimento é a implantação de sistemas de irrigação (SANTANA *et al.*, 2020).

Dados do ANA (2021) demonstram que o Brasil, em 2021, possuía uma área irrigada de aproximadamente 8,2Mha e um potencial efetivo de 13,69 Mha no médio prazo. O bioma cerrado possui cerca de 73% da total área irrigado por sistema de pivô central, ou seja, aproximadamente 1,5Mha cultivado. O cerrado possui características edafoclimáticas bem definidas, tais como, solos profundos e bem drenados, relevo propício a mecanização e estações do ano bem definidos o que favorece o uso do sistema de pivô central (PAOLINELLI *et al.*, 2022). Isso juntamente com a disponibilidade e a qualidade de água e o acesso à energia de qualidade são fatores determinantes no uso da irrigação (RODRIGUES e DOMINGUES, 2017).

O uso da irrigação pode trazer diversos benefícios para o desenvolvimento da agricultura brasileira, tais como: incremento da produtividade em relação à agricultura de sequeiro podendo atingir até 3 vezes; redução do custo de produção; utilização de máquinas, implementos e mão-de-obra de forma otimizada; redução dos efeitos da sazonalidade climática na produção; entre outros. (BOAS, 2023). A energia utilizada para a irrigação pode ser obtida a partir da transformação de variados recursos, que podem ser de fontes não renováveis ou renováveis, tais como, hidráulica, eólica, solar e diesel (SENAR, 2019). Na atualidade, os pivôs centrais funcionam, majoritariamente, utilizando energia elétrica ou diesel (ASSAD, 2016). Diante da possibilidade de escassez de energia elétrica e possível aumento dos combustíveis fósseis, a busca por fontes alternativa de energia faz-se necessária para o setor agrícola. (TURCO *et al.*, 2009)

Das fontes energéticas renováveis disponíveis na atualidade, a fotovoltaica se destaca no cenário mundial dada as suas múltiplas aplicações e o baixo impacto ambiental (Alvarenga *et al.*, 2014). No Brasil, onde o sol brilha todos os dias na maior parte das regiões, o uso energia

solar fotovoltaica é uma alternativa renovável para locais onde a energia elétrica não está presente (De JESUS, 2021). Mundialmente diversos estudos estão sendo realizados com o intuito do uso dessa energia na irrigação.

Na cidade de Perdizes/MG, foi implantado o 1º pivô central do mundo alimentado 100% por energia solar fotovoltaica. A energia foi capaz de impulsionar uma bomba horizontal que puxa a água de uma represa e a disponibiliza para o pivô que consegue irrigar uma área de 96,4 hectares. A usina foi capaz de fornecer os parâmetros de pressurização do pivô e de velocidade das rodas por um período de 6 a 8 horas por dia (CANAL SOLAR, 2020). GUILLÉN-ARENAS et al (2022) desenvolveram um método que permite o ajuste e avaliação do desempenho do sistema autônomos de irrigação fotovoltaica com base na simulação de flutuações de tensão do sistema devido à passagem de nuvens.

BRUNING (2022) fez uma análise do uso de sistemas de energia fotovoltaicos “off-grid” para acionamento de sistemas de bombeamento para irrigação, por aspersão, de pequeno porte com potências de até 29,4kW. BOUKEBBOUS *et al.* (2021) instalaram um sistema de bombeamento fotovoltaico para fins de irrigação com o objetivo de investigar e avaliar seu desempenho sob diferentes condições meteorológicas reais na área semiárida do Ghardaia na Argélia. Os autores concluíram que o desempenho do sistema FV para o bombeamento d’água foi considerado muito satisfatório

VICENTE *et al.* (2021) conduziram um estudo sobre a viabilidade econômica do uso da energia fotovoltaica para irrigação em pequenas e médias propriedades nas regiões do Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas Gerais. GHASEMI-MOBTAKER et. al (2020) fizeram um estudo com objetivo de comparar o uso de energia solar fotovoltaico com energia térmica(diesel), em dois sistemas de irrigação, por superfície e por aspersão, no cultivo de cevada no Irã.

CARRÊLO *et al.* (2020) fizeram análise comparando a viabilidade econômica de 5 sistemas de irrigação movidos a EFV com as potências variando entre de 40 a 360 kWp na região do Mediterrâneo, no presente estudo os autores não consideraram a área irrigada por cada sistema, mas somente a troca da fonte energética. Em outro estudo, Sousa *et al.* (2019) fizeram um estudo com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central, área irrigada de 76,20 ha, no estado de Goiás, simulando a produção em sucessão, de soja, milho e tomate industrial consumindo 182.880 Kwh/ano. Nessa mesma temática, na Espanha foi quantificado os impactos ambientais e econômicos de sistemas fotovoltaicos *off-grid*, *on-grid* e gerador movido a diesel para a irrigação de uma plantação. Os

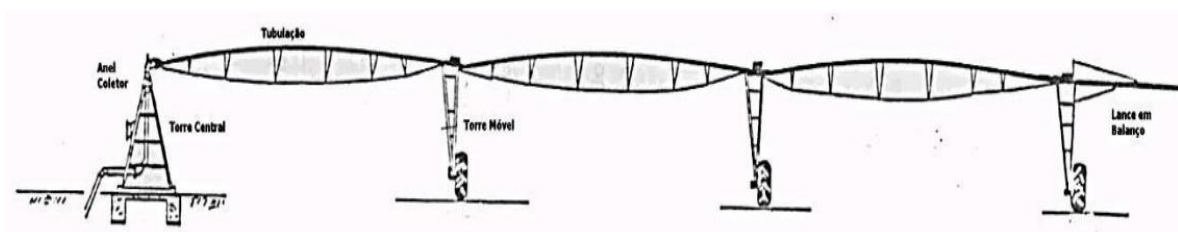
pesquisadores concluíram pela viabilidade ambiental e econômica do trabalho (GARCÍA et al, 2019).

### 4.3- SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR PIVO CENTRAL

Frank Zybach, em meados 1950, buscando alternativas para o trabalho braçal requerido nos sistemas de aspersão portáteis, inventou o primeiro sistema de pivô central (MARCHETTI, 1985). O primeiro equipamento foi instalado no Brasil em 1979, no município de Brotas, em São Paulo, com área irrigada de 76 ha (EMBRAPA, 2019). Em 2021, no Brasil, segundo levantamento realizado pela Embrapa Milho e Sorgo, existiam mais de 25.292 unidades de pivôs centrais, ocupando uma área de aproximadamente 1,6 Mha. Ainda segundo esse estudo, houve um crescimento de 9,25% da área equipada por pivôs no período de 2017-2020 (GUIMARÃES e LANDAU, 2020).

O pivô central é uma estrutura metálica, em forma de torre, montada sobre rodas e que gira em torno de um ponto central com a finalidade de fornecer água de forma eficiente para as plantações (Figura 2). Os principais componentes do pivô central são: torre central, tubo principais, caixa de controle, anel coletor, tubulação de distribuição, torres de sustentação, conjunto moto-redutor, junta flexível, lance final em balanço e aspersor ou canhão final (TESTEZLAF, 2011).

**Figura 2** - Diagrama esquemático de Usina Solar Fotovoltaica.



**Fonte:** (TESTEZLAF, 2011)

O sistema de pivô central é baseado em três etapas principais: a captação de água que compreende as etapas do bombeamento de água de fonte superficial ou subterrâneos até a torre central. A segunda etapa consiste na distribuição da água da torre central até os aspersores. E por último está a fase do processo é a distribuição de água pelos aspersores. (AEGRO, 2023).

No Brasil, predominam os pivôs fixos no terreno, mas há também pivôs rebocáveis, que possuem a torre central montada sobre rodas articuladas (EMBRAPA, 2019). Ambos possuem um funcionamento similar e possuem a torre localizada na região central a superfície irrigada possui forma circular. A diferença, e que no pivô fixo a torre central está ancorada em uma base de concreto, enquanto no pivô rebocável esta é montada sobre rodas, o que nesse último caso permite o transporte para outras áreas. Existe ainda o sistema de pivô lateral é formado por torres móveis que pode percorrer grandes áreas lineares (AEGRO, 2023). Existem ainda os sistemas lineares rebocáveis que permite irrigar múltiplas áreas com o mesmo equipamento.

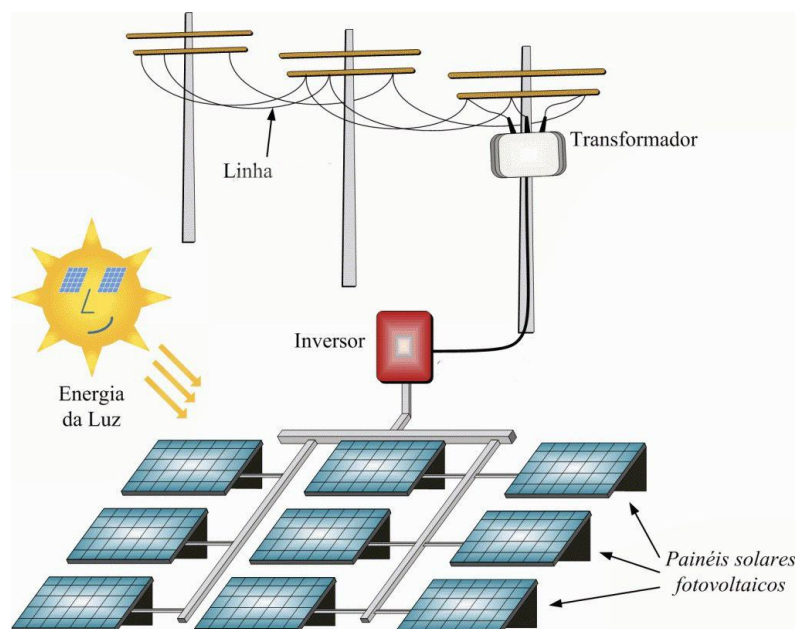
#### **4.4- O SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Segundo LANA *et al.* (2016) existem três tipos básicos de sistemas fotovoltaicos: Sistemas Isolados, Sistemas Híbridos, e os Sistemas Conectados à Rede. Os sistemas isolados são aqueles que não estão interligados à rede elétrica convencional. Os Sistemas Híbridos são sistemas em que há associação de outras fontes de geração ao fotovoltaico, como exemplo, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos o que irão garantir o fornecimento da energia na falta da radiação solar. Já os sistemas conectados à rede ou “*on-grid*”, são aqueles que trabalham conectados à rede elétrica o qual será descrito abaixo, pois será o sistema utilizado.

Um sistema fotovoltaico “*on-grid*” é constituído pelas seguintes partes: unidade geradora (módulos ou painéis solares), um inversor do tipo CC-CA e os sistemas de proteção (SILVA, 2019). A figura 3 representa um exemplo ilustrativo dos principais elementos de uma usina solar FV conectado à rede. A unidade geradora (painéis) é o elemento que faz a captação da irradiação solar e a converte em energia elétrica. Ele consiste em uma grande quantidade de células, normalmente de silício cristalino conectadas entre si. (VERRISSIMO, 2017).

Segundo RUIZ (2020) os módulos possuem diversas classificações. Podem ser classificados por tecnologia do material (monocristalino ou policristalinos), por quantidade de células (72 a 144 células). Por tecnologia *Passivated Emitter Rear Cell*(PERT) são mais finas e com uma camada adicional de passivação, módulos faciais (fazem a conversão em ambos os lado do módulo).

**Figura 3** - Diagrama esquemático de Usina Solar Fotovoltaica.



**Fonte:** ALMEIDA, 2011 (adaptado).

O Inversor é o equipamento responsável em fazer a conversão CC-CA, pois os módulos FV geram energia em corrente contínua – CC – (MWac) e a rede elétrica possui a capacidade de recebimento de energia em corrente alternada – CA – (MWp) (RUIZ, 2020). Segundo Medeiros (2021) existem duas tipos principais os microinversores e os Inversores convencionais (*on grid e off grid*) o que os diferencia é que esses podem ser conectados no máximo a 4 módulos, o que não ocorre no caso dos inversores convencionais.

Dependendo do inversor que se utiliza, é necessário a instalação de um dispositivo com o objetivo de proteger o inversor contra surtos de corrente contínua chamados de *String Box*. Este deve ser instalado antes do inversor e nele que se conecta os cabos dos módulos. Vale ressaltar que o próprio inversor já possui as proteções contra sub ou sobretensão, contra curto-circuito CA. Além dessas proteções, é recomendado que se instale dispositivos de proteção do tipo CA, como forma de evitar surtos (DPS's) e garantir a proteção termomagnética do circuito do inversor (AGUIAR, 2022).

Os módulos FV devem ser fixados em uma estrutura, em sistemas FV residenciais, normalmente, são instalados nos telhados com auxílio de trilhos que são fixados nas madeiras que sustentam o telhado (SOLAR GROUP, 2021). Para os sistemas que são instalados em solo,

existem estruturas que os fixa no solo geralmente blocos de concreto. (AGUIAR, 2022).

Segundo VERÍSSIMO (2017) os sistemas de fixação no solo ainda se dividem em: o sistema fixo ou estacionário formado por elementos lineares com estruturas de suporte formando as mesas (pilares e vigas). O sistema seguidor de um eixo que é formado geralmente por vigas e pilares, este sistema apresenta um eixo cilíndrico que promove a rotação das mesas na direção Leste-Oeste (zenital), ou na direção norte-sul (azimutal). E por último existe o seguidor de dois eixos, que possuem a capacidade de seguimento tanto azimutal quanto zenital, nesse caso a mesa é montando sobre um único eixo.

#### **4.5 – ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

A viabilidade financeira de um projeto é um processo que envolve a escolha e a avaliação das diversas alternativas tecnicamente viáveis, após relacionadas essas alternativas é que se faz a análise. Para auxílio na tomada de decisão, faz-se uso de indicadores de análise de investimentos. (SOUZA, 2008). A análise econômico-financeira requer a contabilização de todas as estimativas de valores que serão utilizadas na implantação do projeto, contabilizando todas as despesas com aquisição de equipamentos, e manutenções necessárias, bem como as receitas produzidas no período a ser analisado. Para, então, se montar o fluxo de caixa e compará-lo com as demais alternativas disponíveis para investimento, para finalmente se concluir sobre a viabilidade do projeto (SILVA, 2022).

##### **4.5.1 - Fluxo de Caixa**

Dos itens necessários à análise quantitativa da viabilidade de um investimento, o fluxo de caixa é considerado um fator relevante na tomada de decisão. Isso devido principalmente à confiabilidade e à exatidão dos fluxos de caixa estimados (KASSAI *et al.*, 2000). Segundo RUIZ (2021) o fluxo de caixa de um projeto de investimento deve considerar somente os fluxos incrementais – negativos ou positivos- para fins de cálculo de viabilidade econômica, ou seja, deverão ser considerados somente os fluxos adicionais do projeto de investimento em análise.



#### 4.5.2 - Indicadores de análise de investimento

Segundo MARQUEZAN E BRONDANI (2006) indicadores como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM) são utilizados na análise de investimento visando demonstrar a viabilidade de um único investimento ou, por meio da comparação, demonstrar qual entre dois ou mais investimentos será o de melhor retorno ou de retorno mais rápido.

O valor presente líquido é calculado pela projeção do fluxo de caixa gerado por um projeto ao longo de sua vida útil, trazido a valor presente com base no custo de oportunidade do capital utilizado e descontado o valor inicial. Portanto, recomenda-se o investimento sempre que o valor do VPL for igual ou maior que zero, neste caso os valores dos fluxos de caixas superam o valor investido corrigido pelo custo de oportunidade. (RUIZ, 2020)

A taxa interna de retorno é a taxa que torna o VPL de um fluxo de caixa igual a zero. Para efeitos de análise de projetos de investimento a comparação a ser realizada é da TIR com a TMA, sendo essa superior a aquela o projeto é financeiramente viável. (MARQUEZAN e BRONDANI,2006). Com o intuito de reduzir as distorções do cálculo da TIR utiliza-se a técnica da Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM), que tem a capacidade de reduzir as distorções, ao eliminar incertezas decorrentes das múltiplas raízes que a TIR apresenta (KASSAI *et al.*, 1999; NASCIMENTO, 2019). Para ser considerado financeiramente viável o TIRM tem que apresentar valor maior que a TMA (DA SILVA, 2022).

A taxa mínima de atratividade é a taxa com o menor grau de risco disponível para aplicação do capital em análise. (SOUZA,2008). Segundo Marquezan e Brondani (2006) a taxa mínima de atratividade pode ser entendida como o retorno esperado pelo capital investido em determinado projeto, sendo uma taxa percentual sobre o próprio investimento, por um determinado tempo. O Benefício Periódico Equivalente (BPE) é a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL da opção de investimento em análise ao longo de sua vida útil (CORDEIRO *et al.*, 2017).

REZENDE E OLIVEIRA (2013) afirmaram que o BPE é de fácil aplicação, por comparar projetos com horizontes diferentes e por ajustar o valor das receitas e custo por unidade de tempo é indicado para comparar projetos com horizontes diferentes, o BPE considera viável o projeto que apresentar valor positivo, ou seja, indicando que as receitas são maiores do que os custos. (HONÓRIO, 2020). A análise de viabilidade econômico-financeiro torna-se uma ferramenta imprescindível para auxiliar na tomada de decisão em investimento de

energia solar fotovoltaica (PEREIRA, 2017). Desta forma, diversos autores fazem estudo nessa temática.

CAMPOS *et al.* (2020) realizaram uma análise técnica e de custos de um sistema fotovoltaico de bombeamento para fins de irrigação na agricultura familiar no município de São Miguel do Guamá/PA e observaram que o investimento é considerado seguro e rentável para o pequeno produtor. Além disso, o estudo poderá ser um referencial teórico com informações técnicas sobre o sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação de baixo custo.

BASSOTTO *et al.* (2022) analisaram a rentabilidade de uma propriedade leiteira localizada na cidade Capitão Enéas, região Norte do Estado de Minas Gerais, com a implantação de uma miniusina de energia fotovoltaica. A análise financeira concluiu pela viabilidade financeira da miniusina por apresentar VPL positivo. Contudo, o investimento foi pouco atrativo, visto que a Taxa Interna de Retorno (TIR) foi aproximadamente 3% menor que à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) utilizada no estudo.

LIMA *et al.* (2020) relataram um projeto de extensão com o objetivo de desenvolver e implementar um sistema de irrigação alimentado por energia solar fotovoltaica, no município de Alcântara/MA e o uso da energia solar possibilitou a instalação e operacionalização do sistema de irrigação aumentando a capacidade e a qualidade da produção agrícola da população local, garantindo o uso eficiente da água.

Outro projeto piloto foi instalado nas Reservas Extrativistas (RESEX) do Ituxi e Médio Purus localizadas no município de Lábrea/AM, um dos municípios com a maior taxa de desmatamento do estado da Amazonia em 2018, tinha como objetivo o desenvolvimento regional, utilizando o acesso à energia renovável com forma de diversificar a produção sem derrubar a floresta. Dessa forma, a energia elétrica gerada pelo sol possibilitou a instalação kit uso produtivo (despolpadora), kit Freezer (sistema de refrigeração) entre outros. Com essa iniciativa, observou-se que o desenvolvimento de atividades produtivas com uso da energia solar é um exemplo de modelo de eletrificação rural que fortalece as comunidades das reservas extrativistas e ajuda na preservação da Floresta Amazônica, pois ao gerar renda com o extrativismo os moradores tendem a preservar a floresta (MOTA et al, 2018).

BRUNING (2022) fez uma análise da viabilidade técnica e econômica de sistemas de energia fotovoltaicos “*off-grid*” para acionamento de sistemas de bombeamento para irrigação por aspersão de pequeno porte com potências de até 29,4kW. O autor concluiu que os indicadores financeiros VPL, TIR e B/C apresentaram um comportamento crescente em relação ao aumento de potência, com valores de coeficiente de determinação superiores a 88%.

Chegando a valores de VPL para a potência de 15cv de R\$ 376.604,92 e TIR de 28%. A TIR foi maior que a TMA para todas as potências avaliadas no estudo, sendo o menor retorno obtido para o motor com potência de 1 cv com uma TIR de 10% e o maior retorno foi para o motor de 40 cv com uma TIR de 43%.

Em outro estudo, SOUSA *et al.* (2019) avaliaram a viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central, área irrigada de 76,20 ha, no estado de Goiás. Simulando a produção, em sucessão, de soja, milho e tomate industrial. O VPL encontrado foi de R\$ 3.124.551,22. O Lucro Médio descontado (LMd) com energia fotovoltaica representa, em média, receita mensal de R\$5.728,54 ha<sup>-1</sup> ano<sup>1</sup>. A TIR encontrada foi 4,83 vezes maior do que a TMA. A relação B/C é maior do que 1, o que pressupõe ganhos. Porém, os autores sugerem que esta implantação deva ocorrer, preferencialmente, quando o fornecimento de energia elétrica pelas distribuidoras tradicional não esteja estabelecido ou não seja adequado, visto que, o uso de energia FV acarretou um aumento no custo de produção de 9,98% e a lucratividade foi reduzida em 3,07%.

VICENTE *et al.* (2021) conduziram um estudo sobre a viabilidade econômica do uso da energia fotovoltaica para irrigação em pequenas e médias propriedades nas regiões do Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas Gerais. Para a análise de viabilidade econômica da energia fotovoltaica, foram adotadas sete potências, utilizando dados já disponíveis na literatura, de conjuntos fotovoltaicos 5; 7,5; 10; 15; 20; 30 e 40 kWp. Os autores concluíram que a viabilidade de investimento em energia fotovoltaica é diretamente proporcional ao potencial da geração de energia, e que o uso da energia das concessionárias mostrou-se mais viável do que a fotovoltaica quando utilizado o desconto de tarifa noturna,

SOUZA E GIMENES (2018) investigaram a viabilidade econômico-financeira do uso de energia solar fotovoltaica, sistema *on grid*, para produção hidropônica localizado na cidade Dourados/MS, composto por 7 estufas germinadas tipo arco, ocupando uma área de 0,5 ha. O VPL apurado foi de R\$ 109.261,83, valor maior do que zero indicando a viabilidade do projeto. A TIR apurada foi de 20,90% e a TIRM foi de 16,80% ambas apresentam valor superior a TMA calculada. O VAE também apresentou valor positivo e o IVP foi maior do que, mais uma vez, indicando a viabilidade do projeto. Dessa forma, os autores concluem pela viabilidade econômica do trabalho proposto. Abaixo apresento (tabela 1) resumo com os estudos empíricos ou estudos de caso, acima apresentado, referente ao uso de energia fotovoltaica no meio rural.

**Tabela 1 – Resumo dos trabalhos referente ao uso de energia FV.**

<b>Localização</b>	<b>Principal Uso Energia</b>	<b>Conclusões</b>	<b>Bibliografia</b>
São Miguel do Guamá/PA	Irrigação	Investimento Seguro e Rentável	CAMPOS <i>et al.</i> (2018)
Capitão Eneas/MG	Leiteira	A TIR encontrada foi aproximadamente 3% TMA	BASSOTTO (2022)
Alcântara/MA	Irrigação	Aumento da capacidade de produção agrícola da população	LIMA et al. (2020)
Lábrea/AM	Extravista/pesqueira	Desenvolvimento da comunidade extrativista	MOTA et al. (2018)
Rio Grande do Sul	Sistema autônomo para irrigação	Indicadores financeiros VPL, TIR e B/C, apresentaram um comportamento crescente em relação ao aumento de potência	BRUNING (2022)
Goiás	Pivô Central	VPL foi R\$ 3.124.551,22 TIR 33,85% e B/C 1,24	SOUSA <i>et al.</i> (2019)
Vale do Jequitinhonha/MG	Irrigação	Viabilidade de investimento FV e diretamente proporcional ao potencial da geração de energia. O uso da energia das concessionárias mostrou-se mais viável quando utilizado o desconto de tarifa noturna	VICENTE <i>et al.</i> (2021)
Dourados/MS	Produção Hidropônica	VPL 109.261,83, TIR 20,90%, TIRM 16,80%	SOUZA E GIMENES (2018)

**Fonte:** Autora

Nos trabalhos pesquisados que analisam a viabilidade econômica da energia fotovoltaica, observam-se a predominância da utilização dos métodos Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno. Corroborando, com os achados de FISCHER E ROSS (2021), que evidenciaram a importância da utilização destes métodos para estudos dessa temática.

## **5– ANÁLISE DE CENÁRIO UTILIZANDO MÉTODO MONTE CARLO**

Ao analisar a viabilidade econômica de um projeto deve-se evitar ter como base somente um único cenário estático, por isso o Método Monte Carlo é utilizado para análise em milhares de cenários simultaneamente. (RUIZ, 2020). O método Monte Carlo surgiu no ano de 1949, com o intuito de verificar a probabilidade da fissão dos átomos de urânio. Seu nome faz alusão à roleta (que resulta números aleatórios) do Cassino em Monte Carlo, por possuir natureza aleatória. O método é muito empregado nas mais diversas análises de estatística, bem

como para a tomada de decisão em análise de riscos e análise de viabilidade em projetos, pois é considerado uma ótima ferramenta para análise de cenários com incertezas (SCHRAM, 2019)

Segundo DAMASCENO SILVA (2020), o uso da ferramenta simulação de Monte Carlo é amplamente usada para a avaliação de projetos de energias renováveis. Como exemplo: estudar a capacidade de hospedagem fotovoltaica das redes de distribuição brasileiras (LIMA, 2020); para avaliar risco de instalação de SFV em empresa do setor alimentício (SILVA *et al.*, 2021); gerar mapas que representam áreas potenciais para usinas de energia solar Irã (SHORABEH *et al.*, 2019); desenvolver modelagem da potência solar fornecida pela geração distribuída (ROCHA *et al.*, 2022).

## 6 – BIBLIOGRAFIA

AEGRO. Pivô central: o que é, como funciona e quais as vantagens. 2023. **Blog Aegro**. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/pivo-central/>. Acesso em: 23 jun. de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF. 2ª ed. 130p. 2021 Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b> Acesso em: 15 jun. de 2023

AGROVOLTAIC. Energia Solar na Agricultura. **Agrovoltic**. 2021. Disponível em: <https://www.agrovoltic.com.br/in%C3%ADcio> Acesso em: 10 nov. de 2022.

AGUIAR, Bruno Andrade. Análise de viabilidade financeira de uma usina solar fotovoltaica localizada em Acarape-CE. 2022. 45 f. **Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará**, Fortaleza 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/65809>. Acesso em: 08 nov. de 2022.

ALÉ, Jorge Antonio Villar. Opportunity for Agrivoltaic in Brazil Vineyards. Solar Wind Thech: **Renewable Energy Publications**. 2021 *E-book*. Disponível em: <https://heyzine.com/flip-book/b6b05b9b00.html#page/2> Acesso em: 27 out. de 2022.

ALMEIDA, Pedro Machado. Condicionamento da Energia Solar Fotovoltaica para Sistemas Interligados à Rede Elétrica. **LABSOLAR**, 2011. Disponível em: <https://www.ufjf.br/labsolar/2011/05/26/condicionamento/> Acesso em: 05 nov. de 2022.

ALVARENGA, Alexandre Calheiros; FERREIRA, Vitor Hugo; FORTES, Márcio Zamboti. Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar. *Sinergia*, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 311-318, 2014.

ASSAD, Eduardo Delgado. **Eficiência do uso da água no Brasil: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global (relatório completo)**. 2016. Disponível: [https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/17725/Efici%C3%Aancia\\_do\\_Uso\\_da\\_%C3%81gua\\_no\\_Brasil\\_Sum%C3%A1rio\\_Executivo.pdf](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/17725/Efici%C3%Aancia_do_Uso_da_%C3%81gua_no_Brasil_Sum%C3%A1rio_Executivo.pdf). Acesso em: 15 jun. de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR (ABSOLAR). Com nova lei, agronegócio deve elevar investimentos em energia solar. **ABSOLAR** Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/com-nova-lei-agronegocio-deve-elevar-investimentos-em-energia-solar/>. Acesso em: 15 out. de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR (ABSOLAR). Panorama do solar fotovoltaico no Brasil e no mundo. **ABSOLAR** Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/> Acesso em: 14 jun. de 2023.

BASSOTTO, Leandro Carvalho *et al.* **Energia fotovoltaica: análise de custos de produção em propriedade leiteira de Minas Gerais**. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 15, n. 4, p. 1-16, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/9619>. Acesso em: 3 nov. de 2022.

BOAS PRÁTICAS AGRONOMICAS. **Irrigação, uma prática que aumenta a produtividade no campo**. 2023. Disponível em: <https://boaspraticasagronicas.com.br/boas-praticas/irrigacao/> Acesso em: 15 jun. de 2023.

BOUKEBBOUS, Seif Eddine *et al.* Experimental performance assessment of photovoltaic water pumping system for agricultural irrigation in semi-arid environment of Sebseb—Ghardaia, Algeria. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, p. 1-16, 2021.

BRUNING, Jhosefe. Energia fotovoltaica: análise técnica e econômica de sistema autônomo para irrigação. 2022. **Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria**. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/24637/TES\\_PPGEA\\_2022\\_BRUNING\\_JHOSEFE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/24637/TES_PPGEA_2022_BRUNING_JHOSEFE.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 20 mar. de 2023.

CAMPOS, Mayara Soares; BEZERRA, Fábio; DE ALCANTARA, Licinius Dimitri Sá. Análise de viabilidade técnica e econômica do sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/995/995>. Acesso em: 3 nov. de 2022.

CANAL SOLAR. **Energia solar cresce 25% no mundo, aponta REN21**. 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-cresce-25-no-mundo-aponta-ren21>. Acesso em: 26 out. de 2022.

CANAL SOLAR. **Primeiro pivô do mundo acionado exclusivamente por energia solar é lançado no Brasil**. 2020. Disponível: <https://canalsolar.com.br/primeiro-pivo-do-mundo-acionado-exclusivamente-por-energia-solar-e-lancado-no-brasil/>. Acesso em: 05 nov. de 2022.

CARRÊLO, Isaac Barata *et al.* Comparative analysis of the economic feasibility of five large-power photovoltaic irrigation systems in the Mediterranean region. **Renewable Energy**, v. 145, p. 2671-2682, 2020.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Panorama do Agro**.2020. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>. Acesso em: 13 jul. de 2022.

CORDEIRO, Sidney Araujo *et al.* **Simulação da variação do espaçamento na viabilidade econômica de um sistema agroflorestal**. **Floresta e Ambiente**, v. 25, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/CsrjD5XqJdyWXgzHJzQpJch/?lang=pt>. Acesso em: 23 jun. de 2023.

DA SILVA, Marcos Antônio *et al.* Energia fotovoltaica na agricultura familiar: Um estudo de caso na região de Dourados-MS. **Informe GEPEC**, v. 26, n. 2, p. 69-86, 2022.

DAMASCENO SILVA (org). Subtemas e enfoques na sustentabilidade 2. Ponta Grossa, PR: **Atena Editora**, 2020. Cap. 4, p. 41-51.

DE JESUS, Aurea Messias *et al.* Sistema de automatização para irrigação de uma horta a partir da energia fotovoltaica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 53478-53493, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1121226/levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-no-brasil>. Acesso em: 24 jun. de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Relatório Final do PNE 2050**. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf#search=pde%202050>. Acesso em: 27 out. de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021 b. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio\\_2021.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf). Acesso em 15 jun. de 2023

ENERGIA3S. **Sistemas agrivoltaicos: integrando agricultura e energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://energia3s.com.br/sistemas-agrivoltaicos-integrando-agricultura-e-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

FISCHER, Hayla Alves; ROOS, Cristiano. Viabilidade Econômica de sistemas fotovoltaicos aplicados a pivôs de irrigação. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP**, 41., 2021, Foz do Iguaçu. Anais [...] Rio de Janeiro: Abepro, 2021. p. 1-15.

GARCÍA, A. Mérida *et al.* Comparing the environmental and economic impacts of on-or off-grid solar photovoltaics with traditional energy sources for rural irrigation systems. **Renewable Energy**, v. 140, p. 895-904, 2019.

GHASEMI-MOBTAKER, Hassan *et al.* Application of photovoltaic system to modify energy use, environmental damages and cumulative exergy demand of two irrigation systems-A case study: Barley production of Iran. **Renewable Energy**, v. 160, p. 1316-1334, 2020.

GREEN, Martin A. *et al.* Solar cell efficiency tables (Version 58). **Progress in Photovoltaics: Research and applications**, v. 29, n. NREL/JA-5900-80028, 2021.

GUILLEN-ARENAS, Francisco Jesús; FERNÁNDEZ-RAMOS, José; NARVARTE, Luis. A New Strategy for PI Tuning in Photovoltaic Irrigation Systems Based on Simulation of System Voltage Fluctuations Due to Passing Clouds. **Energies**, v. 15, n. 19, p. 7191.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Georreferenciamento dos pivôs centrais de irrigação no Brasil: ano base 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1128368/georreferenciamento-dos-pivos-centrais-de-irrigacao-no-brasil-ano-base-2020#:~:text=Foi%20realizado%20levantamento%20nacional%20das,1.612.617%2C3%20ha>. Acesso em: 24 jun. de 2023.

HONÓRIO, Israel Rodrigues. Viabilidade econômica da produção de Moringa oleifera em sistemas agroflorestais: observações técnicas e simulação econômica. 2019. ix, 54 f., il. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) Universidade de Brasília**, Brasília, 2019. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/24921> Acesso em: 23 jun. de 2023.

IMPERIO SOLAR. Huawei promove maior sistema agrofotovoltaico do mundo. **Império Solar**, 2020. Disponível em: <https://imperiosolar.com.br/huawei-promove-maior-sistema-agrofotovoltaico-do-mundo/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGYI (IRENA). **Renewable Capacity Statistics**. 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022> Acesso em: 25 out. de 2022.



KASSAI, J. R. *et al.* Retorno de Investimento: Abordagem matemática e contábil do lucro empresarial. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000. ISBN 85-224-2551-5. apud LIVRAMENTO, Matheus Murilo *et al.* Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico integrado a um supermercado. 2022. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/242507/TCC\\_MatheusMuriloLivramento.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/242507/TCC_MatheusMuriloLivramento.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Acesso em: 20 out. de 2022.

LACERDA, Francinete Francis *et al.* O Projeto Ecolume: O paradigma da abundância na convivência com o clima semiárido no Nordeste brasileiro. **Revista Fitos** 2020.

LANA, L. T. C. *et al.* Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica. **Engenharias On-line**, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2016.

LIMA, Marcel Soares *et al.* Agricultura Familiar: sistema de irrigação autônomo a partir de energia solar fotovoltaica. **Revista Alcântara em Foco**, v. 1, n. 1, p. 47-50, 2020.

LIMA, Roger Hatwig. Metodologia para análise de impactos associados a elevada inserção de microgeração fotovoltaica em redes secundárias de distribuição. Dissertação (Mestrado) **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria/RS 2020.** Disponível em [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/22630/DIS\\_PPGE\\_2020\\_LIMA\\_ROGER.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/22630/DIS_PPGE_2020_LIMA_ROGER.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Acesso em: 23 jun. de 2023.

LUMENK. **Brasil é 4º país que mais cresceu em energia solar em 2021.** Disponível em: <http://lumenk.com.br/blog/brasil-e-4-o-pais-que-mais-cresceu-em-energia-solar-em-2021/> Acesso em: 26 out. de 2022.

MARCHETTI, D. **Irrigação por pivô central.** 1983. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/92443/1/Irigacaooporpivocentral.pdf>, Acesso em: 23 de jun. de 2023.

MARQUEZAN, Luiz Henrique Figueira; BRONDANI, Gilberto. Análise de investimentos. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, v. 3, n. 1, p. 35-35, 2006.

MARSHALL, Zeke; BROCKWAY, Paul E. A Net Energy Analysis of the Global Agriculture, Aquaculture, Fishing and Forestry System. **Biophysical Economics and Sustainability**, v. 5, n. 2, p. 1-27, 2020.

MEDEIROS, Mateus Landim. Análise de viabilidade de implementação de um sistema de geração de energia fotovoltaica em propriedade rural. **Trabalho Final de Curso (bacharel) em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás.** Goiânia/GO 2021. Disponível em <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3217/1/AN%c3%81LISE%20DE%20VIABILIDADE%20DE%20IMPLEMENTA%c3%87%c3%83O%20DE%20UM%20SISTEMA%20DE%20GERA%c3%87%c3%83O%20DE%20ENERGIA%20FOTOVOLTAICA%20EM%20PROPRIIDADE%20RURAL.pdf> Acesso em: 09 nov. de 2022.

MOTA MATHYAS, Alessandra; SOUZA, Aurelio De Andrade; CASSARES, Mauricio Andrés Rodríguez. Energia solar potencializa produção extrativista na Amazônia In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS** 2018. 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/561/561> Acesso em: 09 nov. de 2022.

NASCIMENTO, Mario Elias Carvalho. Avaliação econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para empreendimentos do agronegócio. 2019. 104 f. **Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do**

**Paraná**, Cascavel, 2019. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/4243>. Acessado em 13 mar. de 2023.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; CARDOSO, Rafael Balbino. Perspectivas da Matriz Energética mundial e no Brasil. **O Setor Elétrico**, v. 1, p. 32-43, 2007.

ORIGO ENERGIA. **A história da energia solar no Brasil**. Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/energia/a-historia-da-energia-solar-no-brasil/#:~:text=No%20entanto%2C%20a%20primeira%20usina,extremamente%20relevante%20para%20a%20C3%A9poca>. Acesso em: 25 out. de 2022.

PAOLINELLI, Alysson; DOURADO NETO, Durval; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Agricultura irrigada no Brasil: inovação, empreendedorismo e sistemas de produção**. **ABID**. 2022. Disponível em: [https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/4.Agricultura\\_Irigada\\_no\\_Brasil-ci%C3%Aancia\\_e\\_tecnologia.pdf](https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/4.Agricultura_Irigada_no_Brasil-ci%C3%Aancia_e_tecnologia.pdf). Acesso em: 14 jun. de 2023.

PEREIRA, Antônio Carlos Martins. Análise de viabilidade econômica na implantação de sistema de energia solar fotovoltaico em uma cooperativa agrícola. **Monografia. Título de Especialista em Contabilidade e Finanças da Universidade Federal do Paraná**. Curitiba/PR. 46p. 2017. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/68574/R%20-%20E%20-%20ANTONIO%20CARLOS%20MARTINS%20PEREIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 03 nov. de 2022.

REN21. **Global Status Report 2022: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**. [Online]. 2022. Disponível em: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf). Acesso em: 26 out. de 2022.

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A. D. Análise econômica e social de projetos florestais. Viçosa: Editora UFV. 325 2013. 389p apud HONÓRIO, Israel Rodrigues. Viabilidade econômica da produção de Moringa oleífera em sistemas agroflorestais: observações técnicas e simulação econômica. 2019. ix, 54 f., il. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) —Universidade de Brasília**, Brasília, 2019. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/24921> Acesso em: 23 jun. de 2023.

ROCHA, Larissa Guimarães; MEDEIROS, Marcos Oliveira; DE LIMA PEREIRA, Luan Diego. Modelagem e Previsão da Geração de Potência Fotovoltaica no Município de Teófilo Otoni. **Multifaces: Revista de Ciência, Tecnologia e Educação**, v. 4, n. 1, p. 38-51, 2022.

RODRIGUES, L. N.; ZACCARIA, D. Agricultura Irrigada: um breve olhar. 2020. Fortaleza: **Inovagri**, 2020. 377p

RODRIGUES, L.N.; DOMINGUES, A.F. Agricultura Irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. 1.ed. Brasília, DF: **Embrapa Cerrados**, 2017.

RUIZ, Eduardo Tobias N. F. (org.) Análise de investimento em projetos de energia solar fotovoltaica: geração centralizada, 2. **Ed Campinas/SP: Alinea**, 2021 ISBN 978-655755-0328.

SANTANA, Carlos Augusto Mattos *et al.* **Cerrado: pilar da agricultura brasileira**. 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1121866/1/Cerrado-pilar-da-agricultura-brasileira.pdf>. Acesso em: 16 jun. de 2023.

SANTOS, Fabiana S. F. dos. Estudo comparativo da energia fotovoltaica aplicada na agricultura. **TCC Bacharel em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Goiano**. Rio Verde. 74p. 2021.

SCHRAM, Igor Bertolino. Sensibilidade do custo da energia elétrica fotovoltaica no Brasil utilizando o método de Monte Carlo. **Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná**, Cascavel, 2019. 103p.

SECRETÁRIA DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (SEAPA-MG). **EPAMIG e CEMIG desenvolvem projeto para testar geração de energia elétrica agrovoltáica em Minas**. 2021. Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/index.php/programa-alem-da-fronteira/story/4386-epamig-e-cemig-desenvolvem-projeto-para-testar-geracao-de-energia-eletrica-agrovoltáica-em-minas>. Acesso em: 27 out. de 2022.

SEKIYAMA, Takashi; NAGASHIMA, Akira. Solar sharing for both food and clean energy production: Performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade-intolerant crop. **Environments**, v. 6, n. 6, p. 65, 2019.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). Irrigação: gestão de água e energia elétrica. Brasília: **Senar**, 2019. 84 p. (Coleção Senar, 255). Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/255-IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: 15 jun. de 2023.

SHORABEH, Saman Nadizadeh *et al.* A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran. **Renewable Energy**, v. 143, p. 958-973, 2019.

SILVA, Euler dos Santos. Análise da viabilidade econômico-financeira da produção de cenoura (*Daucus carota* subsp. *Sativus*) no município de Macaíba/RN. 2022. **Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba/RN**. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46628/1/ViabilidadeEcon%c3%b4micaCenoura\\_Silva\\_2022.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46628/1/ViabilidadeEcon%c3%b4micaCenoura_Silva_2022.pdf) Acesso em: 08 nov. de 2022.

SILVA, Herik Roberto Rodrigues. Energia solar fotovoltaica: dimensionamento de umamicro usina para propriedade rural modelo na cidade de Pau dos Ferros-RN. 2019. **Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Pau dos Ferros-RN**. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6274> Acesso em: 07 de nov. de 2022.

SILVA, T. R *et al.* Análise de viabilidade de Usinas Fotovoltaicas no Contexto da Geração Distribuída: Um Estudo de caso para uma empresa do setor alimentício In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP**, 41., 2021, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Rio de Janeiro: Abepro, 2021. p. 1-14.

SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÕES FLORESTAIS (SIF). **Panorama mundial da produção e consumo de energia elétrica e a participação do setor florestal brasileiro**. 2020. Disponível em: [https://sif.org.br/2020/05/panorama-mundial-da-producao-e-consumo-de-energia-eletrica-e-a-participacao-do-setor-florestalbrasileiro/#:~:text=A%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20el%C3%A9trica,%2C%2038%25%20do%20total%20gerado\\_](https://sif.org.br/2020/05/panorama-mundial-da-producao-e-consumo-de-energia-eletrica-e-a-participacao-do-setor-florestalbrasileiro/#:~:text=A%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20el%C3%A9trica,%2C%2038%25%20do%20total%20gerado_) Acesso em: 20 mar. de 2023.

SOLAR GROUP. **Especificação das estruturas de fixação**. 2021. Disponível em: <https://solargroup.com.br/saiba-mais/especificacao-das-estruturas-de-fixacao/> Acesso em: 07 nov. de 2022.

SOUSA, M. A., Júnior, J. A., Evangelista, A. W. P., Casaroli, D., & Mesquita, M. (2019). Nota técnica: estimativa de viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central no estado de Goiás. **Revista Engenharia na Agricultura**, 27(1), 22-29.

SOUZA, Alceu. Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: Fundamentos, Técnicas e Aplicações: Grupo GEN, 2008. E-book. ISBN 9788597023466. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597023466/>. Acesso em: 08 nov. de 2022.

SOUZA, S. V.; GIMENES, R. M. T. Viabilidade Econômica da utilização de energia solar em sistemas de produção hidropônica. Informe GEPEC, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 27–45, 2019. DOI: 10.48075/igepec.v22i2.19901. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/19901/13800>. Acesso em: 20 mar. de 2023.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. 2011. Disponível em: [https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/testezlaf\\_irrigacao\\_metodos\\_sistemas\\_aplicacoes\\_2017.pdf](https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/testezlaf_irrigacao_metodos_sistemas_aplicacoes_2017.pdf). Acesso em: 24 jun. de 2023.

TURCO, José EP; RIZZATTI, Gilcileia dos S.; PAVANI, Luiz C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 311-320, 2009.

VALLÊRA, Antônio M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, v. 1, n. 2, p. 17, 2006.

VERÍSSIMO, Pedro Henrique Alves. Avaliação de uma usina solar fotovoltaica comparando diferentes topologias de sistemas de fixação utilizando duas diferentes tecnologias FV. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**, Florianópolis, 2017. Disponível em: [https://fotovoltaica.ufsc.br/Dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_Pedro\\_Verissimo.pdf](https://fotovoltaica.ufsc.br/Dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Pedro_Verissimo.pdf). Acesso em: 09 nov. de 2022.

VICENTE, Marcelo Rossi *et al.* Viabilidade Econômica da energia fotovoltaica para irrigantes no norte de Minas Gerais e Vale do Jequitinhonha. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, 36(1), 58-71. 2021.

WESELEK, Axel *et al.* Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. **A review. Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, n. 4, p. 1-20, 2019.

## CAPÍTULO II

### **Principais métodos de análise de viabilidade financeira de sistemas fotovoltaicos aplicados a agropecuária - Revisão Bibliográfica Sistemática**

### **Main methods for analyzing the financial feasibility of photovoltaic systems applied to agriculture - Systematic Literature Review**

**Resumo:** O consumo global de energia elétrica tem crescido constantemente, com uma projeção de aumento de 3,1% ao ano até 2050. As energias renováveis, especialmente a solar e a eólica, podem fornecer 38% da energia necessária, contrastando com o atual cenário onde 80% da matriz energética global é proveniente de fonte não renovável. A energia solar fotovoltaica (FV) tem ganhado espaço nesse contexto, com o setor rural ocupando a terceira posição em número de conexões e potências instaladas no país. Há diversos exemplos de aplicação bem-sucedida da energia FV no meio rural, incluindo o desenvolvimento de comunidades ribeirinhas na Amazônia, a implantação de sistemas de irrigação, na pecuária leiteira, na bovinocultura de corte. Nesse contexto, o presente estudo consistiu em investigar, por meio de revisão bibliográfica sistemática, os principais métodos de análise de viabilidade econômica de sistemas FV aplicados a agropecuária. Observa-se que para a análise financeira do uso da energia fotovoltaica, os métodos mais utilizados são o *valor presente líquido*, a *taxa interna de retorno* e o *Payback* (simples e/ou descontado), além disso, também foram utilizados outros métodos para ratificar, corroborar com os resultados apresentados por estes métodos.

**Palavras-chave:** agricultura, energia renovável, energia solar.

**Abstract:** Global electricity consumption has been steadily increasing, with a projected annual growth rate of 3.1% until 2050. Renewable energies, especially solar and wind power, can provide 38% of the required energy, contrasting with the current scenario where 80% of the global energy matrix comes from non-renewable sources. Solar photovoltaic (PV) energy has gained momentum in this context, with the rural sector ranking third in terms of connections and installed capacities in the country. There are several examples of successful PV energy

applications in rural areas, including the development of riverside communities in the Amazon, the implementation of irrigation systems, dairy farming, and beef cattle farming. In this context, this study aimed to investigate, through a systematic literature review, the main methods for analyzing the economic feasibility of PV systems applied to agriculture. It was observed that the most commonly used methods for financial analysis of PV energy utilization are net present value, internal rate of return, and payback (simple and/or discounted). Additionally, other methods were also used to support and corroborate the results obtained by these methods.

**Keywords:** agriculture, renewable energy, solar energy.

**JEL Classification:** Q42

## 1 - INTRODUÇÃO

A matriz energética vem evoluindo rapidamente ao longo dos séculos. O uso de fontes renováveis de energia predominou da pré-história até o século XVIII utilizando a força dos ventos, a energia hidráulica e a força muscular. A partir do século XVIII até a atualidade predominou o uso de fontes não renováveis como o carvão mineral, o gás natural e o petróleo, são as principais fontes geradores de energia elétrica mundial. (Alcoforado, 2021).

O consumo de eletricidade está em constante crescimento, impulsionado pelo aumento da população mundial, urbanização, industrialização e avanços tecnológicos e varia a cada ano, em 2020 o consumo global de eletricidade atingiu cerca de 25.000 terawatts-hora (TWh). Mundialmente, mais de 70% da energia elétrica gerada é proveniente de fontes não renováveis principalmente do carvão mineral, menos de 30% é produzida a partir de fontes renováveis sendo as hidroelétricas a principal fonte geradora (SIF, 2023). O Energy Information Administration (EIA) projeta um crescimento na demanda por energia elétrica de 3,1% ao ano até 2050 e que, as energias renováveis têm capacidade de se tornar 38% da fonte de energia disponível. (Campos *et al.*, 2020).

Dessa forma, a utilização da energia solar, aquela que transforma a luz solar em energia elétrica, vem se mostrando uma das melhores opções para suprir essa demanda de crescimento,

uma vez que, tal recurso energético proporciona vantagens econômicas, e ambientais, diminuindo a construções de novas barragens, termelétricas e usinas nucleares (Santos et. al, 2021). Segundo dados da Absolar (2022a), a geração de energia em propriedades rurais, utilizando tecnologia FV, representa 13% dos sistemas de energia instalada atualmente, no Brasil. Podendo chegar à capacidade instalada de 820 MW, essa participação deve crescer muito até 2050.

Pereira (2017) afirma que a tomada de decisão em investimentos em EFV deve ser baseada em estudos de viabilidade financeiro-econômico principalmente por ser uma tecnologia com alto custo de aquisição. Nesse sentido, o presente estudo consistiu em investigar, por meio de Revisão Bibliográfica Sistemática, os principais métodos de análise de viabilidade econômica de sistemas FV aplicados a agropecuária. Espera-se ao final deste conhecer quais os métodos de análise de investimentos que estão sendo utilizados para analisar a tecnologia de fotovoltaica sob a ótica econômica-financeira.

## **2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Consumo de energia elétrica**

O consumo mundial de energia elétrica aumentou de forma constante nas últimas décadas. Segundo projeção do Energy Information Administration (EIA), até 2050, haverá um crescimento na demanda por energia elétrica de 3,1% ao ano. Ainda segundo o EIA as energias renováveis, solar e eólica, tem capacidade de fornecer 38% da fonte de energia total necessária, alterando o cenário atual em que as fontes não-renováveis representam 80% da matriz elétrica do mundo. (Turiel, 2022)

Em 2021, após a redução no consumo de energia elétrica em 2020, causada pelos efeitos da Covid-19 na economia, a procura global de eletricidade cresceu 6%. Em termos absolutos, foi o maior aumento anual de todos os tempos e o maior aumento percentual desde a crise financeira de 2010. A demanda global por energia elétrica foi impulsionada pela recuperação econômica, combinada com condições climáticas mais extremas, incluindo um inverno rigoroso. O setor industrial, o setor comercial, o setor de serviços e o setor residencial, nessa ordem, foram os que mais contribuíram para o crescimento da demanda energética (Cozzy et. al, 2021).

## **2.2 Energia Fotovoltaica no Brasil**

Segundo o BEN (2021), o Brasil dispõe de uma matriz elétrica renovável, com destaque para o uso de energia proveniente de hidrelétricas que responde por 76,9 % da oferta interna. As fontes renováveis participam num total de 84,8% da totalidade da energia consumida no país, enquanto a média mundial do uso de energia renovável é de 28,1%. Segundo Martins (2017), até o ano de 2050 estima-se um aumento em cerca de 200% na demanda elétrica brasileira. Isso reforça a necessidade do uso de fontes de energia que gerem baixo impacto ao meio ambiente. (Cozzy et. al, 2021) A utilização da energia solar vem se mostrando uma das melhores opções para suprir essa demanda de crescimento, uma vez que, o uso de energia FV traz vantagem econômica, social e ambiental, pois, é considerada uma energia limpa e sustentável, por não gerar resíduos poluentes ao meio ambiente (Santos et. al, 2021).

A energia FV é obtida por meio da conversão da luz solar em eletricidade através de painéis solares. O processo ocorre quando os raios solares colidem com os átomos presentes nas placas solares, esse choque provoca o movimento dos elétrons e conseqüentemente desenvolvem uma corrente elétrica contínua, que por meio do uso de inversores é convertida para corrente alternada. (Zilles, 2012). Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, a incidência solar no Brasil varia entre 4.444 Wh/m<sup>2</sup> a 5.483 Wh/m<sup>2</sup>, dessa forma, a região com menor incidência do sol é capaz de produzir mais eletricidade que nos locais mais ensolarada da Alemanha, líder mundial na produção dessa energia. (Martins, 2017).

## **2.3 Uso energia fotovoltaica no meio rural Brasileiro**

Segundo a classificação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a utilização de energia elétrica por consumidores rurais engloba, entre outras coisas, a iluminação das casas rurais, o bombeamento de água, a eletrificação de cercas e sistemas de irrigação. (ANEEL,2023). A disponibilidade de energia elétrica na zona rural é um item indispensável para o sucesso do agronegócio, pois, a eletricidade é a principal fonte de alimentação de diferentes modelos de motores, das bombas para irrigação, indispensável na horticultura, e no acionamento de pivôs centrais que são responsáveis em produzir verduras, frutas, café e grãos



em geral. Sem disponibilidade de energia, não é possível a refrigeração de carnes, leite e derivados, a criações de vacas leiteiras. Além disso, frangos e suínos dependem do uso de energia elétrica para a manutenção da temperatura (Roberto, 2021).

Segundo a ABSOLAR (2023), este segmento ocupa a terceira posição com maior número de conexões e potências instaladas e corresponde a 13,1%. Em 2017, esse valor correspondia a 5%, de toda a potência solar distribuída instalada no Brasil, ficando atrás do segmento residencial e de empresas de comércio e serviços. Desde 2012, os produtores rurais brasileiros investiram cerca de R\$ 3,4 bilhões em energia solar. Estima-se que já existem cerca 56 mil produtores rurais que geram a própria energia em suas propriedades podendo representar mais de 5 bilhões de investimento na geração solar de energia. Essa atividade pode trazer cerca de R\$ 140 bilhões em investimentos nas próximas décadas. Estima-se que a produção distribuída de energia fotovoltaica poderia gerar, até 2050, uma economia em perdas na transmissão, distribuição na ordem de R\$ 20 bilhões (Roberto, 2021).

Diante desse cenário são inúmeros os estudos e aplicações da energia FV no meio rural, como exemplo, temos projeto de desenvolvimento de comunidades ribeirinhas na Amazônia que fazem o uso da energia do sol para produzir e armazenar os produtos do extrativismo e pesca (da Mota, 2018). Outro exemplo de uso, foi o relatado por Lima *et al.* (2020), que consiste no desenvolvimento da agricultura familiar com a implantação, no município de Alcântara/MA, de um sistema FV que possibilitou a instalação e operacionalização do sistema de irrigação. Nesse mesmo sentido Campos *et al.* (2020), escreveu sobre sistema fotovoltaico de bombeamento para fins de irrigação na agricultura familiar no município de São Miguel do Guamá/PA.

Vários autores também publicam e relatam o uso da energia solar para a produção animal, como: a criação de perus e leiteira relatadas por Barboza *et al.* (2016) em Manfrinópolis/PR. Ainda nesse sentido, Bassotto *et al.* (2022), estudaram a implantação de uma miniusina de energia fotovoltaica em uma propriedade leiteira. Em Leopoldo Bulhões/GO foi instalada uma usina com potência instalada de 1.108kWp (kilowatts-pico) por um grupo produtor de ovos (OVONEWS, 2020). Também são relatados avanços tecnológicos como, por exemplo, o desenvolvimento do 1º pivô central do mundo alimentado 100% por energia solar

fotovoltaica. A usina fotovoltaica consegue manter os parâmetros de pressurização e a velocidade de um pivô com área irrigada de 96,4 hectares (CANAL SOLAR, 2020)

### 3 - METODOLOGIA

Este estudo trata-se de uma pesquisa exploratória, utilizando a revisão bibliográfica sistemática (RBS), que, segundo Conforto, Amaral e Silva (2011) é uma forma de obter os melhores níveis de confiabilidade bem como maior rigor ao realizar uma revisão bibliográfica, que possibilita o alcance dos objetivos da revisão por meio de ciclos contínuos definidos na estratégia e nos métodos sistemáticos utilizados para realizar as buscas e analisar os resultados. Assim, as revisões sistemáticas devem ser metódicas, passíveis de reprodução e explícitas. Esse tipo de estudo é utilizado como forma orientar projetos, identificando os caminhos que devem ser utilizados para futuras investigações e evidenciando os métodos de pesquisas comumente utilizados para determinada temática (Sampaio e Mancini, 2007).

O método utilizado para a construção do presente artigo é uma adaptação da autora, por entender que o método proposto não se aplicava inteiramente ao objeto do estudo, do proposto Conforto, Amaral e Silva (2011) que consiste em 3 fases: Entrada, Processamento e Saída. A fase de Entrada que originalmente contava com 8 etapas, foi simplificado em 4 etapas: definição do problema, do objetivo, escolha da base de dados, e dos descritores ou *strings* de buscas e a definição dos critérios de seleção. Em relação a fase do Processamento utilizou-se as etapas proposta pelos autores: Buscas, aplicação de filtros, seleção e catalogação dos artigos. E na fase da Saída foi apresentado a síntese dos resultados.

Dessa forma, o primeiro passo foi a definição dos dados da Entrada, apresentados abaixo:

1. Problema: Quais as principais publicações científicas sobre a análise da viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica na agricultura, nos anos de 2018 a 2023.
2. Objetivo: Levantar, utilizando o RBS, a produção científica sobre a análise da viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica na agricultura, nos anos de 2018 a 2023

3. Base de dados selecionadas: Portal Capes Periódicos e Google acadêmico.
4. *Strings* de buscas: foram utilizadas “energia fotovoltaica” “viabilidade econômica” “agricultura” para ambas as bases de dados
5. Definição dos critérios de seleção: foram considerados os artigos de tratam da sobre análise da viabilidade econômica do uso de energia solar fotovoltaica na agricultura.

Finalizada a fase de entrada, iniciou-se a fase de Processamento em que foram realizadas buscas por meio de pesquisas no Portal da Capes e no Google Acadêmico utilizando os descritores (*strings* de buscas): “agricultura”, “energia fotovoltaica” “viabilidade econômica” e retornaram um total de 501 trabalhos sendo 4 resultados do Portal da Capes e 496 no Google Acadêmico. Além desses descritores, foram utilizados filtros adicionais de busca delimitando o período das publicações aos anos de 2018 a 2023 e o idioma selecionado foi língua portuguesa.

Com as buscas finalizadas, fez-se a leitura dos títulos e resumos das publicações, selecionando 2 trabalhos do Portal da Capes e 61 trabalhos no Google Acadêmico que foram submetidos a leitura introdução e conclusão, o que resultou na seleção de 20 trabalhos. Por fim, fez-se a leitura completa dos artigos selecionando-se 9 trabalhos, sendo 01 tese, 2 dissertações e 06 artigos publicados em revista com estrato A e B pela Qualis Capes.

Na fase da saída elaborou-se uma síntese da bibliografia selecionadas. Trata-se de um texto sobre o assunto estudado que buscou identificar os principais índices de análise financeira utilizados para estudos na área de energia fotovoltaica na agricultura. Vale ressaltar que o trabalho seguiu todos as etapas descritas por Conforto, Amaral e Silva (2011) e que a seleção seguiu os critérios definidos na fase de entrada.

#### **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na tese de doutorado Bruning (2022), fez uma análise da viabilidade técnica e econômica de sistemas de energia fotovoltaicos “*off-grid*” para acionamento de sistemas de bombeamento para irrigação, por aspersão, de pequeno porte com potencias de até 29,4kW.

Nas simulações utilizadas pelo estudo foram considerados sistemas fotovoltaicos autônomos, dessa forma os sistemas foram dimensionados para atender as demandas do volume de água necessário durante o dia.

Para fazer o levantamento dos custos da geração de energia o autor considerou a aquisição do sistema fotovoltaico (SFV), as construções necessárias para a implantação do sistema e o custo do terreno. Além disso, considerou-se os custos de operação, de manutenção, de substituições dos equipamentos e seguros. O custo de aquisição dos equipamentos engloba os equipamentos necessários, embalagem, transporte e instalação. O SFV será instalado nos telhados das benfeitorias já existente na propriedade, por isso não foi considerado custo da terra. Os custos operacionais, manutenção e seguro foram estimados em 2% a.a. sobre o custo inicial do investimento conforme sugerem autores consultados.

Em relação ao custo de substituição, os painéis fotovoltaicos não serão substituídos, os outros componentes do sistema o custo de substituição foi baseado na troca recomendada pelo fabricante. Por fim, a depreciação do sistema foi de 4% ao ano em relação ao valor do investimento inicial e não foi adotado valor residual. O autor considerou como lucros anuais o valor do não pagamento da tarifa de eletricidade as concessionárias de energia, ignorando a produção agrícola.

Bruning (2022), fez análise da viabilidade econômica utilizando a comparação entre o valor presente líquido (VPL), pela taxa interna de retorno (TIR) e relação Benefício/Custo (B/C) para as situações estudadas. Utilizando 25 anos como o horizonte de projeto e o para o fluxo de caixa foi adotada a taxa mínima de atratividade (TMA) de 2,5% por considerar que este valor supera os rendimentos anuais da poupança (taxa SELIC). O autor concluiu que os indicadores financeiros VPL, TIR e B/C, apresentaram um comportamento crescente em relação ao aumento de potência, com valores de coeficiente de determinação superiores a 88%. Chegando a valores de VPL para a potência de 15cv de R\$ 376.604,92 e TIR de 28%. A TIR foi maior que a TMA para todas as potências avaliadas no estudo, sendo o menor retorno obtido para o motor com potência de 1 cv com uma TIR de 10% e o maior retorno foi para o motor de 40 cv com uma TIR de 43%. Os valores de *Payback* variaram de 11 anos para as menores potências a 3 anos para os demais sistemas.

A dissertação de Nascimento (2019), intitulada “Avaliação Econômica de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Para Empreendimentos do Agronegócio”, teve como objetivo o estudo da análise comparativa entre o paybacks simples e descontado de três empreendimentos de armazenagem de grãos (pequeno, médio e grande porte) e um complexo com três aviários. O complexo aviário é constituído de 3 unidades, com capacidade de alojamento de 137.500 cabeças de frango durante o ano, divididos em 5,5 lotes. É uma unidade consumidora que tem como característica apenas a energia total consumida.

No empreendimento da armazenagem de grãos de pequeno foi utilizado um silo com capacidade de armazenamento de 2.288 ton. Para o empreendimento de médio porte capacidade total de armazenamento de 6.000 ton. O empreendimento de grande porte tem uma capacidade total de armazenamento de 49.360 ton. Nessas unidades consumidoras, ocorre a diferenciação tarifária da energia consumida na ponta, das 18 às 21 horas, e a energia consumida fora de ponta, durante o restante do dia, porém, para fins de compensação de energia só pode ser utilizado o período em que ela é gerada.

O custo de troca foi considerado somente a troca de inversores no 10º e 20º ano de vida útil do sistema. Para os custos de manutenção foi considerado 0,05% do valor do sistema fotovoltaico, que segundo a autora e a taxa praticada pelas empresas do ramo. E no custo de aquisição do sistema já inclui todos os tributos federais e estaduais. No estudo da viabilidade econômica para os aviários, obteve-se como resultados o payback simples de oito anos e o payback descontado de 13 anos. O VPL de R\$ 142.871,18, a TIR de 11% ao ano e uma TIRM de 7%. A autora conclui que existe uma relação linear inversa para o sistema fotovoltaico quanto maior o sistema menor o *payback* do sistema, desde que, os estudos sejam efetuados nos mesmos grupos de consumo e mesmo custo da energia elétrica. Ainda referente ao estudo de viabilidade econômica do sistema fotovoltaico em armazéns, apresento os resultados na tabela (2) abaixo:

**Tabela 2** - Estudo de viabilidade econômica do sistema fotovoltaico em armazéns.

Porte	VPL (R\$)	TIR(%)	TIRM(%)	Payback Simples (anos)	Payback Descontado(anos)
Pequeno	80.259,60	14	8	7	11
Médio	309.919,37	15	8	7	9
Grande	1.473.522,00	17	8	6	7

**Fonte:** Elaboração própria dos autores com base nos dados da pesquisa.

Ozanski *et al.* (2021), fez um estudo comparativo da viabilidade de implantação de fazendas fotovoltaicas rurais com relação à produção agropecuária, para determinar em quais dos quatro estados selecionados, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e Paraná, a geração de energia fotovoltaica em áreas rurais seria possível sem prejuízo à produção rural. A autora selecionou como objeto de estudo a bovinocultura de corte e o cultivo da soja, devido a importância dessas duas atividades para o Brasil. Para a obtenção produtividade do cultivo de soja foram utilizados dados divulgados pela Companhia Nacional do Abastecimento, ano 2020. Já para a bovinocultura de corte, os dados estudos foram fornecidos pela Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes

Para o estudo do Valor Presente Líquido (VPL) (Tabela 3), fixou-se uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 6,00% a.a., tendo um horizonte temporal de 25 anos. Para esse estudo o valor da terra não foi considerado. Os resultados obtidos são apresentados na figura abaixo:

**Tabela 3** - Estudo do Valor Presente Líquido (VPL)

UF	VPL SFV(R\$)	VPL SOJA (R\$)	VPL BOVINO (R\$)
GO	2.354.714,73	75.166,01	12.469,65
MT	3.406.798,23	63.344,60	3.546,10
MG	4.023.688,92	69.917,16	9.895,08
PR	4.340.184,85	72.481,63	10.900,62

**Fonte:** Ozanski,*et al.* (2021).

Ao analisar os resultados observa-se que o Estado do Paraná foi o que apresentou o maior VPL para o sistema fotovoltaico, seguidos pelos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás, nessa ordem. Ao analisar o VPL da soja e da Bovinocultura observa-se que o Estado do Goiás apresentou o maior VPL para ambos.

Em outro estudo Souza *et al.* (2019), fizeram um estudo com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central, área irrigada de 76,20 ha, no estado de Goiás. Simulando a produção, em sucessão, de soja, milho e tomate industrial.

Os dados como localização e custo de produção foram idênticos para ambos os sistemas alterando, alterando somente a fonte de energia para o bombeamento da água e movimentação do pivô. Como no Estado do Goiás e determinado o vazão sanitário para as culturas da soja e tomate foi considerado a possibilidade de produzir 2,5 safras anualmente e foi efetuado o cálculo para o horizonte de 25 anos.

Os coeficientes técnicos de produção foram baseados em dados disponibilizados de Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás (FAEG) e utilizou-se a planilha eletrônica a *Amazonsaf* para cálculo do custo de produção, em relação aos custos de implantação do sistema de irrigação e das placas solares foram estimados por orçamentos de empresas especializadas. Para o cálculo do VPL foi considerado uma TMA de 7%. Abaixo os resultados (tabela 4) dos indicadores econômicos da utilização da energia tradicional e da fotovoltaica em pivô central.

**Tabela 4** - Indicadores econômicos da utilização da energia tradicional e da fotovoltaica em pivô central.

Indicadores	Energia Elétrica Tradicional	Energia Fotovoltaica
VPL(R\$)	4.445.364,56	3.124.551,22
LMd(R\$ ano <sup>-1</sup> )	450.335,50	436.514,70
TIR (%)	60,31	33,85
Payback(anos)	4,67	7,36
B/C (R\$)	1,37	1,24

**Fonte:** Souza et al (2019).

Os indicadores evidenciam a viabilidade na implantação de energia fotovoltaica em pivô central. O VPL foi de R\$ 3.124.551,22. O LMD com energia fotovoltaica representa, em média, receita mensal de R\$5.728,54 ha<sup>-1</sup> ano<sup>1</sup>. A TIR encontrada foi e 4,83 vezes maior do que a TMA. O Payback representa um terço da vida útil do sistema FV (25 anos). A relação B/C é maior do que 1, o que pressupõe ganhos. Porém, os autores sugerem que esta implantação deva ocorrer, preferencialmente, quando o fornecimento de energia elétrica pelas distribuidoras tradicional não esteja estabelecido ou não seja adequado, visto que, o uso de energia FV acarretou um aumento no custo de produção de 9,98% e a lucratividade foi reduzida em 3,07%.

Vicente *et al.* (2021), conduziram um estudo sobre a viabilidade econômica do uso da energia fotovoltaica para irrigação, em pequenas e médias propriedades, nas regiões do Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas Gerais. Para a análise de viabilidade econômica da energia fotovoltaica, foram adotadas sete potências, utilizando dados já disponíveis na literatura, de conjuntos fotovoltaicos 5; 7,5; 10; 15; 20; 30 e 40 kWp, onde variou-se a demanda de energia elétrica pelos irrigantes em função do tempo e número de dias de irrigação. Para o cálculo do custo nivelado de energia (LCOE) os autores utilizaram uma metodologia sugerida por Schram(2019). Vale destacar que se adotou a selic média de 2018 e 2019 para a taxa de desconto anual, para a vida útil do sistema utilizou-se 30 anos, o custo de operação e manutenção do sistema corresponde a 1% do custo inicial do investimento e nos anos 10 e 20, após a implantação, inclui-se a recompra do inversor na ordem de 23% do custo inicial. A taxa de degradação dos painéis foi de 0,05% a.a.

Calculou-se o valor ponderado da tarifa da concessionária em função do número de horas de funcionamento diurno e noturno para comparação com o LCOE, este cálculo deve-se ao fato das propriedades estudadas pertencerem ao grupo tarifário B2 rural e que na região estudada tem-se um desconto de 73% no valor quando utilizada no período noturno. Para a tarifa da concessionária utilizou-se o valor referente a março de 2020, incluído o PASEP/COFINS e ICMS. Depois de todos os cálculos efetuados os autores fizeram uma interpolação utilizando o método de Krigagem ordinária com o intuito de estimar dados em locais não estudados baseado em pontos amostrados, após gerou-se mapas para encontrar os valores de irradiação global no plano inclinado e mapas com o LCOE para a região estudada

Vicente *et. al* (2021), concluíram que a viabilidade de investimento em energia fotovoltaica é diretamente proporcional ao potencial da geração de energia, e que o uso da energia das concessionária mostrou-se mais viável do que a fotovoltaica quando utilizado o desconto de tarifa noturna, porém, quando analisado esse uso exclusivamente no período diurno a energia fotovoltaica é uma alternativa viável para potência acima de 10 kWp e em uso majoritariamente diurna apresenta viabilidade econômica para as potências de 30 e 40 kWp, na maior parte das regiões estudadas.



Souza e Gimenes (2018), investigaram a viabilidade econômico-financeira do uso de energia solar fotovoltaica, sistema *on grid*, para produção hidropônica, localizado na cidade Dourados/MS, composto por 7 estufas germinadas tipo arco, ocupando uma área de 0,5 ha, onde são produzidas as seguintes hortaliças: alface-crespa, agrião, couve manteiga, rúcula, coentro, salsa e hortelã. A irrigação é efetuada por um sistema automático, mas em temperaturas superiores a 28° C e ligado também o sistema por nebulização.

Para o estudo de viabilidade econômica os autores elaboraram o Fluxo de Caixa do investimento, utilizando o CAPM Ajustado Híbrido (AH-CAPM) sugerido por Pereio (2001) para a estimativa da TMA, calculou-se ainda o VPL, a TIR, a TIRM, o Valor Anual Equivalente (VAE), o Índice de Valor Presente (IVP) e o Payback descontado do investimento. O custo de investimento inicial ficou no valor de R\$ 95.844,00, já inclusos toda a instalação liberação da concessionária do sistema de geração FV e o sistema de monitoramento web dele. Além disso, no ano 16 após a instalação tem um desembolso de R\$19.864,35. A TMA utilizada foi de 9,0160% a.a., conforme calculado pelo método proposta pelos autores.

O VPL apurado foi o valor de R\$ 109.261,83 valor maior do que zero indicando a viabilidade do projeto. A TIR apurada foi de 20,90% e a TIRM foi de 16,80% ambas apresentam valor superior a TMA calcula. O VAE também apresentou valor positivo e o IVP foi maior do que, mais um vez, indicando a viabilidade do projeto. E o último critério para a avaliação econômica o Payback descontado resultou em 6,17 anos. Dessa forma, os autores concluem pela viabilidade econômica do trabalho proposto.

Nespolo *et al.* (2023), analisaram viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico em uma pequena propriedade rural, localizada na região Sudoeste do Paraná no sistema conectado à rede. O trabalho foi dividido em 3 fases na primeira fez-se a identificação da possibilidade do estudo; o levantamento dos dados Projeto de Investimento Agropecuário (PIA) feito com a aplicação de um questionário *in loco*; definiu-se o horizonte de planejamento, a TMA, projetar o FC, identificar as fontes de financiamento e determinar depreciação e impostos. Na segunda fase, aplicou-se a avaliou-se a viabilidade econômica aplicando a Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA). Como não existe desembolso no inicial do PIA, instalação depende exclusivamente de financiamento, alguns indicadores não foram analisados o nível de investimento. Após aplicou-se a Simulação de Monte Carlo (SMC) utilizando o

aplicativo \$AVEPI®, utilizando uma distribuição triangular de 2%, 5 % e 10%, para os valores mínimo, mais provável e máximo. Para o FC, também foi considerada uma distribuição triangular, sendo que o valor mais provável foi equivalente ao valor MMIA, e para os valores mínimos e máximos utilizou-se 10% menor e 10% maior que este índice.

Foi utilizado suporte do aplicativo web de acesso livre \$AVEPI® no módulo “abordagem determinística – recursos próprios, financiamento e *leasing* – Fluxo de caixa ou custos e receitas”. Para a TMA foi utilizado o valor de 5%, imposto de 1,5% (FUNRURAL) e o 25 anos como horizonte de planejamento, o prazo de depreciação foi de 10 anos não se considerou valor residual das placas e o valor de investimento foi zero pela opção de usar recursos advindo de financiamento. Obteve-se um VPL de R\$ 36.287,83, equivalente a R\$ 2.574,71 por ano (VPLA). Em relação aos fatores de risco o  $Payback_{Fin}$  de 9 anos e a TIR foi de 19,48% a.a., o projeto foi classificado com baixo risco pois os valores apresentados pelo  $Payback_{Fin}/N$  e TMA/TIR foram de 36% e 25, 67% e ainda o projeto possui sensibilidade baixa podendo o TMA variar em torno de 289,63% determinado pelo índice de elasticidade. Assim foi avaliado a possibilidade de o VPL ser menor que 0 (insucesso financeiro), calculado -se também o VaR (*Value at Risk*) e o CVaR (*Conditional Value at Risk*) para o nível de 5%.

Para a avaliação dos Riscos utilizando SMC foi utilizada o aplicativo \$AVEPI®, utilizou-se o módulo “Abordagem estocástica - SMC”, realizando 100.000 simulações que apresentou o VPL entre R\$ 17.612,92 e 49.586,12, probabilidade de 90%, e ficando o VPL da abordagem determinística nesse intervalo. A expectativa de retorno é de R\$ 33.563,92 (VPL médio), porém existem 5% de retorno ser menor de R\$ 17.612,92 (VaR) e a CVaR a 5% foi de R\$ 16.419,02.

Della Justina, *et al.* (2022), avaliou economicamente um sistema fotovoltaico ligado à rede para atender a demanda exigida pelos aviários, do tipo *dark house*, de frango de corte, localizado em Santa Izabel do Oeste - PR. Para a análise do sistema foi realizada para um período de 25 anos. Utilizou-se a taxa de 6,40% para a TMA, o reajuste da tarifa de energia elétrica foi de 6% ao ano. A avaliação de viabilidade econômica, constatou-se que o VPL foi positivo, o *payback* descontado foi de 4 anos e a TIR de 31,0193% a.a.

Bassotto *et al.* (2022) fizeram uma análise de custos de produção em propriedade leiteira de Minas Gerais utilizando energia FV. Na análise de viabilidade econômica foi realizada de forma comparativa: entre a utilização da energia elétrica fornecida pela concessionária e a energia fotovoltaica. Na análise de rentabilidade foram utilizadas as metodologias: Metodologia do Custo Total (CT) e a Metodologia do Custo Operacional Total (COT). E para a análise de viabilidade econômico foram utilizados os indicadores: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e o *payback*. Para a TMA foi utilizado o valor de 2,75%, o horizonte temporal da análise foi utilizado 10 anos, o custo de manutenção ficou em 4% a.a do valor do investimento inicial.

Os autores encontram um VPL de R\$711,77, considerado de baixa viabilidade financeira, a taxa interna de retorno foi de 2,68% sendo inferior a TMA adotada para fins de estudo. Já o *payback* encontrado foi de 8 anos e 8 meses, bem maior que a vida útil do sistema. Os índices apresentados nas análises pelos diferentes autores podem ser observados na tabela 5.

**Tabela 5** - Índices apresentados nas análises dos trabalhos avaliados.

Título do Trabalho	Classificação	Índices Estudados	Bibliografia
Energia fotovoltaica: análise técnica e econômica de sistema autônomo para irrigação	Tese	VPL, TIR e B/C	Bruning, 2022
Avaliação econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para empreendimentos do agronegócio	Dissertação	VPL, TIR, TIRM, <i>Payback</i> simples e <i>Payback</i> descontado	Nascimento, 2019
Viabilidade de implantação de fazendas fotovoltaicas rurais com relação a produção agropecuária	Dissertação	VPL	Ozanski <i>et al.</i> , 2021
Viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central no estado de Goiás	Artigo/B4	VPL, LMD, <i>Payback</i> , B/C e TIR	Souza <i>et al.</i> , 2019
Viabilidade econômica do uso da energia fotovoltaica para irrigantes nas regiões do Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas Gerais.	Artigo/B4	LCOE	Vicente <i>et al.</i> , 2021

Viabilidade econômico-financeira do uso de energia solar fotovoltaica em sistemas de produção hidropônica	Artigo/A4	VPL, TIR, TIRM, VAE, IVP e <i>Payback</i> descontado	Souza e Gimenes, 2018
Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma propriedade rural	Artigo/A4	VPL, VPLA, TIR, <i>Payback</i> , VaR ( <i>Value at Risk</i> ) e o CVaR	Nespolo <i>et al.</i> , 2022
Avaliação técnica e econômica de sistema fotovoltaico conectado à rede, para aviário de frango de corte	Artigo/B2	VPL, <i>Payback</i> descontado e TIR	Della Justina <i>et al.</i> , 2022
Energia fotovoltaica: análise de custos de produção em propriedade leiteira de Minas Gerais	Artigo/A4	VPL, TIR e <i>Payback</i>	Bassotto <i>et al.</i> , 2022

**Fonte:** Elaboração própria dos autores com base nos dados da pesquisa.

Dos trabalhos analisados, exceto o trabalho de Vicente *et al.* (2021), utilizaram o VPL com índice de análise de viabilidade econômica. O VPL apresentou valor maior que zero em todos os trabalhos analisados, demonstrando assim que o uso da energia FV é viável economicamente. Bassotto *et al.* (2022), o autor classificou o projeto como de baixa viabilidade, pois, apesar de apresentar VPL positiva o valor para o horizonte estudado mostrou-se muito baixo.

A Taxa Interna de Retorno também constou em quase todos os trabalhos revisados. Observa-se que os autores Bruning (2022), Nascimento (2019), Souza *et al.* (2019), Souza e Gimenes (2018), Nespolo *et al.* (2022), e Della Justina *et al.* , (2022) encontraram resultados semelhantes em relação aos resultados da TIR, essa variou de 10% a 43%, superando a TMA utilizada pelos autores. O único autor que teve um resultado em que a TIR foi menor que a TMA foi Bassotto *et al.* , 2022, no seu estudo o valor encontrado para a TIR foi de 2,68% enquanto a TMA utilizada foi de 2,75%, apesar de apresentar um valor menor que a TMA a diferença apurada foi de apenas 0,07%. Importante ressaltar que existe uma variação do valor da TMA adotado pelos autores, decorrente, principalmente, da instabilidade econômica ocorrida nos últimos anos.

Outro índice bastante utilizado foi o *payback*, nesse sentido os autores se dividiram entre o uso do *payback* simples e descontado. Nascimento (2019) foi o único que calculou ambos os índices para o seu trabalho, nesse caso foi possível observar uma diferença maior de 50%, entre os dois *payback*, para o cenário que estudou o aviário, demonstrando a importância na escolha do índice que reflita o resultado mais próximo a realidade do empreendimento. Bruning, 2022 e Souza *et al.* (2019) utilizaram para demonstrar o tempo de retorno somente o *payback* simples, enquanto os autores Souza e Gimenes, (2018), Nespolo *et al.* (2022), Della Justina *et al.* , 2022 optaram por utilizar o descontado. Apesar das diferenças apontados nos trabalhos analisados acima observou-se que o resultado do *payback* foi inferior ao tempo de vida útil, 25 anos, considerado do sistema fotovoltaico.

Vicente *et al.* (2021), foram os únicos que apresentaram o cálculo do LCOE (*Levelized Cost of Energy*), ou, custo nivelado da energia. E concluíram que apesar de ser viável a instalação de usina FV, o uso de energia da concessionária mostra melhores resultado quando considerado o uso no fora ponta. O trabalho de Nespolo *et al.* (2022), apresentou algumas análises que se diferem dos demais analisados. Os autores calcularam o VaR (*Value at Risk*) e o CVaR (*Conditional Value at Risk*) para o nível de 5% encontrando um valor de R\$ 16.419,02. Além disso fizeram uma análise de risco utilizando a Simulação de Monte Carlo, como resultado observou-se o VPL entre R\$ 17.612,92 e 49.586,12, probabilidade de 90%.

## 5 - CONCLUSÃO

Diante dos trabalhos aqui relacionados observa-se que para a análise financeira do uso da energia fotovoltaica solar na agropecuária, os métodos mais utilizados são o Valor Presente líquido, o Taxa interna de Retorno e o Payback (simples e/ou descontado), provando que a análise financeira de qualquer investimento, seja em indústrias, serviços ou instalação e/ou utilização de energia FV, utiliza os mesmos métodos.

Alguns outros métodos, como relação Benefício/Custo (B/C), VaR (*Value at Risk*), CVaR (*Conditional Value at Risk*), Metodologia do Custo Total (CT), Metodologia do Custo Operacional Total(COT), a TIRM (Tempo Interno de Retorno Modificado), o Valor Anual Equivalente (VAE), também foram utilizados para ratificar, corroborar com os resultados apresentados pelo VPL, TIR e Payback.

## 6 - REFERÊNCIAS

ABSOLAR. (2022). Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/com-nova-lei-agronegocio-deve-elevar-investimentos-em-energia-solar/>. Acesso em 15 out. de 2022.

ABSOLAR. (2023). Disponível em <https://www.absolar.org.br/noticia/agronegocio-ja-responde-por-131-da-energia-solar-do-pais/>. Acessado em 20 de marco 2023.

Alcoforado, F. (2021) As revoluções energéticas ao longo da história e sua futura evolução rumo à energia limpa e renovável. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%B5es-energ%C3%A9ticas-ao-longo-da-hist%C3%B3ria-e-sua-rumo-alcoforado?trk=pulse-article>. Acessado em: 16 maio de 2023.

Aneel. (2023). <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/classes-de-consumo>. Acessado em 20/03/2023.

Balanco Energético Nacional- BEM. (2021). Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acessado em 20 de marco 2023.

Barboza, L. G. S., Dacroce, N. P. D., & Hofer, E. (2016). Análise de viabilidade de implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica numa propriedade familiar rural: Um estudo com base no PRONAF Mais Alimentos. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 5, 1-17.

Bassotto, L. C., do Nascimento, R. M. F., Lopes, M. A., Lopes Filho, M. A., de Benedicto, G. C., & Tavares, M. P. (2022). Energia fotovoltaica: análise de custos de produção em propriedade leiteira de Minas Gerais. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 15(4), 1-16.

Bruning, J. (2022). Energia fotovoltaica: análise técnica e econômica de sistema autônomo para irrigação. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

Campos, M. S., Bezerra, F., & de Alcantara, L. D. S. (2020). Análise de viabilidade técnica e econômica do sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar. In Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS.

Canal Solar. (2020). Disponível: <https://canalsolar.com.br/primeiro-pivo-do-mundo-acionado-exclusivamente-por-energia-solar-e-lancado-no-brasil/>. Acessado em 05 de nov. de 2022.

Conforto, E. C., Amaral, D. C., & Silva, S. D. (2011). Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. Trabalho apresentado, 8., v. 8., Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2205710/mod\\_resource/content/1/Roteiro%20para%20revis%C3%A3o%20bibliogr%C3%A1fica%20sistem%C3%A1tica.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2205710/mod_resource/content/1/Roteiro%20para%20revis%C3%A3o%20bibliogr%C3%A1fica%20sistem%C3%A1tica.pdf). Acessado em 20 de mar. de 2023.

Cozzi, L. *et al.* World energy outlook 2020. **IEA: Paris, France**, v. 2050, p. 1-461, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>. Acessado em 11 de fev. de 2022.

da Mota Mathyas, A., Souza, A. D. A., & Cassares, M. A. R. (2018). ENERGIA SOLAR POTENCIALIZA PRODUÇÃO EXTRATIVISTA NA AMAZÔNIA. In Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS.

Della Justina, N., Siqueira, J. A. C., Tokura, L. K., de Villa, B., Tokura, W. I., Silveira, V. F., & Rodrigues, H. V. (2022). Avaliação técnica e econômica de sistema fotovoltaico conectado à rede, para aviário de frango de corte. *Latin American Journal of Energy Research*, 9(1), 40-48.

Lima, Marcel Soares *et al.* AGRICULTURA FAMILIAR: sistema de irrigação autônomo a partir de energia solar fotovoltaica. **Revista Alcântara em Foco**, v. 1, n. 1, p. 47-50, 2020. Disponível em: <https://revista-alcantara.ifma.edu.br/alcantaraemfoco/article/view/11/11>. Acessado em 09 de nov. de 2022.

Martins, F. R., Pereira, E. B., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L. D., Rütther, R., ... & Souza, J. G. D. (2017). Atlas brasileiro de energia solar 2. 80p.

Nascimento, M. E. C. Avaliação econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para empreendimentos do agronegócio. (2019). 104 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/4243>. Acessado em 13 de mar de 2023.

Nespolo, S., da Gama, B. C., Guerra, V. S., Batista, V. D., de Matos Lopes, V., & de Lima, J. D. (2022). Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma propriedade rural. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 15(3), 1-17.

Origo Energia. A HISTÓRIA da energia solar no Brasil. Origo Energia. (2020). Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/energia/a-historia-da-energia-solar-no-brasil/#:~:text=No%20entanto%2C%20a%20primeira%20usina,extremamente%20relevante%20para%20a%20C3%A9poca>. Acessado em: 25 de out. de 2022

OvoneWS. (2020). Disponível: [https://ahoradoovo.com.br/lista/ovoneWS/post/SICES-inaugura-usina-de-energia-solar-no-Grupo-Josidith-em-Goiás\\_](https://ahoradoovo.com.br/lista/ovoneWS/post/SICES-inaugura-usina-de-energia-solar-no-Grupo-Josidith-em-Goiás_). Acessado em 03 de nov. de 2022.

Ozanski, A. C. (2021). Viabilidade de implantação de fazendas fotovoltaicas rurais com relação a produção agropecuária. Disponível em: [https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5381/5/Adrielle\\_Ozanski2021.pdf](https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5381/5/Adrielle_Ozanski2021.pdf). Acessado em 20 de mar de 2023.

Pereira, A.C.M. (2017). Análise de viabilidade econômica na implantação de sistema de energia solar fotovoltaico em uma cooperativa agrícola. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/68574/R%20-%20E%20-%20ANTONIO%20CARLOS%20MARTINS%20PEREIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em 03 de nov. de 2022.



REN21 - RENEWABLES 2022 GLOBAL STATUS REPORT. REN 21. (2022). Disponível em: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf). Acessado em 26 de out. de 2022.

Roberto, R. (2021), <https://forbes.com.br/colunas/2021/08/roberto-rodrigues-energia-solar-e-o-agronegocio/>. Acessado em 20/03/2023.

Sampaio, R. F., & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 11, 83-89.

Santos, F. (2021). ESTUDO COMPARATIVO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADA NA AGRICULTURA. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1826/1/Trabalho%20de%20conclus%C3%A3o%20de%20curso%20-%20RIIF.pdf>. Acessado em 11 de fev de 2022.

SIF. (2023). Panorama mundial da produção e consumo de energia elétrica e a participação do setor florestal brasileiro. Disponível em: <https://sif.org.br/2020/05/panorama-mundial-da-producao-e-consumo-de-energia-eletrica-e-a-participacao-do-setor-florestal-brasileiro>. Acessado em 20/03/2023.

Sousa, M. A., Júnior, J. A., Evangelista, A. W. P., Casaroli, D., & Mesquita, M. (2019). Nota técnica: estimativa de viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central no estado de Goiás. *Revista Engenharia na Agricultura*, 27(1), 22-29.

Souza, S. V., & Gimenes, R. M. T. (2018). VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO HIDROPONICA. *Informe Gepec*, 22(2), 27-45.

Turiel, A. (2022). The energy crisis in the world today: analysis of the World Energy Outlook 2021.

Vicente, M. R., Santos, T. A., Dias, T. L., de Oliveira, P., dos Santos, R. M., & Leite, C. V. (2021). VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA IRRIGANTES NO NORTE DE MINAS E VALE DO JEQUITINHONHA. ENERGIA NA AGRICULTURA, 36(1), 58-71.

Zilles, R. (2012). Energia solar fotovoltaica. USP, São Paulo.. Disponível em: <http://iee.usp.br/sites/default/files/biblioteca/producao/2012/Livros/zillesenergiasolar.pdf>.

Acessado em 11 fev. de 2022.

# Feasibility study of photovoltaic systems for irrigation purposes

*Carmen Jucele Daga<sup>1\*</sup> and Máisa Santos Joaquim<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Campus Universitário Darcy Ribeiro - ICC Centro - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária Brasília - Asa Norte, Distrito Federal, CEP: 70.910-900, Brasil.

\*Corresponding author: juceledaga@gmail.com

**Abstract:** This is an exploratory descriptive study, which, using primary and secondary data, analyzed the financial viability of using photovoltaic energy in an irrigation system. For this purpose the methodology suggested by Vicente & Oliveira, 2013 was used. In addition, sensitivity analysis was carried out using the Monte Carlo Method for the uncertainty variables. It is concluded that the study is financially viable, as it presented a net present value of R\$ 14,401,762.03 and the value of the equivalent periodic benefit was R\$ 1,291,991.74. The IRR and MTIR presented a value of 36% and 18%, respectively, higher than the MAR value. In this way, the project presented financial viability.

*Keywords:* energy matrix; central irrigation pivots; agriculture; irrigation systems

Abstract Graphic:



### Synopsis

“Enhancing sustainability in Brazilian agribusiness requires innovative solutions, such as photovoltaic-powered central pivots, to address challenges and promote environmentally conscious practices in engineering and agriculture.”

## INTRODUCTION

Over the last 50 years Brazil exponentially developed her agricultural production, which currently places her as one of the major suppliers of food, especially due to the development of technology that has been adapted to agricultural production in all regions of the country.<sup>1,2</sup> To a large extent, the referred to growth is due to the expansion of agriculture in the cerrado. In 1975, the biome contributed with 18% of the total production value of temporary and permanent crops in Brazil and, in 2015 this contribution increased to 41%. One of the factors that most helped contribute to the referred to growth was the implementation of irrigation systems.<sup>3</sup> Irrigated agriculture enhances important benefits to agriculture, enabling agriculture production throughout the year, increases productivity and stabilizes production.<sup>3</sup>

Data obtained from the Irrigation Atlas show that, in 2021, Brazil had an irrigated area of approximately 8.2 MHa, around 64% of which is in the cerrado region. The cerrado also clusters around 78% of the total area irrigated by center-pivot (waterwheel and circle irrigation) system.<sup>4</sup> It has well-defined edaphoclimatic characteristics, such as deep and well-drained soils, relief conducive to mechanization and well-defined seasons.<sup>4</sup>

According to the ANA (National Water and Basic Sanitation Agency), the State of Goiás has an additional effective potential irrigable area of approximately 10%, i.e.: 1,415 MHa.<sup>4</sup> However, for the appropriate development of irrigated agriculture, it is necessary to develop adequate infrastructure, especially that devised to provide quality electricity.<sup>5</sup> Barros et. al. (2009)<sup>6</sup> performed extensive survey of information, interviewed players from the different segments of irrigated agriculture and identified a set of topics linked to the causes of low usage of the potential of irrigable areas in the country, among others, with emphasis on electricity. It is an essential element for the development of irrigated agriculture. The availability and quality of electricity are as important as the availability and quality of water.<sup>5</sup>

Marshall and Brockway (2020)<sup>7</sup> researched energy consumption in agriculture, aquaculture, fishing and forestry (AAFF) for the period of between 1971 to 2017, and concluded that, in 2017, the global AAFF system consumes 27.9% of the global energy supply. Given this consumption of energy for food production, the search for alternative and sustainable energy means that the use of photovoltaic power plants is gaining renewed interest. The world

photovoltaic market has been growing exponentially in recent years having reached a total installed capacity of 942GW in 2021, an approximate 25% increase compared to 2020.<sup>8</sup>

In 2023 Brazil reached the mark of 28,961MW, which represents an approximate increase of 15%, when compared to the previous year. The evolution is such that, in 2022 the country was 8th. ranked in the photovoltaic ranking of the International Renewable Energy Agency.<sup>9</sup> The generation of energy in farms via photovoltaic panels represents 14.4% of the solar energy systems installed in Brazil, achieving an installed capacity of 2,947MW, covering around 161 (one hundred and sixty-one) thousand farms.<sup>10</sup>

Given the abovementioned scenario, the usage of photovoltaic energy is an option for farmers and poultry farmers, pig farmers, etc.<sup>11</sup> There are currently three basic types of photovoltaic systems: Isolated Systems, Hybrid Systems and the Grid-Connected Systems. Isolated Systems, also known as “off-grid” systems are those which are not connected to the conventional electric network. Hybrid Systems are those in which there is an association of other photovoltaic generation sources such as, for example, diesel or gas engines, or wind generators. On the other hand, systems that are connected to the energy grid, also called “on-grid” are those which are connected to the electric distribution network.<sup>12</sup>

Recently, research and studies were carried out to analyse the plausibility of using photovoltaic energy for irrigation purposes. In the city of Perdizes/MG, the first center-pivot 100% powered by solar photovoltaic energy was implemented. The energy enabled a horizontal pump to draw water from a dam, making it available to the center-pivot, enabling the irrigation of an area of 96.4 acres. The power plant provided the center-pivot with the necessary pressurization and wheel speed parameters for a period of between 6 to 8 hours/day.<sup>13</sup> Guillén-Arenas et. al. (2022)<sup>14</sup> developed a method that allows for the adjustment and evaluation of the performance of the self-sufficient photovoltaic irrigation system based on the simulation of voltage fluctuations in the system due to the drifting of clouds.

Bruning (2022)<sup>15</sup> carried out an analysis of the usage of “off-grid” photovoltaic energy systems to drive small-scale sprinkler irrigation pumping systems of up to 29.4kW. Boukebbous et. al. (2021)<sup>16</sup> installed a photovoltaic pumping system for irrigation purposes with the aim of studying and evaluating its performance under different real weather conditions in the semiarid area of Ghardaia, in Algeria. The authors concluded that the performance of the Photovoltaic (PV) system for pumping water was considered very satisfactory.

Vincent et. al. (2021)<sup>17</sup> conducted a study on the feasibility of using photovoltaic energy for irrigation in small and medium-sized properties in the regions of Vale do

Jequitinhonha and in the North of Minas Gerais. Ghasemi-Mobtaker et. al. (2020)<sup>18</sup> carried out a study to compare the use of photovoltaic solar energy with normal energy (diesel) of two irrigation systems, surface, and sprinkler, in cultivation of barley, in Iran.

Carrêlo et. al. (2020)<sup>19</sup> compared the financial viability of 5 (five) irrigation systems powered by photovoltaic energy (EFV) with energy of between 40 to 360kWp in the Mediterranean region. In another study, Sousa et. al. (2019)<sup>20</sup> produced research to evaluate the financial feasibility of using photovoltaic energy in a central-pivot irrigated area of 76.20ha, in the state of Goiás, by simulating the succession production of soybeans, corn and industrial tomatoes. In this same subject, the environment and financial impacts of off-grid and on-grid photovoltaic systems, electricity and diesel-powered generator for the irrigation of a plantation, in Spain, were qualified. The researchers concluded that the work was environmentally and financially viable.<sup>21</sup>

## **MATERIALS AND METHODS**

For this article, a descriptive and exploratory research methodology will be used, as it aims to explore and analyse the benefits of using photovoltaic solar generation energy as a power source for a central pivot system. This topic will present the stages of the work, the framework of the study and the tools that will be used to carry out the feasibility analysis.

The research was developed based on data obtained from primary and secondary sources, the primary data was collected from rural producers, companies selling central pivots and photovoltaic energy solutions, and secondary data was obtained through documentary research in available publications, such as theses, articles, published books, websites specialized in the work theme.

The work will be divided into three stages, the first being responsible for identifying and quantifying the costs of implementing the irrigation system, the photovoltaic plant, the diesel generator and the electrical substation, as well as the costs related to each one of the systems researched. The production costs, productivity and sales value of each of the grains produced will also be calculated. In the second stage, the financial analysis will be carried out using indicators such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Modified Internal Rate of Return (MIRR) and the Equivalent Periodic Benefit (BPE). In the last stage,

sensitivity analysis will be carried out using the Monte Carlo Method (MMC) for the variables sales price, production cost, value of diesel oil, value of the electricity tariff.

## Data Survey

### *Location and Description of the Property*

The property is in the rural area of the municipality of São João da Aliança, in the state of Goiás and is part of the mesoregion of Norte Goiano (North of Goiás) and microregion of Chapada dos Veadeiros. The climate classification for the region, using the Köppen method, is tropical at altitude with a concentrated rainy season (Cwa) in the months of October to March-April and a dry season starting between May and June, extending until September. With an average annual rainfall of around 1,600 mm. As for temperatures, the annual averages in this region are between 27°C and 15°C.<sup>22</sup> The property encompasses a total area of 775.26ha geographic coordinates 14° 38' 38.20" S and 47° 31' 24.53" W, with a consolidated/cultivated area of 184.5ha, in which 3 central pivots with an area of 64.6ha, 42.7 and 22.2ha will be installed, the last two being combined.

### *Crops*

For the property, it was defined that there will be two harvests per year, and they will take place in the months of January/February and June/July of each year. On the one year, soybeans/irrigated beans will be planted, and the following year corn/irrigated beans will be planted, alternating the two options over the planning horizon, which will be 25 years. The average productivity was found on the website of the Technical Assistance and Rural Extension Company – EMATER-DF<sup>23</sup> and the production cost was the price made available by CONAB (National Supply Company) for the year 2022 and the Municipality of Unaí/MG, as it is the municipality in which production costs are surveyed closest to the study region. The sales value of the products will be based on the sales price for the year 2022 for the state of Goiás, provided by CONAB.<sup>24</sup>



### *Irrigation System Sizing*

The equipment that will be used is from the Valley products brand, model 4871-8000 VSL, the PC-02 equipment has the capacity to irrigate 64.6 ha and requires an installed power of 180 hp. The PC-03 and PC-04 irrigate, respectively, 42.7ha and 22.2ha as both require an installed power of 125 hp when combined. The irrigating set was purchased for a total value of R\$ 3,639,000.00 and freight, taxes and additional work that may be necessary for installation are already included in the final price of the product. The maintenance/repair cost will be calculated on a constant rate of 0.5% p.a. on the value of new equipment as suggested by IEA (2001). At the end of the 25th year, the residual value of 20% will be recognized as revenue.<sup>24</sup>

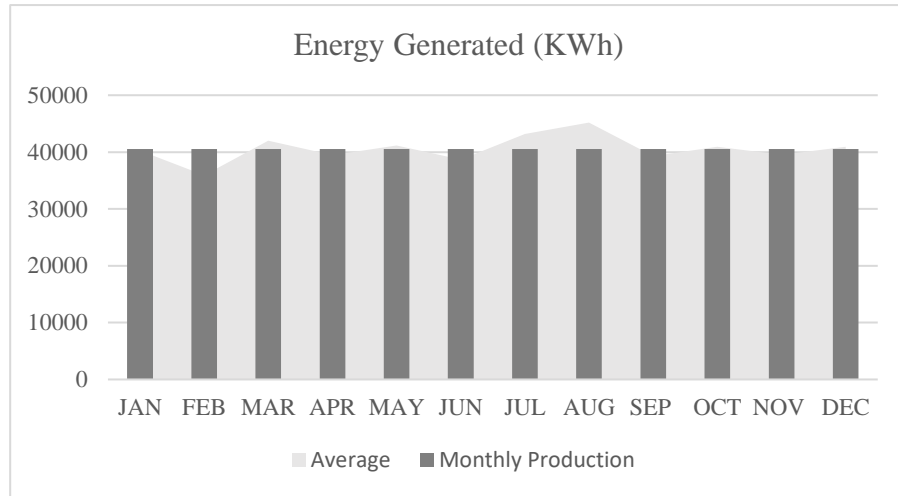
### *Characteristics of energy generating systems*

To calculate the energy demand, the operating specifications of the central pivot and the motor-pump set were considered. For the Valley brand pivot, the consumption considered in this work was 5808 kWh. According to Bernardo et al. (2008)<sup>25</sup>, for chosen crops in the opted rotation, the blade can vary from 400 mm to 800 mm. Therefore, it was decided to employ a blade of 800 mm/year to apply it, which would require 1,827 hours/year. Thus, the estimated annual electricity demand was calculated at 476,256 kWh/year.

### *Photovoltaic System*

Once the energy demand had been roughly calculated, it was observed that the average energy production generated by the PV system will be 40,537.23 kWh with a safety margin of 2%. As per the chart 1 below, there will be monthly variations in the energy generated, this is mainly determined by the variation in solar irradiation incidence throughout the year.

**Chart 1. Energy Production Generated (KWh).**



**Source: Partner Company.**

The power of the PV system will be 300.84 KWp (Kilowatt peak) and was calculated considering exposure to radiation, energy demand, and the capacity of the PV modules. Thus, the project will use 552 Canadian brand monocrystalline photovoltaic modules with a capacity of 545 Wp (Watt), considering the yield presented by the manufacturer of 80% utilization. These will be installed on the ground using an aluminium fixing structure, occupying an area of 2,760 m<sup>2</sup>. For the project, 3 WEG brand inverter units will be used with a total capacity of 225KW. All equipment has a 10-year warranty against manufacturing defects and the modules also have an efficiency guarantee of 80% for 25 years. The investment value in the FV system will be R\$ 992,015.93 (nine hundred and ninety-two thousand, fifteen reais and ninety-three cents), and this includes: the electrical project, approval of the project by the dealer; complete system installation; commissioning and training for system operation.

Regarding the cost of maintenance and replacement, in this work, in terms of maintenance, the value suggested by Vicente et al. (2021)<sup>17</sup> was used, being 1% p.a on the value of the initial investment and for inverter replacements, which will occur on the 10th and 20th year, the author suggests a rate of 23% on the initial value.

### *Diesel Generator Set*

The price of the diesel generator set was R\$319,140.00 (three hundred and nineteen thousand, one hundred and forty reais), encompassing: Scania diesel engine, model DC13 072A

02-12, cooled by radiator; BRUSHLESS three-phase synchronous WEG alternator (1800 RPM); metal base for the set; automatic control panel, model DSE4520.

For maintenance, 6% p.a. will be considered, on the initial cost of the investment.<sup>26</sup> At the end of the 25th year, a residual value of 20%.<sup>24</sup> For calculation purposes, the value of the average price of a litre of S500 diesel oil in Brazil for the month of May/2023, obtained on the ANP website<sup>27</sup> will be used.

### *Electric Energy from the Supplier*

Because the property studied did not have a three-phase electricity connection, it was necessary to build a 300kva substation that cost R\$ 160,000.00. (One hundred and sixty thousand reais). For electrical maintenance prices, the cost of 2% of the initial investment value will be considered.<sup>26</sup> The cost of electrical energy will be calculated according to irrigation management and the kWh values adopted will be the Equatorial Energia values for the rural producer class for the year 2023<sup>28</sup>.

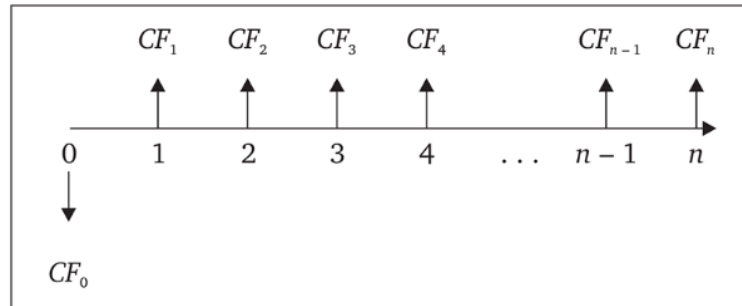
### Financial Viability Analysis

In the second phase, the cash flow was calculated using the information collected in the previous stage. And the calculations of the feasibility analysis of the three energy sources studied were started at this point, that is: electrical energy from the supplier, photovoltaic energy and energy from the diesel generator. It is worth noting that all calculations related to agricultural activities remained identical, only the data relating to energy sources changed.

After a bibliographical survey on the topic, it was concluded that to analyse the financial viability of photovoltaic energy, the methods used will be the Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return (IRR) and the Modified Internal Rate of Return (MIRR), Equivalent Periodic Benefit (EBP). For the Minimum Attractiveness Rate (MAR), the SELIC rate (Brazilian basic interest rate), effective in October/2023, was defined as a parameter<sup>29</sup>, as it is, according to Assaf Neto (2011)<sup>30</sup>, a nominal rate responsible for analysing the impacts of inflation over time.

The cash flow of the investment was calculated with the aid of an electronic spreadsheet using Excel software. According to Ruiz (2021)<sup>31</sup>, the cash flow of an investment project should only consider incremental flows – negative or positive – for the purposes of

calculating financial viability, that is, only the additional flows of the investment project under analysis should be considered. In this sense, Souza (2008)<sup>32</sup> makes a graphical representation of the cash flow (Figure 4).



**Figure 4.** Graphical Representation of Cash Flow. Source: Souza (2008).

In which  $CF_0$  represents the initial investment and each  $CF_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) represents the cash inflow or outflow in period  $j$ .

The cash flow (CF) adopted in this study considers the initial investment at date zero, the planning horizon will be 25 years (lifecycle of the solar panels), in the referred to time span, income and expenditure incurred during the project period were recorded. Once the CF was completed, it was possible to calculate the financial viability indicators.

According to Marquezan and Brondani (2006)<sup>33</sup>, these are used in investment analysis to demonstrate the viability of a single investment or, through comparison, demonstrate which of two or more investments will have the best or quickest return. For the present study, the analysis methodology proposed by Rezende & Oliveira (2013)<sup>34</sup> was used.

Financial viability will be analysed by the NPV, which is obtained by the positive difference between revenues and updated costs for a given discount rate<sup>34</sup>, according to Equation 1. For this project, an NPV greater than zero indicates the viability of the analysed project.

Equation 1

$$NPV = \sum_{j=0}^N R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

where: NPV= Net Present Value  $R_j$  = revenue in period  $j$ ;  $C_j$  = costs in period  $j$ ;  $i$  = discount rate;  $j$  = period of occurrence of  $R_j$  and  $C_j$ ; and  $n$  = planning horizon.

The IRR is the discount rate that equates the current value of future revenues to the current value of project costs<sup>34</sup>, that is, it verifies whether the profitability of the investment is greater, less than or equal to the cost of capital, according to Equation 2.

Equation 2

$$\mathbf{IRR} = \sum_{j=0}^n \mathbf{R}_j (1 + 1)^j - \sum_{j=0}^n \mathbf{C}_j (1 + 1)^j = 0$$

where: IRR = internal rate of return; the other variables have already been defined.

The interest rate of 7,5% per year was used in the analysis, corresponding to the interest rate on the credit line of the FCO (Central-West Constitutional Financing Fund) Verde. So as to reduce distortions in the IRR calculation, the Modified Internal Rate of Return (MIRR) technique is used, which has the ability to reduce distortions by eliminating uncertainties resulting from the multiple roots that the IRR presents.<sup>35</sup> To be considered financially viable, the MIRR must show a value greater than the MAR.<sup>36</sup> For the reinvestment rate was used 14% per year.

The Equivalent Periodic Benefit (EPB) is the periodic and constant installment required to pay an amount equal to the NLV of the investment under analysis throughout its useful life and is obtained by applying equation 3.<sup>34</sup> The authors also consider that positive EPB indicates financial viability of the project.

Equation 3

$$\mathbf{EPB} = \frac{\mathbf{NLVI} (1 + i)^1 \cdot \mathbf{1I} (1 + i)^{n1}}{(1+i)^{nt} - 1}$$

In which: i = discount rate; n = project duration (in years); and t = number of capitalization periods.

#### Monte Carlo Simulation Method

Finally, to improve the study, we used the stochastic approach, by applying the Monte Carlo Simulation Method (MCSM), and registered the results in Microsoft Excel data sheet. So

as the MCSM could be applied, to the historical series of sales prices and production of crops, the prices of diesel oil were deflated, after having applied the MCMS for normal distribution of the commodities.

For the sales value of the production, the historical series of the value paid to the producer in the State of Goiás in the last 20 years was surveyed for each crop, the prices used in this work were made available by the National Supply Company (CONAB) through Fala.br, for soybean cultivation, the historical series of 20 years was made available, for bean cultivation 19 years and for corn 18 years. Regarding productivity, the data were obtained from the website of the Technical Assistance and Rural Extension Company – EMATER-DF.<sup>23</sup> In relation to the historical series of production costs, it was decided to use the data made available by the National Supply Company for the city of Unaí/MG for the 3 crops, thus, for the corn and soybean crops it was possible to carry out the survey of the historical series of the last 18 years and for the bean crop of the last 19 years.<sup>24</sup>

For the historical series of diesel oil, the cost of the average price of a litre of S500 diesel oil in Brazil over the last 5 years was considered, the average resale price, obtained on the ANP (National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels) website.<sup>27</sup> The historical series used above were deflated using the General Market Price Index - IGP-DI (FGV, 2021) as a monetary correction index, widely accepted for updating monetary values from past periods.<sup>37</sup> In relation to the electricity tariff, the average effect on the consumer from 2014 to 2022 available on the Equatorial Energia website for the state of Goiás was used as a historical series and after applying the MCSM.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

Financial viability analyses were carried out comparing available energy sources, namely: electrical energy supplied by Equatorial Energia, photovoltaic solar energy and diesel generator. And two scenarios were analysed for each source, one using data for the year 2022 and the other using the most likely value after applying the Monte Carlo Method.

The Cash Flow (CF) below (table 6) was obtained by accounting for forecasts of financial inflows and outflows during the 25-year planning horizon of this work. In year zero there is a negative CF caused by investments in the acquisition of central pivot equipment, the photovoltaic systems and the diesel generator, as well as the construction of the electrical energy substation. It is observed that there is an annual alternation of CF values due to the crops

used (soy/beans or corn/beans), the only exception is regarding photovoltaic energy in years 10 and 20, which has a decrease in relation to other years, as in these years it is planned to change the inverter, which results in a greater expense. In the 25th year, the entries of the residual values of the central pivot and diesel generator equipment were recorded according to the literature used.

**Table 6 – Cash Flow**

Year	Scenario Realistic (R\$)			Scenario Most Likely (MCSM)(R\$)		
	Diesel	EE	SPV	Diesel	EE	SPV
0	(3,958,140.00)	(3,799,000.00)	(4,631,015.93)	(3,958,140.00)	(3,799,000.00)	(4,631,015.93)
1	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
2	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
3	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
4	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
5	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
6	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
7	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
8	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
9	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
10	1,110,701.31	1,627,064.90	1,806,656.62	1,499,440.54	1,844,542.35	2,098,571.63
11	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
12	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
13	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
14	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
15	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
16	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
17	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
18	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
19	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
20	1,110,701.31	1,627,064.90	1,806,656.62	1,499,440.54	1,844,542.35	2,098,571.63
21	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
22	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
23	698,206.26	1,214,569.85	1,508,243.40	1,329,390.20	1,674,492.02	2,042,603.13
24	1,110,701.31	1,627,064.90	1,920,738.45	1,499,440.54	1,844,542.35	2,212,653.47
25	1,489,834.26	1,942,369.85	2,236,043.40	2,121,018.20	2,402,292.02	2,770,403.13

Source: The author.

A project is financially viable if it has an NPV (Net Present Value) > 0, IRR (Internal Rate of Return) > MARR (Minimum Attractive Rate of Return), MIRR (Modified Internal Rate of Return) > MARR (Minimum Attractive Rate of Return) and EPB (Periodic Benefit) > 0. Thus, when analysing table 7 it is possible to understand that, at a 12,75% p.a. discount rate, the NPV shows that, in both scenarios the energy sources studied are financially viable. However, the results of the IRR and MIIR, when compared to the adopted MARR, demonstrate that the project is attractive.

**Table 7 - Financial indicators for the use of Diesel, electrical energy and photovoltaic energy in a central pivot.**

Scenario	Source	NPV (R\$)	IRR (%)	MIRR(%)
Realistic	Diesel	6.137.872,46	22	16
	EE	12.042.422,97	37	18
	SPV	14.401.762,03	36	18
Most Likely (MCSM)	Diesel	11.890.386,80	35	18
	EE	15.885.891,60	46	19
	SPV	19.074.982,12	46	19

Source: The author.

In relation to NPV, all scenarios analysed were viable, in line with the results found by Bruning (2022)<sup>15</sup>, Nascimento (2019)<sup>35</sup>, Souza et al. (2019)<sup>20</sup>, Souza and Gimenes (2018)<sup>36</sup>, Nespolo et al. (2022)<sup>38</sup>, and Della Justina et al. (2022)<sup>39</sup> in their studies. This shows that the use of EFV is appealing and that it can and should be taken into consideration as an energy source for rural businesses that require energy for production, whether it be grains, vegetables or animal protein.

For the three energy sources, the NPV of the studied scenarios ranged from R\$6,137,872,46 (six million, one hundred and thirty-seven thousand, eight hundred and seventy-two Brazilian Reais and forty-six cents) to the more probable diesel scenario to R\$19,074,982.12 (nineteen million seventy-four thousand nine hundred and ninety-two Brazilian Reais and twelve cents) suggested by the photovoltaic MCSM. It is possible to perceive that in either of the scenarios the use of the photovoltaic energy matrix rendered the best results when compared to the use of electricity and diesel. In their study, Souza et al. (2019)<sup>20</sup> displayed different results to the ones found in this study the NPV for use of electricity proved to be more beneficial in their study, resulting in R\$4.445,364.56 (four million, four hundred and forty-five thousand, three hundred and sixty-four Brazilian Reais and fifty-six cents) for

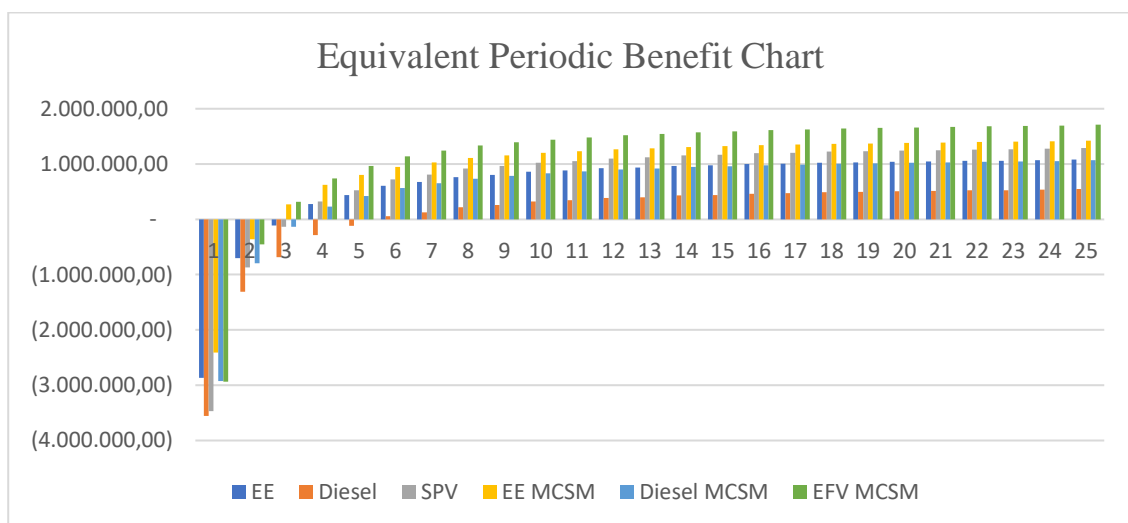


electric energy and R\$3.124,551.22 (three million, one hundred and twenty-four thousand, five hundred and fifty-one Brazilian Reais, and twenty-two cents) for photovoltaic energy.

The results obtained by IRR demonstrate that the project is attractive in all scenarios studied, the findings differ from the results of studies carried out by Bassotto et al. (2022)<sup>37</sup>, in which the authors obtained an IRR of 2.68% compared to a MARR of 2.75% p.a. We still have Barboza, Dacroce and Hofer (2016)<sup>40</sup>, who, when studying the feasibility of implementing a photovoltaic energy system on a rural property, using their own resources and third-party resources, obtained an IRR of 1% and -1%, respectively, displaying how unattractive the project is when compared to a MARR of 14.25%. The IRR obtained was inferior to the one found by Souza et al. (2019)<sup>20</sup> in their study, in which they found a value of 60.31% and 33.85% for the traditional electrical energy and photovoltaic energy scenarios respectively, and is also in line with the result obtained by Della Justina, et al. (2022)<sup>39</sup>, of 31.0193% p.a.

Regarding the MIRR, the results obtained follow the same tendency as those of the IRR. Thus, after having analysed the values found (Table 7) for the indicator, we concluded that the project has financial attractiveness, seeing that the MAR adopted in this study was 12,75% and the findings vary from 16% in the case of the realistic scenario for diesel and 19% for the most likely scenario according to the MCSM for electric energy and photovoltaics. In a related study, Souza and Gimenes (2018)<sup>38</sup> reached similar results to those we obtained in this study. In their work, the authors attained an MIRR of 16.80% and the MAR adopted in the study was 9.0160%.

**Chart 2. Equivalent Periodic Benefit Chart**



**Source: The author.**

When analysing the EPB Chart (Chart 2), it can be seen that the highest reimbursement calculated in both realistic and MCSM scenarios for the use of photovoltaic solar energy in the amount of R\$ 1,291,991.74 (one million, two hundred and ninety-one thousand, nine hundred and ninety-one Brazilian Reais and seventy-four cents) out of R\$ 1,711,229.46 (one million, seven hundred and eleven thousand, two hundred and twenty-nine Brazilian Reais and forty-six cents), respectively. The use of diesel oil was the one quoted at the lowest value, R\$ 550,632.66 (five hundred and fifty thousand, six hundred and thirty-two Brazilian Reais and sixty-six cents) for the realistic scenario. In this way, it became clear that the use of solar energy has greater financial viability than other energy sources studied.

The project presented financial viability, however it was observed that other authors obtained results superior to those presented in this study. Largely due to the increase in the production cost of the crops used between 2021 and 2022. Soybeans had a 170% increase in production costs caused mainly by the increase in the prices of fertilizers and pesticides. Corn suffered an increase in production costs of approximately 197%, caused mainly by the acquisition of seeds, fertilizers and agricultural pesticides. And in bean production, this increase was approximately 153%, driven by the cost of purchasing fertilizers and pesticides. According to the Brazilian Association of the Machinery and Equipment Industry 41 in the first half of 2021 alone, the prices of agricultural equipment increased by 40%, the main reason being the increase in the price of steel. This rise in prices was directly reflected in the cost of purchasing central pivot irrigation equipment, which increased the initial investment.

## **CONCLUSIONS**

The target of the study is a property located in the rural area of the municipality of São João da Aliança in the state of Goiás and is part of the mesoregion of Norte Goiano (North of Goiás) and microregion of Chapada dos Veadeiros. In the state of Goiás, irrigation by pivots is the main method used for large cultivated areas, especially considering those in which, such as is the case, for annual production of crops, the high degree of technology and mechanization, water availability all of contribute towards exponential expansion of irrigated area and thus, production. Some of the difficulties to such growth producers face is low availability of electrical energy and, one of the ways to solve this problem is to use solar PV, considering that the sun shines in this state more than two thousand hours/year.

Research was undertaken to study the financial viability of using solar photovoltaic energy in a central pivot in the state of Goiás, and, to achieve this, a simulation was carried out considering an irrigated area of 129.5 ha, where 3 central pivots with an area of 64.6ha, 42.7 and 22.2ha will be installed in successive cultivation of soybeans and corn.

Regarding financial indicators, they were calculated by using the Net Present Value, Internal Rate of Return (IRR), Modified Internal Rate of Return (MIRR) and Equivalent Periodic Benefit (EPB). The results showed that there is greater financial viability for the enterprise when using solar photovoltaic energy.

The Net Present Value observed in the production of a system with photovoltaic energy amounted to R\$14,401,762.03 (fourteen million, four hundred and one thousand, seven hundred and sixty-two Brazilian Reals and three cents), over a 25-year period of time, compared to a total of R\$ 12,042,422.97 (twelve million, forty-two thousand, four hundred and twenty-two Brazilian Reals and ninety-seven cents) by using on-grid electricity and compared to a total of R\$ 6,137,872.46 (six million, one hundred and thirty-seven thousand, eight hundred and seventy-two Brazilian Reals and forty-six cents) by using diesel oil, over the same time span.

In addition to the financial viability demonstrated in the use of solar energy for central pivot irrigation purposes, there are still some points that were not addressed in the present study, such as the financial impact of selling surplus energy to the concessionaire or on the free market, measuring the effects of changing the energy matrix such as reducing the use of hydroelectric and thermoelectric energy. We also suggest studies be undertaken to analyze the environmental impacts of the use of photovoltaic energy and also on public policies to encourage the use of solar energy.

## **ABBREVIATIONS**

AAFF – Agriculture, Aquaculture, Fishing and Forestry; ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica/Brazilian Association of Photovoltaic Solar Energy; ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico/National Water and Basic Sanitation Agency); ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels); ARR – Annual Recurring Revenue; BCR – Benefit-Cost Ratio; BLP – Brazilian Labelling Program; BPE – Business Process Engine; Cerrado – Savannah; CF – Cash Flow; CWa – Humid Subtropical Climate; EE – Environmental Engineering; IRENA – International Renewable Energy Agency; IRR – Internal Rate of Return; kW – Kilowatt; kWp – Kilowatt peak; LCM – Lowest Common Multiple; LMD – Labour

Market Dynamics; MAR – Minimum Attractiveness Rate; MARR – Minimum Attractive Rate of Return; MCSM – Monte Carlo Simulation Method; MHa – Million Hectares; MIRR – Modified Internal Rate of Return; MTIR = (uses the order of values to interpret the order of cash flows); MW – Megawatt; NPV – Net Present Value; PB – Periodic Benefit; PV – Photovoltaic; RMS - Risk Mitigation Strategies.

RPM – Revolutions per Minute; SFV - Straight-Fixed-Variable; USDA – United States Department of Agriculture; WEG – Werner (Ricardo Voight) Eggon (João da Silva) Geraldo (Werninghaus).

## REFERENCES

- (1) Embrapa. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. *Brasília*, DF, 2018. Available online: [/https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030++o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829?version=1.1](https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030++o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829?version=1.1). (Accessed on 27 September, 2023).
- (2) Buainain, A. C., P. e Consoline, L. Estado atual da agricultura digital no Brasil: inclusão dos agricultores familiares e pequenos produtores rurais. Documentos de Projetos (LC/TS.2021/61), Santiago, *Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe*, 2021.
- (3) Agricultura irrigada no Brasil: inovação, empreendedorismo e sistemas de produção / organização de Alysson Paolinelli, Durval Dourado Neto e Everardo Chartuni Mantovani. - Piracicaba: ESALQ; Viçosa: *ABID*, 2022.
- (4) Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. *Brasília*, DF. 2<sup>a</sup> ed. 130p. 2021.
- (5) Rodrigues, L.N., Domingues, A.F. Agricultura Irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. 1.ed. Brasília, DF: *Embrapa Cerrados*, 2017.
- (6) Barros, D.S., Cavalcanti, A.A.P., Luciano, A.A., Navarro, A.A.A.L., Battiston, C.C., Espíndola, T. Relatório final do modelo lógico: tema: agricultura irrigada, *Brasília*, DF: *MPOG/SPIE/NTIH/CGECRH*, 2009.
- (7) Marshall, Z., Brockway, P. E. “A Net Energy Analysis of the Global Agriculture, Aquaculture, Fishing and Forestry System”. In: *Biophysical Economics and Sustainability*, v. 5, n. 2, p. 1-27, 2020.

(8) Renewables 2022. Global Status Report. REN 21, 2022. Available online: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf) (Accessed on 26 October, 2022).

(9) Irena. Renewable Energy Statistics, The International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi, 2022. Available online: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022> (Accessed on 25 October, 2022).

(10) Infografico. 2023 Available online: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/> (Accessed on 20 March, 2023).

(11) Souza, V., Lourenço, R. L., Oliveira, L. E. do N. Alterações nos padrões tecnológicos da avicultura de corte: impactos na vida e nos negócios de produtores integrados / changes in the technological parents of cut poultry farming: impacts on life and businesses of integrated producers. *Informe GEPEC*, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 90–114, 2023.

(12) Lana, L. T. C. et al. “Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica”. In: *Engenharias On-line*, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2016.

(13) Canal Solar. 2020. Available online: <https://canalsolar.com.br/primeiro-pivo-do-mundo-acionado-exclusivamente-por-energia-solar-e-lancado-no-brasil/> (Accessed on 5 November, 2022).

(14) Guillén-Arenas, F. J., Fernández-Ramos, J., Narvarte, L. A New Strategy for PI Tuning in Photovoltaic Irrigation Systems Based on Simulation of System Voltage Fluctuations Due to Passing Clouds. *Energies*, v. 15, n. 19, p. 7191, 2022.

(15) Bruning, J. Energia Fotovoltaica: Análise Técnica e Econômica de Sistema Autônomo para Irrigação. 2022. Universidade Federal de Santa Maria, RS. Available online: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/24637/tes\\_ppgea\\_2022\\_bruning\\_jhosefe.pdf?sequence=1&isallowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/24637/tes_ppgea_2022_bruning_jhosefe.pdf?sequence=1&isallowed=y) (Accessed on 25 September, 2023). (PhD. Thesis in Agricultural Engineering. 100 p.).

(16) Boukebbous, S. E. et al. Experimental performance assessment of photovoltaic water pumping system for agricultural irrigation in semi-arid environment of Sebseb—Ghardaia, Algeria. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, p. 1-16, 2021.

(17) Vicente, M. R., Santos, T. A., Dias, T. L., de Oliveira, P., dos Santos, R. M., & Leite, C. V.. viabilidade econômica da energia fotovoltaica para irrigantes no norte de minas e Vale do Jequitinhonha. *Energia na agricultura*, 36(1), 58-71. 2021.

(18) Ghasemi-Mobtaker, H. et al. Application of photovoltaic system to modify energy use, environmental damages and cumulative exergy demand of two irrigation systems-A case study: Barley production of Iran. *Renewable Energy*, v. 160, p. 1316-1334. 2020.

(19) Carrêlo, I. B., Almeida, R. H., Narvarte, L., Martinez-Moreno, F., Carrasco, L. M. Comparative analysis of the economic feasibility of five large-power photovoltaic irrigation systems in the Mediterranean region. *Renewable Energy*, v. 145, p. 2671-2682, Aug. 2020.

(20) Sousa, M. A., Júnior, J. A., Evangelista, A. W. P., Casaroli, D., & Mesquita, M. Nota técnica: estimativa de viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central no estado de goiás. *Revista Engenharia na Agricultura*, 27(1), 22-29.2019.

(21) García, A. Mérida et al. Comparing the environmental and economic impacts of on-or off-grid solar photovoltaics with traditional energy sources for rural irrigation systems. *Renewable Energy*, v. 140, p. 895-904, 2019.

(22) Laudo DE Valoração. 2020. Available online: <https://www.saojoaodalianca.go.gov.br/res/midias/outros/12af71fc5ddb28b33c61b77e0dd214dc.pdf>. (Accessed on 19 June 2023).

(23) EMATER/DF. 2023. Available online: [https://www.emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/SISCUSTOS\\_1\\_DE\\_2023.pdf](https://www.emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/SISCUSTOS_1_DE_2023.pdf). (Accessed on 25 June 2023).

(24) CONAB, 2023. Available online: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao> (Accessed on 12 October 2023).

(25) Bernardo, S., Soares, A.A., Mantovani, E.C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 625p. 2008.

(26) Programa Nacional de Irrigação - PRONI – Tempo de irrigar: manual do irrigante. São Paulo: Mater, Fundação Victor Civita. 1987. 160 p. apud CARVALHO, J. de A.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; REIS, JBRS. Análise de custos na escolha do tipo de motor para acionamento de bombas em áreas irrigadas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 24, n. 2, p. 434-440, 2000.

(27) ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Série histórica do levantamento de preços. 2023. Available online: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos> (Accessed on 25 September, 2023).

(28) Equatorial Energia. Valor de tarifas e serviços, 2023. Available online: <https://go.equatorialenergia.com.br/valor-de-tarifas-e-servicos/> (Accessed on 22 April 2023).

(29) BACEN 2023. Available online: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros> (Accessed on 12 October, 2023).

- (30) Assaf Neto, A. Mercado Financeiro. 10 ed. *São Paulo: Atlas*. 2011.
- (31) Ruiz, E. T. N. F. (org.) Análise de investimento em projetos de energia solar fotovoltaica: geração centralizada. 2021.
- (32) Souza, A. Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: Fundamentos, Técnicas e Aplicações. *Grupo GEN*. 2008.
- (33) Marquezan, L. H. F.; Brondani, G. “Análise de investimentos”. In: *Revista Eletrônica de Contabilidade*, v. 3, n. 1, p. 35-35, 2006.
- (34) De Rezende, J. L. P., De Oliveira, A. D. Análise econômica e social de projetos florestais. UFV, 2008.
- (35) Nascimento, M. E. C. Avaliação econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para empreendimentos do agronegócio. 104 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - *Universidade Estadual do Oeste do Paraná*, Cascavel, 2019.
- (36) Da Silva, M. A. et al. Energia fotovoltaica na agricultura familiar: Um estudo de caso na região de Dourados-MS. *Informe GEPEC*, v. 26, n. 2, p. 69-86, 2022.
- (37) Bassotto, L. C., do Nascimento, R. M. F., Lopes, M. A., Lopes Filho, M. A., de Benedicto, G. C., & Tavares, M. P. Energia fotovoltaica: análise de custos de produção em propriedade leiteira de Minas Gerais. In: *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 15(4), 1-16. 2022.
- (38) Nespolo, Sabrina et al. Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma propriedade rural. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 15, n. 3, p. 1-17, 2022.
- (39) Della Justina, N., Siqueira, J. A. C., Tokura, L. K., de Villa, B., Tokura, W. I., Silveira, V. F., & Rodrigues, H. V. Avaliação técnica e econômica de sistema fotovoltaico conectado à rede, para aviário de frango de corte. *Latin American Journal of Energy Research*, 9(1), 40-48.2022.
- (40) Barboza, L. G. S., Dacroce, N. P. D., & Hofer, E. Análise de viabilidade de implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica numa propriedade familiar rural: Um estudo com base no PRONAF Mais Alimentos. In: *Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade*, 5, 1-17. 2016.
- (41) ABIMAQ. 2021. Available online: <https://abimaq.org.br/blogmaq/431/maquinas-agricolas-vendas-em-alta-mesmo-com-aumentos> (Accessed on 23 July, 2023).