

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO EM UMA PROPRIEDADE AGRÍCOLA UTILIZANDO LINHAS  
DE FINANCIAMENTO RURAL**

São Carlos,

2021

RENAN CAPISTRANO PRATA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO EM UMA PROPRIEDADE AGRÍCOLA UTILIZANDO LINHAS  
DE FINANCIAMENTO RURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Elétrico.

**Orientador (a):** Prof<sup>a</sup>. Associada Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto

São Carlos,  
2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

P912 v	<p>Prata , Renan Capistrano</p> <p>VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA PROPRIEDADE AGRÍCOLA UTILIZANDO LINHAS DE FINANCIAMENTO RURAL / Renan Capistrano Prata ; orientadora Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto. São Carlos, 2021.</p> <p>Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2021.</p> <p>1. Energia renovável . 2. Energia solar . 3. Viabilidade econômico-financeira . 4. Linhas de crédito rural . I. Título.</p>
-----------	--

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Renan Capistrano Prata

Título: "Viabilidade econômica da implementação de um sistema fotovoltaico em uma propriedade agrícola utilizando linhas de financiamento rural"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 20 / 07 / 2021,

com NOTA 10.0 ( dez ), pela Comissão Julgadora:

Profa. Associada Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto -  
Orientadora SEP/EESC/USP

Mestre Karoline Arguelho da Silva - Doutorando/Eng. Produção -  
EESC/USP

Mestre Jordão Natal de Oliveira Júnior - Doutorando - Eng. Elétrica  
- EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:  
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais Hélio e Claudia e a minha irmã Thaís.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a toda minha família, mas principalmente meus pais Hélio e Cláudia, pelo exemplo profissional e pessoal que são e, por não pouparem esforços em me ajudar durante todo o período da minha graduação e trajetória de vida.

Aos meus grandes amigos da República Toca da Raposa, que me acolheram e ofereceram um lar durante meu período em São Carlos. Não tenho dúvidas que este aprendizado extra curricular foi de imensa importância na minha formação pessoal. A minha namorada Lívia, que esteve do meu lado em todos os momentos e fez com que tudo fosse mais leve.

Aos professores e funcionários da Escola de Engenharia de São Carlos, por todo o ensinamento e suporte, em especial a professora Daisy que me orientou e ajudou durante todo o processo deste estudo.

## RESUMO

A energia fotovoltaica é uma forma sustentável de energia elétrica, muito utilizada na atualidade como mecanismo econômico de geração de energia e diminuição de custos. Sendo assim, compreende-se que se trata de uma ferramenta com valores expressivos e significativos. Diante disto, o presente estudo teve por objetivo aplicar, compreender e analisar a viabilidade do sistema fotovoltaico em uma propriedade agrícola, a partir de linhas de financiamento rural. Propôs-se um estudo que avaliou diferentes elementos que compõem a projeção de aplicação do sistema fotovoltaico, inclusive aspectos econômicos. A partir do estudo realizado, compreendeu-se que o país possui capacidade de geração de energia e que o preço referente aos painéis fotovoltaicos tende a diminuir. Outro elemento observado é o financiamento do projeto utilizando linhas de financiamento incentivadas, as quais apresentaram ser financeiramente viáveis em relação ao retorno esperado do projeto. Foi possível identificar benefícios resultantes do sistema fotovoltaico, como por exemplo, a sustentabilidade, menor dependência das operadoras de energia, taxas de retorno atrativas e adequação de matriz energética e ainda, a adequação às práticas ambientais.

**Palavras-Chave:** Sistema Fotovoltaico; Energia Solar; Sustentabilidade

## **ABSTRACT**

Photovoltaic energy is a sustainable form of electricity, widely used today as an economic mechanism for generating energy and reducing costs. Therefore, it is understood that this is a tool with expressive and significant values. Given this, this study aimed to apply, understand and analyze the feasibility of the photovoltaic system in an agricultural property, from rural financing lines. A study was proposed that evaluated different elements that make up the projected application of the photovoltaic system, including economic aspects. From the study carried out, it was understood that the country has power generation capacity and that the price of photovoltaic panels tends to decrease. Another element observed refers to financing the project with incentivized credit lines, which presented a satisfactory result when compared to the expected project return. It was possible to identify benefits from the photovoltaic system, such as sustainability, which in addition to less dependence on energy operators, attractive rates of return and adequacy of the energy matrix, also contribute to adapting to environmental practices.

**Key words:** Photovoltaic System; Solar energy; Sustainability



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Processo de Estruturado de Energia .....	17
<b>Figura 2.</b> Transformações no Setor Energético.....	19
<b>Figura 3.</b> Fontes Renováveis de Energia .....	22
<b>Figura 4.</b> Sistema de Energia Fotovoltaica.....	24
<b>Figura 5.</b> Métodos de Avaliação Econômica.....	28
<b>Figura 6.</b> Sistema Fotovoltaico <i>On-grid</i> .....	35
<b>Figura 7.</b> Sistema <i>Off-Grid</i> .....	36
<b>Figura 8.</b> Sistema de Corrente, Potência e Tensão .....	38
<b>Figura 9.</b> Posicionamento da placa de sistema fotovoltaico.....	42
<b>Figura 10.</b> Posicionamento das terras.....	46
<b>Figura 11.</b> Local de Instalação.....	47
<b>Figura 12.</b> Consumo médio de energia.....	48
<b>Figura 13.</b> Projeção de Consumo de Energia Elétrica nos próximos 25 anos .....	49
<b>Figura 14.</b> Radiação Média .....	50
<b>Figura 15.</b> Eficiência Média do Sistema.....	54
<b>Figura 16.</b> Diagrama .....	55
<b>Figura 17.</b> Projeção de Geração de Energia do Sistema Fotovoltaico .....	56
<b>Figura 18.</b> Taxa de crescimento anual da tarifa da CEMIG de 2011 a 2020.....	59
<b>Figura 19.</b> Fluxo de caixa do projeto .....	60
<b>Figura 20.</b> Fluxo de caixa descontado.....	61

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Fontes de Energia .....	18
<b>Tabela 2.</b> Quatro Pilares.....	43
<b>Tabela 3.</b> Irradiação Total - $H_{tot}$ ( $Wh/m^2/dia$ ) - Calculado no RADIASOL com dados do 43Atlas Solar – SWERA.....	50
<b>Tabela 4.</b> Caracterização da Geração de Energia .....	52
<b>Tabela 5.</b> Descrição do equipamento Painei Fotovoltaico 335W - RENO-335P - Poli - Full Cell .....	52
<b>Tabela 6.</b> Descrição do Equipamento.....	53
<b>Tabela 7.</b> Relação geração/consumo para o primeiro ano de operação do sistema.....	56
<b>Tabela 8.</b> Geração de energia nominal e útil.....	57
<b>Tabela 9.</b> Relação componentes, quantidades e preços .....	57
<b>Tabela 10.</b> VPL e TIR = Rentabilidade .....	61
<b>Tabela 11.</b> Resumo dos cenários .....	62
<b>Tabela 12.</b> Resumo do Projeto.....	63

## LISTA DE SIGLAS

NMSE – Novo Módulo do Setor Elétrico .....	16
SEB – Sistema Elétrico Brasileiro .....	17
VPL – Valor Presente Líquido .....	28
ROI – Retorno Sobre Investimento.....	28
TIR – Taxa Interna de Retorno.....	28
FC – Fluxo de Caixa.....	28
TMA – Taxa de Atividade .....	28
SAC – Sistema de Amortização Constante .....	31
PV – Capital Emprestado.....	31
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social .....	32
RNTRC – Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Carga .....	32
DC – Corrente Contínua .....	34
TELSUL – TelSul Distribuidora.....	57
CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.....	58
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais .....	58
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica .....	59

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1. Energia Elétrica no Brasil.....	16
2.2. Fontes Renováveis de Energia .....	21
2.3. Energia Solar Fotovoltaica .....	23
2.4. Setor de Leite no Brasil.....	26
2.5. Engenharia Econômica.....	27
2.5.1. Valor Presente Líquido (VPL).....	28
2.5.2. Taxa Interna de Retorno.....	29
2.5.3. Taxa Mínima de Atratividade .....	29
2.5.4. <i>Payback</i> descontado.....	30
2.5.5. Tabela SAC/PRICE .....	31
2.6. Banco Nacional de Desenvolvimento.....	32
2.6.1. BNDES Importancia e Finalidade.....	32
2.6.2. Linha de Financiamento “Inovagro” .....	34
2.7. Sistemas e Módulo Fotovoltaicos .....	34
2.7.1. Sistema <i>Off-grid</i> e Sistema <i>On-Grid</i> .....	34
2.7.2. Corrente, tensão e potência.....	37
2.7.3. Radiação Solar.....	38
2.7.4. Temperatura .....	39
2.7.5. Sombreamento.....	39
2.7.6. Ângulo de Inclinação .....	41
<b>MÉTODO .....</b>	<b>43</b>
3.1 Projeto Elétrico .....	43
3.1.1 Local de Instalação .....	43
3.1.2 Dimensionamento do Projeto .....	44
3.2 Custos Gerais do Projeto .....	44
3.2.1 Investimento Inicial .....	44
3.2.2 Projeção do Fluxo de Caixa .....	45
3.3 Linhas de Financiamento.....	45
3.4. Aplicação de Ferramentas de Engenharia Econômica .....	45
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>

4.1. Local de Instalação .....	46
4.2 Projeto Elétrico .....	48
4.2.1. Energia a Ser Gerada .....	48
4.3. Cenário de Irradiação Total. ....	50
4.4. Definição da Quantidade de Módulos .....	51
4.5. Pannel Solar .....	52
4.6. Inversor .....	53
4.7. Eficiência .....	53
4.8. Simulação de Perdas .....	53
4.9. Projeção de Geração de Energia .....	55
4.10. Equipamentos e mão de obra de instalação .....	57
4.11. Serviços adicionais .....	58
4.12. Dispêndio ou Investimento Inicial .....	58
4.13. Custo de manutenção .....	58
4.14. Tarifas .....	58
4.15. Fluxo de caixa e fluxo de caixa acumulado descontado .....	59
4.16. Cronograma de amortização da dívida .....	61
4.17. Resumo do Projeto.....	63
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>

## INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia renováveis é um dos grandes desafios enfrentados pela humanidade nos últimos anos e vem ganhando mais importância com a intensificação do efeito estufa. Uma das formas mais promissoras de contornar esse problema é aproveitar a energia fornecida pelo sol, fonte limpa e gratuita de energia (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

A eficiência energética procura obter o melhor uso das fontes de energia. Hoje ela é reconhecida nos vários setores de atividade, tais quais o governamental, acadêmico e o empresarial, como um mecanismo de redução de custos e impacto ambiental e incentiva, inclusive, outras melhorias, como por exemplo a qualidade. É definida pela relação entre a quantidade de energia empregada em uma determinada atividade e por aquela disponibilizada para a sua realização. Para se obter a devida eficiência nesse setor faz-se necessária a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde a geração até o consumo final (ARAÚJO, 2018).

No Brasil hoje, tem-se a geração de energia elétrica a partir de usinas hidrelétricas, sendo estas a maior fonte produtora da matéria; isto se deve à existência de grandes rios, à geografia do território brasileiro e os índices pluviométricos registrados em determinadas regiões do país justificam a opção por essa forma de geração (VINICIUS NETO; HENKES, 2015). Mas redundando em preocupação com o cenário sustentável.

Entretanto, nesse contexto de preocupações com a segurança energética e mudanças climáticas, a implantação de fontes renováveis é essencial. Pela menor concentração dos recursos naturais utilizados como fontes renováveis, elas são capazes de prover maior segurança energética aos países que as utilizam, e seu aproveitamento em maior escala é um dos principais instrumentos de combate às mudanças climáticas decorrentes da elevação dos gases de efeito estufa na atmosfera (UCZAI, 2012).

O Brasil se posiciona nesse cenário de forma bastante peculiar, visto a importância histórica das hidrelétricas na matriz elétrica nacional. Por um lado, as energias renováveis no Brasil são um caso de sucesso: a participação de fontes renováveis na matriz de geração brasileira é de 85%. Isto se deve, principalmente, à participação da energia hidroelétrica; uma tecnologia conhecida e amplamente aplicada no Brasil. Por outro lado, a expansão das hidráulicas enfrenta progressivamente maiores custos e restrições. Assim, se o Brasil quiser manter uma matriz limpa, terá que fazer face às novas oportunidades e aos desafios relacionados à introdução das novas energias renováveis (LOSEKANN; HALLACK, 2018).

Um recurso sustentável é a energia solar. Esta pode ser convertida diretamente em eletricidade utilizando-se das tecnologias de células fotovoltaicas. É vista como uma tecnologia

do futuro, visto que se utiliza uma fonte limpa e inesgotável. No atual estado da arte desta tecnologia, ela só encontra viabilidade econômica em aplicações de pequeno porte em sistemas rurais isolados (Iluminação, bombeamento de água, etc.), serviços profissionais (retransmissores de sinais, aplicações marítimas) e produtos de consumo (relógio, calculadoras) (FADIGAS, 2016).

Diante do exposto acima, o presente estudo tem por objetivo **aplicar, compreender e analisar a viabilidade do sistema fotovoltaico em uma propriedade agrícola, a partir de linhas de financiamento rural**. Para tanto, tem-se os seguintes passos de procedimento:

- Caracterizar o sistema fotovoltaico e sua possibilidade sustentável;
- Aplicar o sistema fotovoltaico em uma propriedade rural;
- Compreender a dinâmica econômica que permeia a utilização de energia fotovoltaica;
- Analisar os benefícios trazidos a partir desta utilização de fonte renovável;

Propõe-se uma pesquisa delimitada como estudo de caso, a ser realizado em uma propriedade rural.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Serão apresentados abaixo itens que proporcionam maior familiaridade com a temática explorada. São estes: 1) Energia Elétrica no Brasil; 2) Fontes Renováveis de Energia; 3) Energia Fotovoltaica; 4) Setor de Leite no Brasil; 5) Engenharia Econômica; 6) Indicadores de Investimentos.

### **2.1. Energia Elétrica no Brasil**

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, escassez ou inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outro(s). Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões (ANEEL, 2002).

Assim, tem-se que a energia elétrica é um bem essencial ao mundo moderno e está intimamente ligada ao desenvolvimento das economias e à qualidade de vida das sociedades. Nesse contexto, a disponibilização dos serviços de eletricidade aparece sempre como um tema atual e de grande relevância (SILVA, 2013).

O sistema elétrico brasileiro passou por intensas modificações desde a década de 1990, quando foram privatizadas e verticalizadas as companhias energéticas. Posteriormente, graças à crise de racionamento de 2001, foram realizadas novamente profundas mudanças no setor elétrico brasileiros criando-se o Novo Modelo do Setor Elétrico (NMSE), que forneceu maior robustez ao setor elétrico, permitindo a expansão da oferta energética com a reintrodução do planejamento (CPFL, 2014).

A identificação do Brasil como potência energética e ambiental mundial nos dias de hoje não é um exagero. O país, de fato, é rico em alternativas de produção das mais variadas fontes. A oferta de matéria-prima e a capacidade de produção em larga escala são exemplos para diversos países. (TOLMASQUIM, 2012).

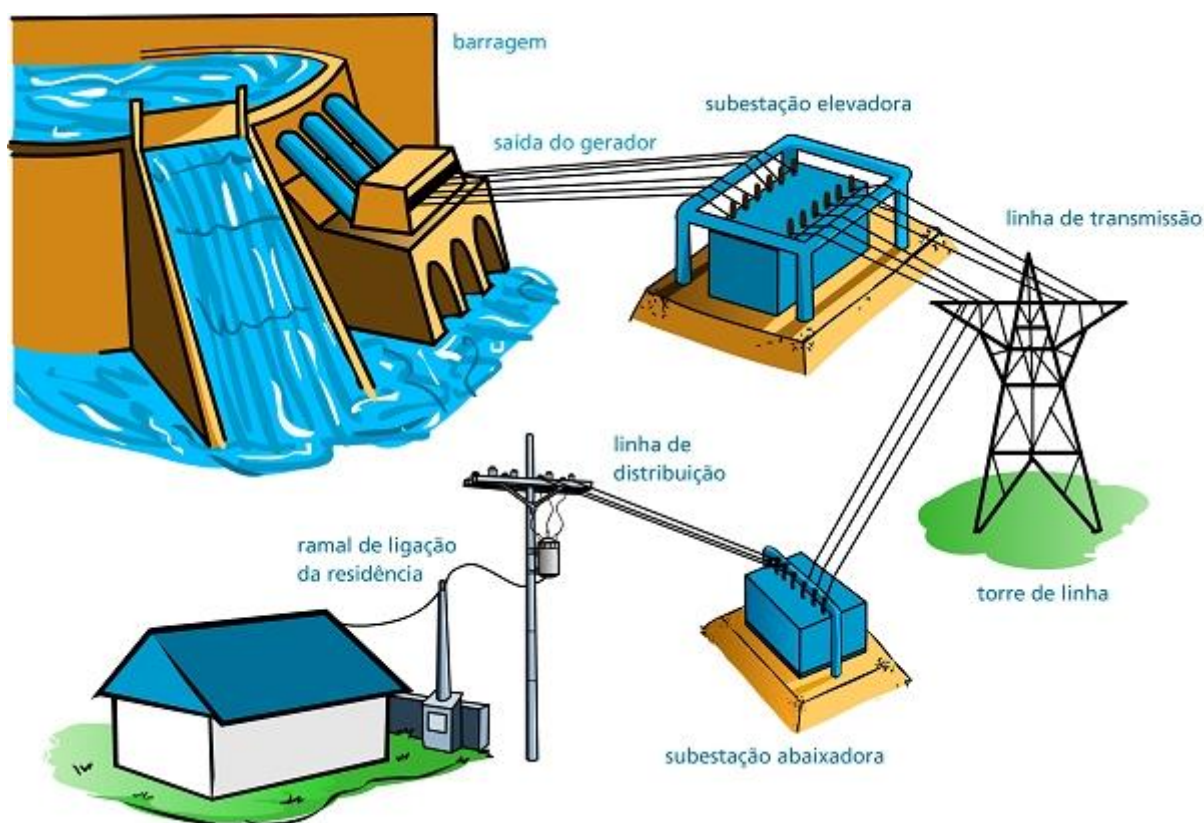
O mesmo autor afirma ainda que o Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) possui características singulares que norteiam as decisões da operação e do planejamento (TOMALSQUIM, 2016). Merecem destaque, então:



- Dimensões continentais;
- Predominância de geração hidrelétrica com grande participação de usinas com capacidade de regularização;
- Diversidade hidrológica das bacias hidrográficas permitindo uma complementariedade entre as regiões;
- Interligação plena entre as regiões a partir de um extenso sistema de linhas de transmissão de longa distância;
- Participação de diversos agentes com usinas no mesmo rio, bem como linhas de transmissão operadas por agentes distintos;
- Tempo de maturação e construção das grandes obras de geração e transmissão de energia.

A Figura 1 delimita o processo estruturado do setor energético.

**Figura 1.** Processo de Estruturado de Energia



As geradoras produzem a energia, as transmissoras a transportam do ponto de geração até os centros consumidores, de onde as distribuidoras a levam até a casa dos cidadãos. Há ainda as comercializadoras, empresas autorizadas a comprar e vender energia para os consumidores livres (geralmente consumidores que precisam de maior quantidade de energia) (ANEEL, 2020). Partindo disto, tem-se as fontes de energia existentes na atualidade descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Fontes de Energia

Fontes		Energia Primária		Energia Secundária
Não Renováveis	Fósseis	Carvão mineral		Termoeletricidade, calor, combustível para transporte
		Petróleo e derivados		
		Gás natural		Termoeletricidade, calor
	Nuclear	Materiais fósseis		
Renováveis	Tradicionais	Biomassa primitiva; lenha de desmatamento		Hidroeletricidade
	Convencionais	Potenciais hidráulicos de médio e grande porte		
	Novas	Biomassa moderna, lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais);		Biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor
		Outros	Energia solar	Calor, eletricidade fotovoltaica
			Geotermal	Calor e eletricidade
			Eólica	Eletricidade
	Maremotriz e das ondas			

Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Goldemberg; Lucon, 2004

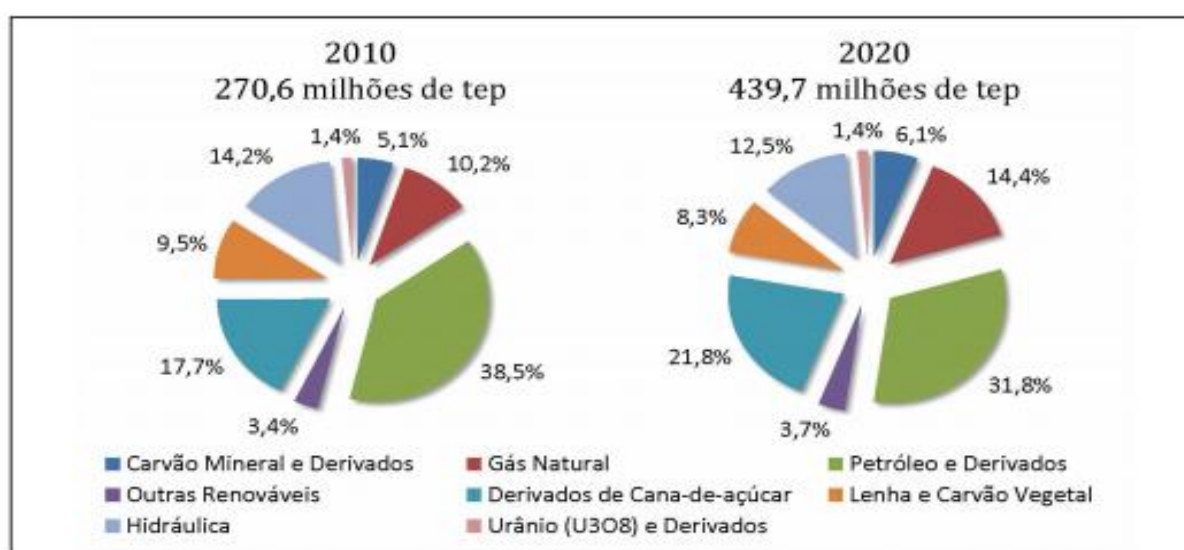
O planejamento energético a médio e longo prazo necessita de informações confiáveis sobre recursos energéticos disponíveis. A falta de informações sobre a variabilidade, tendências e fatores que influenciam a disponibilidade de recursos renováveis é a principal barreira para a adoção e o investimento no desenvolvimento de projetos de produção de energia utilizando fontes renováveis de energia tais como a energia solar e a eólica. Sem informações confiáveis, os investidores tendem a evitar os riscos associados ao desenvolvimento de projetos que adotam essas fontes de energia (MARTINS et al., 2005).

Diante do exposto, tem-se que a expansão acentuada do consumo de energia, embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, tem aspectos negativos. Um deles é a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia. Outro é o impacto ao meio ambiente produzido por essa atividade. Finalmente, um terceiro são os elevados investimentos exigidos na pesquisa de novas fontes e construção de novas usinas (ANEEL, 2008). Sabe-se que, atualmente, o cenário energético vem se modificando, investimentos em fontes de energia renováveis vem se intensificando. Segundo Fapesp (2010, p.9):

Também urgente como imperativo moral, social e econômico, devem-se fornecer serviços de energia sustentável modernos, eficientes e ambientalmente compatíveis às pessoas mais pobres deste planeta – que vivem principalmente em países em desenvolvimento. As academias de ciência, engenharia e medicina do mundo, em parceria com as Nações Unidas e muitas outras instituições e indivíduos envolvidos, estão alinhadas para trabalhar juntos para ajudar a enfrentar esse desafio urgente.

Desse modo, tem-se a urgência de instaurar projetos inovadores utilizando fontes energéticas sustentáveis. A transformação ocorrida nos últimos anos é representada a partir da Figura 2.

**Figura 2.** Transformações no Setor Energético



Fonte: Tomalsquim, 2012

Aos poucos, a produção de energia vai dando espaço para fontes renováveis. A transição oportuna para o uso sustentável de energia também exige políticas para gerar ações que otimizem as consequências macroeconômicas do uso da energia de curto e de longo prazo. A

descarga de efluentes brutos em um rio sempre será mais barata, em nível microeconômico, do que o tratamento dos resíduos, especialmente para os poluidores à montante. Na macro escala, porém, em que os custos de longo prazo à saúde humana, à qualidade de vida e ao meio ambiente forem incluídos nos cálculos, o tratamento dos efluentes claramente se torna uma opção de baixo custo para a sociedade como um todo (FAPESP, 2010).

Nesta perspectiva, o setor elétrico brasileiro tem características que o diferenciam dos demais setores mundiais, isso se deve aos recursos hídricos de que o país dispõe; com especificidades tecnológicas e institucionais associadas à melhoria do seu uso, que promovem a estrutura de mercado e o marco regulatório brasileiros bem diferentes dos demais países (BORBA, 2015).

Entretanto, sabe-se que as usinas hidrelétricas geralmente abastecem um número considerável de cidades, o que não permite erros, uma vez que isto possa gerar prejuízos significativos na geração de energia elétrica, podendo ocasionar apagões (VIEIRA, 2017).

Os riscos podem ser diminuídos. Segundo Vieira (2017, p.9), “aumentando o percentual sobre a geração total hidrelétrica, os riscos relacionados à falta de energia decorrente de problemas internos das Usinas Hidrelétricas automaticamente diminuiriam”, uma vez que essa redução de risco se dá por meio da energia elétrica gerada a partir de várias centrais e não de apenas uma única usina hidrelétrica.

Atualmente, muito se tem discutido acerca desta temática, uma vez que o risco de apagão voltou ao cenário energético, depois de 2001 com a maior crise energética vivenciada. De acordo com Pinto (2001, p.1) “a crise energética estava ligada principalmente à falta de planejamento no setor e à ausência de investimentos em geração e distribuição de energia”. De acordo com dados apresentados por Pinto (2001, p.3):

A partir de 1º de julho de 2001, os consumidores tiveram que cortar voluntariamente 20% do consumo de eletricidade, caso contrário, teriam um aumento no valor da energia. Segundo o plano, quem consumisse até 100 quilowatts/hora por mês (30% dos lares brasileiros) não precisaria economizar nada. Acima dessa faixa, a redução era obrigatória e os que não aderissem ao pacote corriam o risco de ter a luz cortada – por três dias na primeira infração e seis dias em caso de reincidência. O governo ainda impôs uma sobretaxa às contas de energia que fossem superiores a 200 quilowatts/hora por mês, pagando 50% a mais sobre o que excedesse a esse patamar. Haveria uma segunda sobretaxa, de 200%, para as contas acima de 500 quilowatts.

Consequentemente, medidas foram propostas a fim de manter a distribuição de energia elétrica no país. Após 20 anos, o Brasil se vê diante da situação afrontosa de um novo apagão.

Diferentemente de duas décadas atrás, o país hoje, possui recursos para abastecimento, mas segundo O presidente do Instituto Acende Brasil, Cláudio Salles em uma entrevista ao Canal CNN Brasil – “a energia é gasta de maneira irregular, com horários de baixa e de pico, o problema da estiagem está relacionado ao aumento da demanda em parte do dia, explica” (CNN BRASIL, 2021, p.2).

Atualmente, o nível dos reservatórios brasileiros está no menor índice histórico, com 32% da capacidade das hidrelétricas. Consequentemente, a possível falta de energia elétrica pode acarretar em prejuízos para o setor econômico brasileiro.

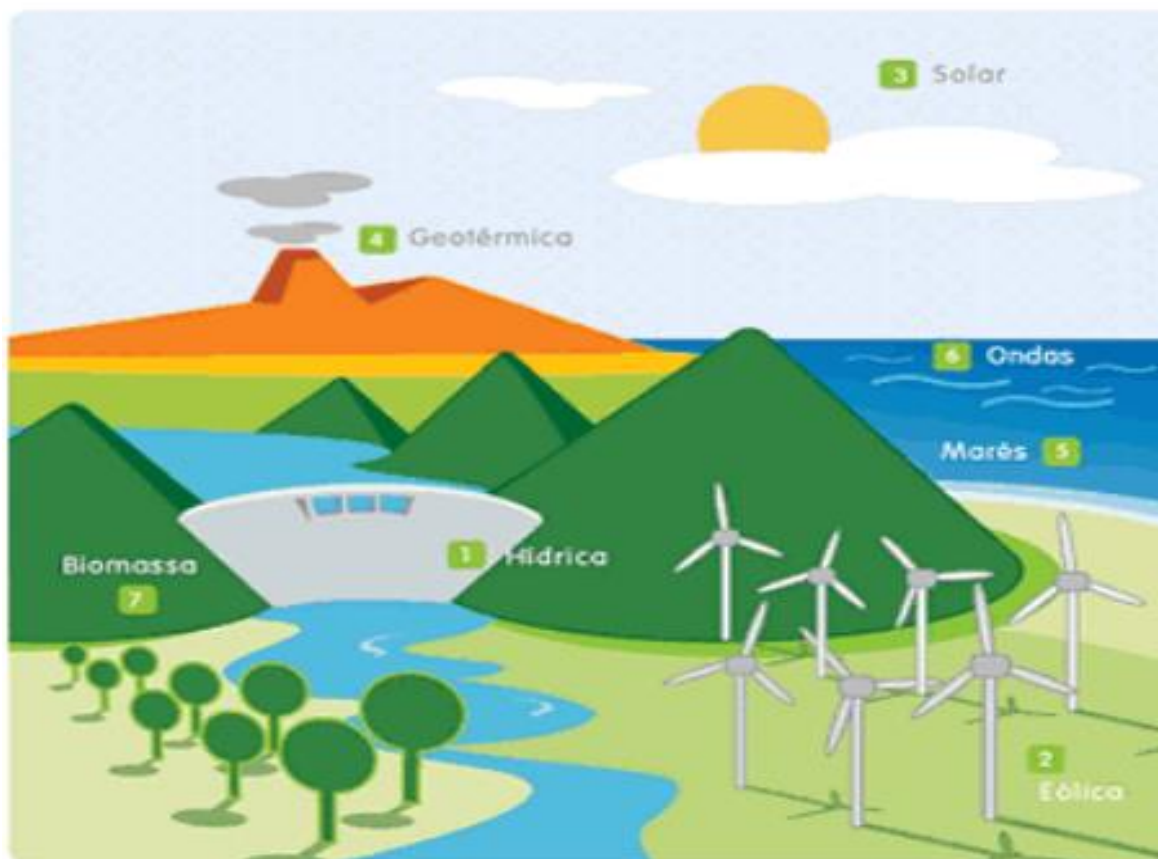
De acordo com Cláudio Salles em entrevista ao canal CNN Brasil (2021) “os eventuais apagões deverão ter efeitos negativos na economia. Isso porque qualquer falta de energia resultaria em mudanças na rotina de trabalho e diminuições na capacidade produtiva”. Portanto, o período é considerado crítico para todos, sendo necessário investimentos em energias renováveis e sustentáveis.

## **2.2. Fontes Renováveis de Energia**

Atualmente, a nova ordem mundial é a busca pela autossuficiência em geração de energia, aliada a uma diversificação da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energias alternativas que supram a demanda interna dos países, no caso de uma escassez de combustíveis fósseis (PACHECO, 2006).

Diante deste cenário, tem-se o desenvolvimento da sociedade humana atrelado à transformação do meio ambiente e obtenção de energia. Durante o desenvolvimento da nossa sociedade ficou evidente a carência de energia em todos possíveis locais da convivência humana, e nas últimas décadas temos visto o apelo de várias vozes que nos mostram o iminente do um dos combustíveis fósseis, o imenso impacto ambiental causado por essas fontes de energia e a insustentabilidade do modo como obtemos a energia que nos move (BLUE-SOL, 2016). Muitas são as fontes de energia renováveis utilizadas atualmente. A ilustração do cenário com fontes de energia renováveis pode ser observada na Figura 3.

**Figura 3.** Fontes Renováveis de Energia



Fonte: CTPM Barbacena (2018)

Deste modo, Nascimento e Alves (2016) delimitam que as fontes renováveis de energia são aquelas em que os recursos naturais utilizados são capazes de se regenerar, ou seja, são considerados inesgotáveis, além de diminuir o impacto ambiental e contornar o uso de matéria prima que normalmente é não renovável. Dentre as energias alternativas renováveis, mais conhecidas atualmente encontram-se a energia eólica, energia hidráulica, energia do mar, energia solar, energia geotérmica e biomassa.

Pacheco (2006, p.5-6) apresenta uma breve caracterização acerca das principais fontes de energia renováveis.

**Energia Solar:** A energia proveniente do sol. Pode ser utilizada diretamente para o aquecimento do ambiente, aquecimento de água e para produção de eletricidade, com possibilidade de reduzir em 70% o consumo de energia convencional.

**Energia Eólica:** energia cinética das massas de ar (ventos) provocadas pelo aquecimento desigual na superfície da Terra.

**Biomassa:** é a energia química produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono através da fotossíntese

Trata-se de fontes que podem ser repostas em um período de tempo relativamente curto ou médio, de forma espontânea ou mesmo com intervenção humana. Entretanto, há que se ressaltar que os custos de investimento das fontes renováveis são, em geral, mais elevados do que os das tecnologias convencionais. Essas últimas já atingiram um nível tal de maturidade que os pesados investimentos em desenvolvimento tecnológico já foram recuperados e os custos se reduziram com a experiência e a escala adquiridas ao longo do tempo. Embora as diferenças entre custos de produção sejam ainda expressivas, é importante observar que o tempo de maturação de uma tecnologia é longo, mas os ganhos com a experiência podem ser expressivos (COSTA; PRATES, 2005).

Considera-se relevante que as fontes renováveis podem contribuir para o desenvolvimento social e econômico, acesso à energia, segurança energética, mitigação das mudanças climáticas e redução de problemas ambientais e de saúde causados pela poluição do ar, alcançando, assim, todas as dimensões do desenvolvimento sustentável (UCZAI, 2012). Decorrente da temática explorada, será explorada a fonte renovável de energia solar.

### 2.3. Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar incidente sobre a superfície da terra é superior a cerca de 10.000 vezes a demanda bruta de energia atual da humanidade. Entretanto, sua baixa densidade (energia/área) e sua variação geográfica e temporal representam grandes desafios técnicos para o seu aproveitamento direto em larga escala. Na busca do aproveitamento direto da energia solar, diversas tecnologias vêm sendo estudadas, com especial destaque para a conversão fotovoltaica, a conversão térmica e a arquitetura bioclimática (GALDINO et al., S/D).

Muita energia vem do Sol para a Terra, mas pouco é aproveitado. Uma parte da radiação solar fornece calor, outra forma os ventos, outra, os potenciais hidráulicos dos rios (pela evaporação e condensação), outra, as correntes marinhas. Uma pequena parte é incorporada nos vegetais através da fotossíntese e serve para sustentar toda a cadeia alimentar do planeta (GOLDEMBERG; LUCON, 2004). Nesta perspectiva, Cresesb (2006, p.4): indica que:

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e

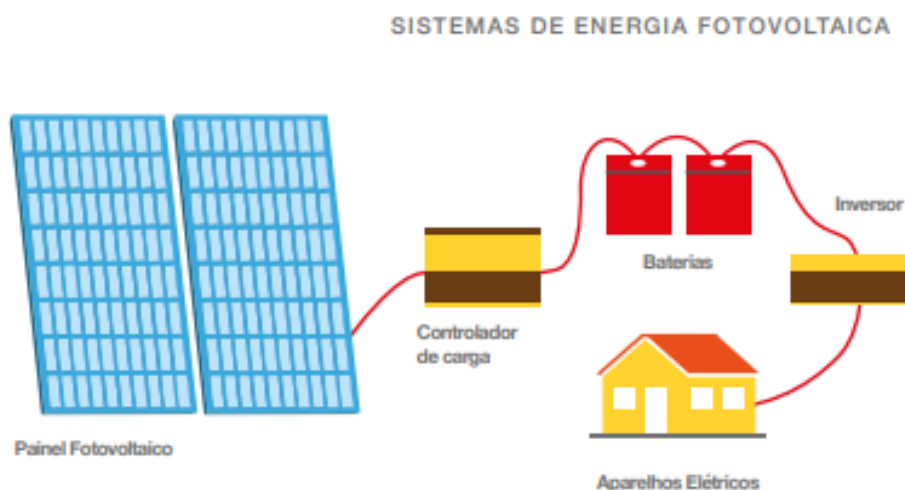
animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar.

A Energia Solar Fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (CRESESB, 2006). De acordo com Sebrae (2016, p.11):

Energia fotovoltaica é a energia obtida a partir da conversão direta da luz solar em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, que é um dispositivo fabricado com material semicondutor (silício ou outro material semicondutor), a unidade fundamental desse processo de conversão. Quando a luz solar incide sobre uma célula fotovoltaica, os elétrons do material semicondutor são postos em movimento, gerando eletricidade.

A eletricidade solar fotovoltaica é considerada uma tecnologia energética promissora. As células solares convertem diretamente a energia solar – a mais abundante fonte de energia renovável – em eletricidade. O processo de geração, executado em dispositivos semicondutores, não tem partes móveis, não produz cinzas nem outros resíduos, e, por não liberar calor residual, não altera o equilíbrio da biosfera. Como não envolve queima de combustíveis, evita por completo o efeito estufa (BRAGA, 2008). O processo de geração de energia a partir do sol e das placas fotovoltaicas estão representados na Figura 4.

**Figura 4.** Sistema de Energia Fotovoltaica





Diante do exposto, tem-se o conhecimento de que muitos são os benefícios associados a utilização deste tipo de energia. Segundo Finocchio (2006, p.) um sistema de produção eletro-solar é uma fonte de energia que, através da utilização de células fotovoltaicas, converte diretamente a energia luminosa em eletricidade. Vantagens fundamentais:

- Não consome combustível;
- Não produz poluição nem contaminação ambiental;
- É silencioso;
- Tem uma vida útil superior a 20 anos;
- É resistente a condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e umidade);
- Não tem peças móveis e, portanto, exige pouca manutenção (apenas a limpeza do painel)
- Permite aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais.

Nesta perspectiva, Blue-Sol (2016) indica os benefícios e as deficiências do sistema fotovoltaico:

- A matéria prima é inesgotável;
- Não há emissão de poluentes durante a geração da eletricidade;
- Os sistemas podem ser instalados em todo o globo.

Entretanto, a energia solar fotovoltaica tem suas deficiências:

- A densidade (o fluxo de potencial que chega à superfície terrestre) é pequeno ( $<1\text{kw/m}^2$ ) comparando as fontes fósseis;
- A energia solar disponível em uma localidade varia sazonalmente, além de ser afetada pelas condições climatológicas;
- Os equipamentos de captação e conversão requerem investimentos financeiros iniciais mais elevados que os sistemas convencionais.

Diante disto, tem-se que a energia solar fotovoltaica, embora seja a fonte renovável com crescimento mais acelerado no mundo, no Brasil, ainda necessita de avanços em políticas públicas (financiamentos, subsídios, normas técnicas, isenções) para fomentar os investimentos, tanto em grandes usinas, como em micro e mini usinas de energia fotovoltaicas, uma vez que a produção atual não chega a 1% da matriz energética nacional (SEBRAE, 2016).

## 2.4. Setor de Leite no Brasil

O leite é considerado um dos principais alimentos de consumo, sendo rico em questões nutritivas, agente colaborador no processo de crescimento e manutenção do corpo. Além disto, pode ser consumido de diferentes formas, por meio de seus derivados, como queijos, iogurtes, manteigas e sobremesas (SOUZA et al., 2015).

A pecuária leiteira permaneceu insignificante por mais de três séculos, mas, a partir da década de 1870, com a decadência do café, o cenário político brasileiro favoreceu a vocação agrária e permitiu a modernização das fazendas, momento propício para desenvolver a pecuária (VILELA et al., 2017). Nos últimos anos a produção se intensificou e, consequentemente, muitos países se destacaram, de acordo com a Revista Balde Branco (2021, p.1):

Analizando o período de 2000 a 2015, os TOP 10 aumentaram o volume em 44%, índice maior que 34% da produção mundial. Os dez países com maior volume de leite de vaca são: Estados Unidos, Índia, China, Brasil, Alemanha, Rússia, França, Nova Zelândia, Turquia e Reino Unido. Vale lembrar que somando a produção de leite de búfalo, se inverte a primeira colocação, porque na Índia as búfalas produzem 79.900 t, e as vacas, 66.400 t, totalizando 146.000 t.

Desse modo, nota-se que o Brasil se encontra entre os principais produtores de leite do mundo. Entretanto, para atingir a produtividade com boas práticas de manejo e, consequentemente, estar no mercado do setor leiteiro, tem-se alguns elementos que corroboram para tal sucesso:

- saúde animal;
- higiene na ordenha;
- nutrição (alimento e água);
- bem-estar animal;
- meio ambiente e;
- gestão socioeconômica (FAO & IDF, 2013, p.13).

Somado a isto, Bacarji et al. (2007, p.3) afirmam que:

Para poder competir e permanecer na atividade de forma satisfatória, os produtores devem buscar uma gestão adequada para a propriedade rural, priorizando os pontos importantes como capacitação, profissionalismo e competência que envolve conhecimento e um forte compromisso com a qualidade da matéria-prima e processos de produção. Segundo a firma a diretoria do laticínio analisado, a capacitação não se restringe à transferência tecnológica ou ao simples treinamento, mas abrange uma preparação mais completa, incluindo a consciência profissional em busca da expansão da atividade.

A atividade de produção leiteira, hoje, é desenvolvida em cerca de 1,2 milhão de propriedades rurais, envolvendo, só no setor primário, quase 5,2 milhões de pessoas. Ao todo, das fazendas aos laticínios, passando pelo transporte e comercialização, a cadeia reúne em torno de 20 milhões de produtores e trabalhadores (AGROEMDIA, 2020).

De acordo com o IBGE e dados de 2019, a produção nacional de leite foi de 34,8 bilhões de litros, com aumento considerável de 2,7%. Somado a isto, tem-se que o preço médio nacional pago pelo litro de leite subiu em torno de 6,7%, no ano de 2019, chegando ao valor de \$1,24 por litro. Com o aumento na produção e, consequentemente, no preço, atingiu-se a marca de \$43,1 bilhões de reais (AGROEMDIA, 2020).

Diante disto, compreende a abrangência do setor de produção leiteira no país, configurando empregabilidade, visibilidade, além de retorno financeiro.

## **2.5. Engenharia Econômica**

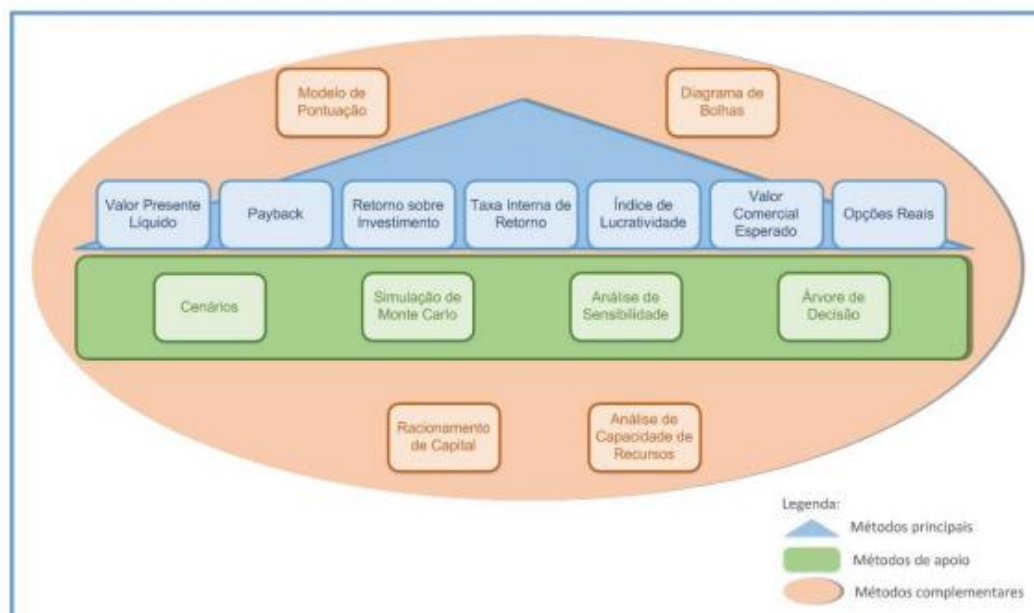
Na História Humana o “fator limitativo” tem sido predominantemente material. O seu principal problema ainda é o Desenvolvimento Econômico, isto é, a necessidade de superação desse “fator limitativo”, com o que o Homem poderá entrar numa nova fase de sua evolução. Nessa luta, a Engenharia procura uma solução, tentando controlar e dirigir as forças físicas e materiais da Natureza em benefício do Homem; e a Economia estudando os aspectos sociais de produção e distribuição. Temos, portanto, a Engenharia procurando a eficiência tecnológica e a Economia procurando a eficiência econômica (NAKANO, 1967).

Surge, então, a engenharia econômica, que desenvolve seus estudos voltados à área produtiva, preocupando-se, primeiramente, com o investimento de longo prazo, abordando diversos aspectos da seleção e substituição de equipamentos, a melhoria de processos, a compra ou construção de imóveis, a implantação ou substituição de plantas industriais, o lançamento ou substituição de produtos, etc (TORRES, 2004). A engenharia econômica auxilia na tomada de decisões. De acordo com Nogueira (2016):

Decisões econômicas são tomadas a todo momento em uma empresa, quando se faz a opção por comprar uma máquina ou equipamento, quando se decide construir uma nova planta ou um novo centro de distribuição, quando se resolve comprar uma peça ou componente de terceiros ao invés de fabricá-la internamente, quando se contrata uma transportadora para entregar os produtos, quando se compra uma quantidade maior ou menor de matéria-prima, quando se aplicam recursos em um ativo financeiro qualquer etc. Deve-se, nessas e em outras circunstâncias, utilizar os recursos disponibilizados pela Engenharia Econômica para a tomada de decisão (p.14).

Partindo do exposto acima, tem-se que a engenharia econômica corresponde a uma área de atuação que está diretamente relacionada a matemática financeira, auxiliando no processo de avaliação econômica. Os diferentes métodos de avaliação econômica existentes são apresentados na Figura 5.

**Figura 5.** Métodos de Avaliação Econômica



Fonte: Rodrigues; Rosenfeld, 2009

A partir da Figura 5 pode-se compreender que muitos são os métodos de avaliação utilizados na engenharia econômica, buscando mensurar valores, como os métodos: Valor Presente Líquido (VPL); *Payback*; Retorno sobre Investimento (ROI); Taxa Interna de Retorno (TIR); dentre outros.

### 2.5.1 Valor Presente Líquido (VPL)

A determinação do valor presente líquido (VPL) de um projeto de investimento usa o conceito de fluxo de caixa descontado, calculando o somatório do valor presente dos fluxos de caixa (FC) que ocorrem nos instantes  $t = 0, 1, \dots, z$ , a uma taxa de desconto denominada de taxa mínima de atratividade (TMA) (LEÃO, 2012). Santos (2009, p.7) indica os elementos vantajosos e desvantajosos para o uso do método VPL:

**Vantagens:** a) Todos os capitais do fluxo de caixa são incluídos nos cálculos. B) Por usar a TMA no cálculo do VPL considera-se o risco das estimativas futuras do fluxo de caixa. C) O VPL pode ser aplicado em qualquer fluxo de caixa: quando tem mais de uma mudança de sinal e quando o fluxo de caixa é de um período maior que um

ano. D) Informa se o investimento aumentará o valor da empresa. E) Podemos somar os VPLs de projetos individuais. **Desvantagens:** a) Temos que conhecer a TMA. B) O método retorna um valor monetário e não uma taxa de juros. Por isso fica difícil fazer comparações.

Desta forma, o VPL é um indicador extremamente importante no processo de análise de investimentos, já que através dele pode-se delimitar se um investimento vale a pena ou não.

### 2.5.2. Taxa Interna de Retorno

O cálculo da taxa interna de retorno (TIR) do fluxo de caixa de um projeto de investimento consiste em determinar a taxa de desconto que anula o somatório do valor presente dos fluxos de caixa (FC) que ocorrem nos instantes  $t = 0, 1, \dots, z$  (LEÃO, 2012).

No método TIR trata-se, implicitamente, da questão da homogeneidade das alternativas, no que diz respeito às suas vidas úteis, visto que a TIR encontrada no 1º período de vida será sempre a mesma para os demais (TORRES, 2004). Santos (2009, p.8-9) afirma que:

Para aplicar o Método da TIR temos que ter um fluxo de caixa convencional, ou seja, apresenta uma única mudança de sinal e os capitais ocorrem com periodicidade uniforme. O fluxo de caixa poderá ter mais de uma aplicação, mas sempre a partir da data zero e não havendo mais de uma troca de sinal. O período da TIR é o mesmo período dos capitais do fluxo de caixa.

Afirma ainda que as vantagens são: a) O método retorna uma taxa de juros. Fácil de ser comunicado e compreendido por muitos. Enquanto que as desvantagens consistem em: a) Teremos problemas quando o fluxo de caixa não for convencional, ou seja, quando houver mais de uma mudança de sinal no fluxo de caixa, o que acarretará dois pontos onde o VPL é igual a zero. B) Investimentos com valores diferentes não poderão ser comparados. Para isso precisaremos fazer o projeto mutuamente excludente (SANTOS, 2009).

### 2.5.3. Taxa Mínima de Atratividade

Os métodos da Engenharia Econômica, para avaliar as melhores alternativas de investimento, exigem a adoção de uma taxa de juros básica, que é denominada Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (TORRES, 2004).

Trata-se de uma taxa de juros, que ao se fazer um investimento o investidor espera um retorno pelo menos igual a essa taxa. A TMA é única para cada investidor e não existe fórmula matemática para calculá-la, pois ela pode variar com o tempo (SANTOS, 2009).

Considera-se que o custo de capital é, portanto, a TMA mais apropriada para a avaliação de novos projetos de investimento da firma. Se os fornecedores de capital tomaram a decisão de financiar a empresa em dado momento por um custo de capital, com expectativas de retorno no longo prazo, então, este mesmo custo de capital pode ser uma referência – a TMA, para a avaliação de novos investimentos. Portanto, a TMA referenciada no custo de capital da firma, pode servir como determinante na aceitação ou não de novos projetos de investimento, adicionando também valor à firma (SCHROEDER et al., 2005).

#### **2.5.4. Payback descontado**

O *payback* é um método muito utilizado na prática para avaliar viabilidade econômica de alternativas de investimento. Seu uso, em muitas ocasiões, se deve em parte ao fato de ser um método de fácil operacionalização e, em parte, em virtude do tipo de informação que oferece ao analista (NOGUEIRA, 2016).

Pela regra do *payback*, define-se um determinado número de períodos, chamado de linha de corte, em que o investimento deve recuperar os custos. Se as entradas de caixa superarem o custo do projeto antes da linha de corte, o projeto é considerado viável, caso a igualdade é indiferente realiza-lo ou não, e se não ultrapassarem a linha de corte, o investimento deverá ser descartado (ARAÚJO, 2011). Mallmann (2012) aponta as vantagens e desvantagens de se utilizar o método *payback* descontado:

**Vantagens:** 1) O método do *payback* descontado (PBD) é fácil de ser aplicado, embora o procedimento de cálculo seja um pouco trabalhoso; 2) O resultado do PBD é de fácil interpretação, quanto menor for o PBD, tanto melhor para o projeto; 3) Dá uma noção da liquidez e do risco do projeto (p.26).

**Desvantagens:** 1) O PBD não considera todos os capitais do fluxo de caixa do projeto, e a definição de tempo máximo tolerado é arbitrária. Avaliando somente o método do PBD, a empresa tenderá a aceitar projetos de curta maturação e menor rentabilidade, e tenderá a rejeitar projetos de maior maturação e rentabilidade. 2) O PBD não é uma medida de rentabilidade do projeto; 3) Não deve ser aplicado; 4) Quando o desembolso do custo inicial for realizado em mais de um ano; como desembolsos do ano zero e no final do 1º ano e seguintes. 5) Quando o projeto não for do tipo simples; 6) Seleciona o melhor de um grupo de projetos mutuamente excludentes, ou grupo de projetos independentes sob restrição orçamentária. O projeto com menor PBD poderá não ser o melhor projeto, pois não considera todo o fluxo de caixa, e o TMA é uma referência arbitrária (p.26).

Compreende-se que o método para ser utilizado necessita ser estudado frente as variáveis existentes de avaliação financeira.

### 2.5.5. Tabela SAC/PRICE

Os sistemas de amortização são desenvolvidos basicamente para operações de empréstimos, envolvendo pagamentos periódicos de parcelas, as quais denominamos genericamente de prestações (BAGATINI, 2010). O sistema a ser utilizado aqui é o Sistema de Amortização Constante – SAC.

No Sistema de Amortização Constante (SAC), as parcelas de amortização do principal são sempre iguais (ou constantes). O valor da amortização ( $A$ ) é calculado através da divisão do capital emprestado ( $PV$ ) pelo número de amortizações ( $n$ ). Os juros são calculados, a cada período, multiplicando-se a taxa de juros contratada pelo saldo devedor existente sobre o período anterior, assumindo valores decrescentes nos períodos. A prestação, a cada período, é igual à soma da amortização e dos encargos financeiros (juros, comissões, etc.), sendo periódica, sucessiva e decrescente em progressão aritmética, de razão igual ao produto da taxa de juros pela parcela de amortização (CESADUF, 2012).

Somado a isto, tem-se a tabela *price*. O Sistema criado por Richard Price consiste em um plano de amortização de uma dívida em prestações periódicas, iguais e sucessivas, onde cada parcela é formada de duas sub-parcelas díspares, onde uma parte será o pagamento dos juros e a outra parte será o pagamento referente a amortização do capital (MAGALHÃES; ESCOFIELD, 2013).

Compreende-se que este método consiste em um leque de fatores dos quais se pode calcular, mediante simples operações matemáticas de multiplicação, o valor da prestação, assim como o valor de cada parcela de juros e de amortização, bem como o saldo devedor (estado de dívida) a qualquer momento durante a evolução da série de pagamentos (MELO, 2003).

O Blog da Trisul (2019, p.1) apresenta os pontos positivos e negativos de cada uma das tabelas citadas [SAC/PRICE], respectivamente:

A maior vantagem da Tabela SAC é o fato de se pagar a cada mês um montante menor. Então, conforme o pagamento é realizado, há uma certa folga no orçamento do mês seguinte. A desvantagem é que as prestações iniciais costumam ser bem mais altas que as de um financiamento que utiliza a Tabela Price. Portanto, a Tabela SAC é uma boa escolha para quem conseguir antecipar ao máximo as primeiras parcelas.

Por sua vez, a Tabela Price permite uma maior previsibilidade para elaborar um planejamento de longo prazo, pois as parcelas não se alteram. O ponto negativo é que até a proximadamente metade do financiamento somente os juros são pagos, enquanto a amortização do saldo devedor é lenta.

Vantagens e desvantagens são elementos que estão presentes em todos os tipos de fatores econômicos, entretanto, delimitar os maiores benefícios se torna fundamental, para que não se tenha prejuízos.

## 2.6. Banco Nacional de Desenvolvimento

### 2.6.1. BNDES Importância e Finalidade

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) – possui créditos e incentivos para micro e pequenos produtores.

Desde sua criação, em 1952, o BNDES tem sido um verdadeiro agente de transformação, financiando projetos e empreendimentos que impulsionaram o desenvolvimento do Brasil. Por isso, em certa medida, a história do BNDES se confunde com a história econômica do país (BNDES, 2010).

O BNDES é especializado em crédito de longo prazo para pessoas jurídicas. Entretanto, as pessoas físicas que podem receber financiamento do BNDES são:

- **Produtor rural** – com efetiva atuação no setor agropecuário, somente para investimentos no setor;
- **Caminhoneiro** – transportador autônomo de carga, devidamente cadastrado no Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Carga (RNTRC), para aquisição de caminhão e similares;
- **Microempreendedor informal**, exclusivamente por meio do produto BNDES Microcrédito (BNDES, 2010).

Por ser uma empresa pública e não um banco comercial, o BNDES avalia a concessão do apoio com foco no impacto socioambiental e econômico no Brasil. Incentivar a inovação, o desenvolvimento regional e o desenvolvimento socioambiental são prioridades para a instituição (BNDES, 2021).

Desse modo, compreende-se que a instituição tem várias modalidades de financiamento disponíveis, que se dividem em diferentes produtos (linhas de crédito) e que atendem diferentes tipos de empreendimentos. Cada produto tem as suas especificidades e regras particulares em relação as condições financeiras e sobre o procedimento operacional de financiamento. Isso ocorre justamente pelo fato de os produtos serem modelados para atender diferentes tipos de empreendimentos, visando garantir a adequação aos objetivos de cada linha de financiamento (SANTOS, 2020).

O que pode ser adquirido:

- 1) Construir, ampliar ou reformar/modernizar uma loja, galpão, armazém, fábrica, depósito, escritório, entre outros;



- 2) Adquirir máquinas ou equipamentos, desde que fabricados no Brasil e credenciados no BNDES;
- 3) Adquirir bens de produção, insumos e serviços;
- 4) Produzir bens e serviços para exportação;
- 5) Adquirir caminhão; e
- 6) Formar capital de giro, em condições específicas (BNDES, 2016)

Diante disto, compreende-se que o financiamento para a instalação do sistema fotovoltaico se faz efetivo junto ao BNDES.

### **2.6.2 Linha de Financiamento “Inovagro”**

A Linha de Financiamento “Inovagro” – consiste em uma linha de crédito voltada para incorporações de inovações tecnológicas nas propriedades rurais, com objetivo de aumentar a produtividade e a melhoria de gestão (BNDES, 2021).

A linha de financiamento tem como foco – 1) Produtores rurais (pessoa física); 2) Produtores rurais (pessoa jurídica) e, 3) Cooperativas de produtores rurais. De acordo com o BNDES (2021), pode-se usar o capital para:

- Implantação de sistemas para geração e distribuição de energia alternativa à eletricidade convencional, para consumo próprio, como a energia eólica, solar e de biomassa, observado que o projeto deve ser compatível com a necessidade de demanda energética da atividade produtiva instalada na propriedade rural;
- equipamentos e serviços de pecuária e agricultura de precisão, desde o planejamento inicial da amostragem do solo à geração dos mapas de aplicação de fertilizantes e corretivos, exceto itens inerentes a sistemas de irrigação;
- automação, adequação e construção de instalações para os segmentos de aquicultura, avicultura, carcinicultura, suinocultura, ovino caprinocultura, piscicultura, pecuária de leite, inclusive a aquisição integrada ou isolada de máquinas e equipamentos para essa finalidade, devendo o crédito ser concedido a beneficiário que atue na atividade há mais de um ano;
- programas de computadores para gestão, monitoramento ou automação;
- consultorias para a formação e capacitação técnica e gerencial das atividades produtivas implementadas na propriedade rural;

- aquisição de material genético (sêmen, embriões e oócitos), provenientes de doadores com certificado de registro e avaliação de desempenho ou, alternativamente para pecuária de corte, o certificado especial de identificação de produção (CEIP);
- itens que estejam em conformidade com os Sistemas de Produção Integrada Agropecuária PI-Brasil e Bem-Estar Animal, e aos Programas Alimento Seguro das diversas cadeias produtivas, e Boas Práticas Agropecuárias da Bovinocultura de Corte e Leite;
- itens ou produtos desenvolvidos no âmbito do Programa de Inovação Tecnológica (Inova-Empresa);
- assistência técnica necessária para a elaboração, implantação, acompanhamento e execução do projeto, limitada a 4% do valor total do financiamento; e
- custeio associado ao projeto de investimento e aquisição de matrizes e reprodutores, com certificado de registro genealógico, emitido por instituições habilitadas para tal propósito (limitado a 30% do valor financiado).

Para solicitar esta linha de crédito o produtor deve solicitar cumprindo os critérios de fornecimento, como por exemplo, documentação da propriedade, renda anual, dentre outros elementos (BNDES, 2021).

## **2.7. Sistemas e Módulos Fotovoltaicos**

### **2.7.1. Sistemas *Off-grid* e Sistema *On-Grid***

O sistema fotovoltaico é “um processo capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar contendo dois meios de geração e consumo de energia, sendo eles o Sistema Conectado à Rede (*on-grid*) e o não conectados à rede, Sistemas Isolados (*off-grid*)” (RIBEIRO, 2019, p.12).

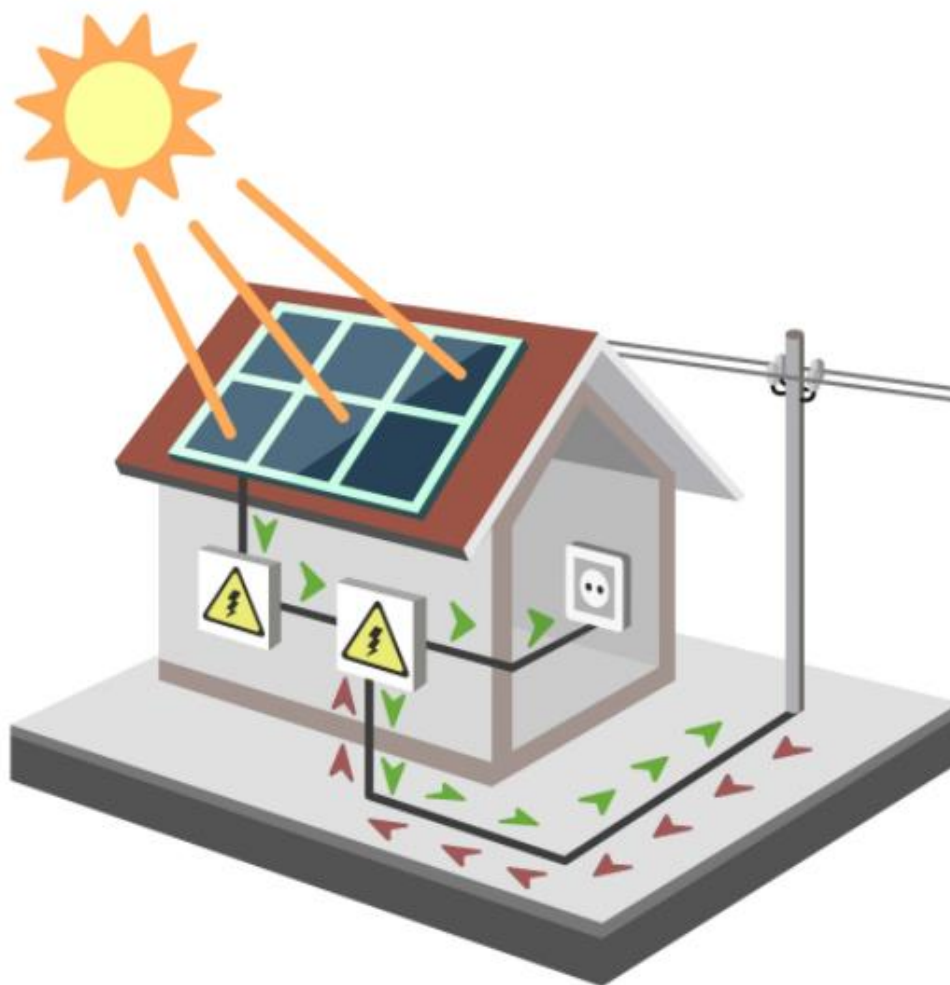
Para proceder na escolha do uso de energia solar o primeiro quesito, a saber, é que existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos: os conectados à rede (chamados de *on-grid* ou *grid-tie*) e os isolados ou autônomos (chamados de *off-grid*). A geração de energia pelo inversor ocorre em Corrente Contínua (DC) e a utilização de eletricidade é feita em Corrente Alternada

(AC) (GOMES NETO et al., 2019). Com relação ao sistema *on-grid*, Alves (2019, p.34) delimita que:

Os sistemas *ON-Grid*, também conhecidos como sistemas conectados à rede elétrica, possuem um crescimento exponencial no mercado fotovoltaico em países desenvolvidos. São, portanto, considerados uma fonte complementar ao sistema elétrico e empregados em locais já atendidos por energia elétrica. Esse sistema de energia solar fotovoltaico utiliza a luz do sol para gerar a energia elétrica. A rede da concessionária funciona como uma bateria que recebe todo excedente de energia gerado pelo sistema.

Trata-se, portanto, de um sistema solar conectado à rede que é composto, basicamente, pelos módulos fotovoltaicos (comumente chamados de placas solares) e pelo(s) inversor(es) interativo(s), que é conhecido internacionalmente como *grid-tied interactive inverter* (BLUESOL, 2017). O delineamento de como ocorre o processo de sistema solar a partir do modelo *on-grid* é apresentado na Figura 6.

**Figura 6.** Sistema Fotovoltaico *On-grid*



Fonte: BlueSol, 2017

Contrapondo-se a esse sistema fotovoltaico, tem-se o *off-id*. Este sistema necessita de maiores investimentos, uma vez não está conectado a uma rede elétrica, mas sim a baterias, que sustentam o processo todo (E-CYCLE, 2020). O sistema *off-grid* é apresentado pela Figura 7.

**Figura 7.** Sistema *Off-Grid*



Fonte: NeoSolar, 2020

De acordo com BlueSol (2016), um sistema fotovoltaico *off-grid* tem a seguinte estrutura:

- I. **Arranjo Fotovoltaico** (o conjunto de placas solares fotovoltaicas): responsável pela captação da radiação solar e conversão em energia elétrica;
- II. **Banco de baterias**: responsável pelo armazenamento da energia elétrica convertida, permitindo a sua utilização a qualquer momento, inclusive durante a noite;
- III. **Controlador de carga**: dispositivo eletroeletrônico responsável pelo gerenciamento de carga do banco de baterias e, em alguns casos, pelo gerenciamento da energia utilizada pelos aparelhos consumidores de energia elétrica e,

- IV. **Inversor Solar** (Autônomo): é o componente responsável pela transformação da corrente contínua gerada pelas placas solares e armazenada nas baterias em corrente alternada, possibilitando a utilização da energia elétrica em equipamentos feitos para operar ligados à rede elétrica. Quando os equipamentos trabalham somente com corrente contínua (como é o caso da maioria dos aparelhos utilizados em telecomunicação) não há necessidade de se ter um “inversor autônomo” no sistema fotovoltaico isolado (sistema fotovoltaico *Off-grid*).

Na atualidade, a utilização dos sistemas fotovoltaicos *off-grid* é, principalmente, para levar energia elétrica a localidades não atendidas pela rede elétrica, ou para manter algum equipamento fora da rede, de forma a continuar operando mesmo quando há falta de energia na rede pública (BLUESOL, 2016).

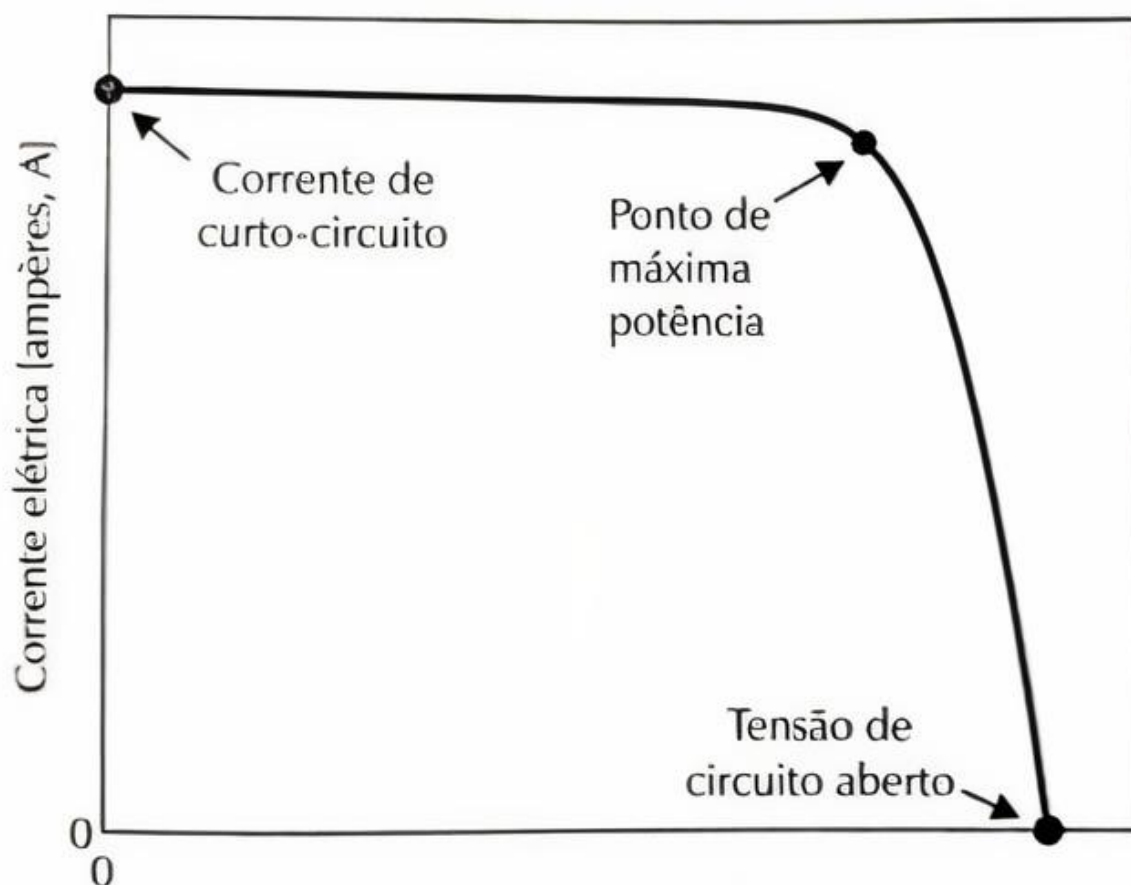
Portanto, acredita-se que a principal vantagem de um sistema fotovoltaico conectado à rede, em relação a um sistema fotovoltaico isolado (*off-grid*) é a não utilização de baterias. Essa, porém, também é sua principal desvantagem (BLUESOL, 2017).

### 2.7.2. Corrente, tensão e potência

A geração distribuída de energia elétrica com fontes renováveis e alternativas tem recebido muita atenção em diversos países desenvolvidos, que buscam ampliar sua capacidade de geração e diversificar suas matrizes energéticas, priorizando e incentivando o uso de energias limpas (VILLALVA, 2010). Desse modo, tem-se que o ponto de operação do módulo fotovoltaico, ou seja, o valor da tensão e da corrente nos seus terminais dependerá da carga.

A potência máxima varia com as condições ambientais (temperatura e radiação) e com a tensão aos terminais do módulo, sendo naturalmente desejável o funcionamento sempre à máxima potência (CASTRO, 2002, p.39). A representação do sistema de corrente, potência e tensão estão delimitados na Figura 8.

**Figura 8.** Sistema de Corrente, Potência e Tensão



Fonte: Villalva, 2010

### 2.7.3. Radiação Solar

A radiação solar é fonte primária de energia para os processos biológicos e meteorológicos que ocorrem na superfície. A sua importância para as plantas é, tanto, quantitativa (densidades de fluxos de energia usada na fotossíntese) como qualitativamente (comprimento de ondas e fotoperíodo, para indução ao florescimento e fotossíntese) (SCHOFFEL, 2010). Segundo Magarreiro; Freitas e Brito (2016, p.1):

A radiação solar é fonte de vida porque, graças a ela, crescem as plantas que produzem oxigénio e nos dão alimento, que nos fornecem energia para vivermos. Mas a radiação solar também pode ser aproveitada para produzir eletricidade e alimentar o mundo em que vivemos. Uma das formas de o fazer é através da conversão fotovoltaica em que um dispositivo, chamado célula solar, converte a energia solar em energia elétrica. Trata-se de um processo fiável, limpo e sustentável, porque inesgotável e não poluidor, e com um recurso abundante e bem distribuído pelo planeta.

Segundo Côrrea (2008) a radiação direta é a energia que chega diretamente na superfície do solo e a radiação difusa é composta pela energia proveniente das demais direções, correspondendo à radiação que é difundida na atmosfera devido à presença de partículas diversas. Em dias que o céu se apresenta descoberto a radiação direta é maior que a radiação difusa, uma vez que esta representa cerca de 15% da radiação que chega à superfície terrestre.

Assim, tem-se que o fluxo dessa energia radiativa é emitido pela camada denominada fotosfera. A fotosfera é a camada visível do Sol, geralmente, chamada de superfície do Sol. Essa camada apresenta uma região de temperatura mínima do Sol (GÓMEZ et al., 2018).

#### **2.7.4. Temperatura**

A temperatura é um fator fundamental no processo de sistema solar fotovoltaico. Tolmasquim (2016, p.13) indica que a “temperatura de operação do sistema fotovoltaico é o aspecto de maior influência na eficiência do sistema”.

De acordo com Silva (2017, p.5), a temperatura de operação de uma célula fotovoltaica é uma variável importante a ser observada durante sua operação uma vez que essa altera as características elétricas de operação desses dispositivos. Nesta perspectiva, Mattos (2016, p.25-26) indica que:

Painéis fotovoltaicos recebem muita energia do Sol em dias de céu limpo e, nesse caso, costumam esquentar muito. Ao ficarem bem quentes, eles tendem a ter seus valores de tensão diminuídos e, conseqüentemente, sua potência. Já a corrente elétrica não varia com a temperatura. Portanto, o que faz a potência variar quando uma célula fotovoltaica aquece é a tensão, exclusivamente

Em consonância, Silva, Florian e Pestana (2018) informam que a temperatura tem que ser ponderada no processo de instalação e manutenção dos módulos, uma vez que ela pode se elevar de forma indesejada. Diante disto, os autores afirmam que os módulos podem ser instalados em diferentes locais e de diferentes maneiras, sendo recomendado que a instalação propicie boa ventilação e, conseqüentemente, dissipação do calor para que se evite perdas por excesso de temperatura.

#### **2.7.5. Sombreamento**

Um grande problema encontrado na produção de energia elétrica através da radiação solar é, que devido às construções ao entorno da unidade de consumo, o período em que os painéis ficam expostos à radiação se torna menor. Edifícios, torres de comunicação e outras estruturas acabam interferindo na captação de radiação, provocando áreas de sombra no equipamento fotovoltaico (COUTINHO et al., 2016). Consequentemente, o sombreamento ocorre e, com isso, interferências são causadas junto ao sistema fotovoltaico. É o que confirma Simpício et al. (2016), ressaltarem que:

Em sistemas fotovoltaicos instalados em ambiente urbano, é comum que a instalação venha sofrer algum sombreamento devido à presença de obstáculos nos arredores da instalação. O impacto que o sombreamento pode causar irá depender do tipo do módulo fotovoltaico, da configuração dos diodos de *bypass*, da configuração da *string*, da natureza da sombra, dentre outros fatores

Uma ferramenta auxiliadora no processo observado de sombreamento é o diodo de *bypass*, este funciona como um dispositivo de proteção. É utilizado para evitar que todo o módulo fotovoltaico sofra alterações com ocorrência de vento, sombreamento parcial, etc. Desse modo, com o diodo de *bypass* apenas a célula que apresenta problemas é substituída, não afetando todo o sistema, assim a célula sombreada não gera energia elétrica, mas também não age como carga para as outras células do sistema (MARQUES, 2017). A mesma autora citada acima, afirma que:

Com o sombreamento de apenas um módulo do sistema fotovoltaico, a corrente do sistema diminui e, consequentemente sua potência também, pois um módulo sombreado funciona como uma carga para um sistema fotovoltaico. Dessa forma, é importante minimizar o sombreamento de módulos, fazendo um estudo acerca do melhor local para sua instalação, a fim de maximizar o aproveitamento da energia solar disponível. Em alguns casos, não é possível evitar o sombreamento parcial, pois o sombreamento é causado por folhas de árvores ou nuvens, por exemplo. Entretanto, para evitar que toda potência gerada pelo sistema seja perdida pelo fato de se ter um módulo sombreado, podem ser usados dispositivos de proteção (MARQUES, 2017, p.24).

Zolmer (2014, p.6) aponta para as vantagens do processo de sombreamento, listados abaixo:

- O projetista, conhecendo o perfil de sombreamento de uma superfície poderá selecionar a melhor área para integrar o sistema fotovoltaico de forma a evitar ou pelo menos reduzir a incidência de sombreamento sobre o gerador;
- Otimização do sistema fotovoltaico: Com base no estudo de previsão de sombreamento, o projetista poderá buscar soluções de configuração elétrica do



sistema que minimizem as perdas causadas pelo sombreamento, como na definição das séries (*strings*) e no arranjo dos subsistemas;

- Estimativa correta de geração fotovoltaica: Com a quantificação das perdas energéticas decorrentes de um sombreamento parcial, o projetista poderá estimar de forma mais próxima à realidade qual será o desempenho energético de um sistema fotovoltaico;
- Evitar o superdimensionamento: Saber exatamente quanto um gerador fotovoltaico poderá gerar mesmo sabendo que ele terá sombreamentos parciais pode evitar desperdícios que ocorrem quando se pensa que, por estar sombreado, as perdas serão muito maiores do que realmente serão e dessa forma, o sistema ser superdimensionado;
- Evitar o subdimensionamento: Assim como um estudo aprofundado das perdas por sombreamento pode evitar um superdimensionamento, ele também pode evitar o subdimensionamento. Em muitos casos, as sombras são ignoradas na fase de projeto e as perdas decorrentes tornam-se muito maiores do que poderiam ser se tivessem sido consideradas na fase de projeto.

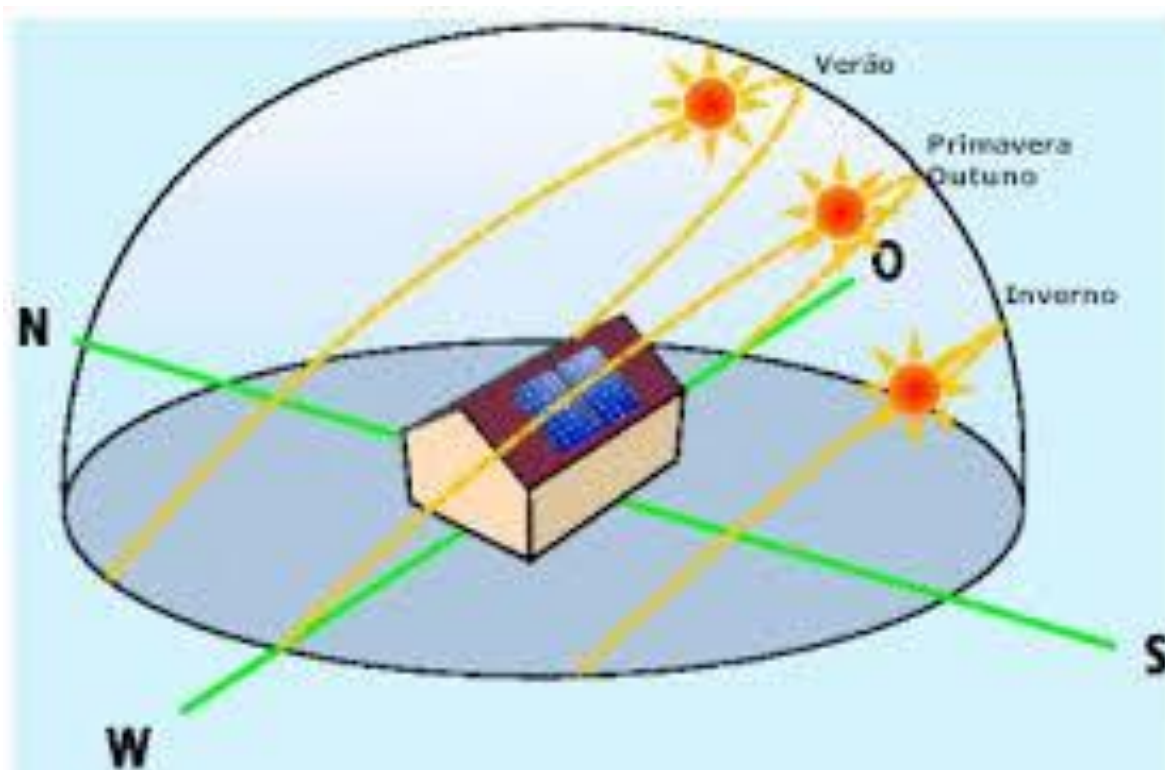
Desse modo, compreende-se que o sombreamento pode ser evitado, antecipando possíveis estratégias, planejando a área a ser aplicada o sistema fotovoltaico e, assim, minimizar perdas.

#### **2.7.6. Ângulo de Inclinação**

Qual é o ângulo correto para a inclinação dos módulos fotovoltaicos? Esta é uma pergunta simples e ao mesmo tempo um mistério que permeia o mundo da energia solar (VILLALVA, 2020).

Para maximizar a captação de energia ao longo do ano, deve-se considerar a orientação e a inclinação dos módulos fotovoltaicos. Em geral, os módulos devem ser orientados em direção à linha do equador (LIMA JUNIOR et al., 2018, p.237). A Figura 9 abaixo demonstra o posicionamento da inclinação da placa do sistema fotovoltaico em um telhado residencial.

**Figura 9.** Posicionamento da placa de sistema fotovoltaico



Fonte: Pereira, 2016

Desse modo, compreende-se que a potência de um gerador fotovoltaico depende diretamente do ângulo de inclinação e orientação. A escolha do local em que o arranjo fotovoltaico deverá ser instalado é um dos fatores determinantes para o melhor desempenho (SANTANA et al., 2016).

### 3. MÉTODO

Neste capítulo serão apresentados os métodos e ferramentas utilizados na elaboração do estudo, a fim de definir premissas, limitações e condições mandatórias do projeto. O projeto está fundamentado em quatro principais pilares:

- A. Definição do local de instalação e dimensionamento da geração de energia;
- B. Cálculo do investimento inicial, custo de manutenção e projeção do fluxo de caixa gerado pela economia de energia elétrica;
- C. Análise e definição da linha de financiamento a ser utilizada;
- D. Conclusão com a análise da viabilidade financeira.

A caracterização dos quatro pilares está descrita na Tabela 2.

**Tabela 2.** Quatro pilares norteadores do Projeto

PILARES	CARACTERÍSTICAS
Projeto Elétrico	Definição do local de instalação. Dimensionamento do Projeto Fotovoltaico.
Custos Gerais	Cálculo de investimento inicial. Custos de manutenção. Projeção do fluxo de caixa.
Financiamento	Análise das linhas de financiamento. Definição da linha de financiamento.
Conclusão	Análise de viabilidade financeira.

Fonte: próprio autor

#### 3.1 Projeto Elétrico

##### 3.1.1 Local de Instalação

Para a definição do local de instalação é necessário levar alguns parâmetros em consideração a fim de atingir a melhor eficiência do projeto. Os principais parâmetros são: Sombreamento, distância do local de conexão à rede, facilidade de manutenção, direção e área disponível. Além dos parâmetros que influenciam diretamente a eficiência de geração de energia, há também que se considerar o custo de oportunidade do local, uma vez que, no futuro o proprietário poderia utilizar a área instalada para outras atividades. Para a definição do local foi feita uma visita a propriedade, com o objetivo de levantar possíveis locais para instalação, considerando todos os pontos citados acima.

### **3.1.2 Dimensionamento do Projeto**

Em reunião com o proprietário, foi decidido que o estudo seria desenvolvido visando a autossuficiência energética da propriedade rural, que não haveria planos para expandir a geração de energia e que fosse um sistema trifásico “On-Grid”. O dimensionamento então, foi feito de modo que a geração de energia atendesse a 100% do consumo da fazenda. Para isso foi necessário levantar o consumo histórico da propriedade e calcular uma média mensal, com o intuito de chegar na potência mensal desejada.

Em contato com diferentes especialistas locais, levantou-se as principais premissas e informações necessárias para viabilizar os cálculos da geração de energia do projeto, sendo elas:

- 1) Irradiação no local
- 2) Cenários de desvio azimutal e inclinação dos painéis solares
- 3) Eficiência e vida útil dos equipamentos

Visando a realização e compreensão completa de um projeto fotovoltaico, foram feitas diversas cotações com fornecedores locais, considerando os seguintes itens:

- 1) Modelos e custo dos equipamentos necessários - Painéis, Inversores, Cabeamento, Estrutura de Fixação.
- 2) Custo de instalação/manutenção.
- 3) Homologação da rede.
- 4) Certificação da rede na concessionária de energia responsável (CEMIG, 2021).

Com as características dos equipamentos, premissas locais, e quantidade de geração a ser atingida, foi possível dimensionar e calcular a geração de energia do sistema, utilizando as ferramentas desenvolvidas no capítulo de Revisão Bibliográfica.

## **3.2 Custos Gerais do Projeto**

### **3.2.1 Investimento Inicial**

Com o projeto devidamente dimensionado, e com o objetivo de atingir o melhor custo benefício, foi levantado também o custo de instalação/manutenção, homologação e certificação da rede na CEMIG. Com todos os custos projetados foi possível calcular o investimento inicial do projeto.

### **3.2.2 Projeção do Fluxo de Caixa**

Para o cálculo da economia monetária mensal, é necessário projetar a tarifa e precificação da energia. Para isso utilizou-se dados históricos de tarifa e aplicou-se um reajuste anual com o objetivo de utilizar premissas conservadoras visando um cenário pessimista. Considerando os reajustes tarifários, perda de eficiência dos equipamentos na geração de energia e custos de manutenção ao longo da vida útil, foi possível projetar o fluxo de caixa do projeto.

### **3.3 Linhas de Financiamento**

Este trabalho de conclusão de curso, visa estudar uma das várias condições e oportunidades que o governo brasileiro oferece para os produtores rurais, sendo ela a utilização das linhas de financiamento exclusivas para produtores rurais, as quais, normalmente oferecem melhores condições em relação aos financiamentos comum.

Para a decisão da escolha da linha de financiamento os principais indicadores analisados foram: Juros, Amortização e Carência. Outro fator muito importante para a decisão é certificar de que o projeto a ser financiado se encaixa nas especificações daquela linha de financiamento. Para isso, entrou-se em contato com alguns bancos para garantir que o projeto fotovoltaico atende as condições do financiamento, visto que são linhas incentivadas (BNDS, 2021).

### **3.4 Aplicação de ferramentas de Engenharia Econômica**

Tendo em mãos os custos do projeto, custos do financiamento e a projeção do fluxo de caixa gerado. Aplicou-se as ferramentas de engenharia econômica para concluir o “Estudo sobre a viabilidade econômica da implementação de um sistema fotovoltaico em uma propriedade agrícola utilizando linhas de financiamento rural.”

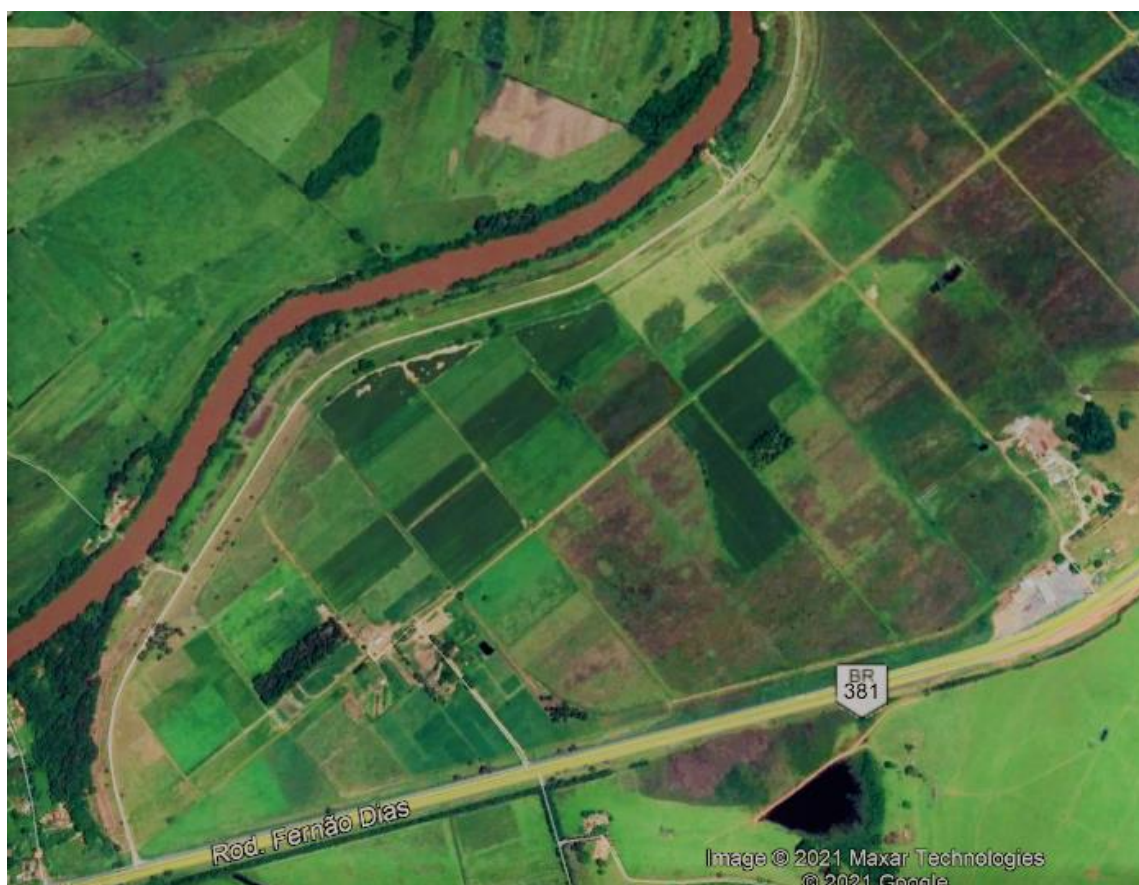
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados abaixo elementos que corroboram para o processo de fomento da discussão do trabalho.

### 4.1. Local de Instalação

A propriedade estudada situa-se no município de Careagu, situada na região sul do estado de Minas Gerais. Trata-se de uma fazenda de 110 hectares, à beira da rodovia Fernão Dias (BR 381) e as margens do rio Sapucaí. Na figura 10 pode-se observar o posicionamento das terras.

**Figura 10.** Posicionamento das terras



Fonte: Google Maps

O primeiro passo para definição do local, foi uma reunião, seguida de uma visita ao local com o proprietário, para especificar quais eram as possíveis áreas de instalação dos painéis. A principal restrição imposta pelo proprietário foi de que o sistema deveria ser instalado em algum dos telhados da propriedade. Por se tratar de uma fazenda focada na produção de leite, a rotação do gado entre pastos é uma prática essencial neste tipo de atividade e, portanto, o sistema não poderia ocupar áreas terrestres, visto que no futuro a área poderia ser utilizada para pasto.

Com o primeiro critério de posicionamento decidido, estudou-se então os locais remanescentes para instalação do sistema. Na figura 11 observa-se os cinco telhados existentes da propriedade, e adicionalmente, o ponto verde representa o local de conexão da rede.

**Figura 11.** Local de Instalação



Fonte: Google Maps

O outro fator determinante para a escolha do local foi a área necessária para comportar todo o sistema. O cálculo da área será abordado na seção de dimensionamento do sistema. Portanto, com a restrição imposta pelo proprietário, junto a restrição da área necessária, o local selecionado [e demonstrado na figura acima] foi o de número 4.

O local definido [4] é um galpão para armazenamento de máquinas elétricas, charretes e outros materiais. Como pode-se observar na figura 11 em nenhum momento do dia há sombreamento no telhado, o que garante a melhor eficiência possível neste quesito. As coordenadas são: -22.104 -45.736.

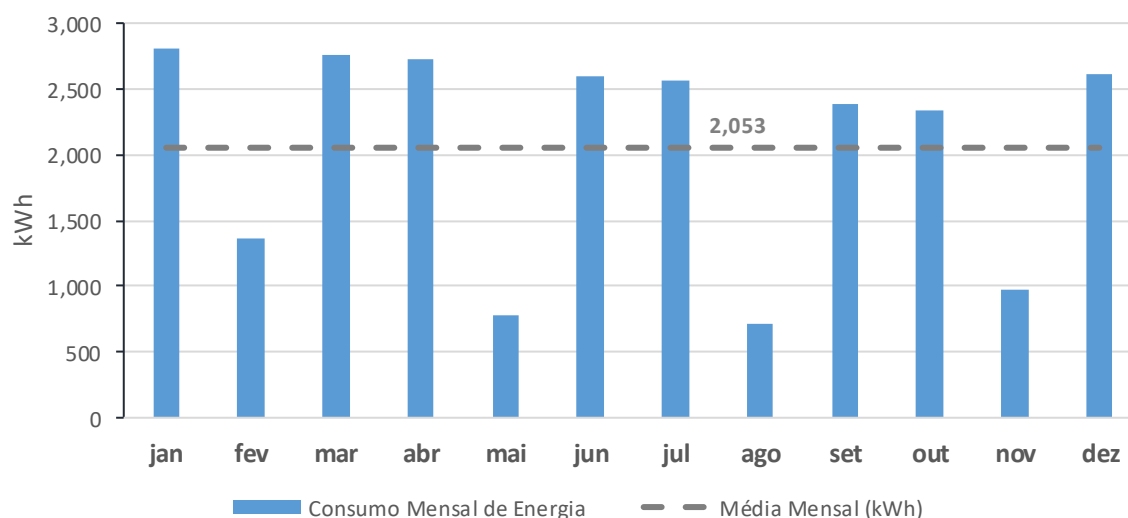


## 4.2. Projeto Elétrico

### 4.2.1. Energia a Ser Gerada

Como já discutido anteriormente, o sistema foi dimensionado para que a propriedade se tornasse autossuficiente em energia elétrica, para isso foi necessário parametrizar o sistema para que a geração de energia atendesse 100% do consumo. Contudo, neste estudo, não foi projeto gastos adicionais de energia no futuro, visto que por se tratar de um cálculo incerto, foi decidido manter o consumo do último ano de operação (2020) para projeções futuras. Ao mesmo tempo em que os novos equipamentos tendem a ser mais eficientes no gasto de energia elétrica, novos equipamentos podem ser instalados para produção de leite, levando a um efeito nulo no aumento de gasto de energia futuro, em adição a estes fatores, o proprietário também afirmou de que não havia planos para expansão da operação.

**Figura 12.** Consumo médio de energia



Fonte: próprio autor

Em contato com a concessionária de energia local (CEMIG) levantou-se o consumo histórico da propriedade e plotou-se o gráfico acima, representado pela Figura 12.

A partir da Figura 12 pode-se observar uma variação relevante nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, porém, por se tratar de uma área rural de difícil acesso, é comum que a leitura do relógio de energia não seja realizada todos os meses, e consequentemente, a leitura



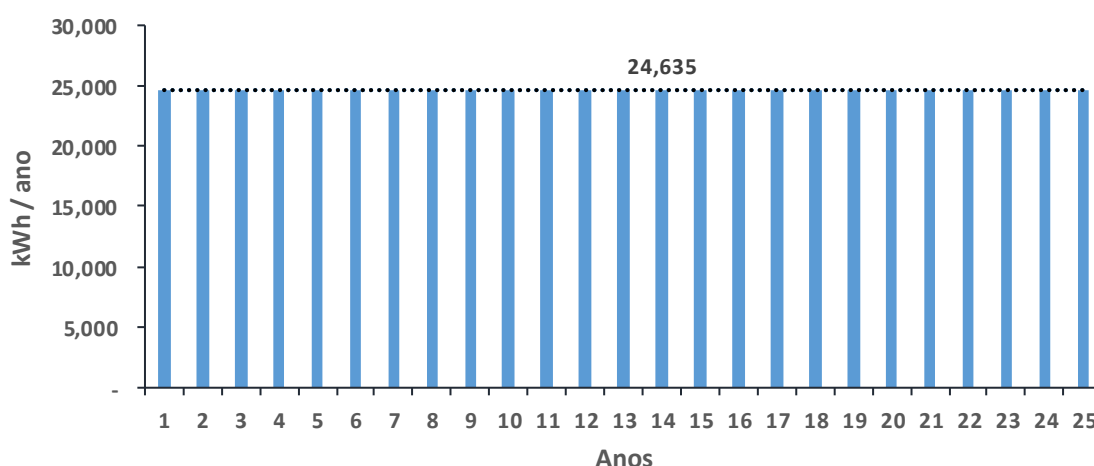
não representa o consumo mensal real. Tendo em vista este fator, calculou-se a média em um ano inteiro, referente ao ano de 2020, para chegar na geração mensal desejada.

Em adição ao fato de a leitura de consumo mensal não ser precisa, é de suma importância de que o sistema instalado esteja conectado à rede ou seja *on-grid*, uma vez que este tipo de sistema permite que o excesso de energia gerado em um mês possa ser utilizado em outro mês em que o consumo é maior do que o gerado.

Os sistemas *on-grid* por sua vez, carregam um custo de disponibilidade, o que significa que, independentemente da quantidade de energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, será sempre cobrado uma taxa mínima mensal. Normalmente, o custo de disponibilidade, é definido pela empresa responsável pela rede, e o tipo de ligação do sistema elétrico. Neste caso, o sistema já instalado na propriedade é do tipo trifásico e, portanto, carrega um custo de disponibilidade de 100kWh por mês, conseqüentemente 1.200kWh por ano (CEMIG, 2021).

Levando em consideração a demanda de energia atual de 24.635 kWh/ano e subtraindo o custo de disponibilidade de 1.200kWh/ano, chega-se à **23.435kWh/ano** de geração a ser atingida. A Figura 13, ilustra a projeção do consumo de energia elétrica da propriedade, nos próximos 25 anos.

**Figura 13.** Projeção de Consumo de Energia Elétrica nos próximos 25 anos



Fonte: próprio autor

### 4.3. Cenário de Irradiação Total

Com a geração de energia definida, o próximo passo é calcular a quantidade de módulos a serem utilizados no sistema. Para isso, é necessário levantar a radiação média do local a ser instalado, considerando a direção azimutal e a inclinação os painéis.

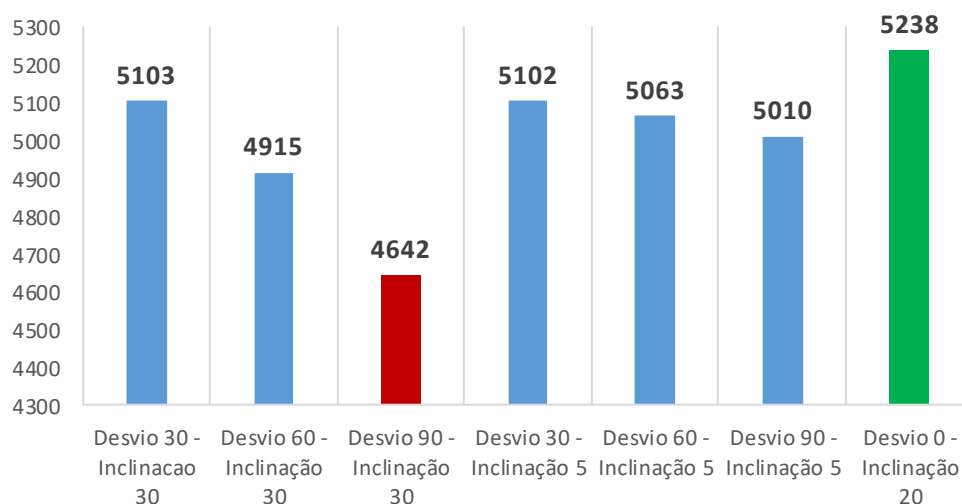
Como já discutido anteriormente, esses dados foram levantados com especialistas da área, estão disponíveis por CRESESB (2021) e, a partir destes dados preliminares gerou-se a Tabela 3 e a Figura 14.

**Tabela 3.** Irradiação Total - H<sub>tot</sub> (Wh/m<sup>2</sup>/dia) - Calculado no RADIASOL com dados do Atlas Solar – SWERA

Cenários	Desvio 30 Inclinação 30	Desvio 60 Inclinação 60	Desvio 90 Inclinação 30	Desvio 30 Inclinação 5	Desvio 60 Inclinação 5	Desvio 90 Inclinação 5	Desvio 0 Inclinação 20
Janeiro	4886	4936	4980	5330	5337	5343	5114
Fevereiro	5343	5342	5305	5736	5730	5723	5584
Março	4928	4839	4693	5102	5082	5050	5102
Abril	5034	4780	4414	4890	4837	4768	5134
Maio	4641	4263	3759	4252	4180	4084	4668
Junho	4494	4053	3476	3959	3879	3769	4482
Julho	5431	4833	4044	4653	4544	4393	5384
Agosto	5652	5211	4587	5162	5076	4957	5682
Setembro	5269	5083	4799	5278	5238	5180	5414
Outubro	5268	5226	5132	5570	5556	5536	5486
Novembro	5064	5102	5125	5515	5517	5519	5308
Dezembro	5222	5309	5388	5772	5782	5795	5494
<b>Média Anual</b>	<b>5103</b>	<b>4915</b>	<b>4642</b>	<b>5102</b>	<b>5063</b>	<b>5010</b>	<b>5238</b>

Fonte: próprio autor

**Figura 14.** Radiação Média



Fonte: próprio autor

Seguindo a tendência conservadora deste estudo, escolheu-se o pior cenário de irradiação, Desvio 90 - Inclinação 30. Portanto para se calcular a irradiação anual do local, basta multiplicar a irradiação mensal de um mês pelo número de dias do próprio mês. A partir do cenário escolhido, calculou-se então a irradiação total anual,  $I_a = 1.693,03 \text{ kWh/m}^2$ .

#### 4.4. Definição da Quantidade de Módulos

Nesta etapa, será definida a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para atender a demanda de 23.435kWh/ano calculada na seção “Energia a Ser Gerada”. Para isso é preciso saber a potência gerada pelo painel, a irradiação total anual e a eficiência do sistema.

O painel escolhido foi o modelo de 335W, a escolha do painel será melhor explorada no capítulo seguinte. A eficiência do sistema foi definida em 80%, a qual será também aprofundada nas seções seguintes.

#### FÓRMULA A

$$Pg = \frac{N * Pp * Ia * \eta}{100}$$

$$N = \frac{Pg}{Pp * Ia * \eta} * 1000$$

Pg: Potência Gerada

Pp: Potência Nominal do Painel

Ia: Irradiação Anual

$\eta$ : Eficiência do Sistema

Utilizando a Fórmula A, conclui-se que seria necessários 52,09 painéis para atender a demanda da propriedade. O percurso transcorrido está apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Caracterização da Geração de Energia

Caracterização Geração		
(+) Consumo anual de energia elétrica	kWh	24,635.00
(-) Custo de disponibilidade	kWh	1,200.00
<b>Geração pretendida</b>	<b>kWh</b>	<b>23,435.00</b>
Irradiação Total Anual	kWh/m <sup>2</sup>	1,693.03
Potência nominal do painel	Wp	335
Taxa de Desempenho	%	80.00
<b>Número de painéis necessários</b>		52.09

Fonte: próprio autor

#### 4.5. Painel Solar

O equipamento escolhido foi o “**Painel Fotovoltaico 335W - RENO-335P - Poli - Full Cell**”. Este foi o equipamento que apresentou o melhor custo benefício, atendendo a todas especificações do projeto. Outro fator que foi decisivo na escolha, foi a marca “*Renovigi*” a qual está devidamente cadastrada no BNDES e, portanto, atende as condições para a utilização da linha de financiamento INOVAGRO, peça fundamental para elaboração deste estudo.

Além de ser uma marca nacional, a *Renovigi* está atuando no mercado desde 2012, possui o selo “INMETRO” de qualidade e oferece garantia de até 25 anos nos seus painéis fotovoltaicos. A descrição completa deste equipamento está no Anexo I. A descrição do equipamento adquirido está realizada e demonstrada na Tabela 5.

**Tabela 5.** Descrição do equipamento Painel Fotovoltaico 335W - RENO-335P - Poli - Full Cell

MATERIAIS	DESCRIÇÃO
Equipamento	Painel Solar
Tipo	Policristalino
Marca	Renovigi
Potência	335Wp
Dimensões	1956 x 992 x 40mm
Vida útil	25 anos
Preço por unidade	\$629,35

Fonte: adaptação de Renovigi, 2021

#### 4.6. Inversor

‘Seguindo a mesma linha de escolha do painel solar, o inversor escolhido foi o **Inversor 20,0 kW - RENO-20K - Trif - 380V/60Hz** também da marca “*Renovigi*” que atende tanto as especificações do sistema como a da linha de financiamento INOVAGRO. Com tudo o inversor deve atender a uma característica essencial do sistema, a potência nominal total dos painéis solares (56 unidades). Esta potência nominal está demonstrada na TABELA 6. Com o inversor devidamente definido, pode-se calcular o fator de dimensionamento do inversor. Neste sistema o fator está em 93.80%. Observa-se na descrição completa do equipamento (Anexo II) que o inversor poderia ser utilizado em até 130% da sua capacidade nominal. A descrição do equipamento está disposta na Tabela 6.

**Tabela 6.** Descrição do Equipamento

ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS
Tipo	Inversor
Marca	Renovigi
Potência	20kw
Dimensões	310 x 563 x 219 mm
Vida útil	12 anos
Preço por unidade	\$8.490,00

Fonte: próprio autor

#### 4.7. Eficiência

Nesta seção, dado que os sistemas fotovoltaicos dependem de vários fatores para a definição da sua eficiência final (temperatura, cabeamento, incompatibilidade elétrica, acúmulo de sujeiras), é mandatório considerar perdas no cálculo da potência gerada por um painel solar que, consequentemente, vão determinar o número de módulos necessários para este projeto. Novamente, em contato com especialistas da área, e sempre buscando um cenário conservador, a eficiência proposta no estudo foi de 80%. Esta premissa será validada na sessão seguinte com o apoio do *software* PVsyst.

#### 4.8. Simulação de Perdas

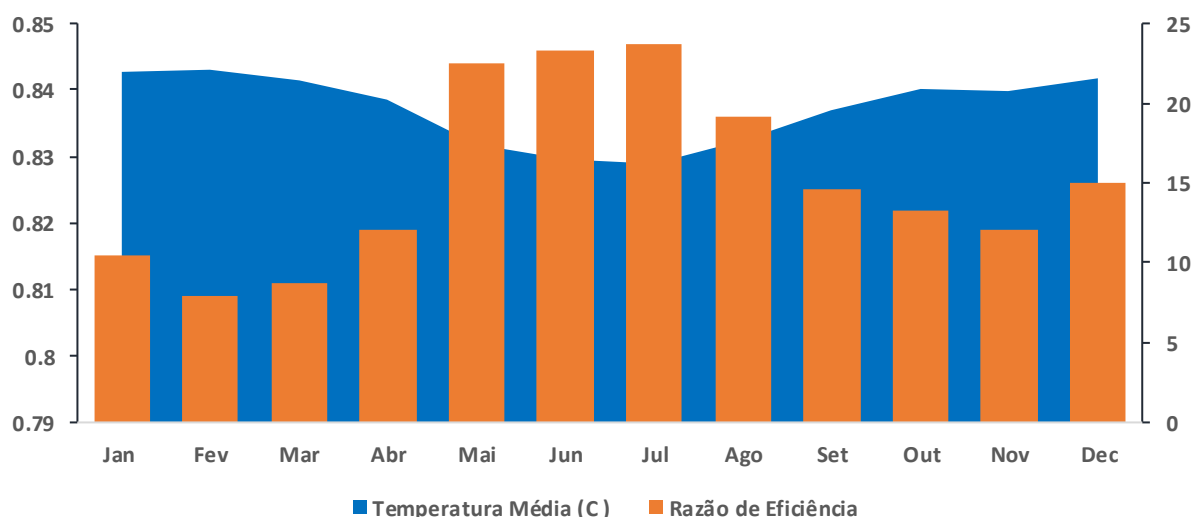
Com o intuito de verificar e validar a premissa de eficiência do sistema, utilizou-se o *software* de simulação PVsyst. Este software é amplamente utilizado na área de projetos

fotovoltaicos. Para o cálculo de eficiência do sistema foi necessário entrar com alguns parâmetros, sendo eles: coordenadas do local, modelo do painel fotovoltaico, modelo do inversor, sombreamento, quantidade de módulos, e quantidade de *strings*.

Após a simulação o *software* gera um relatório completo do sistema, explicitando as possíveis perdas de eficiência do sistema relacionada aos diversos fatores.

Na Figura 15 pode-se observar a eficiência média do sistema em um ano, chegando a 82,56%, o que corrobora a premissa utilizada de 80%, mantendo o estudo conservador.

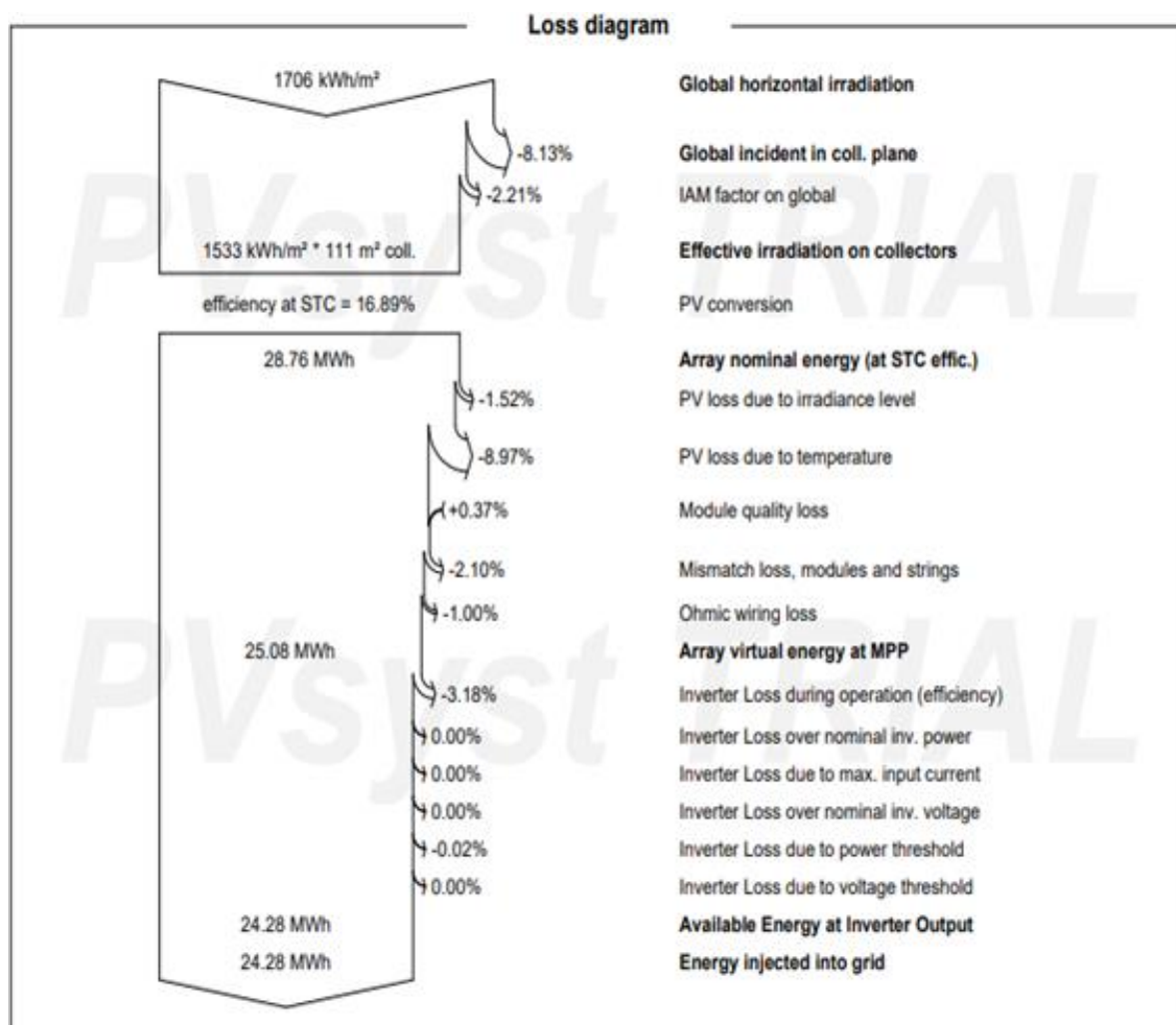
**Figura 15.** Eficiência Média do Sistema



Fonte: PVsyst, Clima Tempo, elaborado pelo autor 2021

Na Figura 15 observa-se o comportamento da eficiência durante os meses do ano, observa-se que os meses de maior eficiência são os meses mais frio da região. Enquanto que na Figura 16 observa-se o diagrama completo de perda, simulado no *software* de apoio PVsyst.

**Figura 16.** Diagrama



Fonte: PVsyst

Outro parâmetro que deve ser levado em consideração para o cálculo de energia gerada, é a perda de eficiência durante a vida útil do sistema. O *software* PVsyst sugere uma perda de 2,5% de eficiência no primeiro ano e adicionais 0,5% ao longo da vida útil (25 anos), portanto são esses os valores que serão considerados para a projeção de geração de energia.

#### 4.9. Projeção de Geração de Energia

Utilizando o cálculo da energia pretendida, concluiu-se que seriam necessários 52,09 painéis para atender o consumo energético da fazenda. Devido as perdas de eficiência após o primeiro ano (-2,5%) e durante a vida útil (-0,5%/ano), optou-se por instalar 4 módulos adicionais, chegando a um total de 56, garantindo assim a autossuficiência energética por mais

tempo. A Tabela 7 resume a relação geração / consumo para o primeiro ano de operação do sistema.

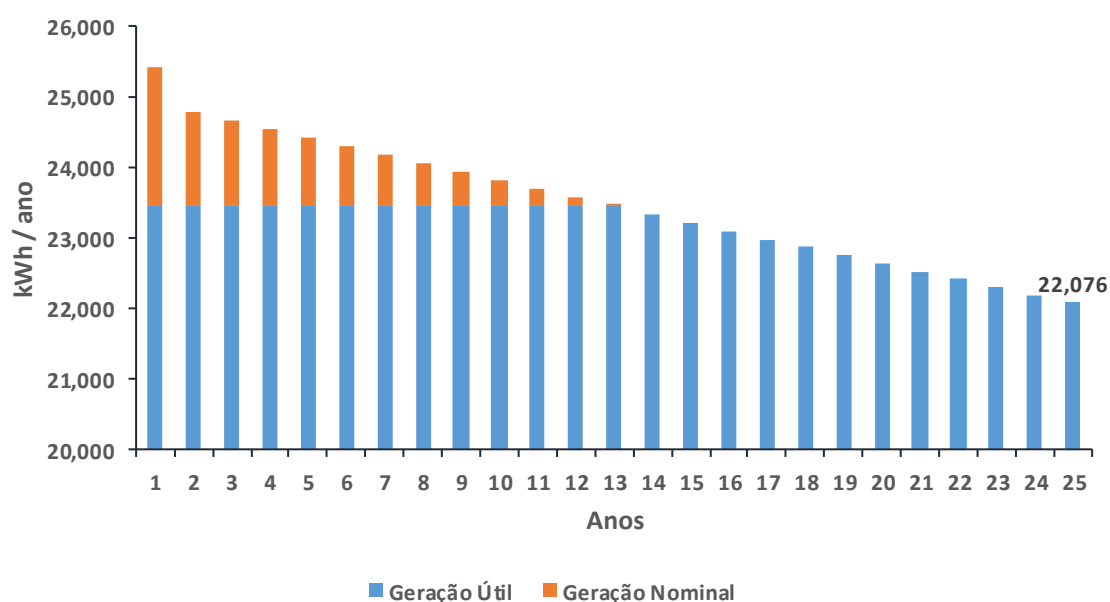
**Tabela 7.** Relação geração/consumo para o primeiro ano de operação do sistema

GERAÇÃO/CONSUMO			
Número de módulos em série		14	14
Número de séries		2	2
Número de Módulos Total		28	28
Potência Instalada	kWp	9.38	9.38
Geração anual estimada	kWh	12,704.52	12,704.52
Geração Pretendida	kWh	23,435.00	
<b>Relação Geração / Consumo</b>		<b>108%</b>	

Fonte: próprio autor

Observa-se que o sistema está superdimensionado para o primeiro ano, porém, devido a perda de eficiência ao longo do tempo o sistema se adequa ao consumo, e nos últimos anos fica um pouco abaixo. A projeção de geração de energia do sistema fotovoltaico é representada pela Figura 17.

**Figura 17.** Projeção de Geração de Energia do Sistema Fotovoltaico



Fonte: próprio autor



Consequentemente, tem-se a previsão da geração de energia nominal e útil disposta na Tabela 8.

**Tabela 8.** Geração de energia nominal e útil

	1 ano	25 anos	% de Perda
Geração Nominal	25,409	22,076	-13%
Geração Útil	23,435	22,076	-6%

Fonte: próprio autor

#### 4.10. Equipamentos e mão de obra de instalação

Com o painel e inversor decididos, o próximo passo é identificar quais são os equipamentos necessários para instalação e fixação do sistema, bem como o preço da mão de obra utilizada. Para isso, foi feita uma pesquisa local com diferentes empresas.

A empresa que apresentou o melhor custo benefício e também a que apresentou a solução mais completa, foi a TELSUL. Esta empresa é capaz de fornecer o módulo fotovoltaico e o inversor escolhido, assim como a mão de obra e todos os outros componentes necessários para instalação e conexão do sistema.

A relação dos componentes, quantidades e preços oferecidos pela TELSUL estão descritos na Tabela 9.

**Tabela 9.** Relação componentes, quantidades e preços

<b>Mão de obra</b>		\$4.200,00
	#Dias	7
	\$ por dia	\$600,00
<b>Material Elétrico Adicional</b>		\$1.300,00
	Ligação na rede elétrica	-
	Proteção da corrente alternada	-
	Aterramento	-
<b>Suportes</b>		\$5.900,00
	4x kit grampo final 40mm (4un)	-
	4x kit de aterramento em alumínio (2un)	-
	26x kit grampo intermediário (4un)	-
	12x kit emenda (4un)	-
	56x kit gancho ajustável (2un)	-
	56x kit perfil de alumínio 2,22m (1un)	-

Fonte: próprio autor

De acordo com a empresa responsável seriam necessários sete dias para instalação completa do sistema.

#### **4.11. Serviços adicionais**

Buscando a compreensão e realização completa da implementação de um sistema fotovoltaico, existem também alguns serviços adicionais necessários para que o sistema esteja devidamente conectado e homologado a rede da concessionária de energia (CEMIG). Portanto, em contato com a TELSUL levantou-se também os custos destes serviços adicionais.

- 1) Projeto Elétrico
- 2) Registro no CREA
- 3) Homologação na CEMIG

Esses custos mencionados foram orçados em R\$2.000,00 pela TELSUL. Naturalmente um projeto completo precisa estar homologado e assinado por um engenheiro eletricista com registro no CREA.

#### **4.12. Dispêndio ou Investimento Inicial**

Com todos os custos orçados, calculou-se então o dispêndio inicial do projeto. Vale lembrar que a empresa TELSUL será responsável por fornecer, instalar e homologar todo o sistema (projeto *Turn-Key*). O orçamento proposto foi de R\$68.755,00 na condição de pagamento à vista.

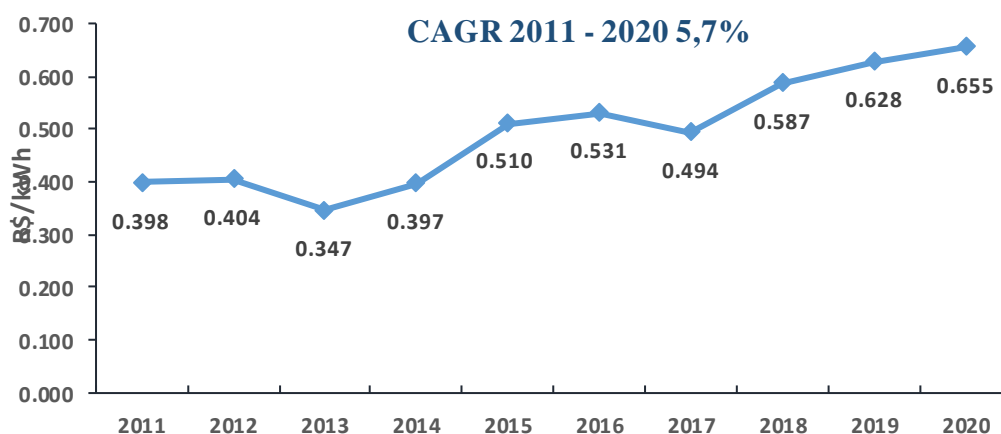
#### **4.13. Custo de manutenção**

Os sistemas fotovoltaicos necessitam de manutenção periódicas, para essa premissa, foi considerado um custo de 0,5% do custo inicial do projeto (ELYSIA, 2017), durante toda a vida útil do sistema (25 anos). Este valor será considerado anualmente no fluxo de caixa. Um outro custo que se deve levar em consideração, é a troca do inversor, visto que este possui uma vida útil aproximada de 12 anos. Por se tratar de um

#### **4.14. Tarifas**

Para projetar a economia monetária que o sistema irá proporcionar, é preciso entender a dinâmica tarifária que a região está exposta. A empresa responsável pelo fornecimento de energia e administração da rede é a Companhia Energética de Minas Gerais S.A (CEMIG). A tarifa da CEMIG é definida pela “Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. A Figura 18 ilustra esta projeção.

**Figura 18.** Taxa de crescimento anual da tarifa da CEMIG de 2011 a 2020



Fonte: adaptado de CEMIG, 2021

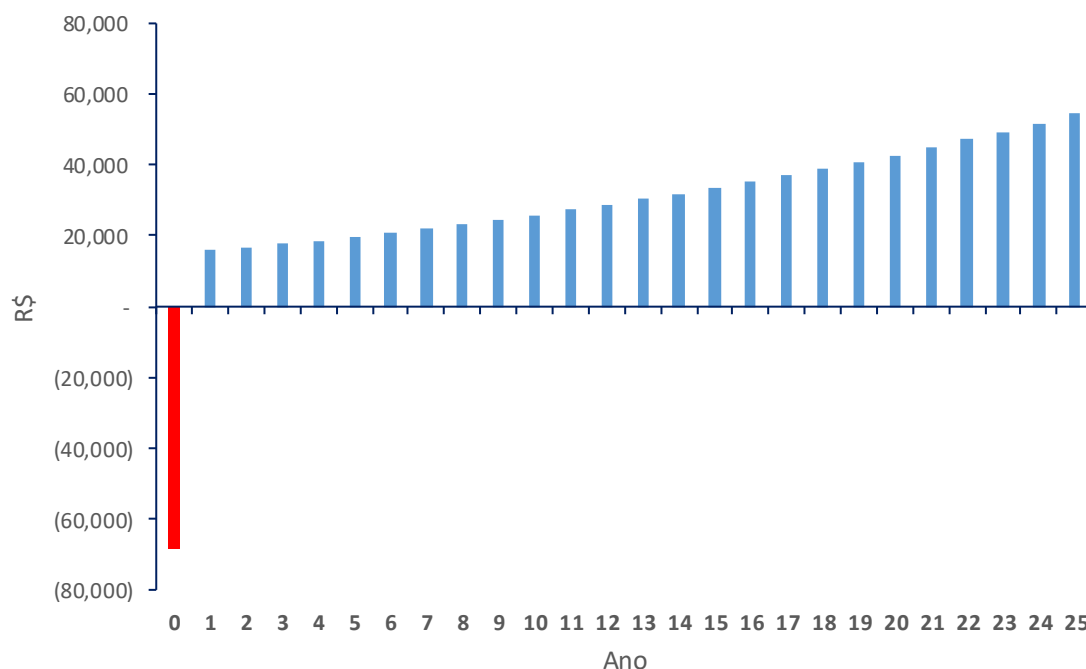
Os reajustes tarifários anuais também são definidos pela ANEEL, na Figura 18 observa-se o histórico de reajuste desde 2011 até 2020. Para a projeção da economia financeira é preciso definir um índice de reajuste, como este valor é incerto e depende de vários fatores exógenos, utilizou-se como premissa o crescimento composto anual de 2011 à 2020 - sendo de 5.7%.

#### 4.15. Fluxo de caixa e fluxo de caixa acumulado descontado

Com a geração de energia devidamente calculada, o índice de reajuste tarifário definido e os custos totais do projeto orçado (incluindo manutenção), pode-se projetar então o fluxo de caixa do projeto. A geração de caixa será considerada como a economia mensal na conta de luz (geração de energia x tarifa vigente), e o dispêndio de caixa será considerado como todo o gasto

com manutenção do projeto, além do investimento inicial no momento zero. Considerando todos os fatores acima citados, projetou-se então o fluxo de caixa do projeto apresentado na Figura 19.

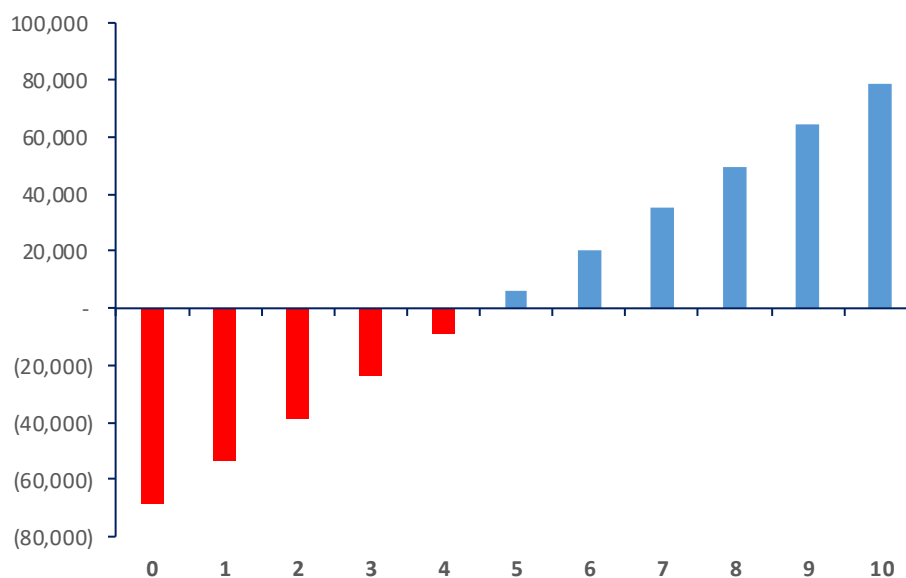
**Figura 19.** Fluxo de caixa do projeto



Fonte: próprio autor

A seguir calculou-se o fluxo de caixa descontado, o qual servirá também para calcular o VPL (valor presente líquido) futuramente. Para isso, é preciso definir uma taxa mínima de atratividade ou custo de capital. Por se tratar de um projeto no qual se utiliza uma linha de crédito, a TMA (taxa mínima de atratividade) é equivalente a taxa de juros que incide sobre a linha de crédito tomada. No caso deste projeto, a linha de crédito escolhida é a “INOVAGRO”, e a taxa de juros anual é definida em 6%.

Com a TMA definida e o fluxo de caixa já projetado, calculou-se então o fluxo de caixa descontado do projeto, apresentado na Figura 20.

**Figura 20.** Fluxo de caixa acumulado descontado

Fonte: próprio autor

Observa-se na Figura 20 que o *payback* descontado é de 5 anos para o presente projeto. A partir do cálculo do fluxo de caixa descontado, é possível calcular o Valor Presente Líquido (VPL), que consiste na somatória dos valores, e a TIR (Taxa Interna de Retorno) a rentabilidade implícita esperada do projeto. A Tabela 10 apresenta tais valores considerando diferentes horizonte de tempo, observa-se que no ano 5 o projeto já apresenta ser financeiramente rentável, apresentando um  $VPL > 0$ .

**Tabela 10.** VPL e TIR = Rentabilidade

Anos	VPL	TIR
25	R\$ 267,772.44	28.27%
20	R\$ 207,081.85	27.98%
15	R\$ 142,346.02	27.09%
10	R\$ 78,818.66	24.22%
05	R\$ 5,884.91	8.99%

Fonte: próprio autor

#### 4.16. Cronograma de amortização da dívida

Como o projeto estudado leva em consideração o financiamento completo da instalação, é importante analisar como se comportará a disponibilidade de caixa para o pagamento da dívida, pois esta pode ser um limitador no momento da tomada de decisão em financiar ou não o projeto.

Considerando que todo o dinheiro economizado na conta de luz será destinado única e exclusivamente ao pagamento da dívida, até que seja encerrada, projetou-se o dispêndio de caixa do produtor. Novamente, mantendo a natureza conservadora do projeto, simulou-se 5 diferentes cenários nas condições de pagamento da linha de crédito, variando então o prazo e a carência. O resumo dos cenários está descrito na Tabela 11.

**Tabela 11.** Resumo dos cenários

RESUMO DOS CENÁRIOS						
Variação	Cenário Base	Cenários 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenários 5
Carência (meses)	36	24	12	0	0	0
Prazo (meses)	120	108	96	84	72	60
Prestação	Cenário Base	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Ano 1	4,065.2	4,065.2	4,065.2	13,742.1	15,354.9	17,612.9
Ano 2	4,065.2	4,065.2	13,742.1	13,161.4	14,677.4	16,799.9
Ano 3	4,065.2	13,742.1	13,161.4	12,580.6	13,999.9	15,986.8
Ano 4	13,742.1	13,161.4	12,580.6	11,999.9	13,322.3	15,173.8
Ano 5	13,161.4	12,580.6	11,999.9	11,419.2	12,644.8	14,360.7
Ano 6	12,580.6	11,999.9	11,419.2	10,838.4	11,967.3	0.0
Ano 7	11,419.2	11,419.2	10,838.4	10,257.7	0.0	0.0
Ano 8	11,419.2	10,838.4	10,257.7	0.0	0.0	0.0
Ano 9	10,838.4	10,257.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Ano 10	10,257.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total</b>	96,194.9	92,129.7	88,064.5	83,999.3	81,966.7	79,934.1
Economia Anual	Cenário Base	Cenários 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenários 5
Ano 1	15,882.5	15,882.5	15,882.5	15,882.5	15,882.5	15,882.5
Ano 2	32,655.6	32,655.6	32,655.6	32,655.6	32,655.6	32,655.6
Ano 3	50,368.5	50,368.5	50,368.5	50,368.5	50,368.5	50,368.5
Ano 4	69,073.3	69,073.3	69,073.3	69,073.3	69,073.3	69,073.3
Ano 5	88,824.7	88,824.7	88,824.7	88,824.7	88,824.7	88,824.7
Ano 6	109,680.3	109,680.3	109,680.3	109,680.3	109,680.3	109,680.3
Ano 7	131,701.0	131,701.0	131,701.0	131,701.0	131,701.0	131,701.0
Ano 8	154,950.8	154,950.8	154,950.8	154,950.8	154,950.8	154,950.8
Ano 9	179,497.1	179,497.1	179,497.1	179,497.1	179,497.1	179,497.1
Ano 10	205,411.0	205,411.0	205,411.0	205,411.0	205,411.0	205,411.0
<b>Total</b>	1,038,044.8	1,038,044.8	1,038,044.8	1,038,044.8	1,038,044.8	1,038,044.8
Resultado Líquido	Cenário Base	Cenários 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenários 5
Ano 1	11,817.3	11,817.3	11,817.3	2,140.4	527.6	-1,730.4
Ano 2	28,590.4	28,590.4	18,913.5	19,494.2	17,978.2	15,855.7
Ano 3	46,303.3	36,626.4	37,207.2	37,787.9	36,368.7	34,381.7
Ano 4	55,331.2	55,911.9	56,492.7	57,073.4	55,751.0	53,899.5
Ano 5	75,663.3	76,244.0	76,824.8	77,405.5	76,179.9	74,463.9

Ano 6	97,099.7	97,680.4	98,261.1	98,841.9	97,713.0	109,680.3
Ano 7	119,701.1	120,281.8	120,862.6	121,443.3	131,701.0	131,701.0
Ano 8	143,531.6	144,112.4	144,693.1	154,950.8	154,950.8	154,950.8
Ano 9	168,658.7	169,239.4	179,497.1	179,497.1	179,497.1	179,497.1
Ano 10	195,153.4	205,411.0	205,411.0	205,411.0	205,411.0	205,411.0
<b>Total</b>	<b>941,849.9</b>	<b>945,915.1</b>	<b>949,980.3</b>	<b>954,045.5</b>	<b>956,078.1</b>	<b>958,110.7</b>

Fonte: próprio autor

#### 4.17 Resumo do Projeto

A partir dos itens apresentados delimitou-se todo o projeto; o resumo está apresentado na Tabela 12.

**Tabela 12.** Resumo do Projeto

Parâmetros de Análise		
Histórico de consumo	24,635.00	Kwh/ano
Histórico de consumo	2,052.92	kWh/mês
Irradiação total	1693.03	kWh/m².ano
Potência	18.76	kWp
Área necessária	104.99	m²
Performance	80%	
Geração de energia	25,409.04	kWh/ano
Geração de energia	2,117.42	kWh/mês
Percentual atendido	103.14%	
Energia não desperdiçada	23,435.00	kWh/ano
Tarifa homologada pela ANEEL	0.426	/kwh
Preço/Wp	R\$3.65	
Preço Total	R\$68,474.00	
Tarifa com encargos	0.655	R\$/kwh
Reajuste de tarifa	5.7%	Ao ano
Degradação no 1º ano	2.5%	
Degradação após o 1º ano	0.5%	Ao ano
Manutenção (OPEX) - % do CAPEX	0.5%	Ao ano
Reajuste OPEX	10%	Ao ano
Juros (TMA)	6.00%	Ao ano
<b>ANOS</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR</b>
25	R\$267.772,44	28.27%
20	R\$207.081,85	27.98%
15	R\$142,346.02	27.09%
10	R\$78,818.66	24.22%
05	R\$5,884.91	8.99%

Fonte: próprio autor

O investimento se mostrou economicamente viável em diferentes óticas financeiras, oferecendo uma TIR (27,98% em 20 anos) muito acima do custo da dívida (6%), e o VPL acima de 0 já no quinto ano de projeto e chegando a ser quase 4 vezes maior do que o investimento inicial no 20 ano.

Além do projeto apresentar resultados financeiros satisfatórios, o cronograma de amortização da dívida se enquadra na geração de caixa do projeto. Apenas no cenário 5 e no primeiro ano, o produtor teria um dispêndio de capital próprio para cumprir com a obrigação de amortização.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve por objetivo aplicar, compreender e analisar a viabilidade do sistema fotovoltaico em uma propriedade agrícola, a partir de linhas de financiamento rural.

Após as pesquisas realizadas acerca da energia fotovoltaica, foi possível identificar que o Brasil uma enorme capacidade de geração e concomitante a este fator, o decréscimo exponencial no preço dos painéis fotovoltaicos faz com que este tipo de projeto se torne cada vez mais atrativos financeiramente.

Além do mais, as linhas de créditos rurais destinadas a este tipo de empreendimento, possibilitam que produtores sem condições de custear um projeto com capital próprio, possam se beneficiar das vantagens financeiras que este tipo de projeto oferece.

Os benefícios de um sistema fotovoltaico, vão além da sustentabilidade, traz uma menor dependência de operadoras de energia, minimiza o risco de apagões, apresenta taxas de retomo atrativas, e uma melhor adequação da matriz energética.

Um outro fator relevante no uso dos sistemas fotovoltaicos, é que as grandes empresas compradoras do leite estão cada vez mais preocupadas com a adequação de seus fornecedores as melhores práticas ambientais, e a não adequação da fonte de energia para uma energia limpa pode se tornar um impeditivo em futuros contratos de venda.

Os dados apresentados neste estudo foram baseados em cotações reais de custo e dívida, e as projeções de geração de energia e economia financeira foram feitas com caráter conservador. Portanto os resultados obtidos servirão para tomada de decisão da exequibilidade do projeto.

## REFERÊNCIAS

- AGROEMDIA. **Dia Mundial do Leite: Brasil se destaca na produção global do setor.** 2020. Disponível em: <https://agroemdia.com.br/2020/06/01/dia-mundial-do-leite-brasil-se-destaca-na-producao-global-do-setor/> Acesso em: 20 mar 2021.
- \_\_\_\_\_. **Com 34,8 bi de litros, produção de leite é a 2ª maior desde 1974, diz IBGE.** 2020. Disponível em: <https://agroemdia.com.br/2020/10/15/com-348-bi-de-litros-producao-de-leite-e-a-2a-maior-desde-1974-diz-ibge/> Acesso em: 20 mar 2021.
- ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid.** 2019. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia Elétrica] Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2002. 153 p.
- \_\_\_\_\_. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil.** Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008.
- \_\_\_\_\_. **Características gerais.** Energia no Brasil e no mundo. 2012. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap1.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap1.pdf) Acesso em: 15 out 2020.
- \_\_\_\_\_. **Como funciona o setor energético brasileiro?** 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/> Acesso em: 20 out 2020.
- ARAÚJO, F.C. **Sistema de monitoramento do consumo elétrico residencial com utilização de medidores de energia elétrica com comunicação sem fio para medição e verificação em programas de eficiência energética.** 2018. 73f. Dissertação [Mestrado em Engenharia Elétrica] Programa de Pós-Graduação da Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.
- ARAÚJO, Felipe Guimarães. **Análise da viabilidade econômica-financeira de empreendimento residencial unifamiliar.** 2011. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso [Bacharel em Administração] Departamento de Ciências Administrativas. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- BACARJI, Alencar Garcia et al. Os impactos da sazonalidade da produção de leite numa indústria de laticínio no Estado de Mato Grosso do Sul. In: **Anais... SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2007.
- BAGATINI, Anderson Fernando. **Sistema de amortização de empréstimos.** 2010. 27f. Trabalho de Conclusão de Curso [Licenciatura em Ciências Matemáticas] Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2010.
- BALDO BRANCO. **Dez países top no leite.** 2021. Disponível em: <https://www.baldebranco.com.br/dez-paises-top-no-leite/> Acesso: 17 mar 2021.
- BLUESOL. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica.** 2016. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-guia-supremo/> Acesso em: 20 mar 2021.

\_\_\_\_\_. **Sistema Fotovoltaico Off-Grid (Isolado): Você acha que sabe tudo?** 2016. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid-isolado-voce-acha-que-sabe-tudo/> Acesso em: 20 mar 2021.

\_\_\_\_\_. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid): O Guia 100% Completo.** 2017. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/> Acesso em: 20 mar 2021.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Quem somos.** 2021. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/quem-somos> Acesso em: 20 mar 2021.

\_\_\_\_\_. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **BNDES: um banco de história e do futuro.** 2010.

\_\_\_\_\_. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Apoio às micro, pequenas e médias empresas.** 2016.

\_\_\_\_\_. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Inovagro.** 2021. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/inovagro> Acesso em: 20 jun 2021.

BOLG DA TRISUL. **Tabela SAC e Tabela Price: como elas afetam o financiamento de imóvel?** 2019. Disponível em: <https://www.trisul-sa.com.br/blog/tabela-sac-e-tabela-price/> Acesso em: 20 out 2020.

BORBA, Eduardo Nejar. **Energia hidrelétrica e seus principais riscos hoje no Brasil: o caso das PCH's.** 2015. 88f. Projeto de Graduação [Bacharel em Engenharia Civil] Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações.** 2008. 80f. Projeto [Bacharel em Engenharia Elétrica] Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

CASTRO, Rui. Introdução à energia fotovoltaica. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada.** Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, 2002.

CESADUF. **Matemática financeira.** 2012. Disponível em: [https://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/17373816022012Matematica\\_Financieira\\_Aula\\_4.pdf](https://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/17373816022012Matematica_Financieira_Aula_4.pdf) Acesso em: 28 out 2020.

CNN BRASIL. **Há risco de apagão em horário de pico no 2º semestre', diz Acende Brasil.** 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/2021/06/04/ha-risco-de-apagao-em-horario-de-pico-no-2-semester-diz-acende-brasil> Acesso em: 20 jun 2021.

CORREA, Manon Perdomo. **Influência da radiação solar na regeneração natural de Mata Atlântica.** 2008. 48f. Monografia [Graduação em Engenharia Florestal] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

COSTA, Ricardo Cunha da; PRATES, Cláudia Pimentel. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado.** BNDS, 20105.

COUTINHO, Carlos Roberto et al. Efeito do sombreamento em módulos fotovoltaicos. In: **Anais... VI Congresso Brasileiro de Energia Solar** – Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016.

CPFL. **Características dos sistemas elétricos e do setor elétrico de países e/ou estados selecionados.** In: Panorama e análise comparativa da tarifa de energia elétrica do Brasil com tarifas praticas em países selecionados, considerando a influência do modelo institucional vigente. 2014.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar Princípios E Aplicações**, 2006.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no brasil e possíveis efeitos no setor elétrico.** Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. - Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 2018.

E-CYCLE. **O que é o sistema off-grid de energia solar?** 2020. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/3430-off-grid.html> Acesso em: 20 mar 2021.

ELYSIA. **Custo de manutenção de sistema fotovoltaico: alto ou baixo?.** 2017. Disponível em :< <https://elysia.com.br/manutencao-de-painel-fotovoltaico/>> Acesso em: 20 mar 2021

FAO & IDF. **Guia de boas práticas na pecuária de leite.** IN: FAO – Produção e Saúde Animal – Food and Agriculture Organization of United Nations e International Dairy Federation, Rome, 2013.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica.** PEA -2420 – Produção de Energia. GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo, 2016.

FAPESP. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho** / Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo; tradução, Maria Cristina Vidal Borba, Neide Ferreira Gaspar. – [São Paulo]: FAPESP ; [Amsterdam] : InterAcademy Council ; [Rio de Janeiro] : Academia Brasileira de Ciências, 2010.

FERREIRA, J.T.V. **Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Média e Baixa Tensão.** 2018. 173f. Relatório de Estágio [Mestrado em Engenharia Eletrotécnica] Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2018.

FINOCCHIO, Marco Antônio Ferreira. **Curso de Energia Solar Fotovoltaica.** Ministério da Educação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.

GALDINO, Marco et al. **O Contexto das Energias Renováveis no Brasil.** S/d. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf> Acesso em: 20 out 2020.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, 2004.

GOMES NETO, Leonardo; MASSA, Adilson; FLORIAN, Fabiana. Estudo do sistema fotovoltaico *on-grid* e *off-grid on-grid* and *off-grid photovoltaic system study*. **Semana Acadêmica Revista**, v.1, p.1-14, 2019.

GOMÉZ, Jenny Marcela Rodrigues et al. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n.3, p.e3301-e3312, 2018.

LEÃO, Álvaro Ghelen de. **Engenharia econômica avançada: tópicos avançados**. Pontifícia Universidade Católica Rio Grande do Sul – PUCRS, 2012.

LEME, D.M. et al. **Sistema de proteção da rede de distribuição de energia elétrica**. 2013. 77f. Monografia [Bacharelado em Engenharia Elétrica] Universidade São Francisco, Itatiba, 2013.

LIMA JUNIOR, Claudemiro et al. Energia solar: metodologia para avaliação do local de instalação de sistema fotovoltaico fomentando a educação ambiental. **Revbea**, São Paulo, v.13, n.3, p.233-244, 2018.

LOSEKANN, Luciano; HALLACK, Michelle. Novas energias renováveis no Brasil: desafios e oportunidades. **Desafios da nação: artigos de apoio**, 2018.

MAGALHÃES, Danilo de Castro Machado Diniz; ESCOFIELD, Rodrigo Dornelas. **Sistema francês de amortização ou tabela price**. 2013. Disponível em: [http://periciajudicial.adm.br/pdfs/sistema-frances-de-amortizacao-ou-tabela-price%20\\_Danilo%20deCastro.pdf](http://periciajudicial.adm.br/pdfs/sistema-frances-de-amortizacao-ou-tabela-price%20_Danilo%20deCastro.pdf) Acesso em: 28 out 2020.

MAGARREIRO, Clarisse; FREITAS, Sara; BRITO, Miguel Centeno. Radiação e Energia Solar. **SP Física**, v.39, n.1/2, p.1-3, 2016.

MALLMANN, Roberta. **Análise da viabilidade de um empreendimento de produção musical**. 2012. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso [Bacharel em Ciências Contábeis] Departamento de Ciências Administrativas, Contábeis, Econômicas e da Comunicação (DACEC). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

MARQUES, Vanessa da Costa. **Modelagem de Painel Fotovoltaico Submetido a Sombreamento e Conectado à Rede Elétrica Monofásica**. 2017. 96f. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia Elétrica] Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

MARTINS, Fernando Ramos et al. Base de dados climático-ambientais aplicados ao setor energético - Projeto SONDA. In: **Anais...** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005.

MATTOS, Gustavo Marques. **Estudo de rendimento e temperatura de painéis fotovoltaicos com uso de técnica de concentração solar**. 2016. 90f. Projeto [Graduação Engenharia de Controle e Automação] Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

MELO, Gilberto da Silva. **Tabela price: juros simples ou composto?** 2003. Disponível em: <https://gilbertomelo.com.br/pdf/tabelaprice.pdf> Acesso em: 20 out 2020.

NAKANO, Yoshiaki. Engenharia econômica e desenvolvimento. **Rev. Adm. Empres.**, v.7, n.22, p.89-112, São Paulo Jan./Mar. 1967

NASCIMENTO, Raphael Santos do; ALVES, Geziele Mucio. Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: métodos e benefícios ambientais. In: **Anais...** Educação e Ciência para a cidadania global – 27 e 28 out 2016.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. 2020. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes> Acesso em: 20 mar 2021.

NOGUEIRA, Edemilson. **Introdução a engenharia econômica**. / Edemilson Nogueira. -- São Carlos : EdUFSCar, 2011. 111 p. -- (Coleção UAB-UFSCar).

PACHECO, Fabiana. Energias renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, Salvador: SEI, n.149, p.4-11, Outubro/2006.

PEREIRA, Alexandrino Tadeu Felonta. **Projeto, construção e análise de um sistema de posicionamento automático de painel solar fotovoltaico**. 2016. 65f. Trabalho Final [Graduação em Engenharia Elétrica] Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

RIBEIRO, Flávia. **Estudo de caso: implantação de sistema fotovoltaico on-grid em Piquirivaí – Paraná**. 2019. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia Ambiental] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

RODRIGUES, Kênia Fernandes de Castro; ROZENFELD, Henrique. **Análise de Viabilidade Econômica**. Grupo Engenharia Integrada e Engenharia de Integração – Departamento de Engenharia de Produção Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2009.

SANTANA, Karla et al. Desempenho de sistemas FV de acordo com a inclinação e azimute. In: **Anais... ENIE - XVI Encontro Nacional de Instalações Elétricas** -- 23 a 25 de agosto, em São Paulo, SP, 2016.

SANTOS, Ieda Maria Antunes dos. **Análise de Investimentos**. 2009. Disponível em: [http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777\\_ieda.pdf](http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777_ieda.pdf) Acesso em: 20 out 2020.

SANTOS, Alysso Correia Mota dos. **Análise da viabilidade econômico-financeira de empreendimentos eólicos utilizando financiamento de longo prazo**. 2020. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso [Engenharia Elétrica]. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

SCHOFFEL, Edgar Ricardo. Radiação solar. **Agrometeorologia**, p.1-11, 2010.

SCHROEDER, Jocimari Tres et al. O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento. **Revista Gestão Industrial**, v.1, n.2, p. 033-042, 2005.

SEBRAE. **Guia de Energia Solar Fotovoltaica: aplicação nas micro e pequenas empresas**. Centro Sebrae de Sustentabilidade. 2016.

SILVA, R.O. **Remuneração do serviço de distribuição de energia elétrica no Brasil: a situação das Obrigações Especiais e dos Ativos Totalmente Depreciados**. 2013. 84f. Dissertação [Mestrado Profissional em Regulação e Gestão de Negócios] Departamento de Economia. Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVA, Bruno Phillip Alves da. **Metodologia para a determinação de temperatura em painéis fotovoltaicos por meio de termografia quantitativa**. 2017. 75f. Dissertação [Mestrado em Engenharia Mecânica] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SILVA, Pedro Henrique Tronco; FLORIAN, Fabiana; PESTANA, Fernando Augusto Baptistini. Estudo de perdas em sistemas fotovoltaicos. **Semana Acadêmica Revista**, v.1, p.1-21, 2018.



SIMPLÍCIO, Roberto Silva et al. Impacto do sombreamento em um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. In: **Anais... VI Congresso Brasileiro de Energia Solar** – Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016.

SOUZA, Edlúcio Gomes de et al. Introdução. In: \_\_\_\_\_ (Orgs.). **A importância do agronegócio do leite no segmento de agricultura familiar**. – Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, Cooperativa Agropecuária do Cariri, 2015.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. In: \_\_\_\_\_ (Org.). **Energia. Estudos avançados**, v.26, n.74, p.248-260, 2012

\_\_\_\_\_. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. In: \_\_\_\_\_ (Org.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016

TORRES, Roberta. **Matemática financeira e engenharia econômica: a teoria e a prática**. 2004. 94f. Trabalho de Conclusão de Curso [Licenciatura em Matemática] Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

UCZAI, Pedro. **Energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. In: TAVARES, Wagner (Org.). \_\_\_\_\_. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2012.

VIEIRA, Leonardo Nunes de Castro. **Análise de risco de empreendimentos hidrelétricos de pequeno porte**. 2017. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso [Bacharel em Engenharia Civil] Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

VILLALVA, Marcelo. **Como determinar o ângulo de inclinação do sistema fotovoltaico?** 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/como-determinar-o-angulo-de-inclinacao-dos-modulos-fotovoltaicos/> Acesso em: 21 mar 2021.

\_\_\_\_\_. **Conversor Eletrônico de Potência Trifásico para Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**. 2010. 292f. Tese [Doutorado em Engenharia Elétrica] FEEC - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2010.

VILELA, Duarte et al. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXVI, n.1, p.5-24, Jan./Fev./Mar. 2017

VINICIUS NETTO, D.; HENKES, J.A. Sistema de geração e distribuição de energia por parte do operador nacional do sistema brasileiro – ONS o pêndulo do desenvolvimento. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 3, n. 2, p.339 - 362, out. 2014/mar.2015.

ZOLMER, Clarissa Debiazi. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações**. 2014. 258f. Tese [Doutorado em Engenharia Civil] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.