



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
ESCOLA POLITECNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

ÉMERSON SILVA BALIZA

**ESTUDO DE CASO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM
UM AVIÁRIO NA ZONA DA MATA MINEIRA: ANÁLISE DE VIABILIDADE
TÉCNICA E ECONÔMICA**

São Paulo – SP

2019

ÉMERSON SILVA BALIZA

**ESTUDO DE CASO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM
UM AVIÁRIO NA ZONA DA MATA MINEIRA: ANÁLISE DE VIABILIDADE
TÉCNICA E ECONÔMICA**

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Virginia Parente

**São Paulo - SP
2019**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

BALIZA, EMERSON SILVA

ESTUDO DE CASO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UM AVIÁRIO NA ZONA DA MATA MINEIRA: ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA / E. S. BALIZA -- São Paulo, 2019.

69 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Sistemas fotovoltaicos. 2.Energia elétrica na zona rural. 3.Viabilidade econômica. 4.Geração distribuída. 5.Energia solar aplicada a um Aviário. I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

"O desenvolvimento humano depende fundamentalmente da invenção. É o produto mais importante de seu cérebro criativo. Seu objetivo final é o completo domínio da mente sobre o mundo material e aproveitamento das forças da natureza para as necessidades humanas. "

Nikola Tesla

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me fortalecer, me dar coragem e me guiar mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus pais, Sirlene e Josemar Baliza, que sempre contribuíram e me deram todas as condições para eu acreditar em meus sonhos e perseguir meus objetivos.

Agradeço também aos meus irmãos, Deiber e Yago, pelas conversas e pela motivação.

Em especial, agradeço a Marina, por todo apoio, carinho e por me passar confiança nesta jornada desafiadora.

Agradeço aos meus amigos, Bruno e Kleiton que sempre estiveram ao meu lado na nossa república, compartilhando meus momentos de estresse durante o desenvolvimento desta monografia.

Agradeço, por fim, à Escola Politécnica e aos meus colegas de pós, especialmente a Kathleen, a Bruna, e a Ingrid, pelos momentos de estudos e também de distração. Aos professores da PECE, e em especial à Profa. Virginia Parente, sou também muito grato pelo apoio e compreensão.

RESUMO

Este trabalho buscou avaliar a viabilidade técnica e econômica de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede, aplicado à um aviário localizado em Canaã, na Zona da Mata de Minas Gerais, de forma a atender a totalidade de sua demanda por energia elétrica. Partiu-se de um levantamento bibliográfico sobre o setor elétrico brasileiro, quanto ao mix da matriz elétrica, suas exposições e incertezas para, por fim, focar nas suas principais classes de consumo, e, em especial, no setor rural. Este levantamento também detalhou o cenário da energia solar fotovoltaica centralizada e distribuída, apresentando sua evolução ao longo dos últimos anos no cenário nacional e mundial, dando ênfase ao uso desta fonte nas zonas rurais e no agronegócio. Ademais, este trabalho apresentou ainda a caracterização dos sistemas fotovoltaicos e dos equipamentos em funcionamento dos aviários. Com base nos dados da região foram realizadas as análises de cálculos de viabilidade técnica e econômica no negócio, levando em conta as disponibilidades de financiamentos. Para o estudo de caso específico, foram levantados os dados acerca da unidade de consumo, incluindo a sua demanda de energia elétrica, os fatores climáticos, para se dimensionar um sistema fotovoltaico adequado, selecionando os principais componentes do sistema e evidenciando os resultados da análise de viabilidade técnica. Por fim, os resultados da análise de viabilidade econômica, como o VPL, a TIR e o tempo de retorno, indicaram que o projeto atendeu os requisitos de viabilidade utilizando capital próprio, sendo que o VPL calculado ao final dos 25 anos, foi de R\$ 107.085,93, resultando também em uma TIR de 18,6%, e um *Payback* descontado 6,82 anos. Para o uso do financiamento que cobriu 100% do investimento, o VPL foi de R\$ 75.280,80 e uma TIR de 12,9 %.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos. Energia elétrica na zona rural. Viabilidade econômica. Geração distribuída. Aviário. Energia Solar. Brasil.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the technical and economic viability of a photovoltaic solar system connected to the grid, applied to an aviary located in Canaã, in the Zona da Mata of Minas Gerais, in order to meet the totality of its demand for electricity. It was based on a bibliographical survey about the Brazilian electric sector, regarding the mix of the electric matrix, its expositions and uncertainties, to finally focus on its main classes of consumption, and especially in the rural sector. This survey also detailed the scenario of centralized and distributed photovoltaic solar energy, presenting its evolution over the last years in the national and world scenario, emphasizing the use of this source in rural areas and agribusiness. In addition, this work also presented the characterization of the photovoltaic systems and the equipment in operation of the aviaries. Based on the data of the region, the analyzes of calculations of technical and economic viability in the business were carried out, taking into account the availability of financing. For the specific case study, the data about the consumption unit, including its electric energy demand, the climatic factors, were taken to size a suitable photovoltaic system, selecting the main components of the system and evidencing the results of the analysis of technical viability. Finally, the results of the economic viability analysis, such as NPV, IRR and time of return, indicated that the project met the viability requirements using capital, and the NPV calculated at the end of the 25 years was R \$ 107,085.93, resulting in an IRR of 18.6%, and a Payback discounted 6.82 years. For the use of financing that covered 100% of the investment, the NPV was R \$ 75,280.80 and a IRR of 12.9%.

Keywords: Photovoltaic systems. Electricity in the rural area. Economic viability. Distributed generation. Aviary. Solar energy. Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2 1 - Matriz Elétrica Brasileira.....	20
Figura 2 2- Ranking de potência instalada em 2018 e acumulada.	21
Figura 2 3 - Geração distribuída solar fotovoltaica conectada por ano.	22
Figura 2 4 - Geração distribuída solar fotovoltaica por classe de consumo.	22
Figura 2 5 - Célula fotovoltaica de Silício cristalino.....	25
Figura 2 6 – (a) Filme fotovoltaico Flexível; (b) Módulo Fotovoltaico;.....	26
Figura 2 7 - Baterias estacionárias para sistema solar.....	27
Figura 2 8 - Controladores de carga.	27
Figura 2 9 - Inversores de frequência.....	28
Figura 2 10 - Sistema Fotovoltaico isolado (autônomo).	29
Figura 2 11 - Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água.....	30
Figura 2 12 - Sistema fotovoltaico on-Grid	31
Figura 4 1 - Local de instalação dos painéis fotovoltaicos.	46
Figura 4 2 - Histórico de consumo do aviário nos últimos 12 meses.....	47
Figura 4 3 - Esquema sugerido de conexão dos painéis no Inversor.	56
Figura 4 4 - Fluxo de caixa livre acumulado do Payback simples.	58
Figura 4 5 - Fluxo de caixa acumulado do payback descontado.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 3 1 - Radiação Extraterrestre indicando a Média Mensal Diária	42
Tabela 3 2 - Dia médio do mês.	43
Tabela 4 1 - Dados climatológicos de Canaã - MG.	46
Tabela 4 2 - Consumo de energia elétrica do aviário.	48
Tabela 4 3 - Irradiação solar diária média mensal.	49
Tabela 4 4 - Resultados de cálculos.	49
Tabela 4 5 - Irradiação diária média mensal calculada.	50
Tabela 4 6 - Características eletrônicas. Fonte:	51
Tabela 4 7 - Característica mecânicas dos painéis fotovoltaicos.	51
Tabela 4 8 - Características de temperatura do painel selecionado	52
Tabela 4 9 - DataSheet dos inversores.	54
Tabela 4 10 - Balanço entre a geração mensal do sistema solar fotovoltaico e consumo mensal do aviário ao longo.	56
Tabela 4 11 - Custos de implantação de um sistema solar fotovoltaico.	57
Tabela 4 12 - Análise econômica do sistema solar fotovoltaico.	59
Tabela 4 13 - Fluxo de caixa e VPL considerando o financiamento.	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.2 QUESTÃO CENTRAL	14
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	17
2.1 A EVOLUÇÃO DA ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL	17
2.2 PANORAMA DA ENERGIA FV NO BRASIL E NO MUNDO	18
2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD)	22
2.4 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	23
2.5 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEUS COMPONENTES	24
2.6 SISTEMAS OFF-GRID (SISTEMAS ISOLADOS)	29
2.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID (SISTEMAS CONECTADOS)...	30
2.8 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HÍBRIDOS.....	31
3. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	33
3.1 CARACTERÍSTICAS DE UM AVIÁRIO.....	34
3.2 INCENTIVOS E PROGRAMAS DE FINANCIAMENTO	35
3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA	38
3.4 LEVANTAMENTO DA IRRADIAÇÃO SOLAR DO LOCAL E SELEÇÃO DE COMPONENTES	40
4. ESTUDO DE CASO.....	46
4.1 LEVANTAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR LOCAL	49
4.2 SELEÇÃO DE COMPONENTES	50
4.3 ESTIMATIVA DE TEMPERATURA DE OPERAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO.....	51
4.4 ESTIMATIVA DA POTÊNCIA DE PICO DO PAINEL FOTOVOLTAICO	52
4.5 ESTIMATIVA DO NÚMERO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	53
4.6 ESCOLHA DO INVERSOR.....	53
4.7 CONFIGURAÇÃO DE STRINGS DO INVERSOR.....	55
4.8 RESULTADOS	56
4.9 INVESTIMENTO DO PROJETO.....	57
4.10 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO	57
4.11 FINANCIAMENTO	60

5. CONCLUSÃO.....	62
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

Durante séculos o homem desenvolveu suas atividades de trabalho com o advento da força braçal e de animais. Com o tempo, passou a utilizar a força dos ventos, através de moinhos, e da água corrente dos rios, através de rodas d'água, para lhe gerarem energia que acabaria facilitando seus trabalhos, reduzindo seus esforços e o tempo de execução dos mesmos (SIMÕES-MOREIRA, 2017).

O desenvolvimento da máquina a vapor ao final do século XVIII e início do século XIX, utilizando o calor da combustão de carvão e lenha para produção de vapor de água, causou uma revolução, visto sua grande capacidade de gerar energia mecânica. Tal energia foi aplicada tanto em embarcações e locomotivas como também na indústria de forma geral. A demanda por energia, entretanto, continuou aumentando com o passar do tempo, estimulando o progresso tecnológico, bem como o surgimento da indústria do petróleo e da energia elétrica (SIMÕES-MOREIRA, 2017).

A energia elétrica passou então a fazer parte do cotidiano das pessoas. Por onde se passa é possível perceber ela atuando de forma a atender as necessidades da população. Iluminação, conforto térmico, saúde, comunicação, transporte, e vários outros elementos que compõe a qualidade de vida e a forma de trabalho, estão ligados à energia sob a forma de energia elétrica (AGÊNCIA SENADO, 2017).

Por tempos, o acesso à energia elétrica foi bem mais limitado, principalmente em regiões rurais, devido condições geográficas – muitas vezes pequenas casas à distâncias relevantes da rede de distribuição – bem como, devido a situação financeira de muitos que vivem nessas áreas. Apesar das dificuldades de acesso ainda existentes na zona rural, houve um grande avanço após o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, “Luz Para Todos”, através do Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003, cujo objetivo foi propiciar financiamentos e subsídios para os investimentos em projetos de eletrificação rural executados pelas concessionárias de distribuição e outros agentes executores (ANEEL, 2003).

Estando a energia elétrica tão intimamente ligada ao desenvolvimento, não há mais como se pensar em atividades econômicas na zona rural, ainda que na sua forma

mais rústica, sem a eletricidade. O agronegócio gerou um produto interno bruto (PIB) de R\$ 1.404 bilhões de reais (representando 21,4% do PIB nacional), no ano de 2017, sendo a agropecuária responsável por R\$ 348,3 bilhões de reais, e um PIB de R\$ 1.441 bilhões de reais (representando 21,1% do PIB total do país) em 2018, sendo R\$ 351,4 bilhões provenientes da agropecuária (CEPEA, 2018a).

Sendo esse setor tão relevante no cenário econômico nacional, é também um grande gerador de empregos no Brasil. Segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP (CEPEA), em 2017, o agronegócio empregou 18,231 milhões de pessoas (20,1% da população ocupada do Brasil), e em 2018, 18,206 milhões de pessoas (19,82% da população ocupada do Brasil), sendo a agropecuária responsável por 8,418 milhões e 8,353 milhões, em 2017 e 2018, respectivamente, sem considerarmos os indivíduos que atuam no setor produzindo apenas para consumo próprio (CEPEA, 2018b).

Toda essa geração de renda e emprego está também ligada ao consumo de energia elétrica por parte dos meios rurais. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), em seu anuário estatístico de energia elétrica, divulgou que o setor rural brasileiro, em 2017, foi responsável por um consumo de 28.136 GWh, representando 6% do consumo no Brasil. Frente aos anos anteriores, representou um crescimento de consumo de 3,2% em relação à 2016 (27.266 GWh), e um crescimento superior a 19,5% quando comparado aos números de 2013 (23.455 GWh).

Parte de todo o agronegócio refere-se à avicultura. O Brasil é o segundo maior produtor de carne de frango do mundo, atrás apenas do Estados Unidos da América (EUA)¹. Em 2017, o Brasil produziu mais de 13 milhões de toneladas de carne de frango, 14,5% da produção mundial, sendo 4,2 milhões de toneladas (33,1%) voltado para o abastecimento do mercado externo. São mais de 150 países que importam a carne de frango brasileira, representando uma receita de exportação de US\$ 7,2 bilhões de dólares. A Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), aponta que são 3,5 milhões de brasileiros, entre produtores, funcionários de empresas e profissionais vinculados direta e indiretamente, que trabalham na avicultura. No campo, são mais de 130 mil famílias proprietárias de pequenos aviários (ABPA, 2018).

¹ Em 2017, os Estados Unidos da América, foram responsáveis pela produção de 18,6 milhões de toneladas de carne de frango, 20,6% da produção mundial (ABPA, 2018).

Os proprietários desses aviários trabalham em um modelo de parceria com a agroindústria, onde cada um colabora com o que pode fazer de melhor. A indústria fornece os animais, rações, medicamentos, insumos e transporte, enquanto o produtor participa com as instalações e equipamentos do aviário, água, energia elétrica, bem como se responsabiliza em criar e engordar os animais até que os mesmos atinjam a idade de abate. O consumo de energia elétrica desses aviários representa grande parte dos custos de operação. Há um alto consumo com equipamentos que visam manter o ambiente ideal nos aviários, oferecendo boas condições de conforto aos animais. São ventiladores, exaustores, iluminação, além de bombas para abastecimento de água, e motores para o acionamento dos sistemas de distribuição de alimentos e em alguns casos, aquecedores de ambiente (DIAS, 2016).

Nesse contexto, a utilização de energias renováveis aparece como uma forte opção para reduzir os custos desses produtores, assim ampliando a rentabilidade de seus negócios e proporcionando uma melhor qualidade de vida. Devemos também considerar que o produtor passa a estar menos suscetível às variações no valor da energia elétrica ao longo do ano, como acontece com a aplicação de bandeiras tarifárias² em determinados períodos no Brasil.

A energia solar é uma das grandes alternativas. O potencial de geração do Brasil é gigantesco. Segundo Sauaia (2018), então Presidente da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), em entrevista ao portal de sustentabilidade do Sebrae, só os telhados das casas brasileiras, sem usar nenhum metro quadrado a mais de área, gerariam cerca de 164 GW, mais do que a matriz elétrica atual instalada no país (160 GW). Outro ponto importante refere-se ao custo investimento, sobre o qual Sauaia afirma que o custo da fonte solar vem se tornando ano após anos mais competitivo, tanto para a população brasileira, como também para o governo federal via leilões.

Dentre os fatores que contribuem para essa fonte renovável ser competitiva estão as linhas de financiamento disponibilizadas. A ABSOLAR, em conjunto com a Clean Energy Latin America (CELA), mapeou que o Brasil conta atualmente com cerca

² Desde o ano de 2015, as contas de energia passaram a trazer uma novidade: o Sistema de Bandeiras Tarifárias, que apresenta as seguintes modalidades: verde, amarela e vermelha – as mesmas cores dos semáforos – e indicam se haverá ou não acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final, em função das condições de geração de eletricidade (ANEEL, 2017).

de 70 linhas de financiamento para projetos de geração distribuída solar fotovoltaica, tanto advindo de instituições públicas, quanto de privadas (RAMOS et al., 2019). Uma das linhas que chama atenção é a do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES), o PRONAF ECO. É uma linha voltada para o financiamento a agricultores e produtores rurais familiares, pessoas físicas, para investimento na utilização de tecnologias de energia renovável.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho de monografia tem o objetivo principal de analisar e discutir a viabilidade econômica e técnica de um projeto fotovoltaico de forma a atender a demanda de energia elétrica de um aviário situado na Zona da Mata mineira.

Para alcançar este objetivo, este trabalho busca atender a três objetivos secundários. São eles:

- (1) apresentar o panorama da energia elétrica e da energia solar fotovoltaica, de forma a identificar suas características de funcionamento;
- (2) dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede;
- (3) calcular e analisar seus custos e parâmetros para viabilidade tanto técnica quanto econômica, e assim entender as variáveis que influenciam em sua rentabilidade.

1.2 QUESTÃO CENTRAL

A questão a ser respondida por esse trabalho é se é viável para proprietários de um aviário na Zona da Mata mineira instalar um sistema fotovoltaico, haja vista os investimentos econômicos necessários para implantação de um projeto, bem como o atendimento de sua demanda por energia elétrica, mirando a redução de seus custos de operação.

Esse trabalho busca também responder à questão se há a possibilidade de um proprietário rural, ao fazer esse investimento, conseguir uma economia suficiente em

sua fatura mensal de energia elétrica, de forma que esse valor quite uma parcela mensal de um eventual financiamento obtido para este fim, utilizando uma das linhas de financiamento disponíveis no mercado, voltadas para o produtor rural.

1.3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos deste trabalho, a metodologia partiu inicialmente um levantamento bibliográfico acerca do agronegócio, e da agropecuária em geral. Com foco na avicultura, buscou-se obter dados pertinentes desse setor, de forma a trazer relevância ao trabalho.

Foi levantado também o atual panorama da energia fotovoltaica no Brasil e no mundo, sua representatividade, seus incentivos e desafios, bem como seus componentes e quesitos necessários. Evidenciado o contexto teórico dessa fonte, foi realizado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, conectado à rede. Para avaliar a viabilidade econômica do projeto escolhido, no caso o Aviário na região indicada, foram aplicados os métodos de fluxos de caixa descontados – VPL e TIR –, além da análise de tempo de retorno pelos métodos do *Payback Simples* e do *Payback Descontado*.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo inicial que se propôs apresentar as ideias e problemas relativos ao tema, mostrando sua justificativa e relevância, os objetivos do trabalho, sua questão central e a metodologia aplicada, esta monografia está estruturada em mais quatro capítulos.

O Capítulo 2 contempla uma visão sobre a energia fotovoltaica no Brasil e no mundo, seu crescimento e os incentivos aplicados que contribuem para sua disseminação, mostrando ainda sua relevância e contribuição para a nossa matriz energética. Apresenta também os componentes dos sistemas fotovoltaicos, suas características, e informações necessárias para sua aplicação.

O Capítulo 3 apresenta os levantamentos necessários para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, como as condições locais e quais componentes utilizar,

incentivos e programas de financiamento disponíveis, bem como a forma de se calcular a viabilidade econômica do projeto.

O Capítulo 4 traz um estudo de caso que contempla a análise da viabilidade econômica e técnica de um sistema fotovoltaico aplicado à um aviário. Nele são apresentadas as características do empreendimento, do local onde o projeto deve ser construído, bem como os cálculos de fluxo de caixa descontado e *Paybacks* para verificar se vale ou não a pena executar o projeto.

O Capítulo 5 traz às conclusões relativas ao estudo de caso. Discute também as limitações encontradas na realização desse tipo de análise e, por fim sugere aprofundamentos em trabalhos futuros.

2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Este capítulo busca apresentar o cenário da energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Explora as principais características desta fonte bem como sua evolução.

2.1 A EVOLUÇÃO DA ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL

Os cenários de crise energética que atingiu o Brasil nas últimas décadas evidenciaram a necessidade de alteração e complemento na composição de sua matriz elétrica. O Brasil é um dos maiores produtores do mundo de energia elétrica utilizando fontes renováveis. Segundo a EPE (2016), as fontes renováveis representavam mais de 80% da matriz elétrica nacional, sendo grande responsável por esse número a energia produzida pelas usinas hidrelétricas, representando 65% da matriz elétrica do país. Essa alta representatividade acaba deixando o Brasil exposto e dependente da hidroeletricidade. Devido baixo volume de chuvas e consequentemente o baixo volume dos reservatórios, essa exposição agravou-se nos últimos anos. Essa dependência faz com que seja necessário o acionamento das termelétricas, geralmente de fontes fósseis e com alto custo para sua utilização, o que faz com que sejam “acionadas” a bandeiras tarifárias.

Um dos marcos iniciais, no Brasil, para a utilização de novas fontes de energia renovável foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a RIO 92. Em abril de 1994, o Ministério de Minas e Energia (MME), em conjunto com o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), convocou um encontro para definição das Diretrizes para o Desenvolvimento das Energias Solar e Eólica no Brasil, onde foram levantadas ações que visaram identificar mecanismos e propor mudanças de políticas governamentais para permitir a disseminação do uso dessas formas de energia.

Desse encontro surgiu a Declaração de Belo Horizonte, onde foi recomendado a criação de um Foro Permanente, com objetivo de “manter vivo a espírito de participação e cooperação do Encontro e assegurar a implementação das diretrizes propostas”, e a criação de Centros de Referência, como os: Centro de Referência em Energia Solar e Eólica (CRESESB), o Centro de Referência em Biomassa (CENBIO) e o Centro de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH).

Em 1994, também surge a Associação Brasileira de Empresas de Energia Renovável e Eficiência Energética (ABEER), e o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (Prodeem), criado pelo Governo Federal para atender às localidades isoladas não supridas de energia elétrica pela rede convencional, obtendo essa energia de fontes renováveis locais (MCT,2000).

Em abril de 2002, foi aprovada a Lei 10.438, que cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, (PROINFA) cujo objetivo era aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Elétrico Interligado Nacional, e a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), que visava o desenvolvimento energético dos estados e a competitividade da energia produzida a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas, biomassa, gás natural e carvão mineral nacional, nas áreas atendidas pelos sistemas interligados.

Em agosto de 2004, através do decreto nº 5.184 é criada a EPE, com a finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, fontes energéticas renováveis e eficiência energética (MNE, 2004).

Após vários esforços para o desenvolvimento e pesquisa para utilização de fontes renováveis para composição da matriz elétrica nacional, em 2012 a resolução normativa da ANEEL (REN) nº 482/2012 é criada, a fim de estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e o sistema de compensação de energia elétrica, que seria um marco incentivador para a geração distribuída, principalmente a solar. Através da resolução normativa ANEEL nº 687/2015, a REN nº482/2012 passa por uma revisão a fim de simplificar o processo de outorga dos sistemas distribuídos reduzindo seus custos e o tempo para conexão, além de abranger o público alvo.

2.2 PANORAMA DA ENERGIA FV NO BRASIL E NO MUNDO

Em 31 de outubro de 2014 ocorreu um marco histórico para setor fotovoltaico no Brasil, foi realizada a primeira contratação da fonte em um leilão federal de energia

elétrica. No 6º leilão de Energia de Reserva (LER) foram contratados 31 empreendimentos fotovoltaicos, equivalente a 889,7 MW injetados na rede, no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). A energia proveniente dessa fonte, considerada cara, foi contratada a um preço médio de R\$ 215,12/MWh, 17,9% abaixo do preço-teto, que eram R\$ 262,00/MWh, resultado de uma grande competição entre empreendedores atraídos para o setor. Este fato, fez com que a energia fotovoltaica fosse inserida no desenvolvimento da matriz elétrica brasileira, sendo uma alternativa renovável, limpa e sustentável (ABSOLAR, 2014).

A geração centralizada solar fotovoltaica, composta por projetos de usinas de grande porte, assim como tantas outras aplicações da tecnologia solar fotovoltaica no Brasil, vai se consolidando no mercado de energia como uma fonte com alto valor agregado. Um levantamento feito pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) a partir de dados oficiais, apresenta que há 2.084 MW em usinas de geração centralizada solar fotovoltaica em operação no Brasil, representando 1,2% da Matriz Elétrica Nacional (Figura 2.1), superando a energia nuclear. A energia elétrica gerada por essas usinas, é capaz de suprir a necessidade de mais de 3 milhões de brasileiros (ABSOLAR, 2019).

Desde 2014, foram mais de 10 bilhões de reais em investimentos privados no setor, gerando mais de 50 mil empregos qualificados, nos locais de aplicação dos projetos. Para o futuro, estão computados mais R\$ 21,3 bilhões em capital privado, investidos no setor solar fotovoltaico, em projetos já contratados em leilões no mercado regulado. Com a entrada dessas usinas, o setor elétrico do Brasil contará com mais de 3.700 MW de potencial instalada até o ano de 2022 (ABSOLAR, 2019).

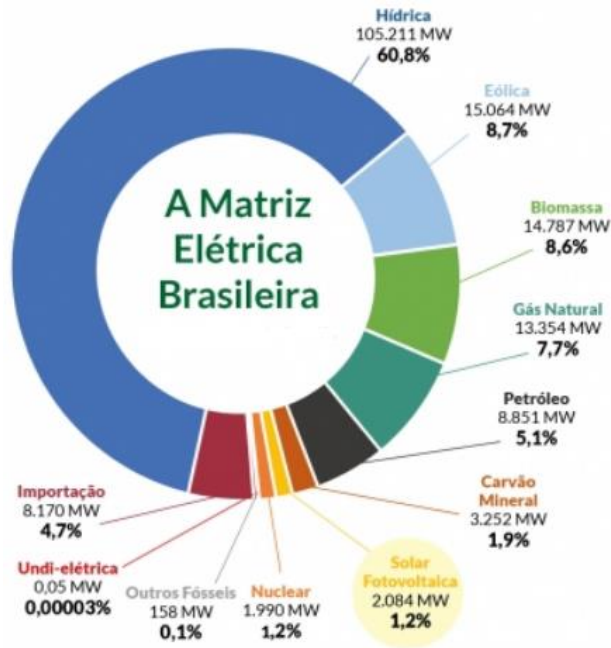


Figura 2 1 - Matriz Elétrica Brasileira.

Fonte: Infográfico ABSOLAR (2019).

Com um total de 2.084 MW de potência instalada ao final de 2018, o Brasil possui um número ainda modesto, quando comparado aos países no topo da lista. A China, líder disparada do ranking mundial de energia solar fotovoltaica, possui segundo a International Energy Agency (IEA, 2019), 176,1 gigawatts (GW) de potência instalada, sendo seguida bem de longe por Estados Unidos da América, com 62,2 GW, e Japão, com 56,0 GW.

Se for observado apenas 2018, o Brasil instalou 1,2 GW, enquanto a China foi o país que mais investiu em capacidade instalada de energia fotovoltaica, com 45 GW de potência, seguido por Índia (10,8 GW) e Estados Unidos (10,6) (Figura 2.2).

<i>Países que mais investiram em energia solar fotovoltaica em 2018.</i>			<i>Ranking de potência instalada em energia solar fotovoltaica no mundo.</i>		
	CHINA	45,0 GW		CHINA	176,1 GW
	ÍNDIA	10,8 GW		ESTADOS UNIDOS	62,2 GW
	ESTADOS UNIDOS	10,6 GW		JAPÃO	56,0 GW
	JAPÃO	6,5 GW		ALEMANHA	45,4 GW
	AUSTRÁLIA	3,8 GW		ÍNDIA	32,9 GW
	ALEMANHA	3,0 GW		ITÁLIA	20,1 GW
	MÉXICO	2,7 GW		REINO UNIDO	13,0 GW
	CORÉIA DO SUL	2,0 GW		AUSTRÁLIA	11,3 GW
	TURQUIA	1,6 GW		FRANÇA	9,0 GW
	HOLANDA	1,3 GW		CORÉIA DO SUL	7,9 GW

Figura 2 2- Ranking de potência instalada em 2018 e acumulada.

Fonte: Snapshot of Global PV Markets, IEA (2019).

A geração centralizada representa muito da energia solar fotovoltaica no Brasil, mas devemos dar uma atenção especial à geração distribuída, foco deste trabalho e que será mais bem explanada à frente. A geração distribuída é caracterizada por instalações próximas ao consumidor, geralmente conectadas a rede de distribuição, e que não envolve despacho por parte da Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS), e apresenta-se como a oportunidade de um consumidor gerar sua própria energia elétrica.

Segundo dados disponibilizados pela ANEEL, em 2019, a geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil representa 28,7% de toda potência instalada em sistemas solar fotovoltaico, e 85,7% de total potência instalada de geração distribuída. São mais de 77.000 sistemas distribuídos conectados por todo o Brasil, fazendo com que mais de 96.000 consumidores recebam créditos em energia elétrica, via geração local, autoconsumo remoto, geração condominial e geração compartilhada. Estes projetos tiveram um grande crescimento a partir de 2016 (Figura 2.3), sendo que atualmente representam 848,8 MW de potência instalada frente aos 2.1 GW instalados de forma centralizada.

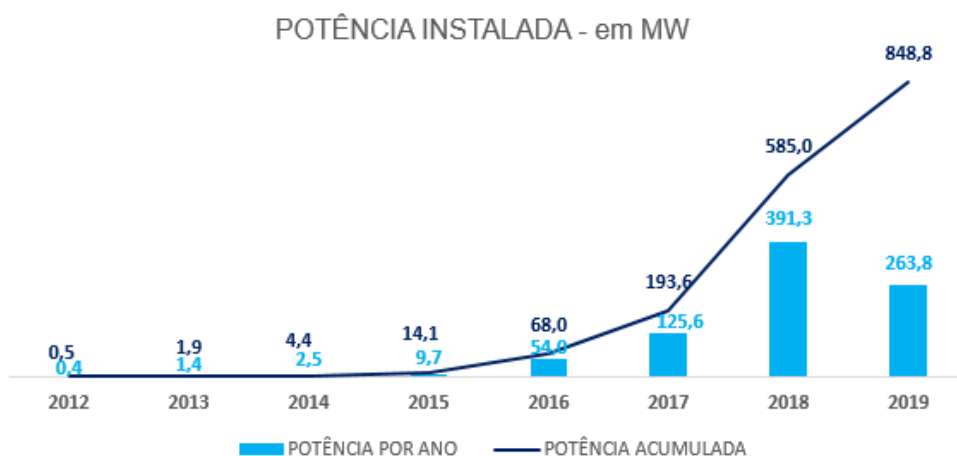


Figura 2 3 - Geração distribuída solar fotovoltaica conectada por ano.

Fonte: Empreendimentos de Geração Distribuída, ANEEL (2019).

A classe de consumo residencial é a que possui o maior número de sistemas conectados, seguido pela classe comercial, e pela classe rural. Porém, ao avaliar a potência instalada, a classe comercial possui a maior representatividade (*Figura 2.4*).

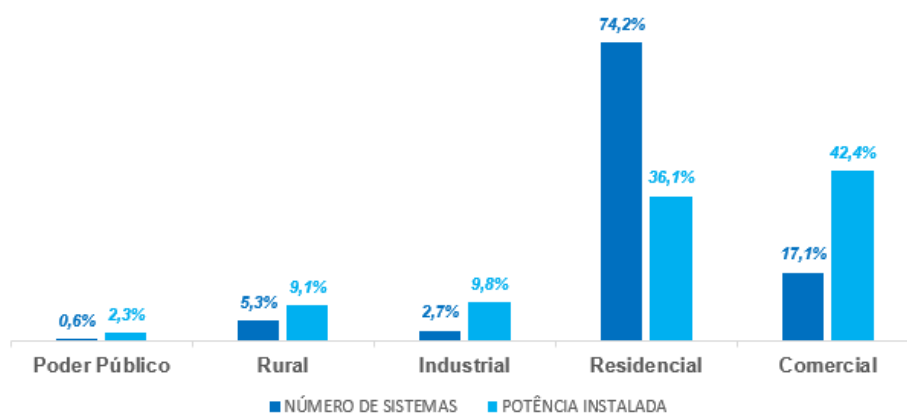


Figura 2 4 - Geração distribuída solar fotovoltaica por classe de consumo.

Fonte: Empreendimentos de Geração Distribuída, ANEEL (2019).

2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD)

A Geração Distribuída é caracterizada pela ANEEL (2016) pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica. Esta forma descentralizada de geração, é capaz de propiciar ganhos

diversos ao sistema elétrico brasileiro, destacando a postergação de investimentos nos sistemas de distribuição e transmissão, redução dos impactos ambientais, além de possibilitar uma maior diversidade na matriz energética.

Em 2012, com a Resolução Normativa ANEEL nº482/2012, que estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e criou o sistema de compensação de energia elétrica, o consumidor brasileiro passou a poder gerar sua própria energia elétrica, sendo possível que se injetasse na rede da distribuidora a energia excedente gerada, utilizando-a como uma bateria (ANEEL, 2016).

Em 2015, a REN nº482/2012 foi aprimorada. Com o objetivo de reduzir os custos e o tempo para a conexão da micro e minigeração, compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento, aumentar o público alvo e melhorar as informações na fatura foi estabelecida a REN nº 687/2015.

A REN nº 687/2015, em seu artigo 1º altera a REN nº482/2012³ caracterizando como microgeração distribuída uma unidade de geração com potência instalada inferior ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto a minigeração distribuída refere-se a centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e inferior ou igual a 3 MW, quando fonte hídrica, ou 5 MW para demais fontes. Essas fontes devem ser necessariamente renováveis ou de alta eficiência energética, sendo hídrica, eólica, solar, biomassa ou cogeração qualificada.

2.4 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema de compensação, foi uma das importantes novidades da REN nº482/2012, despertando um maior interesse para que os proprietários investissem em sistemas distribuídos em seus imóveis e propriedades.

O sistema de compensação consiste na ideia que, o consumidor que possua uma micro ou minigeração conectado à rede de distribuição, injetando mais energia

³ Antes do aprimoramento, a REN nº482/2012 classificava como microgeração, sistemas com potência igual ou inferior a 100kW, e como minigeração sistemas com potência superior a 100kW e inferior a 1MW (ANEEL,2012).

do que consome, receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário (para consumidores com tarifa horária) ou na fatura dos meses subsequentes, sendo os créditos de energia gerados válidos por até 60 meses (ANEEL, 2016).

Há também a possibilidade de o consumidor utilizar o crédito gerado em outras unidades, previamente cadastradas, em outra unidade. Para isso é necessário desde que esta unidade esteja na mesma área de concessão que se caracterize como geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios) e também a autoconsumo remoto. O auto consumo remoto se refere a unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída (ANEEL, 2016).

É importante ressaltar que o consumidor, produtor de energia, ainda deverá custear a disponibilidade da rede a qual está conectado. Estando ele conectado em baixa tensão (grupo B), deverá ser feito o pagamento em reais equivalente à 30 kWh em caso de atendimento monofásico, 50 kWh para bifásico, e 100 kWh para sistemas trifásicos. Em caso de conectados em alta tensão (grupo A), caberá o custeio apenas referente à demanda contratada. No que tange a cobrança de impostos e tributos tanto federais, quanto estaduais, estas fogem da competência da ANEEL, cabendo a Receita Federal do Brasil e às Secretarias de Fazenda estaduais trata-las (ANEEL, 2016).

2.5 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEUS COMPONENTES

“Conversão da radiação da luz solar em energia elétrica”. Esse é conceito básico da geração de energia fotovoltaica. Essa conversão se dá por meio das chamadas células fotovoltaicas, que são construídas com materiais (semicondutores) capazes de transformar a radiação solar diretamente em energia elétrica, sendo o material mais usual o silício. Essa transformação se dá por meio do efeito fotovoltaico, fenômeno descoberto por Edmond Becquerel⁴ em 1839, que consiste na absorção da

⁴ Alexandre Edmond Bacquerel: Físico francês nascido em Paris em 1820, formado pela Escola Politécnica de Paris. Estudou vários campos da física incluindo o espectro do sol, o magnetismo, a eletricidade e a ótica.

energia dos fótons da luz solar, que é transferida para os elétrons, que então ganham a capacidade de se movimentar, esse movimento gera a corrente elétrica (LACROIX, 2013).

Os semicondutores mais utilizados para a fabricação das células fotovoltaicas são os de silício cristalino (c-Si) (Figura 2.5), que dominam o mercado mundial. HERING (2012) apresenta que desde o ano 2000 mais de 80% da produção mundial de células fotovoltaicas foi realizada utilizando o silício cristalino, chegando a alcançar a representatividade de 87,9% em 2011. Outras tecnologias utilizadas são o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), disseleneto de cobre índio e gálio (CiGS), além dos mais escassos e tóxicos filmes finos de telureto de cádmio (CdTe) (CRESESB, 2014).

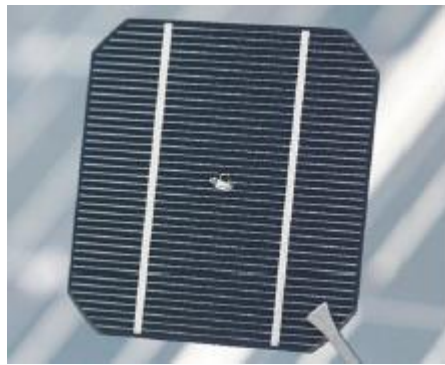


Figura 2 5 - Célula fotovoltaica de Silício cristalino.

Fonte: CRESESB (2014).

Devido à baixa tensão e corrente de saída das células fotovoltaicas de forma individual, elas devem ser agrupadas, podendo elas estarem dispostas de várias formas, seja como filmes flexíveis, incorporadas em vidros, ou da forma mais usual, em painéis ou módulos solares (Figura 2.6), de acordo com a necessidade de uso.

As células podem ser arranjadas de forma paralela ou em série. Se conectadas em paralelo, somam-se as correntes, e a tensão permanece a mesma da célula. Esta forma é pouco usual devido as características típicas de cada célula, sendo a corrente máxima de 3 Ampère (A) e tensão muito baixa 0,7 Volts (V). Quando conectadas em série, soma-se a tensão de cada célula, buscando alcançar a tensão usual de 12V o que facilita sua utilização (CRESESB, 2008).



Figura 2 6 – (a) Filme fotovoltaico Flexível; (b) Módulo Fotovoltaico;
Fonte: BlueSol (2019).

Um conjunto de células fotovoltaicas em série, constitui um dos principais componentes de um sistema fotovoltaico, o painel ou módulo solar. Como citado, este é o componente responsável pela conversão de energia solar em elétrica em corrente contínua. Conforme destaca SOWMY (2017), além dos módulos, os principais componentes do sistema, são:

Armazenadores ou baterias (Figura 2.7): têm o propósito de armazenar energia suficiente para atender à demanda da edificação por um período de tempo definido no projeto, durante o tempo em que a geração é insuficiente, ou nula (à noite ou em dias chuvosos ou nublados, com baixos níveis de irradiação). São aplicáveis principalmente em sistemas isolados da rede elétrica. Existem diversos tipos de baterias no mercado, sendo mais comuns as de chumbo-ácido devido custo inferior e maior maturidade, e as de níquel-cádmio por serem seladas e operarem em qualquer posição com alta densidade de energia.



Figura 2 7 - Baterias estacionárias para sistema solar.
Fonte: MEXCOM (2019).

Controladores de carga (Figura 2.8): utilizado para distribuir a energia gerada entre a carga conectada (demanda) e os armazenadores, além de proteger o conjunto de armazenamento contra cargas e descargas excessivas. Ele é responsável por controlar o fluxo de energia, se a geração estiver superior à demanda, parte dessa energia é direcionada para o carregamento do conjunto de baterias. Caso a demanda seja maior que a geração, ele disponibiliza a carga disponível no armazenamento. Os controladores de carga podem ser dos tipos PWM, mais utilizados devido principalmente a seu custo, ou MPPT, consideravelmente mais eficientes. A escolha entre eles deve ser feita mediante necessidade de projeto.



Figura 2 8 - Controladores de carga. (a) Viewstar PWM VS1024A 10A 12/24V; (b) Sun Yoba MPPT40 40A 12/24V; (c) Schneider XW-MPPT60/150 60A 12/60V; Fonte: NeoSolar (2019).

Inversores de frequência (Figura 2.9): É responsável por fazer a conversão da corrente contínua gerada pelos módulos, em corrente alternada, para que assim possa

atender a necessidade de determinados equipamentos. Em caso de sistemas conectados à rede, os inversores grid-tie são também responsáveis por sincronizar a fase do sistema fotovoltaico com a fase da rede de distribuição.

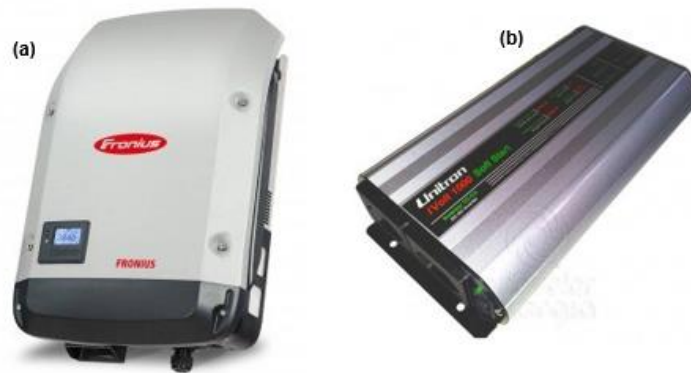


Figura 2 9 - Inversores de frequência. (a) Inversor Grid-tie Fronius Primo 3.0-1 3.000W; (b) Inversor Off-Grid Unitron iVolt - 1000W / 12Vcc / 115Vac / 60Hz; Fonte: NeoSolar (2019).

Condutores e quadros para conexão: são os elementos que compõem o circuito de conexão elétrica dos painéis e demais componentes de seccionamento e segurança da rede. Os condutores são parte importante do sistema, pois se mal dimensionados podem apresentar perdas acima do normal, devido efeito Joule.

Dispositivo de proteção contra surtos (DPS): Alguns sistemas podem estar expostos à incidência de descargas atmosféricas, sendo os DPS's necessários nos pontos tanto de corrente contínua, quanto de corrente alternada do sistema fotovoltaico, buscando atenuar os efeitos indiretos dessas descargas.

Medidores bidirecionais: São fundamentais nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Ao contrário do medidor convencional, conhecido também como relógio, o medidor bidirecional mede não só a energia consumida por uma instalação, mas também mede a quantidade de energia injetada na rede elétrica.

Alguns destes componentes são aplicáveis de acordo com a classificação do sistema fotovoltaico, sendo eles, classificáveis em três tipos: Sistemas on-grid (sistemas conectados), sistemas off-grid (sistemas isolados), e sistemas fotovoltaicos híbridos.

2.6 SISTEMAS OFF-GRID (SISTEMAS ISOLADOS)

Os sistemas isolados ou autônomos (Figura 2.10) para geração de energia solar fotovoltaica são caracterizados por não se conectar à rede elétrica. O sistema abastece diretamente os aparelhos que utilizarão a energia e são geralmente construídos com um propósito local e específico. Esta solução é bastante utilizada em locais remotos já que muitas vezes é o modo mais econômico e prático de se obter energia elétrica nestes lugares (NEOSOLAR,2016).

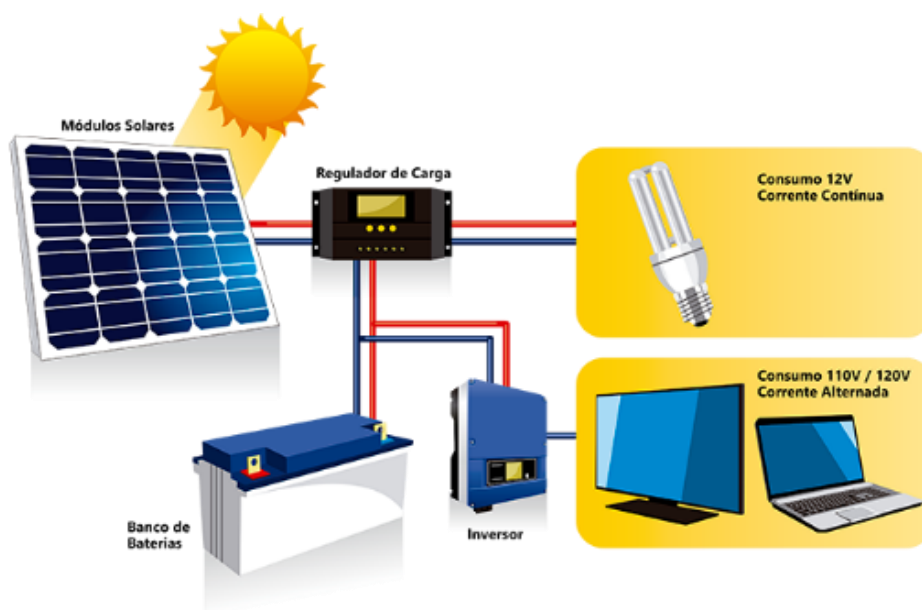


Figura 2 10 - Sistema Fotovoltaico isolado (autônomo).

Fonte: Polos Energia (2019).

Há situações em que os sistemas fotovoltaicos isolados não utilizam conjuntos de baterias, como na utilização de sistemas de bombeamento de água (Figura 2.11), mas em geral, esses sistemas necessitam de alguma forma de armazenamento. A energia produzida pelos módulos fotovoltaicos pode ser armazenada em conjuntos de baterias de forma a garantir a sua utilização no período em que não há geração, como o período noturno. Os sistemas isolados contam ainda com o controlador de carga podendo atender diretamente aparelhos conectados em corrente contínua, e conectado a um inversor de frequência de forma a atender a demanda de aparelhos que utilizam corrente alternada, além de controlar a carga de forma a abastecer e proteger o conjunto de baterias de cargas e descargas excessivas (CRESESB, 2014).

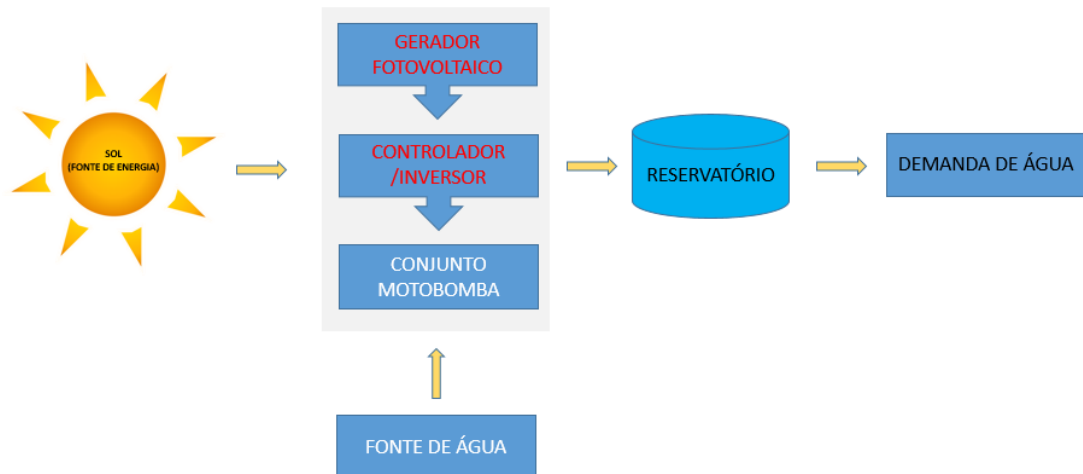


Figura 2 11 - Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água.

Fonte: Modificado de (FRAINDENRAICH, 2002)

Os sistemas isolados podem ser aplicados pelas concessionárias buscando atender a eletrificação rural de domicílios, para esses casos a resolução normativa 493/2012 exige que o sistema disponibilize a energia em corrente alternada, na tensão nominal de 127 ou 220 volts, de acordo com o nível de tensão predominante na região, oferecendo maior possibilidade de utilização de aparelhos eletrodomésticos comercialmente disponíveis (CRESESB, 2014).

2.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID (SISTEMAS CONECTADOS)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) dispensam a utilização de conjuntos de baterias ou armazenadores. A energia produzida por eles pode ser consumida diretamente pela carga ou injetada na rede elétrica convencional. Os SFCR's são basicamente de tipo único e os seus geradores representam uma fonte complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado (CRESESB, 2014).

Um sistema solar conectado à rede (Figura 2.12) é composto, basicamente, pelos módulos fotovoltaicos e pelos inversores interativos, conhecidos internacionalmente como grid-tied inverter. Além destes componentes principais, existem os componentes de integração do sistema (chamados internacionalmente de Balance of System – BOS), que são as estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos e os componentes elétricos de proteção (SOUZA, 2017).

O seu funcionamento se baseia em o inversor grid-tied recebe a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos, em corrente contínua, e a transforma em energia elétrica de corrente alternada, com forma de onda igual à energia elétrica fornecida pela distribuidora local, fazendo com que essa energia possa ser utilizada por qualquer equipamento elétrico que esteja ligado à rede. Este sistema, trabalha em paralelo com a rede da distribuidora, e a utiliza como uma grande bateria. Isso é possível graças ao sistema de compensação citado anteriormente. Durante o dia o sistema injeta na rede a energia que poderá ser utilizada durante noite ou em dias de pouca geração (SOUZA, 2017).

Este é tipo de sistema foco do trabalho e o qual deve ser aplicado no estudo de caso.

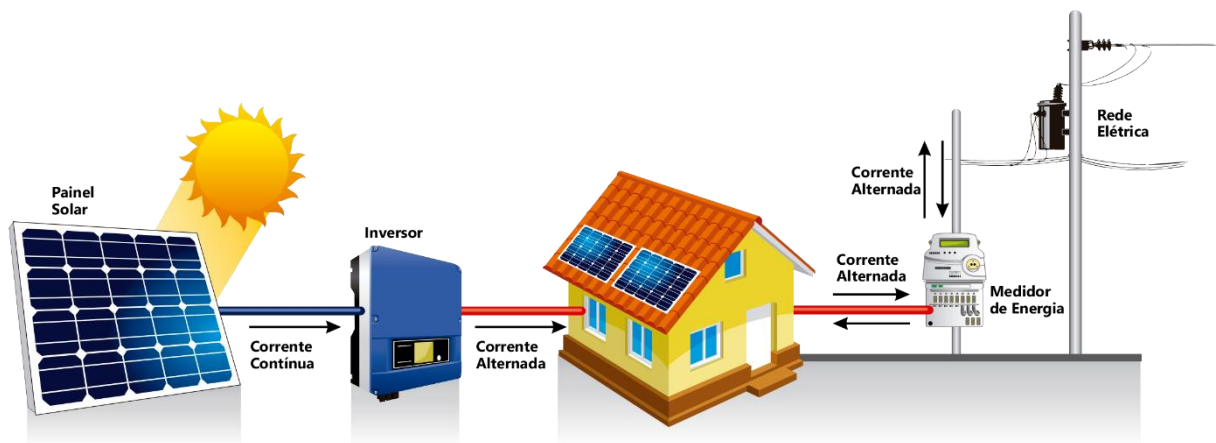


Figura 2 12 - Sistema fotovoltaico on-Grid (conectado).

Fonte: Polos Energia (2019).

2.8 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HÍBRIDOS

Os sistemas fotovoltaicos híbridos mesclam os sistemas isolados, devido utilização de conjuntos de baterias e os sistemas on-grid, por também estarem conectados à rede de distribuição. Este tipo de sistema é utilizado de forma que garanta o fornecimento, mesmo em caso de queda de energia ou manutenção da rede elétrica. Ele possui inversores híbridos, que funcionam tanto como on-grid (inversores grid-tie), quanto off-grid (inversores autônomos), e que alteram o seu funcionamento automaticamente em caso de queda de energia (SOUZA, 2017).

Apesar das vantagens, estes sistemas apresentam dificuldades. Um dos pontos refere-se à separação necessária de equipamentos elétricos que necessitem continuar alimentados em caso de queda no fornecimento de energia pela rede elétrica, as cargas críticas, como iluminação, segurança, comunicação e eletrodomésticos essenciais. Outro ponto é o custo. Os inversores híbridos são significativamente mais caros que os inversores grid-tie, além do conjunto de baterias que também possuem alto custo (SOUZA, 2017).

3. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Toda instalação para uso de energia solar fotovoltaica passa pela avaliação da demanda de energia elétrica a ser atendida, segundo um perfil de consumo, por um sistema de conversão solar. Para instalação desse sistema de conversão deve-se escolher um sítio da superfície terrestre sujeito a uma irradiância solar que disponibilize uma quantidade de energia suficiente dentro de um espaço de tempo (PACHECO, 2017).

Além das condições de localização geográfica, latitude e longitude, a análise da viabilidade técnica de um projeto de sistema fotovoltaico conectado à rede, bem como o seu dimensionamento, deve observar questões estruturais do espaço disponível para alocar os módulos fotovoltaicos. Além disso, aspectos como a orientação, sustentação e o seu ângulo em caso de telhados devem ser considerados. Vale ainda se atentar às informações técnicas dos painéis e demais componentes do sistema bem como a temperatura local, além da disponibilidade financeira para investimento no projeto.

De forma a atender os objetivos, o projeto de um sistema fotovoltaico pode ser dividido nas seguintes tarefas:

- (i) Estimativa inicial da potência instalada baseada na área disponível e no financiamento;
- (ii) Seleção do módulo fotovoltaico;
- (iii) Seleção do inversor compatível ou de uma configuração de inversores compatível com o módulo fotovoltaico;
- (iv) Estabelecimento da configuração ótima módulo-inversor;
- (v) Listagem dos componentes;
- (vi) Estimativa da energia produzida baseada nos dados da radiação solar do local; e
- (vii) Consideração de aspectos adicionais tais como proteções contra sobrecarga.

O valor a ser investido no projeto, bem como a área disponível para a realização do mesmo, são fatores cruciais e limitadores da potência instalada, sendo que a seleção de materiais e componentes a serem utilizados deve ser feita apenas após sua definição.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE UM AVIÁRIO

No desenvolvimento de um projeto, deve-se observar o perfil da unidade consumidora, sendo nesse trabalho um aviário. Grande parte da produção de frango de corte do Brasil funciona no modelo de parceria entre pequenos produtores e grandes empresas do setor.

O sistema de produção de forma integrada funciona como um modelo de parceria de forma que cada um dos participantes entre com o que são mais qualificados, as grandes empresas entregam os pintinhos, fornecem a ração para alimentá-los, medicamentos e acompanhamento veterinário, e assistência técnica, enquanto os produtores ficam encarregados de criar os animais em local adequado, coberto com temperatura controlada, com mão-de-obra, e os equipamentos avícolas necessários. No final do processo, todos os resíduos deixados pelos frangos ficam em posse dos produtores, que podem transformar o material em adubo e reinvestir em outras culturas, representando receita extra para a propriedade (Portal Avicultura Industrial, 2016).

Esse sistema de produção contribuiu para o desenvolvimento da avicultura no Brasil, sendo mais intensivo, tornando a atividade mais organizada e eficiente, estabelecendo novos padrões de manejo e de “boas práticas” de fabricação. Esse conjunto assistencial proporcionou também à produção avícola uma maior biossegurança, sanidade, qualidade dos animais e da carne de frango, que ajudaram a conquistar o mercado (CEPEA, 2015).

O produtor deve se preocupar com alguns quesitos no momento da construção e ao selecionar os equipamentos adequados à produção de frango corte. O manual de manejo de frangos de corte, produzido pela empresa Cobb-Vantress, referência para muitos produtores, apresenta vários desses pontos a serem avaliados.

O aviário deverá ser isolado de outras criações. O local de instalação deve ser seco, possuir boa drenagem hídrica, arejado e protegido de ventos fortes. A temperatura do aviário é fator determinante na alimentação da criação, e consequentemente na maior taxa de crescimento, portanto alguns cuidados podem tornar a tarefa de controlar a temperatura mais fácil. No momento da construção do galpão, o mesmo deve estar orientado no eixo Leste-Oeste a fim de reduzir a intensidade da incidência de luz direta nas paredes laterais durante a parte mais

quente do dia, buscando também reduzir ao mínimo a flutuação de temperatura durante as 24 horas do dia, principalmente durante a noite. O telhado deverá ter cobertura refletiva, para ajudar a reduzir a condução de calor solar, além de conter material isolante.

Quanto aos equipamentos, o sistema de aquecimento deve possuir alta capacidade, de acordo com o clima local. O sistema de ventilação deverá ser projetado para fornecer grande volume de oxigênio e manter condições ótimas de temperatura para as aves, contando com exaustores evitando a concentração de amônia. A iluminação deverá promover uma distribuição de luz uniforme no nível do piso. O aviário deve contar também com um sistema de nebulização controlado por temperatura e umidade, fatores ligados a alta taxa de mortalidade. Os aviários atuais contam com sistemas de abastecimento de ração (comedouros) e água (bebedouros) automáticos, de forma a garantir que estejam sempre disponíveis para a criação.

As temperaturas devem estar de acordo com o tempo de vida, e consequentemente com o tamanho das aves, sendo: 32°C no primeiro dia, 30°C do segundo ao sétimo, 29°C na segunda semana, 27°C na terceira e 24°C na quarta.

Todos esses cuidados e equipamentos, podem gerar um alto custo devido o consumo de energia. São equipamentos elétricos que devem sempre estar à disposição para pleno funcionamento. Grande parte desses dispositivos, como ventiladores, exaustores, sistema de abastecimento de ração e de água, são acionados por motores elétricos, além da utilização de bombas para a nebulização e do sistema de iluminação. Esse perfil de consumo, faz com que se torne necessário que os produtores busquem alternativas energéticas que reduzam o seu custo, tornando seus negócios mais rentáveis.

3.2 INCENTIVOS E PROGRAMAS DE FINANCIAMENTO

No Brasil, ainda são poucos e recentes os incentivos existentes para a geração distribuída solar fotovoltaica. Em estudos realizados, o Greenpeace (2016), estima que 20% do custo de um sistema solar fotovoltaico refere-se à tributos que o governo poderia reduzir, sendo que a isenção de alguns impostos de componentes poderia gerar cerca de 700 mil vagas de emprego direto e indireto em 15 anos no nosso país.

Uma política nacional que deixasse cobrar o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) na energia injetada na rede contribuiria para a redução de 118,8 milhões de toneladas de gases do efeito estufa. Indo além, a ideia de utilizarmos o FGTS para a aquisição de sistemas solares fotovoltaicos e a redução ou mesmo isenção de IPTU para residências que geram sua própria energia elétrica são situações que cabem a avaliação.

Esses incentivos governamentais são fatores que podem alavancar a utilização e o investimento na geração distribuída solar fotovoltaica.

Marcos já citados neste trabalho, a REN nº 482/2012, que permitiu que o consumidor brasileiro pudesse começar a gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis, compensando tal produção em troca de créditos em sua conta de luz, que passando a reduzi-la, e o seu aprimoramento, três anos mais tarde, por meio da REN nº 687/2015, que além de reduzir a burocracia para conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede de das distribuidoras, além de ratificar o auto consumo remoto e a geração compartilhada, podem ser consideradas os grandes incentivos à instalação de sistemas solares fotovoltaicos (Blog Engie Solar, 2018).

O Convênio 101 de 1997 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), modificado em 2014, permite que os estados isentem de ICMS equipamentos voltados para a geração distribuída eólica e fotovoltaica, foi um dos primeiros incentivos concedidos pelo governo. Ainda deficitária, visto que abrange, para sistemas solar fotovoltaicos, apenas os módulos fotovoltaicos (Blog Engie Solar, 2018).

O Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015, este convenio passa a permitir que os estados isentem a cobrança de ICMS sobre a energia elétrica injetada. Anteriormente, o ICMS incidia sobre o consumo bruto de energia, o que fazia com que as unidades de microgeração fossem cobradas pela energia gerada por elas mesmas. Segundo informações divulgadas pelo portal Brasil Energia, 2017, Minas Gerais, foi além e isentou também e projetos de geração distribuída que integrem ou se caracterizem como empreendimento de múltiplas unidades consumidoras ou geração compartilhada e/ou possuam capacidade instalada de até 5 MW, se tornado líder nacional em geração distribuída solar fotovoltaica, com mais de 20% da potência instalada em todo o território.

Sendo a disponibilidade monetária um forte limitador à instalação de sistemas solar fotovoltaico, além de incentivos, os que desejam gerar sua própria energia, buscam por alternativas financeiras que caibam em se planejamento financeiro. Uma parceria entre a ABSOLAR e a CELA (ABSOLAR & CELA, 2019), apresentou que no Brasil, existem cerca de 70 linhas de financiamento para projetos de geração distribuída fotovoltaica. São variadas instituições financeiras possuindo linhas específicas para esse setor:

A partir bancos públicos, temos opções como:

- (I) *Banco da Amazônia (BASA)*: Linha de financiamento FNO - Energia Verde, voltada para o setor rural, atendendo pessoas físicas e jurídicas, com até 12 anos para pagamento;
- (II) *Banco do Brasil (BB)*: Possui diversas linhas para pessoas jurídicas. Para o atendimento de pessoas físicas, possui a linha PRONAMP, voltada para produtores rurais, com prazo de amortização de até oito anos, além de oferecer até três anos de carência, à uma taxa de juros de 6,6% ao ano, e;
- (III) *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)*: O BNDES é a instituição que possui as mais variadas linhas de crédito e apoio para quem tenha interesse em financiar um sistema solar fotovoltaico. São linha para pessoas físicas e jurídicas, nas mais variadas condições. Dentre as linhas existentes, as linhas do PRONAF são bem interessantes, dando destaque a *PRONAF ECO*, uma linha voltada para agricultores e produtores rurais familiares, pessoas físicas, que apresentem proposta ou projeto para implantar tecnologias de energia renovável, como o uso da energia solar, da biomassa, eólica, mini usinas de biocombustíveis e a substituição de tecnologia de combustível fóssil por renovável nos equipamentos. O produtor que financiar seu projeto com o PRONAF ECO, terá até dez anos para amortizar a dívida, e até três anos de carência. Essa linha financia até 100% do valor do projeto, com o valor máximo de R\$ 165.000,00, à uma taxa de 2,5% ao ano;

Os bancos privados, também possuem linhas que possam despertar o interesse de quem deseja financiar um sistema solar fotovoltaica:

- (I) Bradesco: os correntistas possuem à sua disposição uma linha de financiamento, a CDC Fotovoltaica, que oferece o financiamento de 100% do projeto à uma taxa a partir de 0,99% ao mês, com prazo de cinco anos para pagamento, e três meses de carência;
- (II) Santander: Possui linhas muito parecidas com as ofertadas pelo Bradesco, taxas mensais a partir de 0,99%, com amortização de 60 meses, e;
- (III) BV Financeira: sua linha atende à pessoas físicas e jurídicas. O CDC Solar, possui um prazo de amortização de até 60 meses, à taxas prefixadas de 1,48% ao mês, podendo variar conforme mercado, financiando até 100% do projeto, até R\$ 200.000,00.

3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

Os projetos de sistemas solar fotovoltaico, além da necessária análise de viabilidade técnica, deve também passar por uma análise de viabilidade econômica, de forma a garantir que os recursos financeiros a serem investidos estejam sendo utilizados de forma rentável, e se terão o retorno esperado. As técnicas de análise de investimentos facilitam muito essa verificação, dando mais segurança ao investidor na tomada de decisão. PARENTE, (2017) apresenta as técnicas mais comumente utilizadas na avaliação de proposta de investimento de capital:

- a) *Payback Simples*: O *payback* é o prazo de retorno de um investimento em um projeto. O método do *payback* simples avalia o tempo necessário para que o fluxo de caixa esperado - tomados por seus valores nominais, sem que sejam trazidos à valor presente - pague o que foi investido. Se os fluxos de caixa forem iguais, basta utilizar a seguinte Equação:

$$payback = \frac{Investimento\ Inicial}{Fluxo\ de\ caixa}$$

Caso os fluxos de caixa sejam diferentes, realiza-se de forma a subtrair do Investimento inicial o fluxo de caixa ao longo dos anos, até que o “saldo” seja zerado.

- b) *Valor Presente Líquido (VPL)*: É considerada uma técnica sofisticada de análise de investimento, sendo também a mais utilizada para avaliação de projetos. Ela consiste na concentração de todos os valores esperados de fluxo de caixa na data zero, sendo descontada pelo custo de oportunidade de quem tenha despendido recursos no projeto. Essa taxa refere-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Se o VPL for maior ou igual a zero, o projeto apresenta-se como rentável, sendo que o investimento inicial foi recuperado e houve uma remuneração equivalente ao que seria obtido, em caso de investimento à uma TMA. O VPL pode ser calculado com a seguinte equação:

$$VPL = -FC_0 + \sum_{K=1}^N \frac{FC_K}{(1+i)^K}$$

onde: FC_0 – Investimento Inicial; FC_K – Fluxo de caixa referente a cada período k ; i – taxa mínima de atratividade do projeto (TMA); $k(1;n)$ – períodos de planejamento.

- c) *Taxa Interna de Retorno (TIR)*: A TIR é definida como uma taxa a qual o investimento é recuperado, por meio dos rendimentos obtidos de um projeto. Ela é a taxa que faz com o VPL seja igual a zero. Para tomada de decisão, a TIR é comparada com a TMA, sendo a TIR superior à TMA, aceita-se o projeto, se menor rejeita-se. A TIR pode ser obtida com a seguinte equação:

$$0 = -FC_0 + \sum_{K=1}^N \frac{FC_K}{(1+TIR)^K}$$

onde: FC_0 – Investimento Inicial; FC_K – Fluxo de caixa referente a cada período k ; TIR – Taxa de desconto da solução; $k(1;N)$ – períodos de planejamento.

- d) *Payback descontado*: Consiste em um *payback* mais sofisticado, onde considera-se o conceito de valor no tempo. Os fluxos são trazidos a valor presente antes de serem descontados.

$$VP = \frac{VF_K}{(1+TIR)^K}$$

onde: VP – Valor presente; VF_k – Fluxo de caixa referente a cada período k ; TIR – Taxa de desconto da solução; $k(1;N)$ – períodos de planejamento.

3.4 LEVANTAMENTO DA IRRADIAÇÃO SOLAR DO LOCAL E SELEÇÃO DE COMPONENTES

A avaliação do potencial de uma localidade solar passa por diversos fatores. PACHECO (2017), disponibiliza um conjunto de expressões de modo a se obter as informações necessárias a respeito de um local, e parâmetros de seleção dos componentes para o projeto.

- *Dia do ano*: Para se obter a posição da Terra na órbita em determinado dia do ano;

$$n = Dia + (Mês - 1) * 30 + Cor \quad (3.1)$$

$$Cor = Int\left(\frac{Mês}{2}\right), se\ Mês \leq 2;$$

$$Cor = Int\left(\frac{Mês}{2}\right) - 2, se\ 2 < Mês \leq 8;$$

$$Cor = Int\left(\frac{Mês}{2} + \frac{1}{2}\right) - 2, se\ Mês > 8;$$

onde, Dia – refere-se ao dia do mês; Mês – refere-se ao número do mês; Int – refere-se ao menor inteiro;

- *Declinação Solar (δ)*: é o ângulo formado entre o equador terrestre e a linha imaginária que contém o plano do sol;

$$\delta = 23,45 * sen\left(\frac{360}{365} * (284 + n)\right) \quad (3.2)$$

onde, n é o dia do ano;

- *Ângulo Horário (ω)*:

$$\omega = (HS - 12) * 15, \quad (3.3)$$

$$HS = HL + CorHora,$$

$$CorHora = (4 * (L0 - L) + E,$$

$$E = 9,78 * \text{sen}(2B) - 7,53 * \cos(B) - 1,5 * \text{sen}(B),$$

$$B = \left(\frac{360}{364}\right) * (n - 81)$$

onde, HL – refere-se a Hora Legal; $L0$ – refere-se a Longitude da Hora Legal; L – refere-se a Longitude do local; n – refere-se ao dia do ano;

- *Ângulo horário do pôr do Sol (ω_s):*

$$\omega_s = -\tan \phi * \tan \delta \quad (3.4)$$

onde, ϕ – refere-se a Latitude local;

- *Duração da Insolação (N):*

$$N = \left(\frac{2}{15}\right) * \omega_s \quad (3.5)$$

- *Ângulo Zenital (ω):*

$$\cos \theta_z = \text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(\omega), \text{ para } 0^\circ \leq \theta_z \leq 90^\circ \quad (3.6)$$

- *Ângulo do Azimute Solar (γ_s):*

$$\gamma_s = |\arccos\left(\frac{\cos(\theta_z) * \text{sen}(\phi) - \text{sen}(\delta)}{\text{sen} * \cos(\phi)}\right)|, -180^\circ \leq \gamma_s \leq 180^\circ \quad (3.7)$$

usar o sinal de ω para o ângulo do azimute solar;

- *Ângulo de Incidência Solar (θ):*

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi) * \cos(\beta) - \text{sen}(\delta) * \cos(\phi) * \text{sen}(\beta) \\ & * \cos(\gamma) + \cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(\beta) * \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) * \text{sen}(\phi) * \text{sen}(\beta) * \cos(\gamma) \\ & * \cos(\omega) + \cos(\delta) * \text{sen}(\beta) * \text{sen}(\gamma) * \text{sen}(\omega) \end{aligned} \quad (3.8)$$

onde, β – refere-se a inclinação da superfície;

- *Índice de claridade* (K_T):

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (3.9)$$

onde, H – refere-se Irradiação integrada diária sobre a superfície horizontal; H_0 – refere-se a Irradiação extraterrestre sobre a superfície horizontal, os valores podem ser interpolados da Tabela 3.1

Tabela 3 1 - Radiação Extraterrestre indicando a Média Mensal Diária (MJ/m²)

ϕ	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
90	0.0	0.0	1.2	19.3	37.2	44.8	41.2	26.5	5.4	0.0	0.0	0.0
85	0.0	0.0	2.2	19.2	37.0	44.7	41.0	26.4	6.4	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	4.7	19.6	36.6	44.2	40.5	26.1	9.0	0.6	0.0	0.0
75	0.0	0.7	7.8	21.0	35.9	43.3	39.8	26.3	11.9	2.2	0.0	0.0
70	0.1	2.7	10.9	23.1	35.3	42.1	38.7	27.5	14.8	4.9	0.3	0.0
65	1.2	5.4	13.9	25.4	35.7	41.0	38.3	29.2	17.7	7.8	2.0	0.4
60	3.5	8.3	16.9	27.6	36.6	41.0	38.8	30.9	20.5	10.8	4.5	2.3
55	6.2	11.3	19.8	29.6	37.6	41.3	39.4	32.6	23.1	13.8	7.3	4.8
50	9.1	14.4	22.5	31.5	38.5	41.5	40.0	34.1	25.5	16.7	10.3	7.7
45	12.2	17.4	25.1	33.2	39.2	41.7	40.4	35.3	27.8	19.6	13.3	10.7
40	15.3	20.3	27.4	34.6	39.7	41.7	40.6	36.4	29.8	22.4	16.4	13.7
35	18.3	23.1	29.6	35.8	40.0	41.5	40.6	37.3	31.7	25.0	19.3	16.8
30	21.3	25.7	31.5	36.8	40.0	41.1	40.4	37.8	33.2	27.4	22.2	19.9
25	24.2	28.2	33.2	37.5	39.8	40.4	40.0	38.2	34.6	29.6	25.0	22.9
20	27.0	30.5	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.2	35.6	31.6	27.7	25.8
15	29.6	32.6	35.9	38.0	38.5	38.4	38.3	38.0	36.4	33.4	30.1	28.5
10	32.0	34.4	36.8	37.9	37.5	37.0	37.1	37.5	37.0	35.0	32.4	31.1
5	34.2	36.0	37.5	37.4	36.3	35.3	35.6	36.7	37.2	36.3	34.5	33.5
0	36.2	37.4	37.8	36.7	34.8	33.5	34.0	35.7	37.2	37.3	36.3	35.7
-5	38.0	38.5	37.9	35.8	33.0	31.4	32.1	34.4	36.9	38.0	37.9	37.6
-10	39.5	39.3	37.7	34.5	31.1	29.2	29.9	32.9	36.3	38.5	39.3	39.4
-15	40.8	39.8	37.2	33.0	28.9	26.8	27.6	31.1	35.4	38.7	40.4	40.9
-20	41.8	40.0	36.4	31.3	26.6	24.2	25.2	29.1	34.3	38.6	41.2	42.1
-25	42.5	40.0	35.4	29.3	24.1	21.5	22.6	27.0	32.9	38.2	41.7	43.1
-30	43.0	39.7	34.0	27.2	21.4	18.7	19.9	24.6	31.2	37.6	42.0	43.8
-35	43.2	39.1	32.5	24.8	18.6	15.8	17.0	22.1	29.3	36.6	42.0	44.2
-40	43.1	38.2	30.6	22.3	15.8	12.9	14.2	19.4	27.2	35.5	41.7	44.5
-45	42.8	37.1	28.6	19.6	12.9	10.0	11.3	16.6	24.9	34.0	41.2	44.5
-50	42.3	35.7	26.3	16.8	10.0	7.2	8.4	13.8	22.4	32.4	40.5	44.3
-55	41.7	34.1	23.9	13.9	7.2	4.5	5.7	10.9	19.8	30.5	39.6	44.0
-60	41.0	32.4	21.2	10.9	4.5	2.2	3.1	8.0	17.0	28.4	38.7	43.7
-65	40.5	30.6	18.5	7.9	2.1	0.3	1.0	5.2	14.1	26.2	37.8	43.7
-70	40.8	28.8	15.6	5.0	0.4	0.0	0.0	2.6	11.1	24.0	37.4	44.9
-75	41.9	27.6	12.6	2.4	0.0	0.0	0.0	0.8	8.0	21.9	38.1	46.2
-80	42.7	27.4	9.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	20.6	38.8	47.1
-85	43.2	27.7	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	20.3	39.3	47.6
-90	43.3	27.8	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	20.4	39.4	47.8

Fonte: DUFFIE & BECKMAN (2013).

- *Ângulo horário do pôr do sol para superfície inclinada, no dia médio do mês (ω'_s):*

$$\omega'_s = \text{menor valor}([\cos(-\tan\phi * \tan\delta)]; [\cos(-\tan(\phi + \beta) * \tan\delta)]) \quad (3.10)$$

onde β – refere-se a inclinação da superfície;

- *Dia Médio:*

Tabela 3 2 - Dia médio do mês.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
DIA MÉDIO	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10

Fonte: PACHECO,2017.

- *Índice de radiação direta (R_b):*

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega'_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega'_s * \text{sen}(\phi + \beta) * \text{sen}(\delta)}{\cos(\phi) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega_s * \text{sen}(\phi) * \text{sen}(\delta)} \quad (3.11)$$

se aplica para superfícies do hemisfério S voltadas para o N, $\gamma=180^\circ$;

- *Razão entre a Radiação difusa (H_d) e Radiação diária média mensal sobre uma superfície horizontal (H):*

$$\frac{H_d}{H} = 0,775 + 0,00653(\omega_s - 90) - [0,505 + 0,00455(\omega_s - 90)] * \cos(115K_T - 103) \quad (3.12)$$

- *Radiação diária média mensal sobre uma superfície inclinada fixa (H_T):*

$$H_T = R * H, \quad (3.13)$$

$$R = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) * R_b + \frac{H_d}{H} \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right)$$

onde, ρ – refere-se a Refletividade do solo;

- *Horas de sol pleno (HSP):*

$$HSP = \frac{H_T}{1 \frac{kW}{m^2}} \quad (3.14)$$

- *Estimativa da temperatura de operação da célula do painel fotovoltaico (T_c):*

$$T_c = T_a + \frac{G_T}{800} (T_{NOC} - 20) * 0,9 \quad (3.15)$$

onde, T_a – refere-se Temperatura ambiente média anual máxima;

T_{NOC} - refere-se a Temperatura nominal de operação da célula; G_T - refere-se a Radiação solar média no plano da célula;

- *Estimativa da Potência de Pico do Painel Fotovoltaico (P_{MP}):*

$$P_{MP} = P_{MP}^0 * \frac{G_T}{G_{ref}} [1 + \gamma_{mp}(T_c - T_{cref})] \quad (3.16)$$

onde, G_{ref} – refere-se a radiação solar nas condições STC; P_{MP}^0 - refere-se a potência nominal do painel fotovoltaico; γ_{mp} – refere-se ao coeficiente de temperatura para potência máxima; T_{cref} – Temperatura da célula nas condições STC; Nas condições STC, $G_{ref}=1000 \text{ W/m}^2$ e $T_{cref}=25 \text{ }^\circ\text{C}$;

- *Tensão da célula (V_{oc}):*

$$V_{oc} = V_{oc}^0 * [1 + \gamma_{oc}(T_c - T_{cref})] \quad (3.17)$$

onde, V_{oc}^0 – refere-se a tensão em circuito aberto nas condições STC; γ_{oc} – refere-se ao coeficiente de temperatura da tensão;

- *Corrente de curto circuito da célula (I_{sc}):*

$$I_{sc} = I_{sc}^0 * [1 + \gamma_{sc}(T_c - T_{cref})] \quad (3.18)$$

onde, I_{sc}^0 – refere-se a corrente de curto circuito nas condições STC; I_{sc} – refere-se ao coeficiente de temperatura da corrente;

- *Estimativa do número de painéis fotovoltaico pelo modelo HSP (NP):*

$$NP = \frac{E_{GFV}}{\eta_{SPMP} * P_{MP} * HSP * TD} \quad (3.19)$$

onde, TD – refere-se a taxa de desempenho do gerador; η_{SPMP} – refere-se a eficiência do seguidor no ponto de máxima potência;

4. ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso será utilizado um aviário localizado na Zona da Mata mineira. Mais precisamente o projeto localiza-se na região rural da cidade de Canaã, na Latitude 20.689821° Sul, e Longitude 42.577989° Oeste, a uma altitude de 778 metros. Já a temperatura média situa-se em 20.0°C como pode ser visto na Tabela 4.1.

Tabela 4 1 - Dados climatológicos de Canaã - MG.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	ANO
Temperatura média °C	22,8	22,8	21,6	19,7	17,8	16,7	16,9	18,1	19,5	20,8	21,5	21,2	20,0
Temperatura mínima °C	17,1	16,7	15,7	13,6	11	9,4	9,7	11,1	13,4	15,2	16,2	15,7	13,7
Temperatura máxima °C	28,6	29	27,6	25,9	24,7	24,1	24,1	25,2	25,7	26,5	26,9	26,7	26,3
Chuva (mm)	216	145	130	62	37	18	25	22	50	118	204	237	238

Fonte: Elaborada pelo próprio autor modificada de climate-data.org.

A instalação deve ocorrer em um curral, com a face direcionada para o Norte, sendo os painéis instalados diretamente para o norte, conforme ilustrado na área destacada na Figura 4.1.



Figura 4 1 - Local de instalação dos painéis fotovoltaicos.

Fonte: Elaboração própria a partir do Google Maps.

Em suas instalações, o aviário conta com:

- (I) 4 motores de 1 kW, utilizados nas linhas de alimentação, que são controlados automaticamente;
- (II) 26 ventiladores de 1kW distribuídos em três grupos de oito, e mais 1 grupo com dois. Responsáveis pela ventilação do aviário, são acionados automaticamente de acordo com a temperatura e programação de tempo, que são definidos pela integradora em função do clima;
- (III) 1 motor de 1,5 kW e 1 motor de 2.2 kW utilizados no sistema de aquecimento, com a função de dissipar o calor ao longo do aviário. O sistema de aquecimento é realizado através de caldeira a lenha;
- (IV) 1 bomba de 1,5 kW utilizada no sistema de nebulização, e;
- (V) 1 conjunto de 45 lâmpadas de 15 W utilizadas para iluminação do ambiente.

Todos esses elementos funcionam de forma alternada durante dia e noite, gerando um consumo anual de 32.378 kWh, uma média mensal de 2.689 kWh (Figura 4.2).

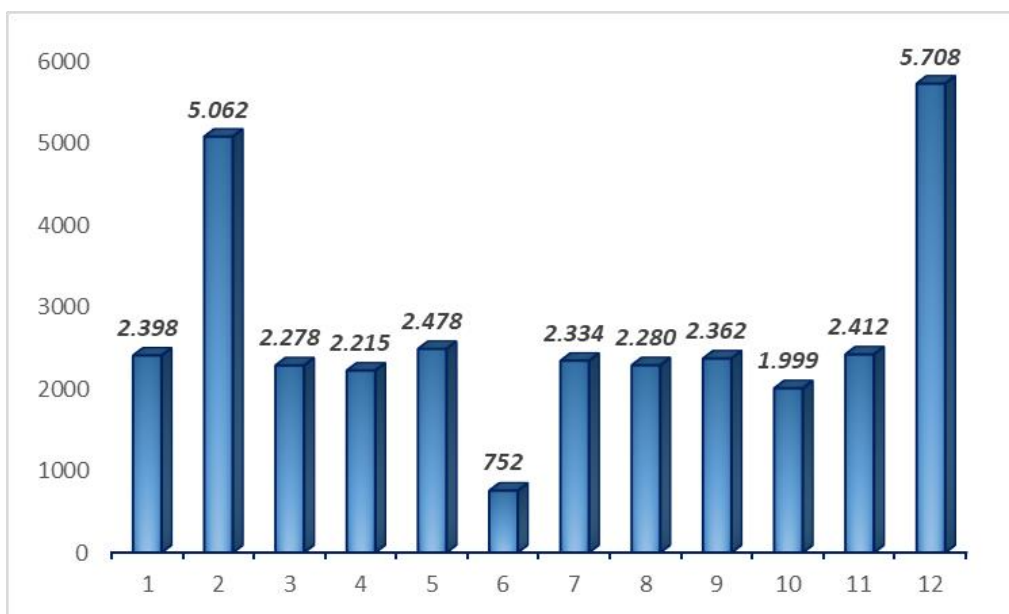


Figura 4 2 - Histórico de consumo do aviário nos últimos 12 meses.

Percebemos um pico de consumo nos meses 2 e 12, que se referem a fase adulta dos frangos, quando as temperaturas no interior do aviário devem ser mantidas mais baixas, em conjunto com o verão. É importante observar o consumo anual, visto que o ciclo de cria duram dois meses, sendo 45 dias com as aves e 15 sem funcionamento do aviário.

O aviário, está conectado à rede bifásica, na classe rural, Tarifa B2 da Energisa:

- Tarifa B2, Rural: 0,39562 (R\$/kWh), sem tributos, sendo:
 - Alíquota ICMS: 18%, PIS: 1,0763% e COFINS:4,9576%, fazendo com que o custo do kWh chegue à 0,510040 R\$/kWh.

Ao aplicarmos apenas esse valor, sem a incidência de bandeiras tarifárias ou variáveis devido subsídios, à última média anual, temos (Tabela 4.2):

Tabela 4 2 - Consumo de energia elétrica do aviário.

MÊS	CONSUMO (kWh)	CONSUMO (R\$)
JAN	2.398	1.223,08
FEV	5.062	2.581,82
MAR	2.278	1.161,87
ABR	2.215	1.129,74
MAI	2.478	1.263,88
JUN	752	383,75
JUL	2.334	1.190,43
AGO	2.280	1.162,89
SET	2.362	1.204,71
OUT	1.999	1.019,57
NOV	2.412	1.230,22
DEZ	5.708	2.911,31
TOTAL	32.278	16.463,28

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Devemos considerar que de acordo com as regras do sistema de compensação, os consumidores da classe rural (GRUPO B) deverão arcar minimamente com o custo de disponibilidade. Sendo a unidade do estudo de caso conectada à rede bifásica, faz-se necessário o pagamento em valor monetário equivalente a 50 kWh.

4.1 LEVANTAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR LOCAL

Para o cálculo da radiação solar, foram levantados inicialmente, através do CRESESB as informações referentes a irradiação solar (Tabela 4.3):

Tabela 4 3 - Irradiação solar diária média mensal.

		Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
INCLINAÇÃO		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Plano Horizontal	0° N	5,74	6,06	5,08	4,49	3,87	3,67	3,84	4,66	4,98	5,22	4,95	5,63	4,85	2,39
Ângulo igual a latitude	21° N	5,21	5,77	5,18	4,99	4,66	4,63	4,76	5,41	5,26	5,09	4,57	5,05	5,05	1,20
Maior média anual	19° N	5,28	5,82	5,19	4,97	4,60	4,56	4,69	5,36	5,25	5,12	4,63	5,12	5,05	1,27
Maior mínimo mensal	20° N	5,24	5,80	5,19	4,98	4,63	4,59	4,72	5,39	5,26	5,11	4,60	5,09	5,05	1,21

Fonte: Elaborada pelo próprio autor modificada de CRESESB

Desenvolvendo as fórmulas apresentadas no item 4 do capítulo 3 (três), partindo do valor de irradiação solar no plano horizontal (H), fornecido pela tabela 4.2, foram alcançados os seguintes resultados (Tabela 4.4):

Tabela 4 4 - Resultados de cálculos.

MÊS	DIA MÉDIO DO MÊS	δ	dia médio	$\omega's$	N (duração da insolação)	H ₀ (MJ/m ² *dia)	H (MJ/m ² *dia)	K _T
1	17	-20,917	17	98,299	13,11	41,50	20,66	0,50
2	16	-12,955	47	94,984	12,66	39,60	21,82	0,55
3	16	-2,418	75	90,914	12,12	35,86	18,29	0,51
4	15	9,415	105	86,410	11,52	30,72	16,16	0,53
5	15	18,792	135	82,617	11,02	25,96	13,93	0,54
6	11	23,086	162	80,736	10,76	23,54	13,21	0,56
7	17	21,184	198	81,584	10,88	24,54	13,82	0,56
8	16	13,455	228	84,816	11,31	28,51	16,78	0,59
9	15	2,217	258	89,162	11,89	33,71	17,93	0,53
10	15	-9,599	288	93,662	12,49	38,14	18,79	0,49
11	14	-18,912	318	97,434	12,99	40,78	17,82	0,44
12	10	-23,050	344	99,247	13,23	41,82	20,27	0,48

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

A escolha do ângulo de inclinação (β) dá se mediante a necessidade de atendimento da demanda. Para o sistema em questão, é buscado a maior geração

média, que é alcançada utilizando o maior valor médio de radiação diária mensal sobre uma superfície inclinada (H_T).

Foi calculado o H_T para as inclinações de 0°, 10°, 20°, 30° e 40°, alcançando os seguintes resultados (Tabela 4.5):

Tabela 4 5 - Irradiação diária média mensal calculada.

Irradiação diária média mensal (kWh/m ² *dia) de acordo com a inclinação beta											
	0°	10°	20°	30°	40°		0°	10°	20°	30°	40°
JAN	5,74	5,58	5,35	5,06	4,72	AGO	4,66	5,07	5,39	5,61	5,72
FEV	6,06	6,01	5,88	5,66	5,37	SET	4,98	5,17	5,29	5,31	5,24
MAR	5,08	5,20	5,23	5,18	5,06	OUT	5,22	5,23	5,16	5,02	4,81
ABR	4,49	4,78	5,00	5,13	5,16	NOV	4,95	4,85	4,68	4,46	4,20
MAI	3,87	4,29	4,64	4,90	5,07	DEZ	5,63	5,45	5,20	4,90	4,55
JUN	3,67	4,17	4,59	4,93	5,16						
JUL	3,84	4,32	4,72	5,03	5,25	MÉDIA	4,85	5,01	5,09	5,09	5,03

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Os valores encontrados corroboram com os valores apresentados pela CRESESB, sendo a inclinação igual a latitude (20°,689) a que possui a maior irradiação solar média diária.

4.2 SELEÇÃO DE COMPONENTES

Para este estudo, foi escolhido o Painel fotovoltaico CS6U – 330P da Canadian Solar. Um painel que apresenta entre suas características eletrônicas (Tabela 4.6) Potência máxima (P_{max}): 330Wp, de dimensões: 1960 X 992 X 35 mm (Área = 1,94 m²):

ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Tabela 4 6 - Características eletrônicas. Fonte: DataSheet.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 35 mm (77.2 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	720 pieces

Tabela 4 7 - Característica mecânicas dos painéis fotovoltaicos. Fonte: DataSheet

4.3 ESTIMATIVA DE TEMPERATURA DE OPERAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Deve se certificar que a temperatura dos painéis durante o seu funcionamento, permaneça em sua faixa de operação determinada, observando os seus parâmetros (Tabela 4.8):

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.40 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

Tabela 4 8 - Características de temperatura do painel selecionado. Fonte: DataSheet.

A temperatura de operação da célula do painel fotovoltaico é obtida através da fórmula 3.15 do item 3.4 desse trabalho, aplicando a temperatura ambiente média anual máxima $T_{am\acute{a}x} = 26,3^{\circ}\text{C}$, $G_T=1000\text{W}/\text{m}^2$ e $T_{NOC}=43^{\circ}\text{C}$,

$$T_c = 26,3 + \frac{1000}{800} (43 - 20) * 0,9 \rightarrow T_c = 52,12^{\circ}\text{C}$$

Para avaliar as temperaturas máximas e mínimas de operação da célula:

Foi utilizada a máxima temperatura ao longo do ano, referente ao mês de *Fevereiro*, de acordo com a Tabela 4.1, sendo 29°C .

$$T_{cm\acute{a}x} = T_a + \frac{G_T}{800} (T_{NOC} - 20) * 0,9, \text{ para } T_{m\acute{a}x}=29^{\circ}\text{C}, G_T=1000\text{W}/\text{m}^2 \text{ e } T_{NOC}=43^{\circ}\text{C}, \text{ temos } T_{cm\acute{a}x} = 54,87^{\circ}\text{C},$$

estando a temperatura máxima dentro da faixa de operação (-40°C a $+85^{\circ}\text{C}$).

Analogamente para cálculo da mínima temperatura, refere-se ao mês de *Junho*, sendo $9,4^{\circ}\text{C}$, porém devemos considerar $G_T=0\text{W}/\text{m}^2$ (*Noite*), assim temos,

$$T_{cm\acute{i}n}=9,4+0=9,4^{\circ}\text{C},$$

estando a temperatura mínima dentro da faixa de operação (-40°C a $+85^{\circ}\text{C}$).

4.4 ESTIMATIVA DA POTÊNCIA DE PICO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Conforme indicado no formulário (item 3.4),

$$P_{MP} = P_{MP}^0 * \frac{G_T}{G_{ref}} [1 + \gamma_{mp}(T_c - T_{cref})]$$

Para, $G_{ref}=1000W/m^2$; $G_T=1000W/m^2$; $\gamma_{mp}=-0,004$; $T_c=52,12^\circ$; $P_{MP}^0 = 330W$ e $T_{cref}=25$, temos:

$$P_{MP}=294,2W$$

4.5 ESTIMATIVA DO NÚMERO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

De forma a atender a demanda anual de 32.378 kWh, (uma média mensal de 2.689 kWh) a energia diária média anual a ser fornecida pelo gerador fotovoltaico $E_{GFV} = 89,93$ kWh/dia.

A inclinação plano $\beta = 20^\circ$ foi o a que apresentou a maior média diária anual de irradiação solar: $H_T = 5,09$ kWh/m²*dia. Equivalendo $HSP=5,09$ horas de sol pleno

A potência máxima calculada do painel $P_{MP}=294,2W$.

Com esses dados levantados, por meio da equação

$NP = \frac{E_{GFV}}{\eta_{SPMP} * P_{MP} * HSP * TD}$, com o seguidor no ponto de máxima potência com uma eficiência de 99% ($\eta_{SPMP}=0,99$), e taxa de desempenho do gerador ($TD = 0,76$), temos:

$$NP = \frac{89.930}{0,99 * 294,2 * 5,09 * 0,76} \rightarrow NP = 79,82$$

Assim, serão necessários 80 painéis fotovoltaicos.

Dado o número de painéis, podemos obter a Potência nominal do gerador fotovoltaico:

$$P_{GFV}^0 = NP * P_{MP}^0 \rightarrow P_{GFV}^0 = 80 * 330W \rightarrow P_{GFV}^0 = 26,4kWp$$

4.6 ESCOLHA DO INVERSOR

Ao se escolher um inversor para um sistema solar fotovoltaico conectado à rede, deve-se observar o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI). Zilles (2012), recomenda em seu estudo que o FDI deve estar entre 0,6 e 0,9.

O FDI é a razão entre a Potência Nominal do Inversor e a Potência Nominal do Gerador Fotovoltaico:

$$FDI = \frac{P_{INV}^0}{P_{GFV}^0}$$

Para o sistema, foram selecionados 4 inversores ES GT-05K, da brasileira Ecosolys, cada um com Potência nominal de 5kW (Tabela 4.9).

Tabela 4 9 - DataSheet dos inversores.

ES GT-05K	
Dados de entrada	
Potência CC máxima	130%
Tensão CC mínima de operação /Tensão CC de inicialização	90 / 70 V
Tensão CC máxima	600 V
Tensão CC nominal	360 V
Corrente CC máxima	11 / 11 A
Faixa de operação MPPT nominal	70 ~580 V
Faixa de operação MPPT máxima	240~520 V
Quantidade de MPPT	2
Quantidade máxima de strings por MPPT	1
Dados de saída	
Potência ativa CA nominal	5.000 W
Potência aparente CA máxima	5.500 VA
Potência ativa CA máxima (FP=1)	5.500 W
Tensão CA nominal	220 V
Corrente CA nominal	23,8 A
Frequência CA nominal	60 Hz
Eficiência máxima	98,00%
Eficiência europeia	97,40%
THDI	<3%(Potência nominal)
Faixa de operação CA	57,5~62,0 Hz / 176~242 V
Injeção de corrente CC	<0,5%In
Fator de potência	>0,99 em potência nominal (ajustável 0,95 ind. - 0,95 cap.)
Conexão CA	monofásico/bifásico (L+N+PE / 2L+PE)
Comunicação e visualização	
Display	Bluetooth & LED
Comunicação	Wi-fi

Fonte: EcoSolys

$$FDI = \frac{4 * 5.000}{26.400} \rightarrow FDI = 0,76$$

Para a conexão, é necessário observar alguns parâmetros, como:

- Tensão mínima e máxima de operação da célula:

$$V_{oc} = V_{oc}^0 * [1 + \gamma_{oc}(T_c - T_{cref})]$$

Mínima: $\gamma_{oc} = -0,0031$; $V_{oc}^0 = 45,6V$; $T_{cref} = 25^\circ C$ e $T_c = T_{cmáx} = 54,87^\circ C$;

$$V_{ocmín} = 45,6 * [1 - 0,0031 * (54,87 - 25)] \rightarrow V_{ocmín} = 41,37V$$

Máxima: $\gamma_{oc} = -0,0031$; $V_{oc}^0 = 45,6V$; $T_{cref} = 25^\circ C$ e $T_c = T_{cmín} = 9,4^\circ C$;

$$V_{ocmáx} = 45,6 * [1 - 0,0031 * (9,4 - 25)] \rightarrow V_{ocmáx} = 47,8V$$

- Corrente de curto-circuito máxima da célula ($I_{scmáx}$): onde $I_{sc}^0 = 9,45A$; $\gamma_{sc} = 0,0005$; $T_{cref} = 25^\circ C$ e $T_c = T_{cmáx} = 54,87^\circ C$;

$$I_{scmáx} = 9,45 * [1 + 0,0005 * (54,87 - 25)] \rightarrow I_{scmáx} = 9,59A$$

4.7 CONFIGURAÇÃO DE STRINGS DO INVERSOR

Conforme as informações da Tabela 4.8 cada inversor possui 2 (duas) strings com MPPT, onde a faixa de operação está entre 240V e 520V e a máxima corrente de entrada de curto-circuito é 11A. Portanto, os painéis devem ser distribuídos de forma a atender esses limites, observado que os painéis colocados em série, soma-se as Tensões, caso em paralelo, soma-se a corrente. Dessa forma,

O número de painéis em série (N_{serie}), multiplicado pela tensão mínima de operação ($V_{ocmín}$) deve ser maior que o menor valor (240V) da faixa de operação da string do inversor.

$$240 \leq N_{serie} * V_{ocmín} \rightarrow 240 \leq N_{serie} * 41,37 \rightarrow N_{serie} \geq 5,8 \text{ paineis}$$

O número de painéis em série (N_{serie}), multiplicado pela tensão máxima de operação ($V_{ocmáx}$) deve ser menor que o maior valor (520V) da faixa de operação da string do inversor.

$$N_{serie} * V_{ocmáx} \leq 520 \rightarrow N_{serie} * 47,8 \leq 520 \rightarrow N_{serie} \leq 10,8 \text{ paineis}$$

$$\text{portanto, } 5,8 \leq N_{serie} \leq 10,8;$$

O número de painéis/conjuntos em paralelo ($N_{paralelo}$), multiplicado pela corrente máxima de curto-circuito ($I_{scmáx}$) deve ser menor que a máxima corrente de entrada de curto-circuito (11A) da string do inversor.

$$I_{scmáx} * N_{paralelo} \leq 11A \rightarrow 9,59A * N_{paralelo} \leq 11A \rightarrow N_{paralelo} \leq 1,14$$

Dados os valores, é sugerido que cada string tenha 10 painéis conectados em série (Figura 4.4). Assim, serão 4 inversores x 2 strings x 10 painéis, totalizando 80 painéis.

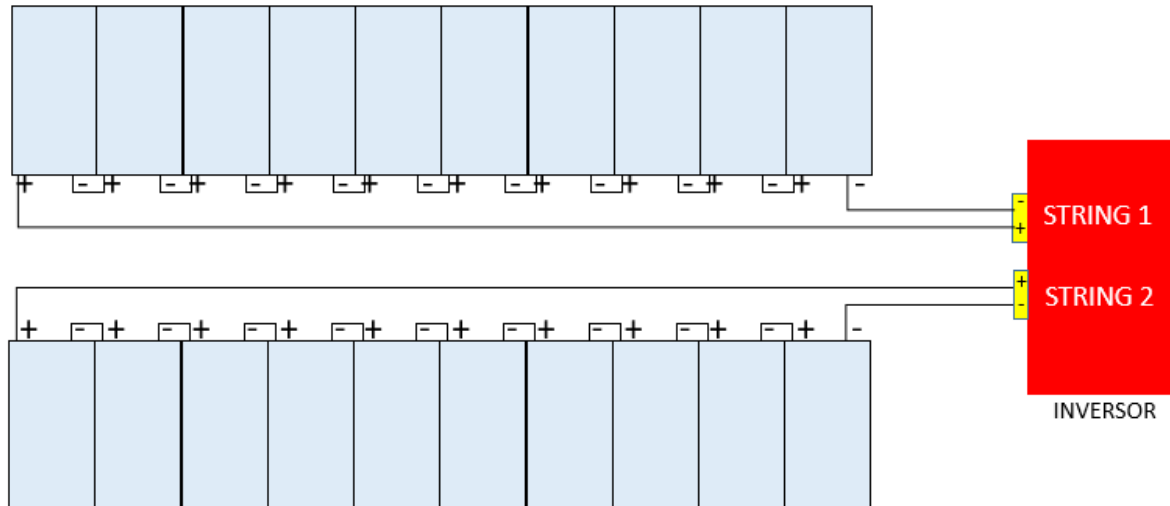


Figura 4 3 - Esquema sugerido de conexão dos painéis no Inversor.

4.8 RESULTADOS

Após todos os cálculos realizados, de forma a atender toda a demanda do aviário, obteve-se que a potência instalada do projeto será de 26,4kWp.

Conforme Tabela 4.10, ao final de um ciclo anual o saldo será positivo, tendo o sistema gerado mais energia do que a consumida:

Tabela 4 10 - Balanço entre a geração mensal do sistema solar fotovoltaico e consumo mensal do aviário ao longo.

MÊS	Nº DIAS	HSP	EGFV/MÊS	CONSUMO/MÊS	SALDO
JAN	31	5,35	2.938	2.398	540
FEV	28	5,88	2.915	5.062	- 2.147
MAR	31	5,23	2.872	2.278	594
ABR	30	5,00	2.655	2.215	440
MAI	31	4,64	2.546	2.478	68
JUN	30	4,59	2.440	752	1.687
JUL	31	4,72	2.592	2.334	258
AGO	31	5,39	2.958	2.280	678
SET	30	5,29	2.808	2.362	446
OU	31	5,16	2.833	1.999	834
NOV	30	4,68	2.487	2.412	75
DEZ	31	5,20	2.855	5.708	- 2.853
TOTAL	365	5,09	32.898	32.278	620

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

4.9 INVESTIMENTO DO PROJETO

Os principais componentes de um sistema solar fotovoltaico são os painéis e os inversores, eles também representam a maior parte do investimento, representando cerca de 75% dos custos. Os outros custos envolvem cabeamento, e caixas conectoras, além da mão de obra e o próprio projeto.

Assim, através de orçamentos e estimativas (Tabela 4.11), chegou-se ao seguinte investimento **R\$ 85.703,84 (oitenta e cinco mil setecentos e três reais e oitenta e quatro centavos)**.

Tabela 4 11 - Custos de implantação de um sistema solar fotovoltaico.

COMPONENTE	CUSTO (R\$)	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL (R\$)
<i>Painel fotovoltaico CS6U – 330P, Canadian Solar</i>	<i>547,77</i>	<i>80</i>	<i>43.821,60</i>
<i>ES GT-05K, ECOSOLYS</i>	<i>5.114,07</i>	<i>4</i>	<i>20.456,28</i>
<i>Projeto, mão de obra e demais materiais (cabeamento, caixas e conectores)</i>	<i>21.425,96</i>	<i>1</i>	<i>21.425,96</i>
TOTAL			85.703,84

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

4.10 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

Fazendo de forma simples, utilizando o *Payback* como ferramenta para o cálculo, temos o fluxo de caixa - nesse caso refere-se ao valor da energia gerada no primeiro ano de utilização do sistema x o valor do kWh naquele ano, subtraindo o valor estimado para manutenção (1% do custo de aplicação), e o valor inicial do investimento, disponível na (Tabela 4.11).

$$payback = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Fluxo de caixa}} = \frac{R\$ 85.703,84}{(32.898 * R\$ 0,51) - R\$857,04} \rightarrow$$

$$payback = 5,4 \text{ anos}$$

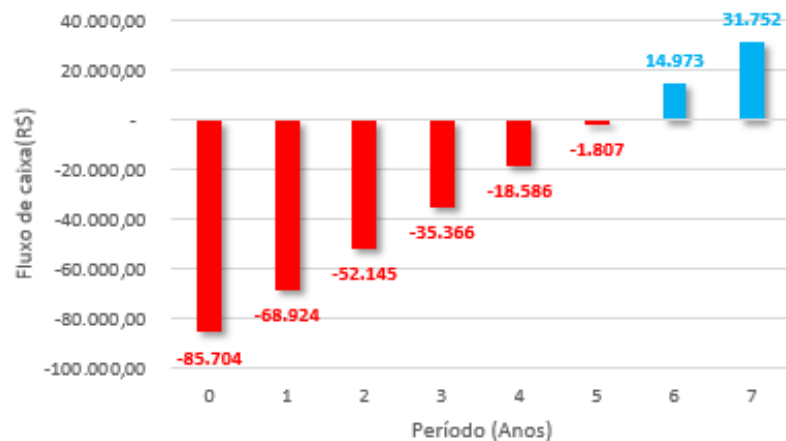


Figura 4 4 - Fluxo de caixa livre acumulado do *Payback* simples.

Como citado anteriormente, o *payback* é uma utilizada para reduzir o risco, para uma estimativa inicial.

A fim de se obter uma análise mais próxima da realidade e mais segura, é necessário utilizar uma ferramenta mais sofisticada, neste caso, utilizando o *Payback* descontado e o *VPL*.

Para fins de cálculo, foi utilizada como taxa anual, a *SELIC*, taxa básica de juros da economia brasileira utilizada como referência para o cálculo das demais taxas de juros cobradas pelo mercado e para definição da política monetária praticada pelo Governo Federal do Brasil, sendo em 2018 acumulada em 6,58% (ADVFN, 2019. Fonte:<<http://bit.ly/2wXDCOS>>).

Conforme a Tabela 4.12, o *VPL* calculado ao final dos 25 anos, será de R\$ 107.085,93, resultando também em uma *TIR* de 18,6%, e um *Payback* descontado 6,82 anos.

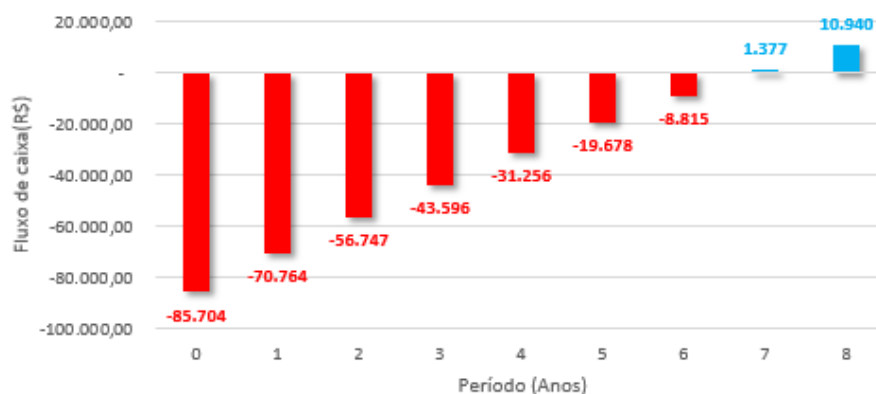


Figura 4 5 - Fluxo de caixa acumulado do *payback* descontado.

Tabela 4 12 - Análise econômica do sistema solar fotovoltaico.

ANO	Economia com energia	Manutenção	Fluxo de caixa	Fluxo de caixa descontado	Valor Presente Líquido (VPL)
0		0 -	85.703,84 -	85.703,84 -	85.703,84
1	16.779,39 -	857,04	15.922,36	14.939,35 -	70.764,49
2	16.779,39 -	857,04	15.922,36	14.017,03 -	56.747,47
3	16.779,39 -	857,04	15.922,36	13.151,65 -	43.595,82
4	16.779,39 -	857,04	15.922,36	12.339,70 -	31.256,12
5	16.779,39 -	857,04	15.922,36	11.577,87 -	19.678,25
6	16.779,39 -	857,04	15.922,36	10.863,08 -	8.815,17
7	16.779,39 -	857,04	15.922,36	10.192,42	1.377,25
8	16.779,39 -	857,04	15.922,36	9.563,16	10.940,42
9	16.779,39 -	857,04	15.922,36	8.972,76	19.913,17
10	16.779,39 -	857,04	15.922,36	8.418,80	28.331,97
11	16.779,39 -	857,04	15.922,36	7.899,04	36.231,02
12	16.779,39 -	857,04	15.922,36	7.411,37	43.642,39
13	16.779,39 -	857,04	15.922,36	6.953,81	50.596,21
14	16.779,39 -	857,04	15.922,36	6.524,50	57.120,71
15	16.779,39 -	857,04	15.922,36	6.121,69	63.242,40
16	16.779,39 -	857,04	15.922,36	5.743,75	68.986,16
17	16.779,39 -	857,04	15.922,36	5.389,15	74.375,30
18	16.779,39 -	857,04	15.922,36	5.056,44	79.431,74
19	16.779,39 -	857,04	15.922,36	4.744,26	84.176,00
20	16.779,39 -	857,04	15.922,36	4.451,36	88.627,37
21	16.779,39 -	857,04	15.922,36	4.176,55	92.803,91
22	16.779,39 -	857,04	15.922,36	3.918,70	96.722,61
23	16.779,39 -	857,04	15.922,36	3.676,77	100.399,37
24	16.779,39 -	857,04	15.922,36	3.449,77	103.849,14
25	16.779,39 -	857,04	15.922,36	3.236,79	107.085,93

Fonte: Tabela elaborada pelo próprio autor.

4.11 FINANCIAMENTO

Dadas a dificuldades financeiras em dispor do valor a ser investido no projeto, conforme citado na revisão desse trabalho, o pequeno produtor possui possibilidades variadas de financiamento, a taxas bem atrativas. Como enfatizado, o PRONAF ECO é um dos que chama atenção, com taxas de 2,5% ao ano, 10 anos para pagamento, e financiando 100% do projeto.

De forma a simular um financiamento pelo PRONAF ECO, devido possíveis exigências de componentes nacionalizados, foi considerado um investimento inicial 20% superior ao estimado anteriormente (Tabela 4.10), totalizando um financiamento de R\$ 102.844,60.

Utilizando o método PRICE, foi possível calcular o valor referente à parcela do financiamento:

$$pmt = PV * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1} \quad (4.1)$$

onde, *pmt* refere-se valor da parcela, *PV*=Valor Presente, *i* – refere-se a taxa de juros e *n* – refere-se ao número de períodos.

Utilizando a fórmula 4.1, para o plano de pagamento em 10 anos, aplicando a taxa de juros de 2,5% ao ano, chegamos ao valor de R\$ 11.750,90 por ano, totalizando R\$ 117.508,98 de investimento, sendo o valor da parcela inferior ao valor gasto pelo aviário com energia elétrica (R\$ 16.779,20).

Podemos reforçar a viabilidade do projeto utilizando o financiamento, através do cálculo do VPL. Considerando, as parcelas anuais do financiamento, o VPL será de R\$ 75.280,80, como podemos verificar na tabela 4.13.

Para todos os cálculos do financiamento, foi desconsiderada a possível carência de três anos que é ofertada pelo BNDES no plano de pagamento.

Tabela 4 13 - Fluxo de caixa e VPL considerando o financiamento.

ANO	Economia com energia	Manutenção	Custo do investimento com financiamento	Fluxo de caixa	Fluxo de caixa descontado	Valor Presente Líquido (VPL)
0			0 -R\$ 117.508,98 -	117.508,98 -	117.508,98 -	117.508,98
1	16.779,39 -	857,04		15.922,36	14.939,35 -	102.569,63
2	16.779,39 -	857,04		15.922,36	14.017,03 -	88.552,60
3	16.779,39 -	857,04		15.922,36	13.151,65 -	75.400,95
4	16.779,39 -	857,04		15.922,36	12.339,70 -	63.061,26
5	16.779,39 -	857,04		15.922,36	11.577,87 -	51.483,39
6	16.779,39 -	857,04		15.922,36	10.863,08 -	40.620,30
7	16.779,39 -	857,04		15.922,36	10.192,42 -	30.427,88
8	16.779,39 -	857,04		15.922,36	9.563,16 -	20.864,72
9	16.779,39 -	857,04		15.922,36	8.972,76 -	11.891,96
10	16.779,39 -	857,04		15.922,36	8.418,80 -	3.473,16
11	16.779,39 -	857,04		15.922,36	7.899,04	4.425,88
12	16.779,39 -	857,04		15.922,36	7.411,37	11.837,25
13	16.779,39 -	857,04		15.922,36	6.953,81	18.791,07
14	16.779,39 -	857,04		15.922,36	6.524,50	25.315,57
15	16.779,39 -	857,04		15.922,36	6.121,69	31.437,26
16	16.779,39 -	857,04		15.922,36	5.743,75	37.181,02
17	16.779,39 -	857,04		15.922,36	5.389,15	42.570,17
18	16.779,39 -	857,04		15.922,36	5.056,44	47.626,60
19	16.779,39 -	857,04		15.922,36	4.744,26	52.370,86
20	16.779,39 -	857,04		15.922,36	4.451,36	56.822,23
21	16.779,39 -	857,04		15.922,36	4.176,55	60.998,77
22	16.779,39 -	857,04		15.922,36	3.918,70	64.917,47
23	16.779,39 -	857,04		15.922,36	3.676,77	68.594,24
24	16.779,39 -	857,04		15.922,36	3.449,77	72.044,01
25	16.779,39 -	857,04		15.922,36	3.236,79	75.280,80

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

5. CONCLUSÃO

Com objetivo de analisar a viabilidade técnica e econômica de um projeto de um sistema solar fotovoltaico aplicado a um aviário situado na Zona da Mata mineira, este trabalho percorreu uma série de etapas.

Partiu-se do panorama do sistema elétrico nacional, apresentando-se inicialmente suas características e sua evolução. Destacou-se a importância da energia solar fotovoltaica no cenário atual e futuro de pequenos negócios no país que, até pouco tempo, só tinham a alternativa de adquirir energia como consumidores cativos da distribuidora local, sem outras possibilidades como aquelas disponíveis aos grandes consumidores. Indicou-se também como a energia solar fotovoltaica pode representar a diminuição da dependência da matriz elétrica do país em relação à hidroeletricidade.

Em seguida foram apresentadas as dificuldades relacionadas ao acesso à energia elétrica do público rural. Parte desses consumidores vivem em locais isolados e a fonte solar pode se apresentar como uma alternativa a ser considerada no atendimento a essa população.

Estreitando para o cenário rural, mostrou-se a relevância do agronegócio, representando fonte de renda e emprego a milhões de brasileiros, e evidenciando a necessidade do provimento de energia elétrica a um custo competitivo para o seu crescimento e desenvolvimento. Observou-se que cada vez mais o agronegócio representa parcela importante do consumo de energia elétrica no Brasil, efeito da modernização tanto de maquinário, quanto da forma como os produtos são desenvolvidos.

Conforme visto, a avicultura aparece como parte relevante desse agronegócio. O Brasil se tornou um dos maiores produtores de carne de frango do mundo, resultado de um modelo de parceria entre grandes empresas do setor e pequenos produtores rurais, que são os responsáveis pela construção e manutenção dos aviários e equipamentos que deve propiciar um ambiente controlado para o desenvolvimento das aves. O controle desse ambiente passa por componentes que demandam uma quantidade considerável de energia elevando os custos dos pequenos produtores, comprometendo sua renda. A opção de se instalar um sistema solar fotovoltaico pode significar uma maior renda a esses produtores, por isso a relevância desse trabalho.

Foi possível analisar as características necessárias ao local de instalação de forma que o projeto se apresente como viável, sendo apresentado também opções de financiamentos que podem mitigar um dos grandes inviabilizadores de um projeto solar fotovoltaico, que é o capital disponível para a instalação do sistema. Várias intuições financeiras tanto públicas - como o Banco do Brasil, a Caixa Econômica Federal, e principalmente o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) – quanto particulares – como Bradesco, Santander. O BNDES é tido como destaque devido suas linhas de financiamento com baixa taxa de juros e longos prazos para pagamento, que estão disponíveis a várias classes, incluindo os pequenos produtores, como o PRONAF ECO.

Foi alvo do estudo de caso um aviário localizado na cidade de Canaã, em Minas Gerais, onde o estudo buscava apresentar os números de viabilidade técnica e econômica do projeto. Primeiramente foram obtidas as informações relacionadas a unidade, como o consumo, os equipamentos que demandam energia elétrica, a orientação da estrutura onde o projeto será alocado, e posteriormente as características do local, como a irradiação solar e temperaturas locais. Após obtenção os dados, foi realizada a análise de viabilidade técnica, selecionando os principais componentes do sistema que devem garantir o atendimento da demanda do aviário. O aviário em questão apresentou uma demanda de 32.278kWh/ano, demandando um sistema solar fotovoltaico conectado à rede de 26,4kWp, composto por 80 painéis fotovoltaicos com potência nominal de 330W cada, além de 4 inversores de 5kW, mostrando que é viável ao produtor rural gerar sua própria energia elétrica.

Do ponto de vista econômico, o projeto mostrou-se viável. Partindo de investimento inicial de R\$ 85.703,84 com base em orçamentos coletados para a área chegou-se um VPL de R\$ 107.085,93 e uma TIR de 18,6%. Já o *payback* descontado ficou em aproximadamente 7 anos, ou, mais precisamente em 6,82 anos, o que foi interpretado como sendo um *payback* relativamente baixo, considerando a vida útil de 25 anos do sistema.

Foi analisada também a possibilidade de se usar um programa de financiamento para viabilizar a instalação. O programa selecionado foi o PRONAF ECO, que devido às suas taxas de juros de 2,5% ao ano e prazo estendido de 10 anos, fez com que o investimento inicial pudesse ser quitado em parcelas anuais de

R\$ 11.750,90, sendo esse um valor inferior ao que vinha sendo despendido em energia elétrica anualmente pelo produtor.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a finalidade de desenvolver aprofundamentos deste trabalho bem como de inspirar trabalhos futuros sugere-se:

- (i) Analisar a viabilidade de outras fontes renováveis aplicadas ao atendimento de aviários;
- (ii) Analisar os fatores operacionais dos aviários que mais consomem energia buscando aumentar a eficiência nesse setor energointensivo. A melhor utilização da energia gerada poderá fazer com que o consumo diminua e os sistemas utilizados possam ser de menor dimensão;
- (iii) Considerar a cogeração, pois sua aplicação no meio rural pode se apresentar como uma boa forma de economia e eficiência. As utilizações de sistemas de resfriamento de água gelada poderiam significar uma quantia substancial de energia economizada.

Com os números que advieram dos resultados da análise aqui realizada, entretanto, pode-se que dizer que a questão central proposta no início deste trabalho foi respondida de forma afirmativa, ou seja, a energia solar fotovoltaica pôde atender a contento as necessidades do empreendimento do estudo. Estima-se, ademais, que, do mesmo modo, a energia solar fotovoltaica poderá também ser vantajosa sua para ser aplicada em outros negócios que tenham perfil de consumo semelhante do caso analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABPA, Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatórios Anuais**. 2018. Disponível em: < <http://bit.ly/2F1WMaF>>. Acesso em: 10 de mai.de 2019.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Marco Histórico para o Setor Fotovoltaico Brasileiro**. 18 de nov. de 2014. Disponível em <<http://bit.ly/2EVZjmP>>. Acesso em 04 de jun. 2019.

_____, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Perspectivas para a Geração Centralizada Solar Fotovoltaica No Brasil**. 2019. Disponível em < <http://bit.ly/2WQO2y7>>. Acesso em 04 de jun. 2019.

_____, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Infográfico**. 2019. Disponível em < <http://bit.ly/2wFWFwT> >. Acesso em 10 de mai. 2019.

_____, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica; CELA, Clean Energy Latin America; **Financiamentos**. 2019. Disponível em <<http://bit.ly/2IxRxAw>>. Acesso em 06 de jun. de 2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Decreto Nº 4.873, de 11 de Novembro de 2003**. Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS". Disponível em < <http://bit.ly/2wlx7yZ> >. Acesso em 09 de mai. de 2019.

_____, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Bandeiras Tarifárias**. 2019. Disponível em: <<http://bit.ly/2VPj9ua>>. Acesso em: 12 de mai.de 2019.

_____, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2ª ed - 2016. Brasília.

_____, Agência Nacional De Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012.** Disponível em: < <http://bit.ly/2QJgSLn>>. Acesso em 04 de jun. de 2019.

_____, Agência Nacional De Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 687, de 24 de Novembro de 2015.** Disponível em: < <http://bit.ly/2KozmzG>>. Acesso em 04 de jun. de 2019.

_____, Agência Nacional De Energia Elétrica. **Relatório Empreendimentos de Geração Distribuída.** 2019. Disponível em: < <http://bit.ly/2WsntQy>>. Acesso em 04 de jun. de 2019.

AGÊNCIA SENADO. **PEC estabelece acesso à energia elétrica como um direito social.** 2017. Disponível em <<http://bit.ly/2XmgbhK>>. Acesso em 04 de mai. de 2019

BNDES, Banco Nacional do Desenvolvimento. **Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF.** Disponível em: <<http://bit.ly/310ewwr>>. Acesso em 10 de mai. de 2019.

BLOG ENGIE SOLAR. **Conheça 7 incentivos governamentais para quem usa energia solar.** 2018. Disponível em <<http://bit.ly/2wITVPj>>. Acesso em 06 de jun. de 2019.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio Brasileiro.** 2018a. Disponível em: < <http://bit.ly/2Ik6wz2>>. Acesso em 04 de mai. de 2019.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Mercado de Trabalho do Agronegócio Brasileiro.** 2018b. Disponível em: <<http://bit.ly/2INgwjb>>. Acesso em 04 de mai. de 2019.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Evolução da Avicultura no Brasil**. INFORMATIVO CEPEA. 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2K5WLX8>>. Acesso em 05 de jun. de 2019.

CRESESB, Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio Brito. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. 2008. Disponível em: <<http://bit.ly/2w72naC>>. Acesso em 12 de mai. 2019.

CRESESB, Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <<http://bit.ly/2HTae2x>>. Acesso em 01 de jun. de 2019.

DIAS, Edgard M. R. **Estudo de caso sobre créditos de impostos pagos em uma empresa do setor avícola**. UTFP, 2016. 48p. Monografia (especialização - programa de pós-graduação em gestão contábil e financeira) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

DUFFIE, John A; BECKMAN William A. **Solar Engineering of Thermal Processes**, 4ª Ed. ,2013, New Jersey, John Wiley & Sons.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário 2018 – Ano Base 2017**. 2018.

FRAINDENRAICH, N.; LYRA, F. **Energia Solar: Fundamentos e tecnologias de conversão heliotermoelétrica e fotovoltaica**. Editora Universitária da UFPE. Recife, 1995.

GREENPEACE. **Alvorada: Como o incentivo à energia solar fotovoltaica pode transformar o Brasil**. 2016. Disponível em <<http://bit.ly/2WzKIs5>>. Acesso em 06 de jun. de 2019

HERING, G. **Enter the Dragon**. Photon International. Março de 2012. p.132-161.

IEA, International Energy Agency. **Snapshot 2019 of Global Photovoltaic Market**. 2019. Disponível em < <http://bit.ly/2lvkywu>>. Acesso em 04 de jun. de 2019.

MAPA, Ministério da Agricultura, **Agropecuária Brasileira em Números**. Fev. de 2019. Disponível em: <<http://bit.ly/2Z32iBq>>. Acesso em 10 de mai. de 2019.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Situação e Perspectivas das Novas Fontes de Energia Renovável no Brasil – Histórico Recente das Renováveis**. Relatório elaborado para o MCT, dentro do projeto BRA/95/G31, sob o contrato no 99/117, com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, 2000.

MEXCOM. **Baterias estacionárias para sistema solar**. 2019. Disponível em <<http://bit.ly/2WhJSjr>>. Acesso em 04 de mai. de 2019.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Decreto Nº 5.184, De 16 de Agosto de 2004**. Disponível em <<http://bit.ly/2IkvrRR>>. Acesso em 11 de mai. de 2019.

NEOSOLAR. **LOJA**. 2019. Disponível em: <<http://bit.ly/2Xp3Tku>>. Acesso em 06 de mai. de 2019.

LACROIX, Miguel Angel Dutra. **Uso de células fotovoltaicas de filmes finos para geração de energia elétrica em edifícios urbanos: Estimativa de potencial**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

PACHECO, C. R. F., **Capítulo 9: Fundamentos da Utilização De Energia Solar**; em SIMÕES-MOREIRA, José Robert. Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. LTC. Rio de Janeiro, 2017.

PARENTE, V. **Capítulo 16: Análise de Investimentos Aplicada a Projetos de Energia**; em SIMÕES-MOREIRA, José Robert. Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. LTC. Rio de Janeiro, 2017.

POLOS ENERGIA. **Área de atuação**. 2019. Disponível em:< <http://bit.ly/2WklcFR>>. Acesso em 07 de mai. de 2019.

RAMOS, Camila. SAUAIA, Rodrigo. KOLOSZUK, Ronaldo. **Financiamento para energia solar fotovoltaica: informação é ferramenta indispensável**. 2019. Disponível em: < <http://bit.ly/2EL9IHm> > Acesso em: 13 de mai. de 2019.

SAUAI, Rodrigo. **Entrevista a Vanessa Brito. PORTAL SUSTENTABILIDADE SEBRAE**. 25 de mai. de 2018. Disponível em: < <http://bit.ly/2HPCFy7> > Acesso em 10 de mai. de 2019.

SIMÕES-MOREIRA, José Roberto. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. LTC. Rio de Janeiro, 2017.

SOUZA, Ronilson. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid): O Guia 100% Completo**. 2017. Disponível em <<http://bit.ly/2lh2AOp>>. Acesso em 11 de mai. de 2019.

SOWMY, Daniel Setrak. **Capítulo 10: Energia Solar – Tecnologia e Aplicações**; em SIMÕES-MOREIRA, José Robert. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. LTC. Rio de Janeiro, 2017.

ZILLES, Roberto et al.; **Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica. Oficina de Textos**. São Paulo. 2012.