



# **Valorização económica e financeira de um projeto de energias renováveis implementado em fazendas**

**Leonardo Camargo Biazoti**

Dissertação apresentada ao *Instituto Politécnico de Bragança*

Para obtenção do grau de mestre em Energias Renováveis e Eficiência Energética

**Orientação:**

**Prof. Doutor António Borges Fernandes**

**Prof<sup>a</sup>. MSc. Annemarlen Gehrke Castagna**

**Bragança, outubro, 2020**



# **Valorização económica e financeira de um projeto de energias renováveis implementado em fazendas**

Leonardo Camargo Biazoti

## **Orientação:**

Prof. Doutor António Borges Fernandes

Prof<sup>a</sup>. MSc. Annemarlen Gehrke Castagna

Bragança, outubro, 2020

## Resumo

Desenvolvimento económico, sustentabilidade, qualidade de vida, são uns dos assuntos mais discutidos entre órgãos, instituições, organizações governamentais e não governamentais, os quais despertam um aumento da preocupação quanto à oferta de energia à população. As ofertas de fontes de energia a partir de combustíveis fósseis, têm vindo a diminuir percentualmente. Estudos indicam que estes são causadores das mudanças climáticas e emissões de gases de efeito estufa. Na procura de condições mais favoráveis, para a vida humana, têm surgido pesquisas de novas tecnologias e alternativas energéticas capazes de suprir a procura de energia de forma mais ecológica. As pesquisas efetuadas, ao longo dos anos, com vista à geração de energia elétrica, através da conversão fotovoltaica da irradiação solar, vêm-se mostrando uma alternativa às energias poluentes, cada vez mais próxima da realidade, com melhores relações entre custo e benefício. Nesse contexto, pela sua posição geográfica global, o Brasil tem um enorme potencial energético solar a ser explorado, podendo resultar numa matriz energética mais diversificada. O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade económica e financeira, de um sistema fotovoltaico, para abastecer três fazendas localizadas no interior do estado de São Paulo no Brasil. As referidas fazendas têm custos de energia elevados com o seu atual sistema de irrigação. A partir do levantamento de dados do consumo energético dos pivôs instalados nas propriedades foi analisado, em termos financeiros, o melhor sistema fotovoltaico conectado à rede para cada uma das fazendas. A seriação foi feita através de uma análise económica e financeira recorrendo aos indicadores Valor Atual Líquido, Taxa Interna de Rentabilidade e *Payback*. Procedeu-se ainda à elaboração de uma análise de sensibilidade, com as principais variáveis do trabalho, para se perceber a sensibilidade do projeto a possíveis variações dessas variáveis. Os resultados obtidos evidenciam que os sistemas fotovoltaicos, quando conectados à rede, poderão proporcionar uma redução dos custos com a energia elétrica, obtendo-se deste modo resultados satisfatórios em termos de rentabilidade económica e financeira, uma vez que VAL foi de R\$ 827.585,65 e a TIR de 8,56%.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Sistema Fotovoltaico, Viabilidade Económica e Financeira, TIR, VAL.

## **Abstract**

Economic development, sustainability, quality of life, are some of the most discussed subjects among agencies, institutions, governmental and non-governmental organizations, which raise an increasing concern about the supply of energy to the population. The supply of energy sources from fossil fuels has been decreasing in percentage terms. Studies indicate that these are the cause of climate change and greenhouse gas emissions. In the search for more favorable conditions, for human life, research has emerged on new technologies and energy alternatives capable of meeting the demand for energy in a more ecological way. Research carried out over the years with a view to generating electric energy through the photovoltaic conversion of solar irradiation has shown itself to be an alternative to polluting energies, increasingly closer to reality, with better cost-benefit ratios. In this context, due to its global geographical position, Brazil has an enormous solar energy potential to be explored, which may result in a more diversified energy matrix. This work aims to analyze the economic and financial viability of a photovoltaic system, to supply three farms located in the interior of the state of São Paulo in Brazil. These farms have high energy costs with their current irrigation system. From the data collection of the energy consumption of the pivots installed in the properties, the best photovoltaic system connected to the network for each of the farms was analyzed in financial terms. The ranking was made through an economic and financial analysis using the indicators Net Present Value, Internal Rate of Return and Payback. A sensitivity analysis was also carried out, with the main variables of the work, in order to understand the project's sensitivity to possible variations of these variables. The results obtained show that photovoltaic systems, when connected to the grid, may provide a reduction in costs with electricity, thus obtaining satisfactory results in terms of economic and financial profitability, since NPV was R\$827,585.65 and the IRR of 8.56%.

**Keywords:** Solar Energy, Photovoltaic System, Economic and Financial Viability, NPV, IRR.

## **Agradecimentos**

Deus é a razão de tudo na minha vida, grato sou pelo o que Ele me proporciona. Essa oportunidade de vir a Portugal realizar um mestrado é uma oportunidade que nem todos que querem conseguem e mais uma vez sou privilegiado por Ele.

Obrigado ao meu professor e orientador Professor Doutor António Borges Fernandes, do Instituto Politécnico de Bragança, por seguir a orientação desde o começo da proposta inicial da tese, sempre me ajudando com a máxima atenção, orientando, conhecendo minhas dificuldades, mas nunca desistindo de me orientar e se dispor a qualquer auxílio, meu muito obrigado a você.

Obrigado à Professora MSc. Annemarien Gehrke Castagna, minha professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no Brasil, que aceitou a co orientação, se disponibilizou em me auxiliar sempre com muita atenção e respeito, fazendo com que o trabalho pudesse ser realizado com êxito, meu muito obrigado também.

Aos meu pais por me darem suporte e força para enfrentar os desafios da vida, meus agradecimentos. Meus amigos e pessoas mais próximas tanto do Brasil como de Portugal os quais sabem o quanto foram importantes em minha jornada.

Muito obrigado a todos de modo geral que de alguma forma contribuíram nessa etapa de minha vida.

## Abreviaturas e/ou Acrónimos

AIE	- Agência Internacional de Energia
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
BM	- Banco Mundial
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BOS	- <i>Balance Of System</i>
CA	- Corrente Alternada
CC	- Corrente Contínua
CCEE	- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEF	- Caixa Económica Federal
COFINS	- Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	- Conselho Nacional de Política Fazendária
CRESEB	- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
GD	- Geração Distribuída
HSP	- Hora Solar Pico
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPCC	- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MAE	- Mercado Atacadista de Energia Elétrica
OCDE	- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ONS	- Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	- Organização das Nações Unidas
P&D	- Pesquisa e Desenvolvimento
PADIS	- Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores
PIS	- Programa de Integração Social
PRI	- Período de Retorno de investimento
PROESCO	- Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética
ProGD	- Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
REIDI	- Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
SFCR	- Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede
SFCRs	- Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
SFI	- Sistema Fotovoltaico Isolado
SIN	- Sistema Interligado Nacional
TE	- Tarifa de Energia
TIR	- Taxa Interna de Rentabilidade
TUSD	- Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição
TUST	- Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão

UFV - Usinas Fotovoltaicas  
UHT - Usinas Heliotérmicas  
VAL - Valor Atual Líquido  
WACC - Weighted Average Cost of Capital

# Índice

Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tabelas .....	viii
Introdução.....	1
1. Revisão de Literatura .....	3
1.1. Breve histórico da Energia no Brasil .....	3
1.2. Fontes de Energia .....	5
1.2.1. Energias Não Renováveis .....	6
1.2.2. Energias Renováveis .....	6
1.3. Matriz Elétrica Brasileira.....	13
1.4. Planeamento, Regulamentação e Incentivos no Brasil .....	14
2. Metodologia de investigação.....	19
2.1 Descrição das fazendas .....	19
2.2. Objetivo do estudo e questões de investigação.....	20
2.3. Descrição do Instrumento de Recolha e Métodos de Tratamento dos Dados .....	22
3. Apresentação e Análise dos Resultados (Análise dos Resultados Empíricos) .....	25
3.1. Consumo de energia das fazendas .....	25
3.2 Implementação dos sistemas fotovoltaicos.....	28
3.2.1 Etapa 1 – Estudo da irradiação solar na região .....	29
3.2.2 Etapa 2 – Cálculo do investimento inicial.....	30
3.2.3 Etapa 3 – Simulação da Usina Solar Fotovoltaica ao longo da vida útil.....	34
3.2.4 Etapa 4 – Despesas anuais operacionais e administrativas ao longo da vida útil .....	36
3.2.5 Etapa 5 – Determinação dos fluxos de caixa .....	37
3.2.6 Etapa 6 – Projeção económica .....	38
3.2.7 Etapa 7 – Análise de sensibilidade do investimento .....	39
3.2.8 Etapa 8 – Análise de cenários.....	43
Conclusões, Limitações, Linhas de Investigação Futuras .....	45
Referências .....	48

## Índice de Figuras

Figura 1: Potencial Fotovoltaico Mundial .....	8
Figura 2: Arranjo fotovoltaico .....	9
Figura 3: Matriz Elétrica do Brasil .....	14
Figura 4: Sistema Integrado Nacional .....	15
Figura 5: Fatura de energia elétrica .....	27
Figura 6: Irradiação solar em Santa Cruz do Rio Pardo .....	30
Figura 7: Rendimento do painel solar 345 Wp – TRINA .....	34

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Consumo mensal do ano de 2019 .....	25
Tabela 2: Tarifas ANEEL.....	27
Tabela 3: Divisão das Tarifas ANEEL .....	27
Tabela 4: Descontos para cada tarifário .....	28
Tabela 5: Tributos Governamentais .....	28
Tabela 6: Coordenadas Geográficas das fazendas .....	29
Tabela 7: Perdas do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede .....	31
Tabela 8: Necessidade de Geração.....	31
Tabela 9: Capital de Investimento [R\$] .....	31
Tabela 10: Kit Solar Fotovoltaico 1 .....	32
Tabela 11: Kit Solar Fotovoltaico 2 .....	32
Tabela 12: Kit Solar Fotovoltaico 3 .....	33
Tabela 13: Faturas de Energia Elétrica [R\$] .....	36
Tabela 14: Custos de geração anual [R\$].....	37
Tabela 15: Fluxo Financeiro [R\$] .....	37
Tabela 16: Viabilidade Económica de cada Fazenda .....	38
Tabela 17: Viabilidade Económica de todos os projetos .....	38
Tabela 18: Sensibilidade da taxa de manutenção .....	39
Tabela 19: Sensibilidade das perdas do Sistema Fotovoltaico .....	40
Tabela 20: Sensibilidade da irradiação solar média anual .....	40
Tabela 21: Sensibilidade da Potência do Kit.....	41
Tabela 22: Sensibilidade desconto tarifário .....	42
Tabela 23: Sensibilidade Potência do Kit x Taxa de desconto tarifário Horário Reservado.....	43
Tabela 24: Resumo dos cenários.....	44

## Introdução

Com objetivo de aumentar a produtividade e diminuir a dependência por fatores climáticos nos resultados das safras, a maioria das grandes fazendas produtoras de soja no Brasil, fazem uso da agricultura irrigada por meio de pivô central. Nesse sistema de irrigação, em área circular ao centro, é projetada uma estrutura fixa que capta água de um poço artesiano sendo projetada em seguida, sob pressão, para toda a tubulação do pivô. Este encontra-se sustentado por uma estrutura metálica sobre rodas pneumáticas para o movimento do sistema. Os pivôs são capazes de irrigar uma área circular até 55 hectares, consumindo em torno de 110.000 kWh (quilowatts-hora) no ano.

Um agricultor no estado de São Paulo - Brasil possui três fazendas que fazem uso desse sistema. Na fazenda 1 são usados 2 pivôs, na fazenda 2, 1 pivô, e na maior das 3 fazendas, na fazenda 3, tem 5 pivôs. Por ser um consumidor rural e de média tensão (grupo A4 - Rural), onde a tensão nominal é de 10,8 kV (quilo-volts), cada fazenda possui um transformador que recebe essa tensão da linha de distribuição e converte-a numa tensão nominal dos pivôs de 380 V.

Em consequência do elevado consumo de energia elétrica, associados aos elevados custos suportados com a atual fonte de energia, surge a oportunidade de se realizar um estudo com o intuito de reduzir os referidos custos energéticos privilegiando a produção de energia considerada “amiga” do ambiente. Ou seja, surge a oportunidade de se apostar em alternativas tecnológicas sustentáveis onde o consumidor pode gerar a própria energia elétrica que consome. Pretende-se, desse modo, com o presente trabalho apresentar os aspectos relevantes, no contexto da geração de energia solar nas fazendas brasileiras, e analisar economicamente um projeto de um sistema solar fotovoltaico que permita auxiliar no suprimento do sistema de fornecimento de energia atual. Este tema é relevante na medida que o consumo de energia elétrica, pelos pivôs de irrigação das fazendas, representa um considerável custo de produção. Para maximizar a produção de energia teve-se em linha de conta o potencial de radiação solar local, o panorama, perspectivas e cenários.

Este trabalho é considerado um estudo de caso uma vez que se constituem na estratégia quando o enfoque está em um fenômeno contemporâneo dentro de algum contexto de vida real. A preparação do estudo é de grande importância na medida em que se não for sólida e falhas forem apontadas sem serem tratadas, todo o estudo irá se comprometer (Pereira, 2010). Aplicado a três fazendas produtoras de soja, localizadas no Brasil, no interior do estado de São Paulo. O mesmo tem como principal objetivo analisar a implementação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, injetando eletricidade à rede local de distribuição, de modo a reduzir consequentemente o consumo de energia elétrica na irrigação dos referidos pivôs.

Pretende-se assim responder à seguinte questão de investigação: É economicamente viável a instalação de painéis solares para alimentar o sistema de rega das fazendas no estado de São Paulo - Brasil? A partir desta surgiram as seguintes questões de investigação: 1) A taxa de manutenção dos

painéis solares possui uma influência significativa na viabilidade do investimento realizado? 2) A viabilidade econômica e financeira do investimento realizado é influenciada pelas, de forma significativa, pelas perdas verificadas no sistema fotovoltaico? 3) A irradiação solar medial anual influencia significativa a viabilidade do investimento realizado? 4) A escolha da potência do kit solar fotovoltaico influencia a viabilidade econômica e financeira do investimento realizado? 5) O desconto do tarifário influencia a viabilidade econômica e financeira do investimento realizado? 6) Qual o período de recuperação do investimento (PRI) de um sistema fotovoltaico conectado à rede?

A informação acerca do consumo de energia das fazendas, bem como os dados de irradiação solar incidente no plano, são disponibilizados pelo proprietário da fazenda e pelo banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar.

Para realizar o estudo são utilizados, como parâmetros de análise da viabilidade econômica e financeira do investimento, os métodos do fluxo de caixa, o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e do *Payback* descontado, ou, Período de Retorno de Investimento (PRI). Estes são os indicadores indispensáveis no processo de decisão sobre o investimento, pois definem a viabilidade do projeto, e mostram os possíveis riscos e os prováveis retornos financeiros (Qiu, Wang, & Wang, 2015).

Deste modo, o trabalho apresenta para além da introdução, os seguintes capítulos: (i) enquadramento teórico sobre as diversas fontes de energia, (ii) metodologia utilizada para a elaboração do presente trabalho, bem como o principal objetivo do mesmo; (iii) análise dos resultados obtidos. Por fim, são apresentadas as conclusões do estudo e as suas principais limitações, bem como possíveis linhas de investigação futuras.

# 1. Revisão de Literatura

Energia, ar e água são os ingredientes essenciais à vida humana. Historicamente, o custo para tais ingredientes era quase zero. Com as lenhas das florestas era possível obter energia para o aquecimento e para toda a atividade doméstica. A água utilizada era proveniente dos rios, sem custos adicionais, sendo consumida sem nenhum tratamento. Quer os cursos de água, como também os ventos, eram utilizados para a produção de energia. Com o passar dos anos esta realidade foi-se alterando, com maior intensidade no período da revolução industrial. Esta realidade está relacionada com o crescente uso de tecnologia, para o desenvolvimento da vida humana, causando um inevitável aumento do consumo de energia, com maior incidência no meio urbano. A partir da revolução industrial, foi necessário aumentar a produção de energia, existindo a necessidade de se recorrer ao carvão, gás e petróleo, com altos custos de produção e transportes até chegar aos consumidores. Porém, mais recentemente, constatou-se os problemas causados pelos combustíveis fósseis, surgindo a necessidade de se encontrarem soluções mais sustentáveis ao ambiente.

## 1.1. Breve histórico da Energia no Brasil

A introdução de energia elétrica no Brasil, mais especificamente no Rio de Janeiro, que naquela época era a capital do país e principal centro urbano, ocorreu no final da década 1870, sendo contemporânea às primeiras aplicações da Europa e Estados Unidos. Essas mudanças tornaram-se responsáveis pela aceleração econômica e social, mais intensificada após a proclamação da República em 1889 (Lamarão, 1997).

A partir de 1900, uma empresa sediada no Canadá, Light, incentivou a produção de eletricidade em larga escala, montando um importante sistema de geração transmissão e distribuição de energia elétrica no eixo Rio - São Paulo. Em 1905 foi inaugurada a hidrelétrica de Fontes, com 12 MW (megawatt) instalados que tornava, naquela época, uma das maiores do mundo. Com apoio financeiro privado, a capacidade instalada no Brasil foi crescendo de maneira graduada chegando em 1930 à 778 MW (Lamarão, 1997).

Entre os anos de 1940 e 1960, os governos estaduais e o governo federal colocaram a grande produção e distribuição de eletricidade, petróleo e gás da época em poder de empresas estatais mantendo, deste modo, nas mãos o controle energético do país. Esta política teve sucesso por alguns anos, promovendo desenvolvimento econômico e baixos custos de energia. No entanto, criou problemas devido à gestão, incompetente, que realizou a construção de inúmeras usinas hidrelétricas para obter benefícios políticos sem a garantia de um mínimo de retorno econômico (Goldemberg & Lucon, 2007).

Como alternativa à matriz energética Brasileira, o Governo criou o Programa Nacional do Álcool, o Proálcool, instituído em 14 de novembro de 1975, pelo Decreto nº 76.593. Este programa teve a

finalidade de reduzir a dependência brasileira de petróleo importado através do estímulo à produção de álcool proveniente da cana-de-açúcar. Programa esse que visou o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos tornando-se, deste modo, importante para a matriz energética. Deve-se salientar ainda que, relativamente à cana-de-açúcar, pode-se obter mais proveito com a tecnologia da Biomassa, a qual gera energia a partir da queima do bagaço que restou após a produção do álcool (Pereira, 2014).

Em meados de 1990 foi promovida a privatização parcial do sistema, seguindo o modelo adotado na Europa ocidental nomeadamente: a desverticalização e introdução da livre concorrência na produção/geração, transmissão e distribuição de energia; o livre acesso à rede; a adoção de agências reguladoras independentes e privatização das empresas públicas (Goldemberg & Lucon, 2007). Nesta altura, o Brasil já possuía uma grande base hidráulica na sua matriz elétrica, principalmente em virtude do potencial disponível das grandes bacias hidrográficas existentes. Entretanto os impactos ambientais preocupavam a população pelas grandes áreas de terra inundada. A partir de então houve incentivos governamentais à utilização de outras fontes renováveis de energia, os quais provocaram uma redução nos custos com a energia e conseqüentemente uma redução nos preços dos produtos e das matérias primas. Estes incentivos ao desenvolvimento tecnológico começaram a ter participação, mais significativa, no setor elétrico nacional ao longo dos anos.

Como a qualidade de vida está diretamente relacionada com um consumo de energia, há uma preocupação, cada vez maior, em oferecer toda a quantidade procurada de energia pela população (Dias, Silva, Freitas, & Nascimento, 2017). Este comportamento tem vindo a ser discutido entre estudiosos e políticos de diversas entidades tais como a Organização das Nações Unidas (ONU), Banco Mundial (BM), Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), Agência Internacional de Energia (AIE), e Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Com base nesses embasamentos a “Energia Sustentável”, “Renovável”, está-se a aplicar em todo o mundo. O Brasil, dada as suas características geográficas, é um país cuja condição é altamente favorável ao uso de energias renováveis. Por outro lado, pela posição confortável que o país possui na sua matriz energética, pode-se colocar em contraponto, uma vez que há diferentes rumos os quais o país pode seguir (Pereira, 2014).

Para que o um país possa crescer cada vez mais, é importantíssimo que a energia elétrica seja disponibilizada de forma abundante à população porém deve-se atentar aos aspetos económicos, impactos sociais e ambientais (Shayani, Camargo, & Oliveira, 2006).

## 1.2. Fontes de Energia

A energia sempre teve um papel indispensável como base para o desenvolvimento do ser humano, mesmo na forma mais elementar da utilização da biomassa, quando os ancestrais descobriram o fogo. Embora seja clara a crescente dependência mundial de energia, seja por convenções políticas ou necessidades económicas, o cenário mundial aponta para a necessidade da adesão a fontes alternativas da geração de energia em contraponto à crise do petróleo e problemas climáticos. Isto se deve ao fato dessas fontes apresentarem índice de degradação ambiental considerado baixo, em relação às fontes mais utilizadas.

Problemas como crises de abastecimento vem tornando-se cada vez mais comuns, de acordo com as peculiaridades naturais, políticas e económicas de cada país ou região, causando impactos socioeconómicos (Lavezzo, 2016).

O intensivo uso de energia proveniente de combustíveis fósseis tem sido apontado como a principal causa do efeito estufa e, conseqüentemente, pela elevação na temperatura do planeta terra. Especialistas comprovam por um lado que os altos níveis de gás carbônico presentes na atmosfera aumentaram a uma taxa elevada, por outro que as reservas de combustíveis fósseis estão a diminuir. Para tentar diminuir essas emissões têm surgido diversas alternativas de geração de energia limpa e renovável (Gore, 2006). Percebe-se, deste modo, que o esgotamento de recursos essenciais para as atividades humanas, está cada vez mais próximo, deste modo deve-se adotar políticas e atitudes mais sustentáveis.

Em 1987 a ONU definiu sustentabilidade como o desenvolvimento que responde às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades. Há quatro vertentes na sustentabilidade sendo: a ambiental, a económica, a social e a cultural. Estas vertentes tratam do uso consciente dos recursos naturais bem como do planejamento para reposição dos mesmos, do reaproveitamento de matérias primas e o desenvolvimento de métodos de produção mais barato. Para que o desenvolvimento sustentável seja possível a sociedade e governos têm necessidade de atuarem em conjunto de forma coordenada. Esta coordenação passa pela utilização de meios alternativos de transporte, reciclagem, consumo de alimentos orgânicos, e fomentando o uso de fontes alternativas de energia. A busca entre equilíbrio e desenvolvimento com o uso das formas de energias disponíveis, bem como suas aplicações passa a ser um tema de elevada importância nos dias de hoje.

Assim, deve-se questionar o quão sustentável é o dia-a-dia e o que se pode fazer para melhorar essa questão, nas empresas, nas cidades, nos países, de um ponto de vista global (Oliveira, 2005). Deve-se sempre ter a preocupação com a sustentabilidade na hora de escolha da forma de energia que substituirá os combustíveis fósseis. Dessa forma, a utilização das fontes renováveis de energia merecem a devida atenção (Shayani et al., 2006).

### **1.2.1. Energias Não Renováveis**

As energias não renováveis são caracterizadas pelo facto de quando se esgotam não podem ser regeneradas, num curto espaço de tempo, incluindo-se as energias provenientes de combustíveis fósseis e nucleares;

Deste modo, as energias provenientes de combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural, xisto, petróleo) são formadas de forma natural, através da degradação de organismo em milhões e milhões de anos, submetidos a condições especiais de temperatura e pressão. Esse tipo de energia é utilizado em equipamentos especiais tais como caldeiras, motores, onde a energia química é convertida em formas de energia útil, elétrica em caldeiras e cinética em automóveis. Na cozinha o gás natural também é utilizado pelo ser humano como fonte de energia térmica.

A energia nuclear utiliza o calor gerado quando é provocada a fissão, nuclear no interior do átomo radioativo. Na natureza encontra-se o elemento Urânio para esse uso.

Dois exemplos de usinas que utilizam fontes não renováveis, são as térmicas e as nucleares:

- Usinas térmicas podem ser instaladas em regiões próximas de consumo para reduzir o custo com torres e linhas de transmissão, a operação com elevada segurança e disponibilidade, menor tempo de construção e baixo custo por kW, além da flexibilidade no acompanhamento da carga instalado o que favorece na redução de riscos e uma grande competitividade no mercado caracterizadas (Sousa, 2009).
- Usinas nucleares podem ser consideradas como as usinas mais perigosas que existe sendo, por essa razão, motivo de discussão em qualquer lugar do planeta, pois se ocorrer algum processo fora do planeado, as causas para os seres humanos e o ambiente serão desastrosas. O descarte do material radioativo utilizado na produção energética também gera problemas ao meio ambiente, sendo o custo dessa geração também demasiado alto (Patterson, 2007).

### **1.2.2. Energias Renováveis**

As energias renováveis são caracterizadas pelo facto de quando se esgotam podem ser regeneradas, num curto espaço de tempo, incluindo-se à essas energias, temos a energia eólica (utiliza energia dos ventos para girar um aro gerador), a hidroelétrica (proveniente do armazenamento de água, usando sua energia potencial para movimentar turbinas), geotérmica (obtida pelo calor do interior do planeta), ondomotriz (aproveitamento das ondas oceânicas), a maremotriz (obtida energia pelas alterações das marés) e a biomassa (capaz de gerar energia através de plantas e animais) e solar.

Apesar dessas fontes apresentarem variações de geração durante o dia, mês, ano, isso não se torna uma desvantagem significativa para a escolha dessas tecnologias (Pacheco, 2006). Como essas fontes

emitem gases de efeito estufa em quantidade bem menor quando comparada às energias não renováveis, estas estão conseguindo uma boa inserção no mercado Mundial e Brasileiro (Tolmasquim, Guerreiro, & Gorini, 2007).

De salientar que, desde a antiguidade, a energia eólica é utilizada pelo homem, principalmente nas embarcações e moinhos. Atualmente, a energia eólica, embora pouco utilizada no Brasil, contudo, este tipo de energia ainda possui um grande potencial para ser explorada. Grandes turbinas (aerogeradores), em formato de cata-vento, são colocadas em locais abertos e com boa quantidade de vento. Através de um gerador, o movimento destas turbinas gera eletricidade (Lavezzo, 2016).

Esses tipos de fontes energéticas consideradas “limpas”, são capazes de substituírem os combustíveis fósseis, caso o poder político lhe atribua a devida atenção e apoio. Esse fluxo de energia solar é extremamente abundante, de outra forma exemplificando, a quantidade de sol que incide sobre a Terra durante 10 dias, é equivalente à todas as reservas de combustíveis fósseis do planeta (Silva, 1994).

A energia solar por exemplo, é proveniente de ciclos naturais de conversão da radiação do sol, fonte primária de quase toda energia disponível na terra e, por isso, é praticamente inesgotável e não altera o balanço térmico do planeta quando se faz sua utilização.

O aproveitamento da energia do sol pode ser realizado de diversas tecnologias e para inúmeras aplicações, como exemplo a iluminação, aquecimento, energia térmica, e energia elétrica. Devido a várias vantagens dessa tecnologia, para a produção de energia elétrica, os sistemas solares estão sendo muito utilizados tanto em geração centralizada como na geração distribuída. Responsável pelo desenvolvimento e manutenção da vida na terra, o sol pode ser visto, de acordo com a nossa escala de tempo e com os atuais níveis de consumo energético, como uma fonte de energia inesgotável. O aproveitamento da energia gerada por este astro é, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para a humanidade. Adicionalmente, deve-se lembrar que esta estrela é responsável pela origem da maioria das fontes de energia existentes (Galdino, Lima, Ribeiro, & Serra, 2009). A cerca de 150 milhões de quilômetros do planeta terra o sol emitindo radiação onde na camada externa da atmosfera pode ser medido com intensidade de  $1.367 \text{ W/m}^2$  no qual se dá o nome de Constante Solar ( $G_{cs}$ ). Porém ao atravessar essa barreira há uma dispersão e absorção em parte dessa radiação resultando em aproximadamente  $1.000 \text{ W/m}^2$  ao meio dia solar na superfície terrestre em dias sem nuvens (Urbanetz, 2010). “A energia solar fotovoltaica é a obtida através da conversão direta da luz em eletricidade. Este efeito, denominado fotovoltaico, descoberto por Edmond Becquerel, em 1839, define-se pelo aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de determinado material, produzida pela absorção da luz” (Galdino et al., 2009).

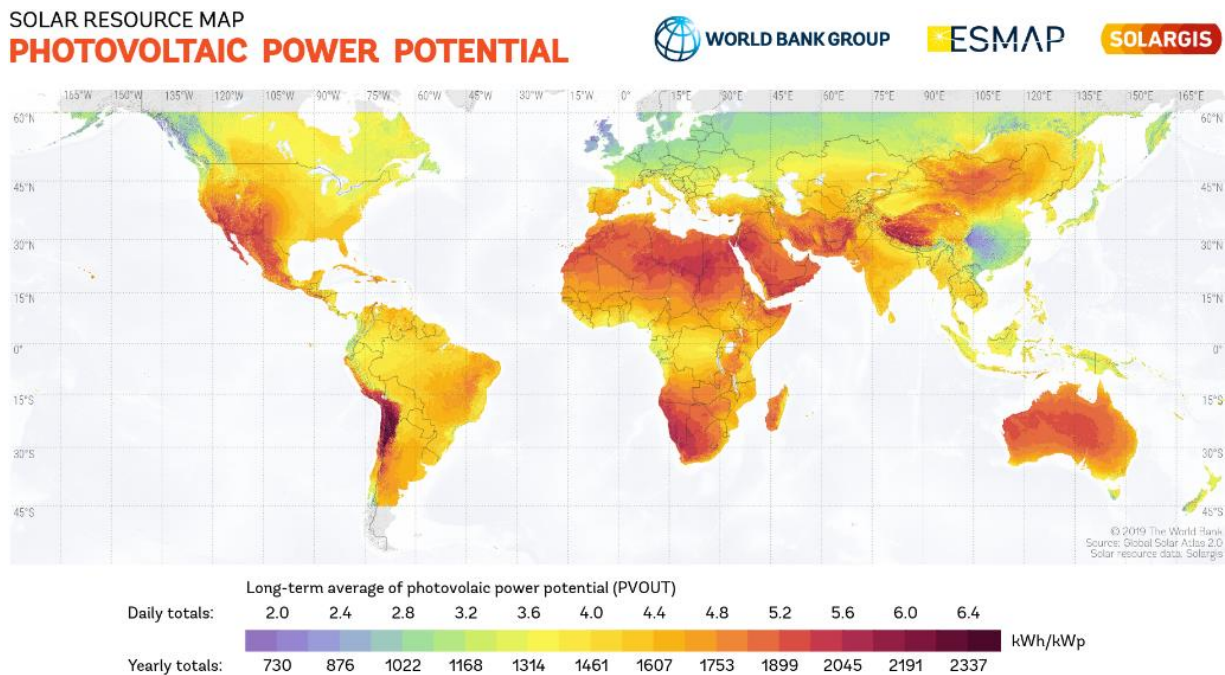
Em aplicações de conversão de energia solar em elétrica, toda essa energia pode ser transformada por meio de módulos fotovoltaicos onde essa energia está disponível na superfície de seus dispositivos. Sendo também aproveitada essa energia de duas formas: através do efeito fotovoltaico e do efeito térmico (Urbanetz, 2010).

A energia solar heliotérmica, também conhecida como solar térmica, é uma tecnologia que converte a radiação proveniente do Sol em energia elétrica através da concentração dos raios em um foco, transformando-os em calor. Calor esse utilizado por uma máquina térmica que converte em eletricidade (Castro, 2015).

Denomina-se de “usina” a um sistema de geração de energia de grande porte, projetados para a produção e comercialização de energia elétrica. No maior caso delas são construídas em locais planos onde as placas solares são capazes de obter uma maior eficiência dos raios solares. Essas placas também podem ser fixas ou podem ter um sistema de movimento que acompanha o movimento do sol durante o dia, garantindo uma maior produção.

Conforme se pode verificar em estudos, as diferença entre as Usinas Heliotérmicas (UHT) e as Usinas Fotovoltaicas (UFV) vão desde a parte tecnológica, com matérias resistentes ao calor, ótica, fluidos e termodinâmica por parte das UHT e eletrônica de semicondutores (junção P-N) por parte das UFV, mas também na geração e o sistema elétrico, UHT utiliza como principal a radiação direta e possui gerador com inércia rotacional, já a UFV utiliza todas as radiações e não possui partes móveis (Castro, 2015).

A tecnologia pode ser muito explorada no planeta, como ilustra a Figura 1.



**Figura 1: Potencial Fotovoltaico Mundial**

Fonte: (Atlas, 2019).

A irradiação que chega à superfície dos módulos fotovoltaicos pode ser decomposta em três contribuições: direta, difusa e refletida pelo chão. A radiação solar direta vem segundo a direção do sol;

a radiação difusa carece de direção específica. Nos dias claros, sem nuvens, a radiação direta prevalece e nos dias de cobertos de nuvens, a radiação solar é quase completamente difusa. Também sabe-se que qualquer alteração no nível da radiação solar, a quantidade de eletricidade produzida pelo sistema também é alterada (Correia, 2017).

Apesar da data de descoberta deste princípio de funcionamento, as células fotovoltaicas foram originalmente desenvolvidas nas décadas de 50 e 60 para aplicações espaciais sendo que, a partir de fins da década de 70, passaram a ser utilizadas também em aplicações terrestres. Desde então, a utilização das células fotovoltaicas na Terra tem aumentado em razão da progressiva queda de preço verificada (Galdino et al., 2009).

Essas células fotovoltaicas, associadas eletricamente em arranjos serie/paralelo, dão o formato e nome ao módulo fotovoltaico. A associação elétrica dos módulos fotovoltaicos chama-se painel fotovoltaico onde se arranja de maneira a obter a tensão, corrente, potência assim desejada. Há duas variedades de módulos fotovoltaicos, os planos e os concentrados, onde todos são conectados à conversores estáticos que processam a energia e a disponibiliza para a carga (Urbanetz, 2010).

Na Figura 2 demonstra-se quais são as partes componentes de um painel fotovoltaico.



**Figura 2:** Arranjo fotovoltaico

Fonte: (Duarte, 2020).

As células podem ser construídas com diferentes tipos de materiais semicondutores no entanto, os mais encontrados nos dias de hoje são: silício (Si) cristalino (c-Si), multicristalino (m-Si), amorfo (a-Si) e microcristalino ( $\mu$ -Si), telúrio (Te); cádmio (Cd), cobre (Cu); índio (I), gálio (Ga), selênio (Se) (Urbanetz, 2010). O foco principal do progresso tecnológico é a melhoria da eficiência da conversão da luz solar em eletricidade. Existe muitos dispositivos fotovoltaicos, de células de baixo custo e baixa eficiência a células de alto custo e alta eficiência. Comercialmente os módulos se enquadram amplamente em duas categorias; silício cristalino à base de bolacha (c-Si) e filme fino (Hearps & McConnell, 2011).

As células feitas com os materiais de silício cristalino e multicristalino tem uma eficiência energética na faixa de 14% a 19%, já as fabricadas com os materiais de filmes finos (de silício amorfo e outros materiais) apresentam eficiência na faixa de 6% a 18% (Urbanetz, 2010).

O ângulo de incidências dos raios solares sobre os módulos fotovoltaicos é um fator determinante para a geração de energia, uma vez que quando esse ângulo é perpendicular, permite-se maior fluxo de radiação, obtendo deste modo, uma maior eficiência. Portanto, na instalação, para que esse ângulo seja perpendicular, os módulos fotovoltaicos devem estar inclinados com ângulo igual à latitude. Existem sistemas fotovoltaicos de geração em baixa tensão em telhados de residências ou indústrias com grande eficiência (Villalva, 2015).

Os sistemas de grande porte, entre 1MW e 50 MW de potência, geralmente são construídos diretamente no chão ou instalados nos telhados das edificações. O módulo é combinado com um sistema de montagem em terra, para criar a matriz de coletor solar. Os módulos dentro da matriz são conectados a um inversor, que converte a energia de Corrente Contínua (CC) em energia de Corrente Alternada (CA), que é então transformada em uma subestação e injetada numa linha de transmissão ou distribuição de alta ou média tensão (Hearps & McConnell, 2011).

Na instalação de um sistema de energias renováveis há um Planejamento Integrado de Recursos Energéticos (PIR) o qual tem por função procurar uma utilização racional dos serviços de energia, com o objetivo de estabelecer a melhor alocação dos mesmos ao longo do tempo. Utiliza enfoque nos dados finais a fim de determinar o potencial de conservação e os custos e benefícios envolvidos na implementação do sistema obtendo, desta forma, a maior eficiência energética na adequação ambiental, além de realizar a análise dos fatores externos que são oscilatórios no decorrer dos anos, meses e até mesmo de um dia (Azevedo, Edgard, & Udaeta, 2010).

Os principais parâmetros, a respeito do custo da energia fotovoltaica, são os custos de aquisição de equipamentos e a taxa de desconto. Há também outros custos que são os custos variáveis, incluindo operações e manutenções. Porém, o custo de capital é o mais significativo e oferece uma maior oportunidade para redução do custo do sistema em geral.

Os próprios custos de aquisição de equipamentos se enquadram em uma de duas grandes categorias: módulo e balanço de sistema, em inglês *Balance of System* (BOS). O módulo é o conjunto interconectado de células fotovoltaicas, processamento de células e custos de montagem. O balanço do sistema inclui custos estruturais (instalação estrutural, *racks*, preparação do local e outros equipamentos) e custos do sistema elétrico (inversor, fiação, transformador e instalação elétrica) (Hearps & McConnell, 2011).

Os custos do BOS podem variar dependendo de sua instalação, em cerca de 20% por um sistema conectado à rede e a 70% para um sistema fora da rede elétrica. A redução desse custo é indiscutivelmente mais difícil, do que as reduções de custo dos módulos, uma vez que são custos

definidos por diferentes instaladores, fornecedores, reguladores, serviços públicos, dentre outros (Hearps & McConnell, 2011). A redução de custos dos sistemas solares pode ser obtida através de uma série de desenvolvimentos tecnológicos, design, e estratégias de instalações como por exemplo: sistemas elétricos de inversores CC – CA; melhoria estruturais; na instalação com equipamentos mais automatizados onde reduz a mão de obra; na padronização dos equipamentos, que diminui as preocupações regulatórias impulsionando assim uma fabricação em larga escala; e esse volume alto de fabricação dos componentes como na indústria de módulos fotovoltaicos.

Existem basicamente dois tipos de sistemas fotovoltaicos. O Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI) onde normalmente são instalados em áreas sem acesso à rede elétrica e necessitam assim de um elemento armazenador de energia. Existe ainda o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFCR), visto esse sistema como um exemplo de Geração Distribuída (GD) onde esse contribui com a rede elétrica, fornecendo energia às linhas de transmissões chegando aos pontos de consumos próximos em baixa ou média tensão e não necessitando assim de um elemento armazenador de energia (Urbanetz, 2010).

Os chamados Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) possuem em sua construção dois elementos principais básicos de todos sistemas: painel fotovoltaico e inversor de frequência. A rede elétrica da concessionária é vista pelo sistema como o elemento armazenador de energia já que toda a energia gerada pelo sistema é colocada em paralelo. Com esse sistema pode-se tirar um maior proveito de toda a energia disponibilizada pelos painéis, ou seja, uma elevada produtividade (Urbanetz, 2010).

Possuindo baixo impacto ambiental os sistemas fotovoltaicos produzem energia através de uma fonte renovável de energia de forma silenciosa, diferentemente de outras. Desde a década de 80 que os países desenvolvidos já vêm utilizando essa tecnologia. O Brasil é um país no qual se pode aplicar em larga escala esse tipo de tecnologia pois é um país no qual recebe grande potencial de radioatividade e além de sua grande expansão territorial, que contribui para a formação da geração distribuída<sup>1</sup>.

Ganhos com a redução de perdas nas linhas de transmissão, com a possibilidade de cogeração são benefícios diretos, melhoria no nível de tensão da rede no período de carga pesada e diversificação da matriz energética são umas das vantagens do seu uso. Desse modo, com a energia obtida, de forma descentralizada, todas as regiões passam a ter acesso à eletricidade podendo aumentar os postos de trabalho, e conseqüentemente reduzindo problemas sociais que ocorrem em grande proporção nas cidades (Shayani et al., 2006).

Por outro lado, também há desvantagens associadas como o aumento de pequenos geradores espalhados na rede de distribuição, aumentando a complexidade de operação da rede, dificuldades de cobrança pelo uso do sistema e a necessidade da distribuidora de operar, controlar e proteger a rede

---

<sup>1</sup> Geração distribuída pode ser definida como a geração de energia elétrica realizada perto do local do consumo, normalmente a partir de fontes renováveis caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte.

local. Mesmo assim, é uma tecnologia viável e tem tudo para se expandir como já vem acontecendo em vários países.

Contudo, o sistema fotovoltaico não provoca impactos ambientais em sua geração de energia. No entanto, com menores dimensões e proporções quando comparado a outros sistemas de obtenção de eletricidade, sendo considerados como principais impactos os: processos de fabricação, transporte, instalação, operação, manutenção do sistema. De considerar ainda as emissões de elementos tóxicos durante o processo da produção da matéria-prima para os módulos e componentes periféricos, tais como ácidos e produtos cancerígenos, para além de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), Óxido nítrico (NO<sub>x</sub>). Em particular os riscos associados aos materiais tóxicos utilizados nos módulos fotovoltaicos (arsênico, gálio e cádmio) e outros componentes. Surge assim a necessidade de se dispor e reciclar corretamente os materiais tóxicos contidos nos módulos fotovoltaicos e demais componentes elétricos e eletrônicos, sendo a vida útil média dos componentes estimada entre 20 e 30 anos (Tolmasquim, 2004).

Estes sistemas fotovoltaicos, conectados à rede elétrica convencional, utilizam painéis solares que atendem à necessidade energética de um consumidor. Quando a energia solar produzida é superior ao consumo, o excedente é injetado na rede e, caso seja inferior ao consumo, a procura necessária é captada através do sistema interligado. Notando-se uma tendência no uso da energia solar em conjunto com a rede elétrica existente (Shayani et al., 2006).

Alguns países da Europa têm incentivado a geração distribuída, visando descongestionar os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica onde o próprio consumidor gera toda ou parte da energia por ele utilizada. Por meio dos módulos fotovoltaicos, que precisam de radiação solar para transformar essa energia em eletricidade, deixa de ser necessário o transporte da energia desde as grandes usinas de energia até ao consumidor final (Urbanetz, 2010). Uma vez que esses custos de instalações forem acessíveis aos consumidores, essa geração de energia só tende a crescer no meio urbano, assim a instalação dos painéis será feita nos entornos das edificações contribuindo com a redução dos problemas inerentes às formas convencionais de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (Urbanetz, 2010).

Em países como Alemanha, Espanha, Japão, Estados Unidos, o governo dá incentivos para a aplicação da tecnologia solar, como fonte de energia elétrica, seja subsidiando na aquisição dos sistemas fotovoltaicos, ou remunerando a energia fotogerada. Temos um exemplo da Alemanha, com o programa *One Thousand Rooftop* que depois se tornou *Hundred Thousand Rooftop*, que fizeram com que o país desse um grande impulso na disseminação da energia fotovoltaica (Urbanetz, 2010). Na Alemanha e Espanha, há o sistema de tarifação chamado *feed in tariff* onde prevê que o SFCRs é um comprador de toda a energia consumida inclusive da energia fotogerada. Porém terá o retorno financeiro com a venda da sua energia gerada, que for injetada na rede. O preço dessa energia fotogerada por sua vez corresponde à aproximadamente duas vezes do valor da tarifa normal de compra. Essa variação do

preço também depende da configuração da instalação e bem como da potência instalada (Urbanetz, 2010).

No Japão e Estados Unidos o sistema de tarifação é denominado *net metering*. Significa que o SFCRs acumula créditos em kWh, quando injeta energia elétrica na rede da concessionária, no período de alta produção. Esses créditos são debitados quando o SFCRs necessita de mais energia, para além da que está a produzir, utilizando assim a energia proveniente da concessionaria local (Urbanetz, 2010).

A China obteve a maior expansão das capacidades globais de produção de componentes principais incluindo módulos e inversores e continua a exercer pressão descendente sobre os preços. Juntos, China e Taiwan chegaram a produzir mais de 50% de ambas as células de silício cristalino e módulos, com a China liderando o mundo nas exportações de células fotovoltaicas (Hearps & McConnell, 2011).

De uma forma geral, os países procuram melhorar as formas de obter energia, não somente diversificar a matriz energética, mas também desenvolver alternativas que procurem minimizar impactos ao meio ambiente, causados pela geração de energia, sejam eles em quaisquer escalas.

Para além das vantagens indicadas anteriormente, o Brasil tem uma vantagem significativa sobre os países desenvolvidos, no que tange à utilização de energia solar, pois localiza-se numa faixa de latitude na qual a incidência de radiação solar é muito superior à verificada nos países onde ela é muito mais utilizada e necessária para matriz energética (Galdino et al., 2009).

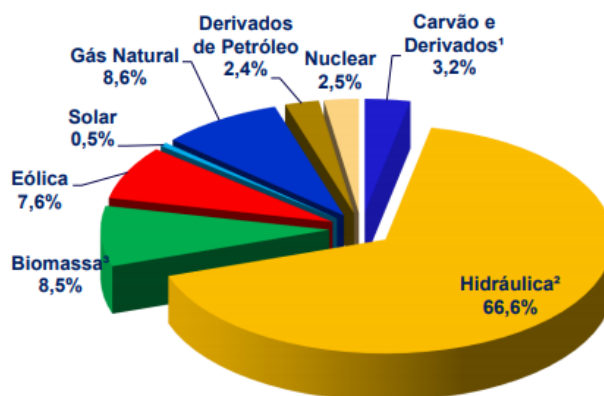
Com todas essas informações é ressaltado o incentivo à prática do uso da energia solar, como fonte primária para geração de energia elétrica. Com o desenvolvimento cada vez maior desta fonte de energia, pode-se obter um aumento na diversidade da matriz elétrica; assegurar uma maior sustentabilidade a longo prazo; redução de emissões de poluentes na atmosfera; descentralização de mão de obra, oferecendo mais oportunidades de empregos em regiões periféricas aos grandes centros; além de haver diminuição no desmatamento.

### **1.3. Matriz Elétrica Brasileira**

A geração de energia elétrica no Brasil tem sua predominância em usinas hidrelétricas, com geração de baixo custo, porém de impactos ambientais consideráveis devido a formação de grandes reservatórios de água onde inundam uma vasta área de vegetação. Todo esse reservatório serve para obter energia potencial para movimentar as pás das turbinas dos geradores elétricos. Na matriz elétrica também são utilizadas usinas térmicas, nucleares e eólicas, porém em menor escala (Urbanetz, 2010).

A nova ordem mundial é a busca pela auto suficiência em geração de energia, aliada a uma diversificação da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energias alternativas que supram a procura interna dos países, no caso de uma escassez de combustíveis fósseis (Pacheco, 2006). Como se pode verificar na Figura 3, a matriz elétrica Brasileira é composta por 80,3% de fontes

renováveis, com predomínio das usinas hidroelétricas que correspondem a 65,2% da capacidade instalada de geração de energia elétrica. Seguidas das usinas termoelétricas baseadas na queima de biomassa com 8,2%. Usinas eólicas e as fontes solares aparecem logo depois com 8%, de acordo com o Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, de abril de 2018, publicado pelo Ministério de Minas e Energia.



**Figura 3:** Matriz Elétrica do Brasil

Fonte: (Epe, 2019).

De modo a reduzir o nível de poluição associado ao uso das energias derivadas de combustíveis fósseis é que a energia solar ganha espaço dentro das alternativas de energia (Urbanetz, 2010). São de grande valia o incentivo ao uso dessa tecnologia uma vez que se verificam inúmeras vantagens como sendo: diminuição da manutenção, durante a geração não gera resíduos ou qualquer outra forma de poluição, sistema mais confiável a cada avanço de pesquisas, não há custos com combustíveis para a geração, entre outros.

#### 1.4. Planejamento, Regulamentação e Incentivos no Brasil

O mercado gerador de energia elétrica brasileiro sofreu uma reestruturação a partir do ano 2000, uma delas foi a divisão de tipos de consumidores em dois seguimentos: consumidores livres e consumidores cativos. Os consumidores livres poderiam escolher seus fornecedores entre produtores independentes por meio de contratos bilaterais. Os cativos seriam atendidos pelas empresas locais que na sua maioria é controlada pelo Estado.

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é coordenado pelo órgão Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), cabendo a ele decidir o quanto de energia as hidroelétricas e térmicas devem produzir de eletricidade para abastecer todo o Brasil. O ONS projetou o SIN para o ano de 2024 como se pode observar na Figura 4.



**Figura 4:** Sistema Integrado Nacional

Fonte: (Ons, 2020).

Em 2001, após uma crise que ocorreu no sistema elétrico foi criada a Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001), com ações de eficiência energética estabelecendo padrões mínimos para o desempenho energético dos sistemas. Em 2002 o Sistema Elétrico Brasileiro foi novamente reestruturado, onde uma destas mudanças estabelece os procedimentos relativos à liquidação das operações de compra e venda de energia elétrica, no mercado de curto prazo, no âmbito do Mercado Atacadista de Energia Elétrica, MAE, e trata das garantias financeiras e penalidades (Aneel, 2002). No dia 10 de novembro de 2004, regulamentada pelo Decreto nº 5.177, de 12 de agosto de 2004, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, CCEE, começou a operar sucedendo o MAE, com papel estratégico para viabilizar as operações de compra e venda de energia elétrica, registrando, administrando contratos entre geradores, comercializadores, e consumidores livres no Sistema Interligado Nacional nos Ambientes de Contratação Regulada e Contratação Livre, além de efetuar a contabilização e a liquidação financeiras da operações no mercado de curto prazo (Aneel, 2004). Em 2012 a ANEEL aprovou uma Regulamentação para Energia Solar Fotovoltaica iniciando dessa forma a era da micro e mini geração

distribuída no Brasil utilizando geradores fotovoltaicos que trabalhem junto à rede de distribuição, em regime de troca de energia. Nessa regulamentação foram estipulados o tipo e a potência máxima dos geradores e a sua respectiva categoria de geração, onde: para micro geração, os geradores terão potência de até 75 kW; para mini geração, serão os sistemas com potência superior a 75 kW até 5 MW. Acima de 5 MW, o sistema já é classificado como usina (Aneel, 2012).

Os sistemas de micro e mini geração distribuída também pode ser caracterizada através do perfil da unidade consumidora: tipo de grupo e subgrupo tarifário e tipo de consumidor (industrial, comercial, residencial, rural, etc.).

Essas iniciativas para geração de energia elétrica descentralizadas, como por exemplo, sistemas fotovoltaicos, quando são conectados à rede elétrica utilizam a forma de onda dessa, como referência, gerando assim uma forma de onda senoidal de mesma amplitude, mesma frequência e sequencia. Dessa forma, os padrões mínimos de exigências na geração da energia são requisitados permitindo assim sua conexão em paralelo. O não cumprimento desses requisitos ou anormalidades que ocorram durante a produção, faz com que o inversor do sistema fotovoltaico é desligado do sistema, deixando assim de produzir energia por meio dessa tecnologia em paralelo com a rede elétrica local da concessionária (Urbanetz, 2010). Ao fim do mês é feito um balanço de geração e consumo de eletricidade. Se a produção for maior que o consumo, esse excedente é chamado de crédito de energia que poderá ser utilizado nos 60 meses subsequentes, de modo a abater um déficit de produção num mês onde a produção foi inferior ao consumo. Se o consumo for maior do que a produção e o agente não tiverem crédito, esse deve pagar pela diferença entre a energia total consumida e a gerada. Esse processo denomina-se de Sistema de Compensação de Energia Elétrica (Aneel, 2012).

A tarifação de energia elétrica no Brasil é realizada com base na tensão de fornecimento e para isso divide-se em grupos: O Grupo A é definido pelos grandes consumidores: serviços de grande porte como indústrias, comércios, *shoppings centers*, supermercados, hospitais, etc., com fornecimento em média e alta tensão (acima de 2,3 kV a 25 kV). Dentro do grupo A ocorre mais divisões, onde os consumidores subdivididos em A1 (230 kV ou mais), A2 (88 a 138 kV), A3 (69 kV), A3a (30 a 44 kV), A4 (2,3 a 25 kV) e AS (sistemas atendidos pela rede subterrânea, com tensão menor do que 2,3 kV) recebem na entrada do seu medidor de energia essa tensão. O Grupo B é definido pelos demais consumidores: de pequeno porte como por exemplo, residências urbanas e rurais, indústrias de pequeno porte, comércios, serviços, etc. Com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV ou atendidas em tensão superior a 2,3 kV com potência inferior a 112,5 kW. Havendo mais divisões dentro do grupo onde: B1 (residências urbanas), B2 (residências rurais), B3 (demais classes) e B4 (iluminação pública) (Aneel, 2010).

Para cada grupo existem tarifas, ou seja, os consumidores do grupo A, possuem as tarifas binômias-horárias: verde e azul. Os consumidores do grupo B, possuem a tarifa convencional monômnia e tarifa monômnia-horária branca. As tarifas binômias possuem cobrança tanto do consumo de energia elétrica (kWh), quanto da procura (kW). As tarifas monômnia possuem cobrança somente do consumo

de energia elétrica (kWh). As tarifas horárias possuem valores de tarifas de consumo e procura diferentes dependendo do horário do dia (horário fora de ponta, horário de ponta, e intermediário) (Aneel, 2010). A tarifa verde é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (horário de ponta e horário fora de ponta), assim como de uma única tarifa de procura de potência independente do horário do dia (Aneel, 2010). A tarifa azul é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo e de procura de acordo com as horas de utilização do dia (horário de ponta e horário fora de ponta) (Aneel, 2010). A tarifa convencional monômnia é caracterizada por uma tarifa única de consumo independentemente da hora de utilização do dia (Aneel, 2010). A tarifa branca é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (horário fora de ponta, ponta e intermediário) (Aneel, 2010).

Para cada um dos grupos A e B há uma faturação quanto a micro ou mini geração distribuída, onde mesmo havendo uma produção maior de energia se comparada ao consumo da própria unidade consumidora, o grupo A paga um valor mínimo correspondente ao referencial pelo custo da procura contratada. As unidades pertencentes ao grupo B pagam um valor mínimo pelo que se chama custo de disponibilidade da energia elétrica (Aneel, 2012).

Na fatura da conta de energia elétrica deve constar de forma clara e inteligível, a totalidade dos tributos governamentais incidentes sobre a faturação, computados os seguintes tributos: ICMS, imposto sobre operações relativas a circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação; PIS, contribuição social para o programa de integração social e para o programa de formação do patrimônio do servidor público (Pasep) – (PIS/ Pasep); e COFINS, contribuição para o financiamento da seguridade social (Aneel, 2010).

Os consumidores cativos são faturados por uma única tarifa, com suas respectivas parcelas de procura e energia, que representa o somatório da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e da Tarifa de Energia (TE). A TUSD está atrelada à prestação do serviço necessário para o consumo de energia elétrica (disponibilização, manutenção e operação da infraestrutura do setor elétrico) e a TE, em grande medida, corresponde ao produto, ou seja, a energia propriamente dita utilizada pelo consumidor final. A separação entre TUSD e TE à percepção dos consumidores e da sociedade ainda não é clara. A TUSD tem atribuídos a ela encargos, perdas do sistema, e transporte. A TE também tem as mesmas partições, porém com custos diferentes por ser atribuídos outros encargos, perdas e transportes, além disso, o custo da energia propriamente (Aneel, 2018).

Pode-se listar alguns incentivos mais utilizados pelo governo com o intuito de incentivar a geração de energia elétrica a partir da fonte renovável solar: Venda direta a Consumidores; Sistema de Compensação para Mini e Micro geração Distribuídas; Desconto na Tarifa de uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) e na Tarifa de uso dos Sistemas de Transmissão (TUST); Programa Luz para Todos; Debêntures Incentivadas; Convênio Número 101, de 1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ); Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura

(REIDI); Lei da Informática; Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS); Redução do Imposto de Renda; Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO); Condições Diferenciadas de Financiamentos (BNDES); financiamentos no banco Caixa Económica Federal – CEF; Fundo Clima; Inova Energia; Fundo Solar; Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (Rosa & Gasparin, 2016).

Em 2015 a Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro alterou a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, onde os sistemas fotovoltaicos são enquadrados e regulamentados como sistemas de micro e mini geração. A Resolução N° 687 estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuídas, assim como a anterior, aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Micro geração é caracterizada por potências inferiores ou iguais a 75 kW, enquanto que a mini geração possui potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, em se tratando de centro de geração de energia, que utilize cogeração qualificada ou para fontes renováveis de energia elétrica conectadas à rede elétrica (Aneel, 2015).

Existem mais projetos de lei que dão incentivos tributários e fiscal para equipamentos de energia solar, o banco Caixa Económica Federal possui uma linha de crédito para a construção de instalações de geração distribuída com parcelamento dos equipamentos de instalação em até 240 meses. Há também o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica, ProGD, um programa de Minas e Energias também com o financiamento para instalação em residências, comércios e indústrias. O BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Económico e Social, desenvolveu outra metodologia também de financiamento para usinas solares.

O setor de energia solar tem muito ainda para avançar e muito a superar no Brasil, com clara conduta dos órgãos governamentais, com o potencial muito grande de crescer o setor de emprego, economia, ambiente.

## **2. Metodologia de investigação**

Após a análise do referencial teórico por meio de pesquisas de livros, monografias, artigos, normas, revistas, banco de dados disponíveis gratuitamente em sites governamentais, artigos periódicos e sites especializados na área, para uma melhor compreensão do tema procede-se à descrição da metodológico utilizada no trabalho. Foi recolhido o consumo normal de cada fazenda, para o ano 2019, sendo mantido esse valor para os consumos dos anos subseqüente nas diversas simulações efetuadas.

Pretende-se assim oferecer uma visão de como deve ser implementado um sistema fotovoltaico conectado à rede seguindo as normas de regulamentação, característica de implementação e analisando as características dos locais como irradiação solar, entre outros.

### **2.1 Descrição das fazendas**

Neste estudo pretende-se estudar alternativas de produção de energia que permitam reduzir os atuais custos de eletricidade suportados. Vão ser utilizados dados reais de três fazendas brasileiras localizadas no estado de São Paulo, mais especificadamente no município de Santa Cruz do Rio Pardo.

Nestas três unidades produtivas, cultiva-se soja há aproximadamente dez anos. Quando o proprietário fez aquisição destas fazendas cultivava-se anualmente duas safras. Atualmente aderiu a um sistema de irrigação central com o objetivo de aumentar a sua produção de grãos, passando de duas safras para três. Somando as três unidades, em 2019, obteve-se um custo com energia elétrica anual de R\$210.000,00 correspondendo, aproximadamente, a R\$70.000,00 por safra, em uma área de irrigação de aproximadamente 440 hectares (ha), equivalente a cerca de 616 campos de futebol.

As três fazendas necessitam de sete funcionários, os quais se alternam entre as três fazendas de acordo com as necessidades de cada uma para o momento. Os mesmos são responsáveis por toda a atividade agrícola das fazendas, ou seja, desde o plantio até à colheita incluindo a ligação, de forma manual, dos pivôs no horário definido pelo gerente, que sempre está em busca do aumento da produtividade.

Basicamente, o sistema de rega utilizado pelas fazendas é um sistema motomecanizado capaz de irrigar uma grande área utilizando pouca mão de obra, além de apresentar facilidade em automação, assim como a facilidade na de alteração das culturas pelo facto de não necessitar ser removido durante todo o cultivo e colheita dos grãos (Alves, Sales, Pereira, Rodriguez, Casaroli, & Evangelista, 2015).

A irrigação por pivô central é mesmo uma importante técnica de regadio, para os agricultores, na medida que os ajuda a enfrentarem variações climáticas, tais como o El Niño, La Niña, assim como o aquecimento global (Pereira, Júnior, Casaroli, Sales, Rodriguez, & Souza, 2015) . Trata-se de uma tecnologia que, se mal dimensionada e manejada, pode reduzir significativamente a rentabilidade do empreendimento, podendo inviabilizar o investimento já realizado, já que a falta ou excesso de irrigação no solo comprometendo o resultado final de uma colheita.

Como já referido anteriormente, a maioria dos agricultores, de média e grande dimensão, utilizam pivôs de irrigação nas suas plantações de soja. Normalmente, estes têm elevados custo fixo com energia elétrica para o abastecer dos referidos pivôs. Neste sentido, pretende-se fazer um estudo, de modo a analisar a viabilidade económica e financeira, com a substituição da eletricidade da rede pública pelo fornecimento de energia fotovoltaica conectada à rede. Os painéis solares irão localizar-se nas zonas da fazenda com menor produtividade de soja. Deste modo, este estudo é pertinente na medida em que poderá permitir criar uma alternativa para o fornecimento de energia elétrica aumentando, deste modo, a rentabilidade dos agricultores.

## **2.2. Objetivo do estudo e questões de investigação**

No Brasil, a maioria das propriedades agrícolas, de médio e grande dimensão, utilizam pivôs de irrigação nas suas plantações de soja pelas razões anteriormente apresentadas. Uma vez que os agricultores, normalmente têm elevados custos fixos com a energia elétrica, para o abastecer dos referidos pivôs, surge a necessidade de encontrar alternativas que permita a reduzir desses custos de produção. Neste sentido, pretende-se fazer um estudo de modo a analisar a viabilidade económica e financeira com a substituição da eletricidade da rede pública pelo fornecimento de energia fotovoltaica. Os painéis solares irão localizar-se nas zonas da fazenda com menor produtividade de soja, como anteriormente referido. Por conseguinte, este estudo de caso é pertinente na medida em que poderá permitir criar uma alternativa para o fornecimento de energia elétrica aumentando, deste modo, a rentabilidade das explorações agrícolas da região. Surge assim uma pergunta de partida: “É economicamente viável a instalação de painéis solares para alimentar o sistema de rega das fazendas no estado de São Paulo - Brasil?” A partir desta surgiram as seguintes questões de investigação: 1) A taxa de manutenção dos painéis solares possui uma influência significativa na viabilidade do investimento realizado? 2) A viabilidade económica e financeira do investimento realizado é influenciada pelas, de forma significativa, pelas perdas verificadas no sistema fotovoltaico? 3) A irradiação solar medial anual influencia significativa a viabilidade do investimento realizado? 4) A escolha da potência do kit solar fotovoltaico influencia a viabilidade económica e financeira do investimento realizado? 5) O desconto do tarifário influencia a viabilidade económica e financeira do investimento realizado? 6) Qual o período de recuperação do investimento (PRI) de um sistema fotovoltaico conectado à rede?

Este trabalho pretende conhecer como funciona, na prática, um sistema fotovoltaico conectado à rede, quantos painéis solares são necessários para produzir um total de energia consumida na fazenda, assim como qual o Período de Retorno do Investimento (PRI). É ainda fundamental conhecer se há políticas públicas relacionadas com a produção de energia e se as mesmas influenciam a viabilidade de produção de energia alternativa.

Assim, o objetivo principal do estudo é analisar a viabilidade econômica e financeira de um sistema fotovoltaico, visando injetar energia elétrica na rede, abatendo ao consumo dos pivôs de irrigação nas três fazendas. Para tal fim será feito o levantamento histórico do consumo energético, o dimensionamento do sistema fotovoltaico, uma análise financeira dos custos de implantação e o retorno monetário sob o investimento. Todos os cálculos são desenvolvidos numa folha de cálculo, com auxílio do *software* Excel, que irá permitir fazer o tratamento de toda a informação obtida. O objetivo principal, desta folha de cálculo, será analisar, toda a informação anteriormente obtida e analisar a viabilidade econômica e financeira do investimento.

Como forma de organizar o estudo dividiu-se o mesmo em 8 etapas, sendo estas:

Etapa 1 - estudo da irradiação solar na região, onde foi realizado o levantamento dos dados de irradiação solar diária média de cada mês na região, o cálculo da irradiação solar média a partir dos dados anteriores já pesquisados por especialistas e divulgados de forma gratuita em sites governamentais.

Etapa 2 - cálculo do investimento inicial, onde é calculado a potência instalada da usina solar fotovoltaica de acordo com os dados da etapa anterior, pesquisa de mercado do custo total do investimento em equipamentos do sistema gerador e perdas do sistema fotovoltaico durante seu uso, cálculos dos custos relativos ao *BOS*, dos custos relativos ao projeto, execução, aquisição de demais dispositivos.

Etapa 3 - simulação da usina solar fotovoltaica ao longo da vida útil. Esta etapa é desenvolvida com os cálculos da geração anual esperada, perda de eficiência e a receita bruta anual.

Etapa 4 - cálculo das despesas anuais operacionais e administrativas ao longo da vida útil. Nesta etapa são apresentadas as taxas operacionais incidentes nos custos operacionais e administrativos de acordo com o investimento. É ainda levado em consideração um prejuízo de cultivo da área utilizada para instalação do sistema fotovoltaico, pois, a mesma não poderá ser utilizada para tal.

Etapa 5 - nesta etapa determinam-se os fluxos de caixa do investimento ao longo da sua vida útil.

Etapa 6 - cálculo do custo do capital, determinação do Valor Atual Líquido (VAL), bem como o cálculo de Taxa Interna de Retorno (TIR), bem como o como a determinação do *pay-back* descontado, ou também denominado de Período de Retorno do Investimento (PRI).

Etapa 7 - determinação da análise de sensibilidade da TIR com variações das taxas de manutenção, perdas de rendimento, irradiação solar média, potência do Sistema Solar e o desconto tarifário.

Etapa 8 - determina-se ainda a análise de três cenários possíveis, sendo esses o pessimista, o atual e o otimista.

## 2.3. Descrição do Instrumento de Recolha e Métodos de Tratamento dos Dados

Com recurso ao Atlas Brasileiro de Energia Solar, obtém-se informação dos cenários de incidência solar do local. Os dados específicos de cada fazenda foram apresentados pelo gerente, que disponibilizou as faturas emitidas pela concessionária obtendo-se o consumo de energia elétrica, o custo, a localização das mesmas, impostos e encargos tributários e etc.

O estudo foi desenvolvido de modo a suprir o consumo de energia elétrica para os sistemas de irrigação das 3 fazendas.

Existem inúmeros métodos de análise de investimentos que permitem analisar a viabilidade económica e financeira de um investimento. De entre esses métodos os mais utilizados, para a tomada de decisões de investimento é o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e o *Payback* descontado (Mohnen, 2012; Qiu et al., 2015; Weber, 2014). Avaliando-se, deste modo, as diferenças entre as receitas operacionais líquidas e os investimentos adicionais realizados com o projeto atualizados ao custo do capital (WACC).

A WACC corresponde à taxa em percentagem do mínimo que o investidor se propõe a ganhar ao fazer tal investimento, também conhecido como custo de capital ou taxa de atualização. Em outras palavras WACC serve como parâmetro de comparação com vista à aceitação ou rejeição de um determinado projeto de investimento. Para o presente trabalho adotou-se um WACC de 4,25%, já que todo o capital investido é próprio e a taxa de juros equivalente à taxa referencial do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) se encontra em 4,25%, taxa essa que determina o custo do dinheiro sem risco no Brasil, tornando-se muito importante para determinar a rentabilidade do investimento.

O método do VAL permite, assim, determinar se o projeto é viável ou não. Como se verifica através da equação (1), este método consiste no somatório de todos os fluxos de caixa produzidos no horizonte do projeto atualizados ao momento atual, momento 0 (zero), à WACC. Sendo assim, segundo Alves (2014), o VAL é definido:

$$VAL = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{FC_n}{(1 + WACC)^n} - FC_0 \quad (1)$$

Onde,

n - número de anos horizonte do projeto

$FC_0$  - investimento inicial;

$FC_n$  - fluxo de caixa obtido em cada período definido;

WACC – custo do capital.

Se o VAL for maior que R\$0,00, o projeto é identificado como viável. Neste caso, o investidor obterá um retorno maior do que o custo de seu capital. Quando VAL for menor que R\$0,00 o projeto não se torna viável ao longo do período.

A TIR está ligada diretamente com o valor atual líquido. Esta corresponde à taxa de desconto que iguala o VAL, de uma oportunidade de investimento, a zero. Ou seja, constitui a taxa de retorno anual composta que o investidor obterá se investir no projeto e receber os fluxos de caixa inicialmente previstos. Segundo Megre (2013), um investimento é aceitável se a TIR for superior à taxa de atualização utilizada (WACC), caso seja inferior, ele deve ser rejeitado. Portanto como no estudo foi utilizado uma WACC de 4,25%, a TIR deve ser maior que esse valor. Para os cálculos da TIR foi utilizada a função indicada na equação (2).

$$FC_0 = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} \quad (2)$$

Onde,

n - número de anos horizonte do projeto

FC<sub>0</sub> - investimento inicial;

FC<sub>n</sub> - fluxo de caixa obtido em cada período definido.

O *Payback* é o período de tempo necessário para que o investidor recupere todo o investimento inicial do projeto. Quanto menor for o tempo de *Payback*, menor será a exposição ao risco. O método do *Payback* simples consiste em mostrar quanto tempo um investimento leva para ser ressarcido, porém a taxa de desconto é ignorada. Já o conceito do *Payback* descontado atua justamente nessa falha, pois considera uma taxa de juros para realizar o cálculo do período gasto (Fonseca & Bruni, 2010), sendo este o método utilizado no presente trabalho. De acordo com (Rodrigues, 2014) o *Payback* pode ser expresso através da equação (3):

$$PRI = \frac{|FCCD_{j_-}|}{|FCCD_{j_-}| - |FCCD_{j_+}|} * (j_+ - j_-) + j_- \quad (3)$$

Onde,

FCCD – fluxo de caixa acumulado descontado

j<sub>-</sub> - último período de FCCD negativo

j<sub>+</sub> - primeiro período de FCCD positivo

Qiu et al. (2015) consideram que o período de retorno é intuitivo, no entanto, para o seu cálculo deve-se ter em conta o valor temporal do dinheiro, podendo-se ignorar os fluxos de caixa para além da data limite encontrada.

### 3. Apresentação e Análise dos Resultados (Análise dos Resultados Empíricos)

Neste ponto pretende-se analisar os atuais consumos de energia elétrica das fazendas e verificar, até que ponto, é viável a implementação de energia fotovoltaica.

#### 3.1. Consumo de energia das fazendas

Uma vez que as fazendas já se encontram a produzir soja, utilizando para o efeito energia elétrica da rede, como referido anteriormente, fez-se uma análise detalhada da fatura de energia elétrica dos 3 tarifários de horários do consumo de energia elétrica atribuído pela concessionária local. Ou seja:

- Fora Ponta - das 6:00h às 18:00h e das 21:00h às 21:30h (de Segunda a Sexta) das 6:00h às 21:30h (Sábado, Domingo e feriado);
- Reservado - das 21:30h às 6:00h (todos os dias);
- Ponta - das 18:00h às 21:00h (de Segunda a Sexta, excetos feriados).

A Tabela 1 e apresenta os consumos que as três fazendas tiveram no decorrer do ano de 2019:

**Tabela 1:** Consumo mensal do ano de 2019

Mês	Tarifário	Fazenda 1	Fazenda 2	Fazenda 3	Unidade
Janeiro	Fora Ponta	19.127,00	10731,00	23.910,00	kWh
	Reservado	17.101,00	12784,00	19.418,00	kWh
	Ponta	237,00	99,00	131,00	kWh
	Procura	169,00	133,00	428,00	kW
Fevereiro	Fora Ponta	7.208,00	8.041,00	23.161,00	kWh
	Reservado	7.645,00	9.440,00	15.983,00	kWh
	Ponta	55,00	154,00	271,00	kWh
	Procura	167,00	132,00	442,00	kW
Março	Fora Ponta	6.095,00	121,00	10.989,00	kWh
	Reservado	4.748,00	500,00	10.176,00	kWh
	Ponta	111,00	17,00	462,00	kWh
	Procura	182,00	124,00	417,00	kW
Abril	Fora Ponta	21.473,00	2.456,00	24.937,00	kWh
	Reservado	21.092,00	1.501,00	23.651,00	kWh
	Ponta	113,00	22,00	421,00	kWh
	Procura	182,00	129,00	430,00	kW
Maio	Fora Ponta	15.457,00	5.860,00	22.965,00	kWh
	Reservado	18.859,00	4.712,00	24.024,00	kWh
	Ponta	243,00	24,00	266,00	kWh
	Procura	190,00	130,00	418,00	kW

(continuação)

<b>Mês</b>	<b>Tarifário</b>	<b>Fazenda 1</b>	<b>Fazenda 2</b>	<b>Fazenda 3</b>	<b>Unidade</b>
Junho	Fora Ponta	1.839,00	3.882,00	10.405,00	kWh
	Reservado	2.636,00	4.132,00	9.125,00	kWh
	Ponta	13,00	30,00	100,00	kWh
	Procura	187,00	130,00	403,00	kW
Julho	Fora Ponta	1.513,00	9.102,00	13.842,00	kWh
	Reservado	1.340,00	8.612,00	18.738,00	kWh
	Ponta	14,00	21,00	117,00	kWh
	Procura	155,00	133,00	429,00	kW
Agosto	Fora Ponta	9.684,00	10.986,00	25.541,00	kWh
	Reservado	10.565,00	11.644,00	30.661,00	kWh
	Ponta	81,00	88,00	412,00	kWh
	Procura	184,00	131,00	430,00	kW
Setembro	Fora Ponta	4.996,00	2.089,00	30.755,00	kWh
	Reservado	7.938,00	2.860,00	41.956,00	kWh
	Ponta	26,00	28,00	635,00	kWh
	Procura	178,00	128,00	426,00	kW
Outubro	Fora Ponta	14.512,00	1.738,00	39.376,00	kWh
	Reservado	16.829,00	3.273,00	43.886,00	kWh
	Ponta	92,00	217,00	680,00	kWh
	Procura	184,00	130,00	449,00	kW
Novembro	Fora Ponta	7.835,00	1.398,00	31.622,00	kWh
	Reservado	11.135,00	1.145,00	26.972,00	kWh
	Ponta	19,00	36,00	1.033,00	kWh
	Procura	183,00	132,00	430,00	kW
Dezembro	Fora Ponta	6.000,00	138,00	5.679,00	kWh
	Reservado	5.840,00	78,00	7.165,00	kWh
	Ponta	14,00	21,00	419,00	kWh
	Procura	187,00	42,00	437,00	kW

Fonte: Elaboração própria.

A fatura de energia elétrica, emitida pela concessionária local da região de Santa Cruz do Rio Pardo, permite obter informações precisas e necessárias tal como: tarifas de cada posto, tarifário vigentes no período da medição do consumo de energia, os impostos e tributos, entre outras prescindíveis informações. É possível acompanhar na Figura 5, inserida na próxima página, como esses dados foram retirados a partir de um modelo disponível pela companhia local de energia elétrica:

DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA														
NOME COMPLETO DO CLIENTE ENDEREÇO DO CLIENTE, 00 BAIRRO   CEP   CIDADE   ESTADO						CPF DO CLIENTE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA								
ATENDIMENTO		PN	SEU CÓDIGO		CONTA MÊS	VENCIMENTO		TOTAL A PAGAR						
0800 0 00 00 00 www.cpfl.com.br		123456789	1234567890		MÊS/ANO	DIA/MÊS/ANO		VALOR DA FATURA						
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cód.	Descrição da Operação	Mês Ref.	Quant. Faturada	Unid. Med.	Tarifas com Tributo R\$	Valor Total da Operação R\$	Base Cálculo ICMS R\$	Aliq. ICMS %	ICMS	Base Cálculo PIS/COFINS	PIS 0,00%	COFINS 0,00%	Bancos e Tarifas (Dias)	
0000	Consumo Uso Sistema (kWh)-TUSD	Mar 00	000,000	kWh	0,0000000	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	0,00%	0,00	Vermelha	
0000	Consumo Bandeira Verde - TE	Mar 00	000,000	kWh	0,0000000	000,00	000,00	00,00	00,00	000,00	0,00%	0,00	28 Dias	
0000	Adicional de Bandeira Vermelha	Mar 00				00,00	00,00	00,00	0,0	00,00	0,00%	0,00	Vermelha	
	Total Distribuidora	Mar 00				000,00							04 Dias	
DÉBITOS DE OUTROS SERVIÇOS														
0000	Contribuição Custeio IP-CP					00,00								
TOTAL CONSOLIDADO														
HISTÓRICO DE CONSUMO		kWh Dia:		22		23								
				TARIFA ANEEL		EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO / DATAS DE LEITURAS								
2018	JUL	000 00	Consumo	TUSD	TE	N°	Energia	Leitura	Leitura	Fator	Consumo	Taxa	Leitura	
	JUN	000 00	Consumo kWh	0,00000000	0,00000000	00000000	00000000	00/00/0000	00/00/0000	0,00	0000	Perdas (%)	Próximo Mês	
	MAI	000 00												
	ABR	000 00												

Figura 5: Fatura de energia elétrica

Fonte: (Cpfl, 2020).

Na Tabela 2 encontram-se os valores das tarifas de energia discriminadas pelos valores de cada posto tarifário:

Tabela 2: Tarifas ANEEL

Valor das tarifas (ANEEL)	
Tarifa Fora Ponta	R\$ 0,27
Tarifa Reservado	R\$ 0,27
Tarifa Ponta	R\$ 1,16
Tarifa Procura	R\$ 14,49

Fonte: Elaboração própria.

Como se pode verificar, na fatura de energia disponibilizada pelo proprietário, a tarifa de eletricidade regulamentada pela ANEEL é composta por duas partes: Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD); Tarifa de Energia (TE). É possível analisar com mais detalhes na Tabela 3 seus respectivos valores.

Tabela 3: Divisão das Tarifas ANEEL

Detalhes da tarifa:	
Fora Ponta TUSD	R\$ 0,06
Fora Ponta TE	R\$ 0,21
Ponta TUSD	R\$ 0,81
Ponta TE	R\$ 0,35
Procura TUSD	R\$ 14,49

Fonte: Elaboração própria.

Conforme descrito anteriormente, as unidades consumidoras pelas fazendas enquadram-se no grupo A4 rural, cujo atendimento em tensão é entre 2,3 kV e 44 kV na área rural do município. Em seu devido ano de estudo, em 2019, obteve-se percentuais de desconto referente às tarifas de acordo com o horário de consumo, sendo subsidiado pelo Governo em alguns horários conforme é apresentado na **Tabela 4**.

**Tabela 4:** Descontos para cada tarifário

<b>Descontos para grupo A4 - rural</b>	
Fora Ponta	10%
Reservado	70%
Ponta	10%
Procura	10%

Fonte: Elaboração própria.

A tarifa de energia elétrica que é paga pelo consumidor, há faturamentos da própria compra da energia (custos do gerador), de transmissão (custos da transmissora) e de distribuição (serviços prestados pela distribuidora), além de encargos setoriais e tributos governamentais, instituídos por leis. Esses encargos são custos não gerenciáveis suportados pelas concessionárias de distribuição, instituídos por lei, com finalidade de políticas públicas e diversos subsídios (Tabela 5).

**Tabela 5:** Tributos Governamentais

<b>Média anual dos tributos</b>	
PIS	0,93%
COFINS	4,31%
ICMS	18%

Fonte: Elaboração própria.

Na fatura de energia, enviada pela concessionária ao consumidor, é possível observar os tributos instituídos pelo governo. Uma vez que estes valores são variáveis, fez-se uma média do ano em estudo e utilizou-se para cálculos futuros o percentual individual de cada tributo demonstrado anteriormente.

## **3.2 Implementação dos sistemas fotovoltaicos**

Na implementação do sistema fotovoltaico conectado à rede teve-se em conta alguns pressupostos considerados fundamentais para a tomada de decisão. Desde logo, toda a energia elétrica que se produz é inserida na rede do SIN. Um medidor, fornecido pela concessionária local, procede à medição, assim como a respetiva contabilização, de forma a que seja reconhecido o crédito de energia para ser debitado ao consumo utilizado no referido período. Caso a produção seja mais elevada que a potência

consumida se mantém um crédito de energia na rede, na forma de potência, não em valor financeiro. Este crédito permanece a favor do consumidor de energia elétrica podendo ser utilizado nos meses subsequentes, caso o consumo seja maior que a produção e créditos somados. Ou seja, o consumidor deverá pagar apenas a diferença com o valor da tarifa imposta pela concessionária naquele período.

Como foi apresentado no capítulo 2 - Metodologia de investigação, as etapas de análise dos projetos seguem um aprimoramento do estudo de caso de forma à obtenção de dados reais atuais da localização das fazendas, cálculos sobre o dimensionamento do projeto, procura no mercado solar painéis e kits de instalação adequados e eficientes, empresas que executam o serviço com melhor custo benefício, projeção económica financeira e análise de sensibilidade.

Deste modo são descritas as etapas utilizadas para se poder analisar a viabilidade económica e financeira do investimento.

### **3.2.1 Etapa 1 – Estudo da irradiação solar na região**

Através do *Google Maps* obteve-se as seguintes coordenadas geográficas de latitude e longitude das fazendas como indica a Tabela 6 respetivamente:

**Tabela 6:** Coordenadas Geográficas das fazendas

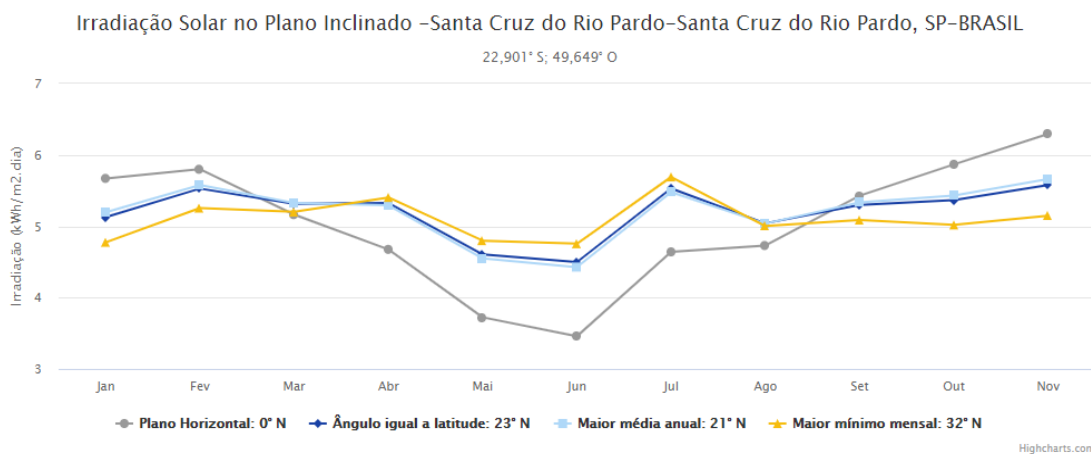
Fazenda 1	22°51'27"S	49°30'58"W
Fazenda 2	22°50'31"S	49°33'16"W
Fazenda 3	22°51'27"S	49°32'10"W

Fonte: Elaboração própria.

O índice de insolação incidente nas fazendas pode ser obtido, de forma fiável e gratuita, através da base dados do *software SunData*, disponibilizado pelo site do CRESEB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito). Para obter a radiação solar média anual das fazendas foi considerado um local próximo uma vez que o site não indica o local exato como se pode verificar pela análise da Figura 6, localizada na página seguinte. Uma vez que o sistema fotovoltaico será instalado no solo, permite escolher a inclinação do painel sendo a melhor a melhor inclinação é o “ângulo igual à latitude”, ou seja, de 23° com uma irradiação solar diária anual de 5,16 [KWh/m<sup>2</sup>.dia].

**Estação:** Santa Cruz do Rio Pardo  
**Município:** Santa Cruz do Rio Pardo , SP - BRASIL  
**Latitude:** 22,901° S  
**Longitude:** 49,649° O  
**Distância do ponto de ref. ( 22,864722° S; 49,603611° O ):** 6,2 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,67	5,80	5,16	4,68	3,72	3,46	3,65	4,64	4,73	5,43	5,87	6,30	4,93	2,84
✓	Ângulo igual a latitude	23° N	5,13	5,53	5,31	5,32	4,60	4,50	4,66	5,53	5,04	5,30	5,37	5,58	5,16	1,08
✓	Maior média anual	21° N	5,19	5,58	5,33	5,29	4,55	4,43	4,59	5,48	5,04	5,34	5,43	5,66	5,16	1,23
✓	Maior mínimo mensal	32° N	4,78	5,25	5,20	5,40	4,80	4,76	4,90	5,69	5,00	5,09	5,02	5,15	5,09	,94



**Figura 6:** Irradiação solar em Santa Cruz do Rio Pardo

Fonte: (Cresesb, 2019).

### 3.2.2 Etapa 2 – Cálculo do investimento inicial

Com as equações de um dimensionamento de projeto solar é possível calcular com mais precisão os parâmetros e fazer a escolha mais adequada dos equipamentos a serem utilizados, dessa forma segue os cálculos para o investimento.

A potência pico do sistema é calculada a partir da seguinte equação (4):

$$P_p = \frac{E_g}{HSP * \eta} \quad (4)$$

Onde,

Wp - potência máxima que o sistema pode gerar num instante;

Eg - potência que nosso sistema deve gerar por dia para satisfazer o consumo;

HSP - (horas de solar pico) é a média de radiação diária;

$\eta$  - rendimento do sistema.

Num estudo recente, a Sociedade Alemã de Energia Solar por (Saha, 2014) quantificou vários fatores de perdas de energia os quais foram resumidos e adaptados para o estudo de caso representados na Tabela 7: Perdas do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede na próxima página.

**Tabela 7:** Perdas do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

<b>Tipos de perda</b>	<b>mínima</b>	<b>máxima</b>
temperatura	2,0%	4,0%
sujeira	1,0%	2,5%
incompatibilidade elétrica	1,0%	2,0%
cabeamento CC	0,5%	1,0%
cabeamento CA	0,5%	1,0%
inversor	2,5%	5,0%
outros	5,0%	7,0%

Fonte: Adaptado de (Saha, 2014).

No Brasil, os estudos sobre a taxa de perdas de sistemas fotovoltaicos ainda estão em fase de aperfeiçoamento, e havendo um estudo Alemão concreto, se adaptou os possíveis valores referentes à taxas com um percentual de variação devido à localização de instalação. Com uma taxa de perda mínima de 12,5% e máxima de 22,5%, foi adotado, para o estudo de caso, o valor percentual intermediário de 17,5% de perdas no sistema fotovoltaico. Dessa forma, o rendimento considerado é de 82,5%.

Na Tabela 8 encontra-se o resumo dos dados correspondentes às 3 fazendas.

**Tabela 8:** Necessidade de Geração

<b>Referências</b>	<b>Fazenda 1</b>	<b>Fazenda 2</b>	<b>Fazenda 3</b>	<b>Unidade</b>
Eg	666,08	324,54	1.487,75	kWh
HSP	5,16	5,16	5,16	[kWh/m <sup>2</sup> .dia]
$\eta$	0,825	0,825	0,825	s/u
Wp	156,47	76,24	349,48	kW

Fonte: Elaboração própria.

A partir do valor de pico do sistema (Wp), se faz a aquisição do kit solar que fornece a mesma potência máxima ou valor muito aproximado de modo a não desperdiçar potencial de energia que há no local ou ter um sistema no qual não há potencial suficiente para o fornecimento que o kit apresenta. Com pesquisas, encontra-se o que melhor kit no mercado que favorece o investidor. Desse modo, calculam-se os respectivos custos de instalação, os inversores de frequência os quais têm uma vida útil de 15 anos e, portanto, deverão ser substituídos por outros novos do mesmo modelo, garantindo a operação do sistema solar fotovoltaico, como pode ser verificado na Tabela 9.

**Tabela 9:** Capital de Investimento [R\$]

<b>Investimento</b>	<b>Fazenda 1</b>	<b>Fazenda 2</b>	<b>Fazenda 3</b>
Kit Energia Solar	454.128,58	211.375,83	1.021.030,15
Instalação	22.706,43	10.568,79	51.051,51
Troca de equipamentos (Inversores)	59.820,00	29.910,00	186.060,00

Fonte: Elaboração própria.

Os kits solares fornecem todos os equipamentos e materiais necessários para ser instalado um sistema fotovoltaico. O principal equipamento, os módulos fotovoltaicos, que agrupados em arranjos, formam os painéis solares, que têm a quantidade determinada pela potência (Wp) necessária de cada projeto para atender à procura da energia. Após a radiação solar ser captada e transformada pelos módulos, ela precisa ser convertida para a forma que é distribuída na rede, sendo o inversor de frequência o equipamento que faz essa conversão. Quando o conjunto está ligado à rede de eletricidade, o kit do sistema solar acompanha um medidor bidirecional, um aparelho de medição e monitoramento preciso. Este medidor serve para ler a quantidade de potência que está a circular nos dois sentidos: da rede de distribuição para o consumidor e do sistema para a área da distribuidora. Existe ainda uma caixa de junção, um dos mais importantes elementos de segurança do kit, que protege os módulos de possíveis alterações inesperadas que com a conexão à rede poderiam gerar impactos prejudicando o funcionamento das células, e um sistema de desligamento entre as duas partes. Para o normal funcionamento de todo o equipamento, o kit deve ter a estrutura apropriada para o local, bem como o cabeamento protegido. Além de ser recomendado usar cabos especiais, há conectores e disjuntores específicos que garantem a transmissão correta em uma estrutura de fixação que vai garantir um excelente funcionamento de todo o sistema solar fotovoltaico.

Para a fazenda 1 considerou-se o seguinte Kit especificado na Tabela 10.

**Tabela 10: Kit Solar Fotovoltaico 1**

<b>Gerador Fotovoltaico de 157,32 kWp</b>	
<b>Quantidade</b>	<b>Material</b>
456	Placa Solar 345 Wp - TRINA
2	Inversor Solar Trifásico 380 V SIW500H ST060
1	Monitoramento SolarView
4	Protetor surto CA SPW275-20
27	Conector MC4 6 mm <sup>2</sup>
600	Cabo CC Unipolar flexível NH 6 mm <sup>2</sup> Preto
600	Cabo CC Unipolar flexível NH 6 mm <sup>2</sup> Vermelho
2	Disjuntor CA DWB160B125-3DX
1	Estrutura para solo Fixo

Fonte: (Portal Solar, 2020a).

Para a fazenda 2 tem-se o seguinte Kit especificado na Tabela 11.

**Tabela 11: Kit Solar Fotovoltaico 2**

<b>Gerador Fotovoltaico de 77,28 kWp</b>	
<b>Quantidade</b>	<b>Material</b>
224	Placa Solar 345 Wp - TRINA
1	Inversor Solar Trifásico 380 V SIW500H ST060
1	Monitoramento SolarView

(continuação)

<b>Quantidade</b>	<b>Material</b>
4	Protetor surto CA SPW275-20
14	Conector MC4 6 mm <sup>2</sup>
300	Cabo CC Unipolar flexível NH 6 mm <sup>2</sup> Preto
300	Cabo CC Unipolar flexível NH 6 mm <sup>2</sup> Vermelho
1	Disjuntor CA DWB160B125-3DX
1	Estrutura para solo Fixo

Fonte: (Portal Solar, 2020c).

Para a Fazenda 3 tem-se o seguinte Kit especificado na Tabela 12.

**Tabela 12: Kit Solar Fotovoltaico 3**

<b>Gerador Fotovoltaico de 360,87 kWp</b>		
<b>Quantidade</b>	<b>Material</b>	
1046	Placa Solar	345 Wp - TRINA
7	Inversor Solar Trifásico 380 V	SIW500H ST040
2	Monitoramento	SolarView
4	Protetor surto CA	SPW275-20
62	Conector	MC4 6 mm <sup>2</sup>
1400	Cabo CC	Unipolar flexível NH 6 mm <sup>2</sup> Preto
1400	Cabo CC	Unipolar flexível NH 6 mm <sup>2</sup> Vermelho
7	Disjuntor CA	MDW-B100-3
1	Estrutura para solo	Fixo

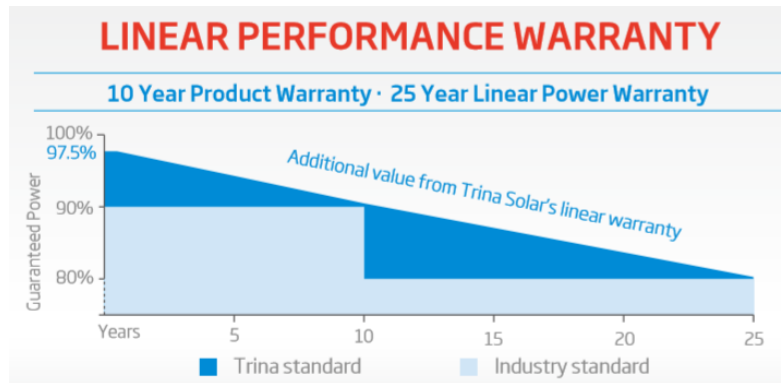
Fonte: (Portal Solar, 2020b).

A taxa de perda de rendimento do painel solar fotovoltaico não foi atribuída ao rendimento, já que o rendimento se tem um valor fixo admitido e o painel um rendimento variável. É possível através da Figura 7, localizada na página seguinte, equacionar a reta característica do *datasheet* fornecido pelo fabricante do painel 345 Wp - TRINA onde esse rendimento é variável com o tempo e colocado na expressão de energia elétrica gerada mensalmente apresentada na equação (5).

$$Y = 0,975 - 0,0005833 * X \quad (5)$$

Onde,

“Y” representa o rendimento do painel para o respectivo mês “X” da análise.



**Figura 7:** Rendimento do painel solar 345 Wp – TRINA

Fonte: (Module, 1997).

Há painéis de alta qualidade que podem gerar energia com uma eficiência aceitável por um período de 30 a 40 anos, como ocorre em algumas instalações pelo mundo, mas nos *data sheets* os fabricantes apresentam uma linha de performance de somente 25 anos, por normas técnicas. O produto pode continuar a funcionar depois deste período, mas com uma qualidade comprometida, por isso, a qualidade deve ser a maior preocupação do investidor na hora de escolher o painel solar, já que esse é principal equipamento do sistema fotovoltaico.

### 3.2.3 Etapa 3 – Simulação da Usina Solar Fotovoltaica ao longo da vida útil

Com os referidos Kits escolhidos no mercado, é possível calcular a geração esperada anual e ao longo de 25 anos pois o fabricante da placa solar apresenta a referida garantia.

Desse modo a geração mensal é calculada com a seguinte (6equação (6)):

$$Eg(mensal) = P_{kit} * \eta * HSP * (0,975 - 0,0005833 * X) * N_{dias} \quad (6)$$

Onde,

$P_{kit}$  - potência da somatória de os módulos do kit;

$\eta$  - rendimento;

HSP (Hora Solar Pico) - irradiação solar média;

X - número correspondente ao mês a partir da instalação;

$N_{dias}$  - número de dias do mês em análise.

O cálculo é feito para cada mês do ano e abate-se à necessidade de consumo. Toda a produção gerada de energia elétrica é injetada na rede e toda a energia consumida é captada da rede. No final do mês, o medidor da concessionária de energia elétrica local, faz o balanço entre o produzido e o utilizado, de modo a gerar a fatura.

Admite-se para cálculo de viabilidade do projeto que o sistema solar injeta na rede eletricidade somente no período Fora Ponta, ou seja, toda a energia utilizada por outro período deve ser ajustada a valores do mesmo para que seja possível o abatimento.

A conversão do consumo Reservado para Fora Ponta é unitário pois ambos têm a mesma TE. É realizada a conversão do consumo Ponta para Fora Ponta pois admitimos que não há produção de energia no horário Ponta, assim, de acordo com a equação (7) obtém-se o fator de ajuste:

$$Fator\ de\ ajuste = \frac{TEForaPonta}{TEPonta} = 0,60683 \quad (7)$$

Também é possível que haja produção de eletricidade no horário de Ponta ou Reservado, pois em algumas regiões do país, ou mesmo épocas do ano, os raios solares podem estar incidindo na superfície dos painéis nesse horário, porém não se admite para efeitos de cálculos preliminares que haverá produção em qualquer outro período que não seja o Fora Ponta.

Em relação à Procura Contratada esta deve atingir o seu mínimo 3 meses do ano. Deste modo, é pago sempre o valor da procura consumida em todos os meses do ano, caso contrário terá multa. Esse desconto ou privilégio é um programa do Governo para unidades consumidoras pertencentes ao grupo A4 – Rural.

A ordem de abatimento da energia gerada é a seguinte:

1º Fora Ponta - das 6:00h às 18:00h e das 21:00h às 21:30h

2º Reservado - das 21:30h às 6:00h

3º Ponta - das 18:00h às 21:00h

Quando se produz mais do que aquilo que se consome, o excedente é descrito na fatura para um abatimento nos próximos meses, com duração de até 60 meses.

A Tabela 13, na próxima página, indica as diferenças entre as faturas de energia elétrica com e sem painéis fotovoltaicos, dados em (R\$):

**Tabela 13:** Faturas de Energia Elétrica [R\$]

<b>Ano</b>	<b>Fazenda 1</b>	<b>Fazenda 2</b>	<b>Fazenda 3</b>
2021	48.898,22	23.068,95	120.786,83
2022	54.346,56	26.925,82	126.298,88
2023	54.097,36	26.803,40	125.727,24
2024	53.848,15	26.680,99	125.155,60
2025	53.598,95	26.558,57	124.583,96
2026	53.349,75	26.436,16	123.281,33
2027	53.100,54	26.313,74	122.709,69
2028	52.851,34	26.191,33	122.138,06
2029	52.480,66	26.068,91	121.566,42
2030	52.231,46	25.946,49	120.994,78
2031	51.982,26	25.824,08	120.423,14
2032	51.733,05	25.701,66	119.851,51
2033	51.483,85	25.579,25	119.279,87
2034	51.234,65	24.937,19	118.708,23
2035	50.985,44	24.850,76	118.136,59
2036	50.736,24	24.764,34	117.564,96
2037	50.487,04	24.638,81	116.993,32
2038	50.237,83	24.503,83	115.739,06
2039	49.733,86	24.368,84	115.167,42
2040	49.484,65	24.233,85	114.595,79
2041	49.227,90	24.098,86	114.024,15
2042	48.957,41	23.963,87	113.452,51
2043	48.686,92	23.828,89	112.880,87
2044	48.416,42	23.693,90	112.309,24
2045	51.712,23	29.754,19	120.301,58

Fonte: Elaboração própria.

Deste modo, é visível a economia que se obtém com a implementação de painéis fotovoltaicos nas 3 fazendas. É necessário analisar se essa economia é superior ao investimento inicial como se irá efetuar na etapa 6.

#### **3.2.4 Etapa 4 – Despesas anuais operacionais e administrativas ao longo da vida útil**

A Tabela 14 apresenta os custos operacionais, necessários para produzir energia, tais como: a manutenção anual ocorrida a cada seis meses e na qual temos um valor anual de 1% do valor do investimento no Kit (custo médio de empresas do seguimento); e o custo de oportunidade com a não utilização da área agrícola para fins de produção de grãos, área onde serão instalados os painéis fotovoltaicos. Este custo foi determinado tendo por base a área de instalação dos painéis fotovoltaicos sendo que, na fazenda 1 a área corresponde a 0,0905 hectares, na fazenda 2 corresponde a 0,0444 hectares e na fazenda 3 corresponde a 0,2075 hectares. De acordo com o gerente das fazendas, o lucro anual por hectare de cada fazenda é de R\$ 1.000,00.

**Tabela 14:** Custos de geração anual [R\$]

<b>Custos Operacionais</b>	<b>Fazenda 1</b>	<b>Fazenda 2</b>	<b>Fazenda 3</b>
Manutenção	4.541,29	2.113,76	10.210,30
Área não utilizada para cultivo	90,47	44,44	207,53

Fonte: Elaboração própria.

### **3.2.5 Etapa 5 – Determinação dos fluxos de caixa**

O Fluxo de Caixa (FC) corresponde aos montantes financeiros gerados num determinado período sendo considerado, neste trabalho, o ano civil como pode ser visto na Tabela 15. Os valores com o sinal negativo correspondem a saída de FC em resultado do investimento realizado. Os valores com o sinal positivo correspondem à economia resultante da implementação da energia fotovoltaico resultante da diferença entre a produção de kWh e o consumo do mesmo pelas respetivas fazendas deduzido de todos os custos inerentes.

**Tabela 15:** Fluxo Financeiro [R\$]

<b>Ano</b>	<b>Fazenda 1</b>	<b>Fazenda 2</b>	<b>Fazenda 3</b>
2020	- 476.835,01	- 221.944,62	- 1.072.081,66
2021	44.266,47	20.910,75	110.369,00
2022	49.714,80	24.767,62	115.881,05
2023	49.465,60	24.645,20	115.309,41
2024	49.216,40	24.522,79	114.737,77
2025	48.967,19	24.400,37	114.166,14
2026	48.717,99	24.277,96	112.863,50
2027	48.468,79	24.155,54	112.291,87
2028	48.219,58	24.033,13	111.720,23
2029	47.848,91	23.910,71	111.148,59
2030	47.599,70	23.788,29	110.576,95
2031	47.350,50	23.665,88	110.005,32
2032	47.101,30	23.543,46	109.433,68
2033	46.852,09	23.421,05	108.862,04
2034	46.602,89	22.778,99	108.290,40
2035	- 13.466,31	- 7.217,44	- 78.341,23
2036	46.104,48	22.606,14	107.147,13
2037	45.855,28	22.480,61	106.575,49
2038	45.606,08	22.345,63	105.321,23
2039	45.102,10	22.210,64	104.749,59
2040	44.852,90	22.075,65	104.177,96
2041	44.596,15	21.940,66	103.606,32
2042	44.325,65	21.805,67	103.034,68
2043	44.055,16	21.670,69	102.463,05
2044	43.784,67	21.535,70	101.891,41
2045	47.080,47	27.595,99	109.883,75

Fonte: Elaboração própria.

### 3.2.6 Etapa 6 – Projeção económica

Nesta etapa pretende-se determinar a viabilidade económica e financeira das fazendas de forma individual, através dos indicadores referidos no ponto 2.3, ou seja calcular o VAL, TIR e PRI utilizando as equação (1), equação (2) e equação (3) respetivamente. Pela análise da Tabela 16 verifica-se que o investimento em painéis fotovoltaicos é economicamente viável nas 3 fazendas dado que se obtém VAL superiores a zero e a TIR é claramente superior ao WACC.

**Tabela 16:** Viabilidade Económica de cada Fazenda

<b>Resultado</b>	<b>Fazenda 1</b>	<b>Fazenda 2</b>	<b>Fazenda 3</b>
VAL	R\$ 207.945,84	R\$ 118.114,52	R\$ 501.525,30
WACC	4,25%	4,25%	4,25%
TIR	8,26%	9,05%	8,59%

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 17: Viabilidade Económica de todos os projetos são apresentados os indicadores referidos anteriormente, mas dizendo respeito ao investimento realizado nas 3 fazendas em conjunto. Como se pode ver, os referidos indicadores são satisfatórios, à semelhança do que se verificou em termos individuais para cada fazenda.

Ou seja, a empresa consegue remunerar todo o investimento a uma taxa de 4,25% (WACC) e ainda obtém um excedente, atualizado ao momento zero de R\$ 827.585,65. Deste modo, o investimento dá uma remuneração bruta de 8,56% duplicando o valor do custo do capital. Em termos de PRI, consegue-se recuperar todo o investimento em 12 anos, 7 meses e 10 dias, respondendo-se assim à questão de investigação 6) “Qual o período de recuperação do investimento (PRI) de um sistema fotovoltaico conectado à rede?”.

**Tabela 17:** Viabilidade Económica de todos os projetos

<b>Resultado</b>	<b>Fazenda 1, 2 e 3</b>
VAL	R\$ 827.585,65
WACC	4,25%
TIR	8,56%
PRI	12 anos 7 meses 10 dias

Fonte: Elaboração própria.

### 3.2.7 Etapa 7 – Análise de sensibilidade do investimento

Na análise de sensibilidade foi escolhido o indicador TIR pelo facto de ser um indicador que permite a comparação entre os diversos resultados, obtendo-se uma melhor percepção dos valores obtidos, dado tratar-se de um valor proporcional. Foi efetuada a análise de sensibilidade para as variáveis que se acharam mais representativas e que poderão influenciar a decisão do projeto. As variáveis são: o custo de manutenção, as perdas técnicas do sistema fotovoltaico, a irradiação solar média, a potência do Kit instalado e o desconto do tarifário.

O custo de manutenção, que as empresas responsáveis pelo serviço cobram, corresponde de 0,5% do valor do Kit Solar. Como a manutenção é feita duas vezes ao ano, considera-se o valor de 1%. Há uma variação nessa percentagem dependendo das empresas e também do número de manutenções realizadas num ano. Caso haja uma alteração somente nesse parâmetro, mantendo-se todos os outros constantes, na Tabela 18 observa-se o comportamento da TIR em função das variações.

**Tabela 18:** Sensibilidade da taxa de manutenção

% Manut.	Variação	TIR
1,00%	0	8,56%
0,50%	-50%	9,17%
0,60%	-40%	9,05%
0,70%	-30%	8,93%
0,80%	-20%	8,81%
0,90%	-10%	8,68%
1,00%	0%	8,56%
1,10%	10%	8,44%
1,20%	20%	8,31%
1,30%	30%	8,19%
1,40%	40%	8,06%
1,50%	50%	7,94%

Fonte: Elaboração própria.

Como se pode verificar pela análise da Tabela 18, e em resposta à questão de investigação 1) “ A taxa de manutenção dos painéis solares possui uma influência significativa na viabilidade do investimento realizado?”, o investimento não é muito sensível a variações da taxa de manutenção, podendo o seu valor aumentar 50%, que a TIR diminui cerca de 7,24% ficando em valores perfeitamente aceitáveis.

Relativamente às perdas do sistema fotovoltaico, no estudo de caso utilizou-se 17,5% de perdas para esta variável, mas este valor pode-se alterar, dependendo de vários fatores externos e internos. Assim, é realizada uma análise com a possível variação que esta variável pode assumir calculando-se a respetiva TIR que pode ser analisada na Tabela 19, na próxima página.

**Tabela 19:** Sensibilidade das perdas do Sistema Fotovoltaico

<b>% Perdas</b>	<b>Variação</b>	<b>TIR</b>
17,50%	0	8,56%
12,50%	-5%	9,14%
13,50%	-4%	9,05%
14,50%	-3%	8,94%
15,50%	-2%	8,82%
16,50%	-1%	8,70%
17,50%	0%	8,56%
18,50%	1%	8,44%
19,50%	2%	8,32%
20,50%	3%	8,20%
21,50%	4%	8,08%
22,50%	5%	7,95%

Fonte: Elaboração própria.

Analisando a Tabela 19 o investimento não é muito sensível à variações da taxa de perdas do sistema fotovoltaico, podendo aumentar as perdas em mais 5%, que a TIR apenas diminui 7,12% ficando em valores perfeitamente aceitáveis também. Deste modo, em resposta à questão de investigação 2) “A viabilidade económica e financeira do investimento realizado é influenciada pelas, de forma significativa, pelas perdas verificadas no sistema fotovoltaico?” verifica-se que as perdas do sistema fotovoltaico não influenciam demasiado a viabilidade do projeto.

Outro fator que pode influenciar a viabilidade do investimento é a irradiação solar média, a qual não se consegue prever com elevada certeza. Por essa razão determinou-se a análise de sensibilidade desta variável a qual é apresentada na Tabela 20.

**Tabela 20:** Sensibilidade da irradiação solar média anual

<b>Irradiação</b>		
<b>Irradiação</b>	<b>Variação</b>	<b>TIR</b>
5,156	0	8,56%
4,924	-5%	8,11%
4,950	-4%	8,16%
5,001	-3%	8,26%
5,053	-2%	8,36%
5,104	-1%	8,46%
5,156	0%	8,56%
5,207	1%	8,67%
5,259	2%	8,78%

(continuação)

<b>Irradiação</b>	<b>Variação</b>	<b>TIR</b>
5,311	3%	8,88%
5,362	4%	8,98%
5,414	5%	9,06%

Fonte: Elaboração própria.

Como se pode verificar pela análise da Tabela 20: Sensibilidade da irradiação solar média anual o investimento é mais sensível a variações desta variável do que das anteriores. Ou seja, um aumento de 5% na irradiação solar média anual provoca um aumento da TIR 5,88%. Assim, em resposta à questão de investigação 3) “A irradiação solar medial anual influência significativa a viabilidade do investimento realizado?” pode-se afirmar que a viabilidade do projeto poderá ser influenciada pela irradiação solar.

A respeito da variação da potência instalada também foi levado em conta sua viabilidade como demonstra a Tabela 21.

**Tabela 21:** Sensibilidade da Potência do Kit

<b>Potência [kWp]</b>	<b>Variação</b>	<b>TIR</b>	<b>INVESTIMENTO</b>	<b>VAL</b>	<b>PRI</b>
595,470	0	8,56%	1.918.580,70	827.585,65	12 anos 7 meses 10 dias
297,735	-50%	9,85%	1.271.567,56	673.310,38	10 anos 9 meses 3 dias
357,282	-40%	9,72%	1.400.970,18	744.101,75	11 anos 0 meses 8 dias
416,829	-30%	9,39%	1.530.372,81	772.705,52	11 anos 5 meses 10 dias
476,376	-20%	9,16%	1.659.775,44	805.813,72	11 anos 9 meses 5 dias
535,923	-10%	8,85%	1.789.178,07	820.629,06	12 anos 2 meses 11 dias
595,470	0%	8,56%	1.918.580,70	827.585,65	12 anos 7 meses 10 dias
655,017	10%	8,18%	2.047.983,32	827.052,52	13 anos 4 meses 23 dias
714,564	20%	7,74%	2.177.385,95	842.726,48	16 anos 4 meses 0 dias
774,111	30%	7,40%	2.306.788,58	859.982,53	17 anos 11 meses 12 dias
833,658	40%	7,12%	2.436.191,21	877.238,58	19 anos 8 meses 19 dias
893,205	50%	6,89%	2.565.593,84	894.494,63	21 anos 7 meses 27 dias

Fonte: Elaboração própria.

Como se pode verificar pela análise da Tabela 21 o investimento é sensível às variações da potência do kit a adquirir. Uma redução da potência do kit de 50% origina um aumento da TIR de 15%. Por seu lado, um aumento da potência do kit de 50% origina uma redução da TIR de 19,55%. De salientar que com 50% de variação a TIR do sistema fotovoltaico atinge 9,85% ficando ainda em valores favoráveis

ao investidor, porém com essa produção o investidor terá ainda que pagar à concessionária de energia elétrica da região uma boa parte da fatura de energia, já que seu consumo é bem maior que a produção.

Apesar de apresentar uma TIR mais vantajosa ao verificar a respetiva produção para aquela potência no decorrer dos anos, sua produção diminui e com isso o investidor tem que pagar à concessionária local uma fatura de energia elétrica correspondente aos tarifários não abatidos, pois projeta-se que o seu consumo continua o mesmo. Outro fator importante é de que as tarifas não são fixas nos anos subsequentes, podendo aumentar proporcionalmente mais à inflação. Deste modo, em resposta à questão de investigação 4) “A escolha da potência do kit solar fotovoltaico influencia a viabilidade económica e financeira do investimento realizado?” verifica-se que a escolha da potência do Kit influencia a viabilidade do projeto.

No período de estudo a energia consumida na rede pública é subsidiada pelo Governo numa parte respeitante a cada tarifário, sendo o de Horário Reservado o maior deles. Porém não se tem a garantia de que esta prática se mantenha e, caso se mantenha, com a atual taxa de desconto de 70%. Para medir o impacto desta variável na viabilidade do projeto pode-se analisar a Tabela 22. Uma redução de 85,71% no apoio do estado, passando de 70% para 10%, provoca um aumento na TIR de 53%.

**Tabela 22:** Sensibilidade desconto tarifário

<b>Desconto tarifário Horário Reservado</b>		
<b>Desconto</b>	<b>Variação</b>	<b>TIR</b>
70,00%	0,00%	8,56%
62,50%	-7,50%	9,15%
55,00%	-15,00%	9,73%
47,50%	-22,50%	10,31%
40,00%	-30,00%	10,88%
32,50%	-37,50%	11,44%
25,00%	-45,00%	12,00%
17,50%	-52,50%	12,55%
10,00%	-60,00%	13,10%

Fonte: Elaboração própria.

Deste modo, em resposta à questão de investigação 5) “O desconto do tarifário influencia a viabilidade económica e financeira do investimento realizado?” pode-se considerar que o apoio do estado tem uma influência significativa na viabilidade do projeto. Ou seja, quanto menor for o apoio do estado, no tarifário elétrico, mais atrativo se torna este projeto para o proprietário das fazendas.

Cruzando as duas variáveis de sensibilidade em uma mesma análise, Tabela 23, apresentada na página seguinte, é possível observar com maior clareza o porquê da escolha de uma determinada Potência do Kit.

**Tabela 23:** Sensibilidade Potência do Kit x Taxa de desconto tarifário Horário Reservado

		Taxa de desconto tarifário Horário Reservado									
		8,561%	0,00%	-7,50%	-15,00%	-22,50%	-30,00%	-37,50%	-45,00%	-52,50%	-60,00%
Potência do Kit	0	8,56%	9,2%	9,7%	10,3%	10,9%	11,4%	12,0%	12,5%	13,1%	
	-50%	9,85%	10,2%	10,6%	10,9%	11,3%	11,6%	12,0%	12,3%	12,7%	
	-40%	9,72%	10,1%	10,5%	10,9%	11,3%	11,7%	12,1%	12,4%	12,8%	
	-30%	9,39%	9,8%	10,3%	10,7%	11,1%	11,6%	12,0%	12,4%	12,8%	
	-20%	9,16%	9,6%	10,1%	10,6%	11,1%	11,6%	12,0%	12,5%	13,0%	
	-10%	8,85%	9,4%	9,9%	10,5%	11,0%	11,5%	12,0%	12,5%	13,0%	
	0%	8,56%	9,2%	9,7%	10,3%	10,9%	11,4%	12,0%	12,5%	13,1%	
	10%	8,18%	8,8%	9,4%	9,9%	10,5%	11,1%	11,6%	12,2%	12,7%	
	20%	7,7%	8,3%	8,8%	9,3%	9,8%	10,4%	10,9%	11,4%	11,9%	
	30%	7,4%	7,9%	8,4%	8,8%	9,3%	9,8%	10,2%	10,7%	11,2%	
	40%	7,1%	7,6%	8,0%	8,4%	8,8%	9,3%	9,7%	10,1%	10,6%	
50%	6,9%	7,3%	7,7%	8,1%	8,5%	8,9%	9,3%	9,7%	10,0%		

Fonte: Elaboração própria.

Na análise cruzada de sensibilidade em relação à potência do kit versus a taxa de desconto tarifário como demonstra a Tabela 23, a TIR se torna muito mais dependente da taxa de desconto do que da própria potência instalada, com TIR de variações de cerca de 3% para a variação da potência e de cerca de 6% para a taxa de desconto, variando aproximadamente os mesmos percentuais de cada.

De salientar que, uma das razões para não se utilizar um kit de potência menor, a fim de obter maior TIR, é o facto de não se ficar a depender dos subsídios do governo. Ao escolher-se um kit de maior potência, o investidor produz mais energia não necessitando de a comprar à rede, antes pelo contrário passa a vender energia à rede.

### 3.2.8 Etapa 8 – Análise de cenários

A análise feita anteriormente assume que a variável em análise varia de forma isolada, mantendo-se as restantes variáveis constantes. Na análise de cenários todas as variáveis consideradas vão sofrer variação. Deste modo, para a análise de cenários perante às variações de sensibilidades apresentadas na etapa anterior, leva-se em consideração as taxas de manutenção, perdas do sistema e a irradiação solar. As variações da Potência do Kit bem como a variação da subsidiação do Governo não foram levadas em consideração por não sofrerem variações de consumo energético em todos os anos e não ser possível prever alterações governamentais. Com as análises das possíveis variações no projeto, tem-se alguns cenários apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24:** Resumo dos cenários

	<b>Pessimista</b>	<b>Atual</b>	<b>Otimista</b>
<b>Variáveis:</b>			
Manutenção	50%	0%	-50%
Perdas	5%	0%	-5%
Irradiação	-5%	0%	5%
<b>Resultado:</b>			
VAL	R\$ 470.446,95	R\$ 827.585,65	R\$ 1.178.356,62
TIR	6,802%	8,561%	9,977%
PRI	17 anos 2 meses 7 dias	12 anos 7 meses 10 dias	11 anos 3 meses 8 dias

Fonte: Elaboração própria.

Com o melhor cenário, otimista, tem-se uma manutenção reduzida pela metade, as perdas do sistema solar ficar em 12,5%, melhorando o rendimento em 5%, e o fator solar contribuir para maior aproveitamento aumentando em 5% a irradiação. Se verifica um aumento considerável no VAL para R\$ 1.178.356,62, na TIR chegando aos 9,977%, bem como no seu *Payback* que chega a 11 anos 3 meses e 8 dias.

Já para um cenário pessimista, o custo de manutenção aumenta, as perdas aumentam, diminuindo o rendimento, e a irradiação diminui. Nesse caso o VAL é de R\$ 470.446,95, sendo a TIR de 6,802% e o seu *Payback* atinge aos 17 anos 2 meses e 7 dias, apesar se tornar bem abaixo do que se espera de um projeto de energia solar, ele ainda continua viável.

## Conclusões, Limitações, Linhas de Investigação Futuras

Com o avanço das fontes renováveis de energia e tendo e um grande potencial de radiação solar na região de estudo, as perspectivas de crescimento para a geração de energia fotovoltaica foram as melhores possíveis, abrindo uma projeção e implantação de sistemas fotovoltaicos nas fazendas que possuem um alto consumo de eletricidade pela utilização de pivôs de irrigação.

Esse trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade económica financeira de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica em três fazendas produtoras de soja, através de indicadores económicos de viabilidade como VAL, TIR e *Payback*, amparado pela norma da ANEEL REN N°482/2012 no Estado Brasileiro, na cidade de Santa Cruz do Rio Pardo, São Paulo.

No começo do trabalho realizou-se pesquisas a respeito de fontes de energias, energias renováveis, matriz energética e elétrica brasileira, e sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. A partir de então, foi feita a coleta dos dados relativos às fazendas, necessários para o cálculo da viabilidade económica e financeira dos projetos.

Os dados utilizados para a análise dos projetos foram apresentados e disponibilizados pelo próprio agricultor, gerente responsável pelo cultivo das lavouras, com os dados de localização específica de cada fazenda, o consumo de potência de cada horário de postos tarifários bem como sua fatura gerada pela concessionária local. Desse modo, foi possível fazer-se uma análise da viabilidade económica e financeira do investimento.

Foi possível avaliar a inserção da geração fotovoltaica sobre diferentes aspectos, como características técnicas, níveis de irradiação solar, entre outros capazes de analisar os fatores determinantes para um sistema fotovoltaico conectado à rede ser viável e como se consolida no Brasil e no mundo.

O Brasil tem adotado vários incentivos à produção de energia elétrica à base da geração fotovoltaica, com objetivo de expandir e diversificar a matriz energética e elétrica do país. Este facto pode ajudar a sustentar o apoio à construção de projetos de gerações distribuídas tendo em vista, como destaque, políticas voltadas ao desenvolvimento dessa energia que o Brasil é tão beneficiado por sua localização global.

A geração de energia foi considerada somente durante o horário de fora ponta, ou seja, das 6:00h às 18:00h e o consumo segue o mesmo da base de dados do ano de 2019, com consumos em todas as horas do dia. Nesse momento o governo subsidia uma parte da tarifa no horário fora de ponta quando implementa o horário reservado, sendo das 21:30h às 6:00h do outro dia, ou seja, durante a madrugada onde não há tanta utilização de energia elétrica comparada às outras horas do dia. Toda a energia gerada em um horário, para ser abatida em outro de diferente tarifa deve ter um ajuste perante o seu fator. Nesse sistema toda a energia produzida é injetada na rede e toda consumida é consumida da rede, perante um medidor da concessionária local, faz-se a diferença e quando há uma menor produção que um consumo, o cliente deverá pagar o proporcional, já quando ocorre uma produção em excesso

de eletricidade, o cliente fica com um crédito na concessionária. Desse modo, estimou-se cada mês com produção e consumo, pode-se calcular e dimensionar qual seria a melhor potência a ser instalada com a análise de sensibilidade onde faz-se um estudo de variações das variáveis que possuem incertezas durante seu tempo de projeção econômica.

Pôde-se constatar as projeções de fluxo de caixa quando se fez o investimento nas três fazendas com um capital inicial de R\$ 1.770.861,29, e com a potência instalada de 595,470 kWp. Com o cálculo, nota-se que o investimento se mostrou atraente por estimar o tempo de retorno do investimento de 12 anos 7 meses e 10 dias o que significa, aproximadamente, meia vida útil do sistema fotovoltaico. Para efeito de cálculos se considera somente 25 anos de vida útil dos painéis solares por garantia do fabricante, mas sabe-se de vários sistemas vigentes no Brasil que esse tempo pode ser estendido em 30, ou até 35 anos dependendo dos fatores internos e externos do sistema. Com uma TIR de 8,56%, tem-se uma taxa atraente por tudo que o sistema pode proporcionar já que vai muito além do aspecto financeiro, mas também ecológico e social. Além que a TIR é maior do que várias outras encontradas no mercado financeiro. Com um VAL de R\$ 827.585,65 considera-se um projeto viável, sendo cerca de 50% de superávit. Esses valores são calculados perante as tarifas e subsídios governamentais são referentes ao ano de 2019. Isto pode ser reavaliado porque o Brasil passa por momentos econômicos e financeiros instáveis, o que poderá fazer com que a TIR seja maior caso as políticas macroeconômicas do país se alterem, nomeadamente a taxa de inflação e o custo do capital (WACC). Poderá ainda ocorrer a suspensão dos subsídios da tarifa de eletricidade, usada na análise de sensibilidade que demonstrou as possíveis taxas de retorno financeiras.

Como pode ocorrer uma elevação dos preços das tarifas de eletricidade, redução de subsídios governamentais nas mesmas e redução dos preços dos painéis fotovoltaicos, o sistema fotovoltaico, conectado à rede, pode ser um bom investimento se projetado e analisado da forma correta.

Deste modo, conclui-se que a energia solar é uma das melhores alternativas para geração de energia elétrica na região, visto que é das mais limpas, ecológica e abundante, proporcionando economia nos custos de energia elétrica. Concluiu-se ainda que, e em resposta à questão de investigação, é economicamente viável a instalação de painéis solares para alimentar o sistema de rega das fazendas no estado de São Paulo – Brasil. No entanto, existem muitas condicionantes que podem alterar essa viabilidade sendo sempre necessário fazer-se uma análise custo/benefício.

Entre as limitações do estudo, esteve a dificuldade em analisar o valor residual dos produtos utilizados no projeto, como por exemplo de um inversor com apenas 10 anos de uso, já que a garantia de funcionamento é de 15 anos. O mesmo os painéis solares com 25 anos de uso, que mesmo com cerca de 80% de eficiência, ainda possam ter um valor comercial, estruturas também podem ser reaproveitadas, entre outras utilizações e equipamentos os quais o SFCR possa ter valor.

Por fim, para trabalhos futuros, sugere um estudo no qual considera esse projeto de investimento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede e que objetive descobrir como é possível aumentar os valores

residuais dos produtos, após o período da análise do investimento, e com isso, ganhar vantagem competitiva no mercado económico aumentando a taxa de retorno interna, de maneira a atrair mais investidores, diversificando a matriz eléctrica do país e aumentando os lucros dos mesmos pela não dependência financeira governamental para o consumo de energia eléctrica.

## Referências

- Alves Júnior, J., Sales, D. L. A., Pereira, R. M., Rodriguez, W. D. M., Casaroli, D., & Evangelista, A. W. P. (2015). *Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate, em diferentes demandas hídricas* (pp. 2970–2980). pp. 2970–2980. <https://doi.org/10.12702/iii.inovagri.2015-a424>
- Alves, V. dos S. (2014). *Matemática Financeira* (Rede e-Tec Brasil (ed.)).
- Aneel. (2002). Resolução Normativa nº 552, de 14 de outubro de 2002. *Agência Nacional de Energia Elétrica*. <https://doi.org/10.1002/chem.201804045>
- Aneel. (2004). Resolução Normativa nº 109, de 26 de outubro de 2004. *Agência Nacional de Energia Elétrica*, 1–4. <https://doi.org/10.1002/chem.201804045>
- Aneel. (2010). Resolução Normativa nº 414. *Resolução Normativa Nº 414*, 205.
- Aneel. (2012). Resolução Normativa nº 482 de 2012. *Agência Nacional de Energia Elétrica*.
- Aneel. (2015). Resolução Normativa nº 687 de 2015. *Agência Nacional de Energia Elétrica*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Aneel. (2018). *Tarifa binômia relatório de análise de impacto regulatório* (p. 78).
- Atlas, G. S. (2019). *World\_PVOUT\_mid-size-map\_160x95mm-300dpi\_v20191015*.
- Azevedo, F. M., Edgard, M., & Udaeta, M. (2010). *Modelagem de uma ferramenta analítica aplicada ao planejamento integrado de recursos energéticos*. 16, 63–76.
- Castro, G. M. A. (2015). *Avaliação do valor da energia proveniente de usinas heliotérmicas com armazenamento no âmbito do Sistema Interligado Nacional*.
- Correia, I. M. (2017). *Análise do potencial técnico - económico de sistemas fotovoltaicos em grandes edifícios comerciais*.
- Cpfl. (2020). *Fatura de energia elétrica*. Retrieved May 23, 2020, from <https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/entenda-sua-conta/Paginas/default.aspx>
- Cresesb. (2019). Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Retrieved May 16, 2020, from <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>
- Dias, C. T. de C., Silva, W. K. de M., Freitas, G. P. de, & Nascimento, J. F. do. (2017). Energia Solar no Brasil. In *Inter Scientia* (Vol. 5, pp. 153–165).
- Duarte, R. P. (2020). *Arranjo fotovoltaico*. Retrieved from <https://www.electronica-pt.com/painel-solar-fotovoltaico>
- Epe. (2019). *Matriz Elétrica Brasileira*. Retrieved from <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório Síntese BEN 2019  
Ano Base 2018.pdf

- Fonseca, Y. D. da, & Bruni, A. L. (2010). *Técnicas de avaliação de investimentos: uma breve revisão da literatura*.
- Galdino, M., Lima, J., Ribeiro, C. M., & Serra, E. T. (2009). O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. *Revista Da DIRENG*, 17–25.
- Goldemberg, J., & Lucon, O. (2007). *Energia e meio ambiente no Brasil*. 21(59), 61–76.
- Gore, A. (2006). *Livro “ Uma verdade inconveniente ” - Al Gore*.
- Hearps, P., & McConnell, D. (2011). Executive Summary - Renewable Energy Technology Cost Review. *Melbourne Energy Institute*, (May), 53. Retrieved from [https://minerva-access.unimelb.edu.au/bitstream/handle/11343/54874/Renewable Energy Tech Cost Review.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://minerva-access.unimelb.edu.au/bitstream/handle/11343/54874/Renewable_Energy_Tech_Cost_Review.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Lamarão, S. T. de N. (1997). A Energia Elétrica como Campo de Pesquisa Historiográfica no Brasil. *Revista América Latina En La Historia Económica*, 39–49.
- Lavezzo, A. C. L. (2016). *César augusto lotti lavezzo fontes de energia*.
- Megre, L. (2013). *Análise de Projetos de Investimento—Uma perspectiva económica*. Lisboa: Sílabo.
- Module, M. (1997). *Módulo fotovoltaico*.
- Mohnen, A. (2012). Managerial Performance Evaluation with Residual Income - Limited Investment Budget and NPV-Maximization. *SSRN Electronic Journal*, (December). <https://doi.org/10.2139/ssrn.481203>
- Oliveira, J. A. P. de. (2005). Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. *Cadernos EBAPE.BR*, 3(3), 01–01. <https://doi.org/10.1590/s1679-39512005000300012>
- Ons. (2020). *SIN*. Retrieved from <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>
- Pacheco, F. (2006). Energias renováveis: breves conceitos. *Conjuntura e Planejamento*, (149), 4–11. Retrieved from <https://scholar.google.pt/scholar?hl=pt-PT&q=Energias+Renováveis+:+Breves+Conceitos&btnG=&lr=>
- Patterson, W. (2007). Fifty years of hopes and fears. *Nature*, 449(7163), 664. <https://doi.org/10.1038/449664a>
- Pereira, J. M. (2010). *MANUAL DE METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTIFICA*. Retrieved from <https://books.google.com.br/books?id=PyaQPgAACAAJ>
- Pereira, R. M., Júnior, J. A., Casaroli, D., Sales, D. L., Rodriguez, W. D. M., & Souza, J. M. F. (2015). Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado Brasileiro. *Irriga*, 1(2), 149–157.

<https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p149>

- Pereira, T. C. G. (2014). Planejamento energético e as políticas públicas: aspectos conceituais e metodológicos. In *Energias Renováveis: políticas públicas e planejamento energético*. Retrieved from [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/942/1/Energias\\_Renováveis\\_Pereira,\\_Thulio\\_Cícero\\_Guimarães\\_2014.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/942/1/Energias_Renováveis_Pereira,_Thulio_Cícero_Guimarães_2014.pdf)
- Portal Solar. (2020a). Kit energia solar fotovoltaica Weg 157,32 kWp - Solo - Portal Solar. Retrieved May 16, 2020, from <https://www.portalsolar.com.br/loja/produtos/kit-energia-solar-fotovoltaica-weg-157-32-kwp-solo-weg-g-15732-tri-345-251>
- Portal Solar. (2020b). Kit energia solar fotovoltaica Weg 360,87 kWp - Solo - Portal Solar. Retrieved May 16, 2020, from <https://www.portalsolar.com.br/loja/produtos/kit-energia-solar-fotovoltaica-weg-360-87-kwp-solo-weg-g-36087-tri-345-251>
- Portal Solar. (2020c). Kit energia solar fotovoltaica Weg 77,28 kWp - Solo - Portal Solar. Retrieved May 16, 2020, from <https://www.portalsolar.com.br/loja/produtos/kit-energia-solar-fotovoltaica-weg-77-28-kwp-solo-weg-g-07728-tri-345-251>
- Qiu, Y., Wang, Y. D., & Wang, J. (2015). Implied discount rate and payback threshold of energy efficiency investment in the industrial sector. *Applied Economics*, 47(21), 2218–2233. <https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1005820>
- Rodrigues, K. F. de C. (2014). Sistematização e análise da avaliação econômica de projetos de desenvolvimento de produtos e serviços. *Dissertação de Mestrado*, 1–347.
- Rosa, A. R. O. da, & Gasparin, F. P. (2016). Panorama da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. *Revista Brasileira de Energia Solar*, 7(2), 140–147. Retrieved from <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/154/152%0Ahttps://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/download/157/155>
- Saha, K. (2014). Planning and installing photovoltaic system: a guide for installers, architects and engineers. *International Journal of Environmental Studies*, 71. <https://doi.org/10.1080/00207233.2014.951543>
- Shayani, R. A., Camargo, I. M. de T., & Oliveira, M. A. G. de. (2006). *Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais*.
- Silva, R. (1994). *Energias renováveis*. 35–42.
- Sousa, F. J. R. De. (2009). *A geração termelétrica: a contribuição das térmicas a gás natural liquefeito*. 131.
- Tolmasquim, M. T. (2004). *Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil*. Relume Dumará.
- Tolmasquim, M. T., Guerreiro, A., & Gorini, R. (2007). *Matriz energética Brasileira: uma prospectiva*.

*Novos Estudos CEBRAP*, (79), 47–69. <https://doi.org/10.1590/s0101-33002007000300003>

Urbanetz. (2010). *Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade*. 189.

Villalva, M. G. (2015). *Energia solar fotovoltaica*. Saraiva Educação SA.

Weber, T. A. (2014). On the (non-)equivalence of IRR and NPV. *Journal of Mathematical Economics*, 52, 25–39. <https://doi.org/10.1016/j.jmateco.2014.03.006>