

Análise da viabilidade e dimensionamento de placas fotovoltaicas para uma microempresa do setor de alimentos

Analysis of the viability and dimensioning of photovoltaic plates for a micro company in the food sector

DOI:10.34117/bjdv7n3-599

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 23/03/2021

Lara Caroline Ramos

Engenheira Civil

CCT/Universidade Presbiteriana Mackenzie

Av. Brasil, 1220 - Jardim Guanabara, CEP: 13073-148, Campinas - SP, Brasil.

E-mail: laracarolineramos@hotmail.com

Gabriel Gomes de Oliveira

Mestrado

LCV/DECOM/FEEC/UNICAMP

FEEC/UNICAMP Av. Albert Einstein, Nº 400 - Cidade Universitária, CEP: 13083-852, Campinas - SP, Brasil.

E-mail: oliveiragomesgabriel@ieee.org

Míriam Tvrzská de Gouvêa

Pós-Doutorado

EE/Universidade Presbiteriana Mackenzie

Escola de Engenharia - prédio 6, Rua da Consolação, 896, CEP: 01302-907, São Paulo – SP, Brasil.

E-mail: miriam.gouvea@mackenzie.br

Marcos Almeida do Amaral

Mestrado

CCT/Universidade Presbiteriana Mackenzie

Av. Brasil, 1220 - Jardim Guanabara, CEP: 13073-148, Campinas - SP, Brasil.

E-mail: marcos.amaral@mackenzie.br

Daniela Helena Pelegrine Guimarães

Pós-Doutorado

Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP)

Estrada Municipal do Campinho, sn, CEP: 12810-601, Lorena - SP, Brasil.

E-mail: dhguima@usp.br

Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa

Doutorado

CCT/Universidade Presbiteriana Mackenzie

Av. Brasil, 1220 - Jardim Guanabara, CEP: 13073-148, Campinas - SP, Brasil.

E-mail: gomes.mtms@gmail.com

RESUMO

A diversificação da matriz energética é essencial para países em desenvolvimento, uma vez que contribui com o desenvolvimento de novas tecnologias e com a preservação do meio ambiente. Por ser um país tropical, o Brasil possui alto índice de radiação solar, o que favorece a utilização da energia solar como fonte de geração de eletricidade. Contudo o emprego de energia solar para a geração de energia elétrica ainda é incipiente no Brasil. O intuito do presente estudo de caso foi analisar uma microempresa familiar do setor de alimentos que possui um consumo médio mensal de energia elétrica de 950,17 kWh, para verificar a possibilidade de implementação de um sistema de placas fotovoltaicas. Analisando-se os equipamentos disponíveis no mercado, determinou-se o número de módulos fotovoltaicos necessários para suprir a demanda e dimensionou-se o inversor solar. Ao final, foram considerados 25 painéis da marca JA SOLAR de 335W e um inversor da marca Fronius de 10kW. Por meio de uma análise financeira, verificou-se que o pagamento dos investimentos por meio de financiamentos padrão BNDES seria concluído em 5 anos. Concluiu-se que a edificação possui espaço suficiente para a implementação da quantidade necessária de painéis para suprir a sua demanda de eletricidade e constatou-se a necessidade de ampliação de políticas de incentivo governamentais, como a redução de taxas de juros para a instalação de sistemas fotovoltaicos e/ou o aumento do prazo de financiamento para viabilizar os empreendimentos, particularmente, numa época de retração de consumo provocada pela pandemia de COVID-19.

Palavras-chave: Energia Solar, Pannel Fotovoltaico, Sustentabilidade, Eficiência Energética.

ABSTRACT

The diversification of the energy matrix is essential for developing countries since it contributes to developing new technologies and preserving the environment. As a tropical country, Brazil has a high level of solar radiation, which favors solar energy as a source of electricity generation. However, the use of solar energy to generate electricity is still developing in Brazil. The purpose of the present case study was to analyze a family micro-company in the food sector with average monthly electricity consumption of 950.17 kWh to check the possibility of implementing a photovoltaic plate system. Exploring the equipment available on the market, the number of photovoltaic modules necessary to supply the demand was determined, and the solar inverter was dimensioned. In the end, 25 JW SOLAR 335W panels and a 10kW Fronius inverter were considered. Through financial analysis, it was found that the payment of investments through traditional BNDES financing would be completed in 5 years. It was concluded that the building has enough space to implement the necessary number of panels to supply its electricity demand. There was a need to expand government incentive policies, such as reducing interest rates for installing photovoltaic systems and / or the financing term's increase to make the projects feasible, particularly in a time of consumption retraction caused by the COVID-19 pandemic.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic Panel, Sustainability, Energy Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no mundo atual continua aumentando devido ao crescimento populacional, melhora nas condições de vida e ao avanço tecnológico [1].

Empresas de serviços e microempresas são bastante dependentes da energia elétrica. Particularmente, microempresas do setor de alimentos possuem um alto consumo de energia elétrica devido à utilização de equipamentos que demandam bastante energia para funcionarem, como fornos elétricos, freezers, fogões industriais, processadores de alimentos, entre outros. Estes equipamentos geram altos gastos com energia elétrica, sendo necessária a busca por alternativas para a redução de custos e a obtenção de uma produção mais sustentável [2].

No Brasil, cerca de 66% da energia elétrica provém de usinas hidrelétricas [3], fazendo com que a geração de energia seja concentrada em apenas um recurso. Com uma crise hídrica, todo o território brasileiro pode ser afetado com a falta de energia. Portanto, a diversificação da matriz energética é fundamental para o desenvolvimento do país [4]. Além disso, a construção de novas usinas hidrelétricas causa diversos impactos ambientais, já que alteram o ecossistema ao seu redor com o desmatamento, provocam a alteração do curso do rio e até a extinção de animais, afetando também a vida da população que vive próxima do rio. A energia solar é pouco utilizada no país, com apenas 0,5% [3], mesmo com o alto potencial que o território possui para a utilização deste sistema, como o grande índice de radiação solar. Além disso, o Brasil é rico em reservas de quartzo, material que é utilizado para a produção de silício, matéria-prima para as placas fotovoltaicas [5]. O presente trabalho mostra a viabilidade da utilização desta fonte de energia renovável em uma microempresa do setor de alimentos. Por ser uma tecnologia ainda em desenvolvimento no Brasil, ainda são poucos os incentivos governamentais e o conhecimento sobre seus benefícios [6].

2 OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é analisar a viabilidade de geração de energia por meio da utilização de um sistema de energia renovável, composto de placas fotovoltaicas ligadas à rede da concessionária de energia, em uma microempresa do setor de alimentos, sob o viés da sustentabilidade energética.

3 METODOLOGIA

3.1 MICROEMPRESA

O estudo de caso foi realizado em uma microempresa do setor de alimentos caracterizada como microempreendedor individual (MEI).

Por meio de uma pesquisa de campo, com caráter observatório e com coleta de dados, foi realizada uma visita à microempresa do setor de alimentos com o intuito de conhecer a empresa por diferentes perspectivas, abrangendo os seus processos de produção, os equipamentos utilizados na cadeia produtiva e a sua história. Durante a visita à microempresa, realizou-se o contato com o proprietário e foram coletados os dados de consumo energético do empreendimento, bem como a planta do local em que a microempresa se encontra instalada, verificando-se a área disponível da cobertura da residência e as plantas da cozinha industrial obtidas com o proprietário. Por fim, o sistema fotovoltaico foi dimensionado analisando também o tempo de retorno do investimento.

3.2 ÍNDICE DE RADIAÇÃO SOLAR

O índice de radiação solar foi obtido conforme a localização do empreendimento, por meio do programa de base de dados SunData (versão 3.0). Este programa é destinado ao cálculo de irradiação solar de diversas localidades, sendo necessário apenas a inserção da latitude e longitude da localidade.

Tendo-se por base, o estudo de [7], em que se calculou o ângulo ótimo necessário para que as placas fotovoltaicas trabalhem com a sua maior eficiência em diversas regiões do Brasil, e tendo-se em vista, a latitude (β) de Taubaté de 23° , considerou-se o ângulo ótimo das placas fotovoltaicas (β_{ot}) como sendo de 25° .

3.3 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Para o presente estudo de caso foi considerado um sistema de placas fotovoltaicas conectado à rede de distribuição de energia, ou seja, o sistema fotovoltaico envia a energia elétrica produzida para a rede de distribuição de energia, gerando-se crédito na conta de consumo de energia. A Figura 1 apresenta um esquema deste sistema.

Figura 1: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede de Energia. Fonte: Adaptado de [8].



Para o dimensionamento da área das placas requerida, foi calculado o potencial de energia solar fotovoltaica (G) em kWh/mês por meio da Equação (1) [9], o qual deve ser minimamente igual ao consumo de energia da microempresa. Nesta equação, a área útil da cobertura em m² é representada por (A), a radiação solar para o plano inclinado em kWh/m²/mês é dada por (Rs), a eficiência do módulo solar em fração ou em % é dada por (Ef) e o rendimento do sistema em % é representado por (R).

$$G = A \times R_s \times E_f \times R \quad \text{Eq. (1)}$$

Para a obtenção dos parâmetros de eficiência e rendimento, foram analisados diferentes tipos de painéis existentes no mercado, realizando uma pesquisa de mercado com a busca de empresas fabricantes destes módulos.

A Equação 2 relaciona a potência mínima requerida para o sistema em kW (P_{mín}) para suprir o consumo mensal da empresa em kWh/ano (E), levando-se em conta a média de horas de radiação solar incidente sobre as placas em h (HSP) e a taxa de desempenho do sistema fotovoltaico (TD) [10]. A potência mínima requerida pode ser relacionada com a máxima potência do módulo fotovoltaico (P_m) em kW para se definir o número de módulos fotovoltaicos necessários para suprir a demanda energética do empreendimento, como mostrado na Equação 3. A máxima potência do módulo é dependente da potência de cada sistema, uma vez que existem diferentes tipos de módulos e fabricantes e está relacionada com o potencial de energia solar fotovoltaica da região. Portanto, tendo-se em mente que a área irradiada requerida deve ser igual ao produto do número de módulos (N) pela área em m² de um módulo (A_m), o número de módulos pode ser obtido da Equação 4.

$$P_{mín} = E / (HSP \times TD) \quad \text{Eq. (2)}$$

$$N = P_{mín} / P_m \quad \text{Eq. (3)}$$

$$N = E / (HSP \times TD \times A_m \times R_s \times E_f \times R) \quad \text{Eq. (4)}$$

Cumprir salientar que há um limite para o número máximo de módulos que podem ser colocados em série e assim, a partir do número de módulos calculado pela Equação 4, é necessário estabelecer quantos módulos devem ser colocados em série e em paralelo de modo que se verifique a disponibilidade de área de telhado.

Além da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários, também foi dimensionado o inversor solar. Esse equipamento é responsável por converter a energia solar em energia elétrica, devendo ser dimensionado de modo que não seja sobrecarregado e que não opere com potência abaixo da nominal [11].

Calculou-se o fator de dimensionamento do inversor (FDI), que é adimensional, sendo a relação entre a potência nominal do inversor (P_{inv}) em W e a potência mínima ($P_{mín}$) do sistema fotovoltaico em W (Equação 5). Conforme [12], o FDI deverá ter valor próximo de 0,9 para seguir os padrões de máxima eficiência que são admitidos para o equipamento.

$$FDI = P_{inv} / P_{mín} \quad \text{Eq. (5)}$$

Após escolher um inversor que atenda ao valor ótimo do FDI, calculou-se o número de painéis em fileira em paralelo, para que o inversor não seja sobrecarregado. O número máximo de módulos por fileira ($N_{máx}$) é adimensional e calculado pela Equação 6 [11], sendo a relação entre a máxima tensão CC na entrada do inversor ($V_{máx,inv}$) em Volt e a tensão em circuito aberto do módulo fotovoltaico (V_{oc}) dada em Volt, obtidas nos manuais técnicos de cada equipamento.

$$N_{máx} < (V_{máx,inv}) / V_{oc} \quad \text{Eq. (6)}$$

3.4 TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

O sistema fotovoltaico foi dimensionado para suprir integralmente o consumo de energia elétrica da microempresa, desta forma, considera-se como receita o valor em R\$ do consumo energético. Para se avaliar o retorno de investimento alguns cenários serão considerados. Primeiramente, calculou-se o payback simples pela Equação 7, em que o payback em anos é igual à relação entre o investimento inicial (I_o) em reais, a tarifa de energia elétrica (t) em R\$/kWh e a energia consumida pela microempresa (E_a) por ano (kWh) [11].

$$\text{Payback} = I_o / (t \times E_a) \quad \text{Eq. (7)}$$

A avaliação do tempo de retorno de investimento pela Equação (7) pressupõe que o empresário tenha à disposição a verba necessária para adquirir a instalação fotovoltaica, o

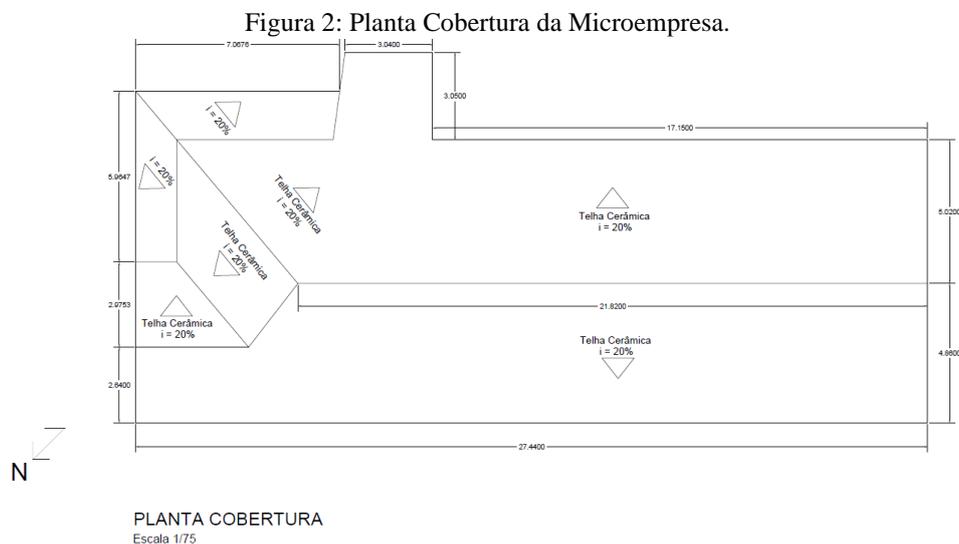
que, tipicamente, não é a realidade das microempresas. Assim, efetuou-se, também uma análise da implementação do sistema a partir da obtenção de financiamentos pelo sistema BNDES [13].

Finalmente, discute-se o efeito do prazo de financiamento (n) e a taxa de juros mensal (im) na capacidade de investimento. Para tanto, considera-se que o valor a ser pago mensalmente para custeio do investimento seja dado pela Equação (8), sendo a receita mensal obtida do consumo mensal (Em) em kWh produzido pelo sistema fotovoltaico.

$$PMT = I_0 (1+im)^n \times im / ((1+im)^n - 1) \quad \text{Eq. (8)}$$

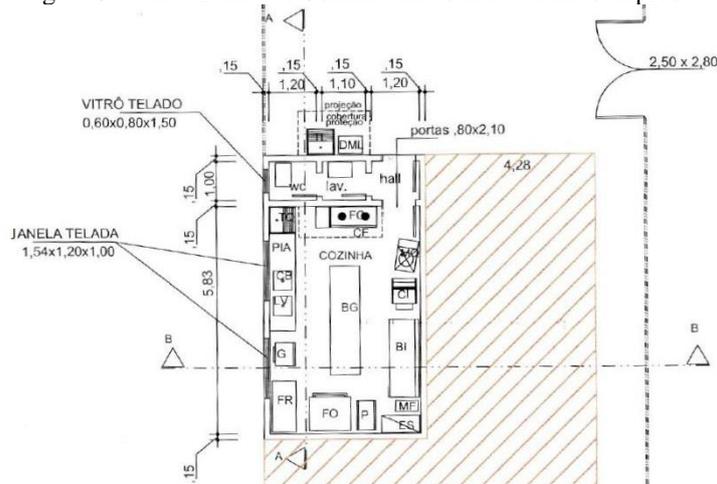
4 RESULTADOS

A microempresa localiza-se na cidade de Taubaté, em uma edificação residencial familiar, com 1.900 m² de terreno e 292,83 m² de área de cobertura. O empreendimento foi criado informalmente em 1989, dando início à produção de salgados na própria residência do proprietário. A cobertura da residência é composta por telhas cerâmicas com inclinação de 20°, sendo que o Norte está indicado no canto esquerdo inferior da Figura 2.



A estrutura da cozinha industrial utilizada para fabricar os salgados da microempresa ocupa cerca de 28,76 m² da residência, conforme apresenta a Figura 3.

Figura 3: Planta Baixa da Cozinha Industrial da Microempresa.



Os principais equipamentos que consomem energia presentes na cozinha industrial estão apresentados na Figura 4. A cozinha conta com um fogão industrial da Croydon com três bocas, um forno industrial da Tedesco, um freezer da Metalfrio, um cilindro de massas, uma masseira fria, uma masseira quente da G.Paniz e uma coifa. Como os equipamentos são mais antigos, não foram encontradas as etiquetas com as informações técnicas de cada um. Por serem utilizados com muita frequência e de forma que necessitam de limpeza diária, os que ainda possuíam as etiquetas, estas se encontravam apagadas, sendo que outros não possuíam também a informação da marca, como foi o caso do cilindro de massas. Observa-se que os equipamentos são antigos e gerando um consumo expressivo de energia elétrica para a empresa. Salienta-se que a atualização destes maquinários resultaria em uma economia considerável na fatura de energia elétrica.

Figura 4: Equipamentos. (a) Fogão Industrial. (b) Forno Industrial. (c) Coifa. (d) Freezer. (e) Masseur Quente. (f) Cilindro de Massa.



4.1 OBTENÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

A inclinação ótima para o módulo fotovoltaico na cidade de Taubaté é estimado em 25° [7]. Como no programa SunData não foi possível escolher este ângulo de inclinação, considerou-se uma inclinação de 23° para a avaliação do fluxo de radiação solar, ou seja, igual à latitude de Taubaté. A média diária anual de radiação solar obtida pelo SunData foi de 4,86kWh/m²/dia. Também foram calculadas a média mensal de radiação solar e o seu valor total anual. Os resultados são apresentados na Tabela 1. Note que na Tabela 1, já se consideram os fluxos de radiação, levando-se em conta o número de horas de irradiação esperado para a localidade.

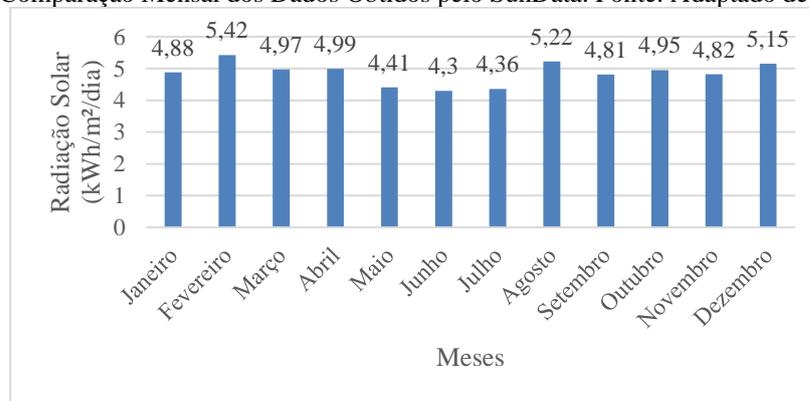
Tabela 1: Dados Radiação Solar

Mês	Número de Dias	SunData (kWh/m ² /dia)	SunData (kWh/m ² /mês)
Janeiro	31	4,88	151,28
Fevereiro	28	5,42	151,76
Março	31	4,97	154,07
Abril	30	4,99	149,70
Maio	31	4,41	136,71
Junho	30	4,30	129,00
Julho	31	4,36	135,16
Agosto	31	5,22	161,82
Setembro	30	4,81	144,30
Outubro	31	4,95	153,45
Novembro	30	4,82	144,60

Dezembro	31	5,15	159,65
Média Diária Anual (kWh/m ² /dia)			4,86
Média Mensal (kWh/m ² /mês)			147,63
Total Radiação Anual (kWh/m ² /ano)			1771,5

Por meio da Figura 5 foi possível analisar que os meses de fevereiro, agosto e dezembro possuem as maiores radiações solar médias mensais. A estação do ano em fevereiro e dezembro é o verão, o que faz com que a radiação seja elevada. O mês de janeiro normalmente é chuvoso, o que pode afetar o índice de radiação neste mês, i.e., espera-se haver um sombreamento maior ocasionado pelas núvens. Já os meses de maio, junho e julho possuem os menores índices do ano, sendo que as estações são o outono e inverno.

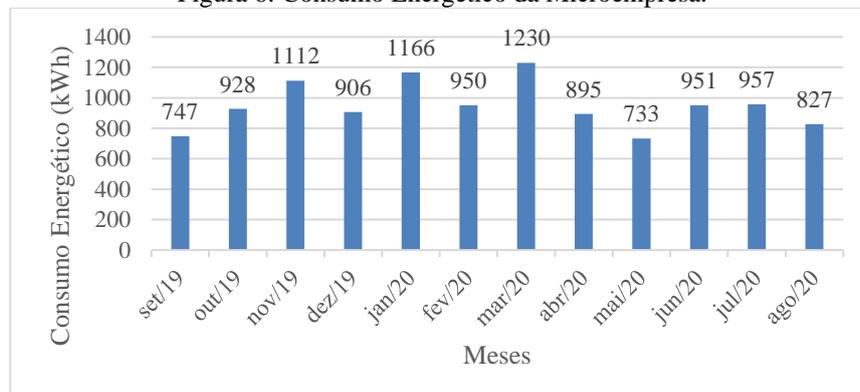
Figura 5: Comparação Mensal dos Dados Obtidos pelo SunData. Fonte: Adaptado de [14].



4.2 CONSUMO ENERGÉTICO DA MICROEMPRESA

Na cidade de Taubaté, a concessionária responsável pelo fornecimento de energia elétrica para a cidade é a EDP São Paulo. Para o presente estudo de caso, considerou-se o período de setembro de 2019 a agosto de 2020. A Figura 6 apresenta o histórico de consumo do período analisado, apresentando o consumo em kWh por mês.

Figura 6: Consumo Energético da Microempresa.



De acordo com a Figura 6, observa-se uma variação significativa no consumo de energia elétrica, sendo que nos meses de novembro, janeiro e março ocorreram tipicamente as maiores demandas. A microempresa fornece alimentos para escolas e eventos em geral. Como nos meses de dezembro e julho normalmente são férias, isso pode afetar as vendas e conseqüentemente o seu consumo energético. Como a estação do ano em janeiro é verão, a justificativa para o aumento do consumo se dá também no fato do aumento do uso de ventiladores e da ocorrência do aumento da abertura de geladeiras e freezers, que faz com que estes eletrodomésticos demandem mais energia para manter suas temperaturas de operação. Segundo [16], toda vez que os freezers são abertos, ocorre a entrada de calor externo e com isso, afeta-se a temperatura de operação do equipamento, fazendo com que o compressor seja acionado mais vezes e por um período maior, levando a um consumo maior de energia.

4.3 PESQUISA DE MERCADO

Antes de iniciar os cálculos para verificar o número de módulos fotovoltaicos necessários, foi preciso realizar uma pesquisa de mercado para analisar os tipos de painéis, sua potência e rendimento. Colville [17] apontou os dez maiores produtores de painéis fotovoltaicos do mundo em 2018, apresentados no Quadro 1. Com isso, buscou-se nos sites dos fabricantes as informações técnicas necessárias dos painéis disponíveis, considerando os modelos disponíveis no mercado brasileiro.

Quadro 1: Top 10 Fornecedores de Paineis Fotovoltaicos.

Ranking	Empresas
1º	JinkoSolar
2º	JA Solar
3º	Trina Solar
4º	LONGi Solar
5º	Canadian Solar
6º	Hanwha Q-CELLS
7º	Risen Energy
8º	GCL-SI
9º	Talesun
10º	First Solar

Fonte: Adaptado de [16].

Nos sites de vendas de painéis fotovoltaicos como NeoSolar Energia, Portal Solar, Aldo Solar, Energia Total e Minha Casa Solar encontraram-se painéis para 7 das marcas citadas no Quadro 2, disponíveis para compra no Brasil. Dessa forma, foi possível buscar pela ficha técnica dos equipamentos. A Tabela 2 apresenta as especificações de painéis das

diferentes marcas encontradas, considerando módulos com 72 células que são os mais comuns no mercado. Na busca, foram considerados os tipos policristalino e monocristalino com o mesmo número de células fotovoltaicas, para que em seguida fosse realizada uma comparação das eficiências de cada material.

Os painéis das marcas Canadian Solar e GCL-SI vendidos no Brasil são em sua maioria os policristalinos. Com a dificuldade em encontrar o tipo monocristalino disponível para compra, considerou-se apenas o policristalino. Já os das marcas Jinko Solar, Trina Solar, Risen Solar, JA Solar e LONGi Solar foram encontrados apenas o tipo monocristalino à venda nos sites brasileiros. Vale ressaltar que, considerou-se de cada marca, o painel com maior potência disponível para compra no mercado brasileiro e que não foram encontrados painéis disponíveis para compra das marcas Hanwha Q-CELLS, Talesun e First Solar nos sites de venda brasileiros.

Tabela 2: Dados dos Painéis Fotovoltaicos

Marca do Painel Fotovoltaico	Modelo	Tipo	Potência (W)	Eficiência (%)	Comprimento x Largura x Altura (m)	Valor (R\$)
Jinko Solar	JKM380-400M	Monocristalino	400W	20,17%	1,979 x 1,002 x 0,040	R\$ 1.099,00
LONGi Solar	LR4-72HPH 435	Monocristalino	435W	20,00%	2,094 x 1,038 x 0,035	R\$ 1.200,00
Trina Solar	TSM-DE15M 390-410	Monocristalino	400W	19,70%	2,024 x 1,004 x 0,035	R\$ 1.099,00
Risen Solar	RSM72-6-335P	Monocristalino	335W	17,30%	1,956 x 0,992 x 0,040	R\$ 765,00
JA SOLAR	JAM6(K)-72-335/PR	Monocristalino	335W	17,25%	1,956 x 0,991 x 0,045	R\$ 760,00
Canadian Solar	CS3W-400	Policristalino	400W	18,11%	2,108 x 1,048 x 0,040	R\$ 950,00
GCL-SI	P6/72 330w	Policristalino	330W	17,00%	1,956 x 0,992 x 0,040	R\$ 749,00

Conforme [18], o painel fotovoltaico do tipo monocristalino é mais eficiente que o policristalino, já que sua composição de silício é mais pura devido ao seu processo de fabricação. Considerando os painéis da Jinko Solar, Trina Solar e Canadian Solar podemos verificar que existe uma diferença entre suas eficiências, sendo que o Jinko Solar e Trina solar são monocristalinos e mais eficientes que o painel policristalino da Canadian Solar.

Ainda segundo [18], o custo do processo de fabricação dos painéis policristalinos é menor. O seu processo gera menos resíduo de silício, mas também acarreta menor concentração do material na composição do painel, fazendo com que seu preço seja inferior

ao do painel monocristalino. Com a coleta de dados, confirmou-se que o tipo monocristalino tem um custo maior, conforme pode ser visto na Tabela 2.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Após a pesquisa de mercado, iniciou-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico. O sistema foi dimensionado para os 7 tipos de painéis pesquisados, a fim de verificar qual a opção mais econômica e eficiente para a microempresa.

Para o cálculo do número de módulos fotovoltaicos, por meio da Equação 4, considerou-se o produto dos rendimentos (R) pelo (TD) como 80% de área útil da cobertura, assim como feito por [9]. Ressalta-se que este rendimento, inclui perdas de rendimento devido a sujeiras, variações na taxa de irradiação solar, dentre outros fatores não controláveis. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para o número de módulos e consequente custo. Ressalta-se que a área de cobertura requerida por qualquer uma das marcas é muito inferior à área de cobertura da edificação no valor de 292,83 m². Para a estimativa do número de módulos, fez-se uma previsão da geração de energia em cada mês pelo sistema e considerou-se o menor número de módulos que resultasse numa produção anual excedente de energia. A Tabela 4 apresenta a previsão do balanço energético, calculado como a energia produzida pelo sistema menos a energia consumida pela microempresa. Embora haja 5 meses no ano, em que a produção é menor que a demanda, ou por causa do pico de produção ou pela menor irradiação solar, o saldo anual é positivo, variando de 0,1% do consumo anual para a empresa Risen solar até 4,5% para a empresa Trina Solar.

Tabela 3 - Dados do Número de Placas.

Marca do Painel Fotovoltaico	Eficiência (Ef) (%)	Número de módulos (N)	Área de cobertura (A) m ²	Custo das placas (R\$)
Jinko Solar	20,17	21	41,64	23.079,00
LONGi Solar	20,00	19	41,30	22.800,00
Trina Solar	19,70	21	42,67	23.079,00
Risen Solar	17,30	24	46,57	18.360,00
JA SOLAR	17,25	25	48,46	19.000,00
Canadian Solar	18,11	21	46,39	19.950,00
GCL-SI	17,00	25	48,51	18.725,00

Tabela 4 – Estimativa do balanço energético por marca em kWh/mês

Mês\Marca	Jinko Solar	LONGi Solar	Trina Solar	Risen Solar	JA SOLAR	Canadian Solar	GCL-SI
set/19	223	206	223	183	218	223	205
out/19	103	86	104	61	98	103	84
nov/19	-140	-157	-140	-180	-145	-140	-158
dez/19	167	149	168	123	162	167	147
jan/20	-149	-166	-149	-191	-154	-149	-168

fev/20	70	53	71	28	65	70	51
mar/20	-195	-212	-194	-237	-200	-194	-214
abr/20	111	94	112	70	106	111	93
mai/20	186	170	186	148	181	186	169
jun/20	-84	-99	-83	-120	-88	-84	-100
jul/20	-49	-64	-48	-86	-53	-49	-65
ago/20	260	242	261	216	255	261	241
Saldo							
Acumulado							
Anual	501	303	512	15	445	505	285

De acordo com os dados apresentados nas Tabela 3 e 4, percebe-se que as soluções mais caras são as das empresas Jinko Solar, Trina solar e LONGi Solar e as de menor custo são das empresas Risen Solar, GCL-SI e JA SOLAR. As empresas que fornecem uma solução com menor percentual de produção excedente são a Risen Solar, GCL-SI e LONGi Solar, o que aumenta o risco de não se ter um balanço anual positivo ou nulo de produção de energia. As empresas que fornecem maior percentual excedente de produção de energia são Trina Solar, Canadian Solar e Jinko Solar, seguindo-se a JA SOLAR. Excluíram-se, assim, como fornecedoras as empresas Risen Solar, GCL-SI, LONGI Solar, Jinko Solar e Trina Solar, ou porque fornecem um pequeno percentual de energia excedente ou por serem de elevado custo. Assim, restam as empresas JA SOLAR e Canadian Solar, as quais apresentam similares custos e produção excedente. Considerando que a empresa JA SOLAR apresenta-se na segunda colocação mundial, escolheu-se esta para as análises subsequentes. Ressalta-se que a capacidade nominal de cada painel de 335W é compatível com a demanda de energia da microempresa.

Para o dimensionamento do inversor foi preciso calcular o fator de dimensionamento FDI utilizando a Equação 5. O cálculo deste fator é importante para verificar o melhor inversor que possa trabalhar com ajuste ótimo e maior eficiência, utilizando grande parte da energia gerada. Conforme [12], o mais comum é utilizar inversores com 90% da capacidade do sistema fotovoltaico. Dessa forma, o inversor trabalhará com a máxima eficiência. Entretanto, ressalta-se que fixar o FDI pode gerar imprecisão nos resultados, já que existem variações na geração de energia fotovoltaica dependendo da localidade.

Para a potência mínima do sistema, estimou-se a potência do inversor em 7,245kW. Foram pesquisados inversores com potência próxima ao valor calculado.

Segundo [20], as cinco principais marcas que fabricam inversores solares são: Sineng, Huawei, Sungrow, SMA e Power Electronics. Já segundo [21], as cinco principais marcas vendidas no Brasil são: Huawei, ABB, SMA, Sungrow Power Supply e Fronius. A Fronius do Brasil é uma marca austríaca que atua no mercado brasileiro com diversos

produtos, sendo um deles os inversores solares. Por meio de uma busca de mercado, a empresa se destacou com diversas opções de inversores de diferentes potências. Com isso, optou-se por escolher o inversor On Grid Fronius Symo Brasil 10.0-3 208-240, de 10kW de potência, trifásico e com tensão de 220V. O inversor escolhido é certificado pelo INMETRO com seu desempenho aprovado pelo Instituto, além de estar adequado conforme o Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Calculando-se o valor do FDI, conforme Equação 5, considerando a potência do inversor, foi obtido o resultado de 1,38. Da Costa [12] aponta que apesar de o inversor trabalhar no ponto ótimo com FDI igual a 0,9, permite-se a operação com valores de FDI abaixo de 0,9 ou acima de 1. Além disso, conforme o próprio manual técnico do inversor da Fronius, este é adequado para sistema fotovoltaicos com potência mínima de 8kW a 13kW sendo assim adequado para o presente uso.

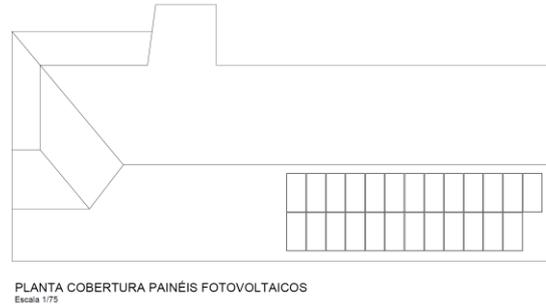
Por fim, foi dimensionado o número máximo de módulos por fileira ($N_{m\acute{a}x}$) por meio da Equação 6, que podem ser instalados sem danificar o inversor. A Tabela 6 apresenta os valores de tensão em circuito aberto dos módulos fotovoltaicos (V_{oc}) e os resultados para o $N_{m\acute{a}x}$ de cada um.

Tabela 6: Número Máximo de Módulos por Fileira.

Painel Fotovoltaico	Ef (%)	G (kWh/mês)
Jinko Solar	20,17%	6975,44
LONGi Solar	20,00%	6916,64
Trina Solar	19,70%	6812,89
Risen Solar	17,30%	5982,90
JA SOLAR	17,25%	5965,61
Canadian Solar	18,11%	6263,02
GCL-SI	17,00%	5879,15

De acordo com os resultados da Tabela 6, verificou-se que para o painel da JA SOLAR deve-se instalar no máximo 13 módulos em fileira sem danificar o inversor. Os painéis foram colocados na face do telhado que está mais direcionada para o norte, conforme Figura 7. De acordo com os estudos de [11] é indicado que o sistema seja implementado na direção norte para um maior aproveitamento da radiação solar, visto que o sol nasce a leste e se põe a oeste, com uma leve inclinação para o norte.

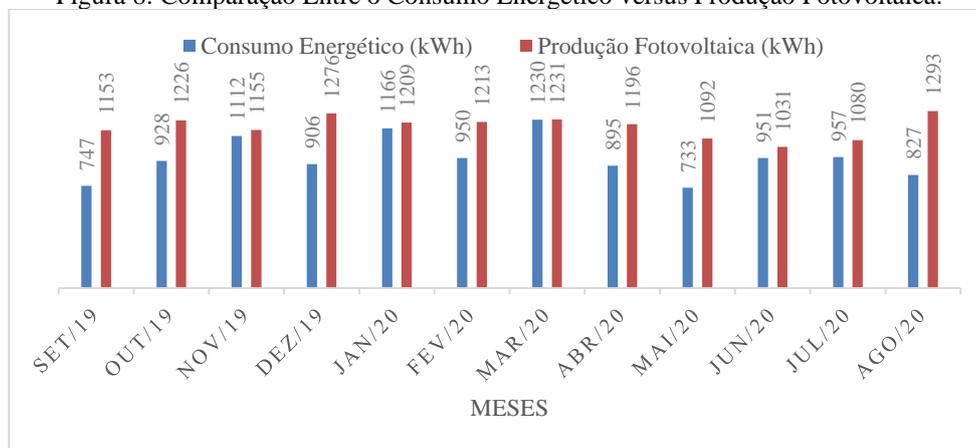
Figura 7: Planta Cobertura com 25 Módulos Fotovoltaicos.



4.5 DISCUSSÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

A Figura 8 exibe um comparativo entre os consumos mensais da microempresa durante o período de setembro de 2019 a agosto de 2020 e a capacidade de geração de energia do sistema escolhido. Observa-se que o sistema atenderia a demanda em todos os meses do ano. Como mensalmente o empreendimento consome em torno de 700 a 1.250kWh, a implementação do sistema traz benefícios econômicos reduzindo 100% do custo com o consumo de energia elétrica. O mês de março de 2020 foi o de maior consumo com 1.230 kWh, sendo que o sistema conseguiria suprir a demanda com 1.231,02kWh, atendendo-a com apenas 0,08% de energia a mais.

Figura 8: Comparação Entre o Consumo Energético versus Produção Fotovoltaica.



A Tabela 7 apresenta o custo de cada equipamento e serviço para implementação do sistema fotovoltaico de acordo com os estudos de caso de [11] e [22].

Tabela 7: Levantamento dos Custos do Sistema Fotovoltaico.

Equipamentos e Serviços	Fornecedor/ base de cálculo	Custo
25 Módulos Fotovoltaicos JA SOLAR		19.000,00
Inversor Fronius Symo Brasil	Eletromalu	13.672,62
Suportes para Fixação	10 % do valor do sistema	3.267,26
Projeto Elétrico e Encargos de Instalação	20 % do valor do sistema	6.534,52
Homologação com a Concessionária	2 % do valor do sistema	653,45
Painel de Proteção	2,5 % do valor do sistema	816,82
Instalação Elétrica dos Paineis	16,4 % do valor do sistema	5.358,31
Valor Total do Investimento		49.302,98

O valor do investimento inicial contemplou os custos dos 25 módulos fotovoltaicos, de um inversor, dos serviços de instalação, projeto e homologação na concessionária de energia. A tarifa de energia elétrica média dos 12 meses analisados foi de R\$0,82/kWh e a energia anual consumida (Ea) durante o período analisado foi de 11.402kWh. O tempo de payback simples pela Equação 8 é de aproximadamente 5 anos e 3 meses.

Para a projeção detalhada do retorno do investimento, é necessário analisar financiamentos possíveis, como aqueles obtidos pelo sistema BNDES [13]. O tempo máximo de financiamento previsto na ferramenta do BNDES [13] é de 5 anos, sendo possível, escolher um tempo de carência, a projeção de inflação e a taxa de remuneração do agente financeiro. Na Tabela 8, apresenta-se a previsão de financiamento desconsiderando-se um período de carência, considerando o percentual de taxa de remuneração de 5% e projeção de inflação de 3,63%, equivalendo a uma taxa de juros anual efetiva de 12,48% segundo [27], um pouco inferior a uma taxa de juros mensal de 1%. Apresentaram-se as parcelas a serem pagas nos dois primeiros anos e no último ano, uma vez que o sistema disponibilizado em [27] não trabalha com parcelas fixas. Percebe-se que nos primeiros anos o aporte financeiro não é pequeno, podendo ser proibitivo para a microempresa no atual cenário de economia retraída devido à pandemia. Ressalta-se que a parcela fixa obtida aplicando-se a tabela Price com taxa mensal de juros de 1%, resultando numa taxa anual efetiva de 12,68%, seria de R\$1.096,72. Percebe-se, assim, a necessidade de ou baixar a taxa de juros ou aumentar o prazo de financiamento. Por exemplo, mantendo-se a taxa de juros de 1% ao mês, mas ampliando-se o prazo de financiamento para 10 anos, inferior ao tempo de garantia típico dos sistemas [11,23], o valor mensal fixo a ser pago seria de R\$ 707,35, ou seja, considerando-se que não haveria gastos com o consumo de energia, não haveria aumento de gastos, podendo-se, inclusive, alcançar uma pequena economia anual. Vale ressaltar que a tarifa de energia sofre reajustes anuais. Em outubro de 2020 a ANEEL aprovou novas tarifas para a EDP Bandeiras, reajustando o valor do kWh em 3,83% para consumidores residenciais B1 [24]. Devido aos reajustes, as tarifas

podem aumentar, portanto, a economia de custo energético com o sistema fotovoltaico seria, na verdade, maior para a microempresa em relação aos valores apresentados.

Tabela 8: Previsão de pagamento do investimento considerando o sistema BNDES

Mês	Gasto atual	Gasto com financiamento BNDES	Aumento de Gasto
1	612,54	1307,14	694,60
2	760,96	1299,05	538,09
3	911,84	1290,95	379,11
4	742,92	1282,86	539,94
5	956,12	1274,78	318,66
6	779,00	1266,69	487,69
7	1008,60	1258,59	249,99
8	733,90	1250,50	516,60
9	601,06	1242,42	641,36
10	779,82	1234,33	454,51
11	784,74	1226,23	441,49
12	678,14	1218,14	540,00
13	612,54	1210,05	597,51
14	760,96	1201,97	441,01
15	911,84	1193,88	282,04
16	742,92	1185,78	442,86
17	956,12	1177,69	221,57
18	779,00	1169,60	390,60
19	1008,60	1161,52	152,92
20	733,90	1153,42	419,52
21	601,06	1145,33	544,27
22	779,82	1137,24	357,42
23	784,74	1129,15	344,41
24	678,14	1121,06	442,92
⋮	⋮	⋮	⋮
49	612,54	918,80	306,26
50	760,96	910,71	149,75
51	911,84	902,62	-
52	742,92	894,53	142,39
53	956,12	886,44	-
54	779,00	878,35	29,66
55	1008,60	870,26	-
56	733,90	862,17	-
57	601,06	854,07	242,94
58	779,82	845,99	66,17
59	784,74	837,90	53,16
60	678,14	829,81	151,67

Apesar de o sistema fotovoltaico possuir um custo elevado, diversos estudos de caso na literatura também avaliaram a questão financeira para implementação e verificaram diferentes tempos de retorno do investimento. Vale ressaltar que devido à necessidade de um grande investimento financeiro, muitas microempresas e novos empreendimentos não possuem fluxo de caixa suficiente para tal. Muitas vezes, o microempresário, não se sente confortável em adquirir uma dívida e mesmo na possibilidade de contrair um empréstimo de longo prazo que não aumentasse seus custos mensais de produção, opta por não investir. Por isso, incentivos governamentais que viabilizem a aplicação de taxas de juros inferiores

a 1% ao mês ou que permitam o aumento do prazo de financiamento, e o desenvolvimento da tecnologia nacional se tornam indispensáveis para o crescimento da geração de energia por sistemas fotovoltaicos em microempresas. Autores como [6] e [23] também apontam a necessidade de desenvolvimento do setor nacional de energia fotovoltaica e de incentivos fiscais como taxas de juros menores e até isenções, para que assim os custos de implementação possam ser reduzidos. Miranda [23] apontou payback de 9 a 10 anos para o estudo de caso em estabelecimentos comerciais com potências nominais entre 1.960W e 2.920W. Silva [11] apresentou em sua pesquisa um retorno do investimento em 9 anos para a Fundação de Amparo ao Menor de Paulo Afonso na Bahia. Neste estudo, o consumo energético era em média 1.100kWh por mês. Foi possível observar que para os estudos realizados entre 2014 a 2018, o custo do sistema era mais elevado, uma vez que o tempo de retorno do investimento foi superior a 7 anos. Estudos mais recentes como o de [25], que analisou a implementação em um prédio residencial localizado em Juiz de Fora (Minas Gerais) que consumia entre 2.603 a 2.943kWh/mês, o payback calculado foi de 4 anos e 3 meses. Alves e Carvalho [26] analisaram um supermercado de médio porte que já possuía painéis fotovoltaicos instalados, verificando assim o real tempo de retorno do investimento com o sistema. Os autores concluíram que o payback se deu em 3 anos. Os resultados apresentados para a microempresa estudada são coerentes com estes resultados da literatura.

Finalmente, cumpre ressaltar, que na existência de uma linha de financiamento que viabilizasse a implementação do sistema fotovoltaico, a microempresa poderia investir na troca de seu maquinário, reduzindo-se o tempo de retorno do financiamento.

5 CONCLUSÃO

O sistema fotovoltaico proposto para a microempresa do setor de alimentos atenderia a demanda de forma satisfatória. Levando em conta os cálculos realizados no estudo de caso, a proposta supriria o consumo energético anual da microempresa com a produção de um pequeno excesso de energia elétrica, o qual poderia compensar eventuais perdas no sistema quando operado sob condições reais. A sua implantação custaria em torno de R\$49.302,98 com um retorno de investimento a partir de 5 anos, considerando-se o atual cenário de taxas de juros elevadas e prazo de financiamento pequeno. Mostra-se, assim, a necessidade por parte do governo de se ampliar os incentivos para viabilizar a implementação de sistemas fotovoltaicos, particularmente, num cenário de economia retraída.

REFERÊNCIAS

- [1] BOMBONATO, F. A.; NOGUEIRA, C. E. Estudos Sobre a Energia Elétrica, Eficiência Energética e a Sustentabilidade na Construção Civil. *Revista Thêma et Scientia*, v.4, n.2, p. 120-126, 2014.
- [2] EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2027. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2027>> Acesso em: 07 jun. 2020.
- [3] EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2019, Ano Base 2018. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>> Acesso em: 16 mai. 2020.
- [4] DASSI, J. A.; ZANIN, A.; BAGATINI, F. M.; TIBOLA, A.; BARICHELLO, R.; DE MOURA, G. D. Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Energia Solar Fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. XXII Congresso Brasileiro de Custos, Foz do Iguaçu, 2015.
- [5] SANTOS, J. B.; JABBOUR, C. J. C. Adoção da Energia Solar Fotovoltaica em Hospitais: Revisando a Literatura e Algumas Experiências Internacionais. *Saúde e Sociedade*, v.22, p. 972-977, 2013.
- [6] RIBEIRO, F. Estudo de Caso: Implantação de Sistema Fotovoltaico On-Grid em Piquirivai Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, PR, 2019.
- [7] CRONOEMBERGER, J.; MARTÍN, E. C.; SÁNCHEZ, S. V. Assessing the Solar Irradiation Potential for Solar Photovoltaic Applications in Buildings at Low Latitudes – Making the Case for Brazil. *Energy and Buildings*, v. 55, p. 264-272, 2012.
- [8] SUL ENERGIA. Como Funciona: Sistema Fotovoltaico. Pinhal da Serra, RS, 2020. Disponível em: <<http://www.sulenergia.net.br/como-funciona>>. Acesso em: 07 jun. 2020.
- [9] SIGNORINI, V. B.; VIANNA, S. D.; SALAMONI, I. Análise do Potencial de Geração de Energia Solar Fotovoltaica em um Sistema Integrado à Edificação e Interligado à rede – Estudo de Caso no Prédio Administrativo do Campus Porto da UFPEL. *Revista de Arquitetura da IMED*, v.3, n.2, p. 108-117, 2014.
- [10] PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio S.Brito (CRESESB). Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- [11] SILVA, J. M. L. Estudo de Dimensionamento e da Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para a Fundação de Amparo ao Menor de Paulo Afonso (FUNDAME). Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus de Paulo Afonso, BA, 2018.

[12] DA COSTA, H. J. S. Avaliação do Fator de Dimensionamento Inversor em Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2010.

[13] BNDES. O Banco Nacional do desenvolvimento. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/simulador/?productCode=AOI_059&valorBem=49302.98&percentualFinanciado=100&prazoFinanciamento=60&prazoCarenacia=0&spreadAgente=3&projecaoInflacaoAnual=3.63. Acesso: 05 Janeiro de 2021.

[14] CRESESB, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio S.Brito. Base de Dados. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 21 mar. 2020.

[15] ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). ANEEL Aprova Novas Tarifas Para Consumidores pela EDP SP. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <bit.ly/2TbNOJK>. Acesso em: 15 nov. 2020.

[16] OLIVEIRA, M. H. F.; REBELATTO, D. A. N.; YAMASHITA, B. D. Análise dos Refrigeradores e Freezers Utilizados no Brasil e de Novas Tecnologias que Possam Aumentar sua Eficiência Energética. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas. Bauru, SP, n.3, p. 173-189, 2016.

[17] COLVILLE, F. Top 10 Solar Module Supplier in 2018. PV Tech & Solar Media LTD. Londres, 2019. Disponível em: <<https://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-solar-module-suppliers-in-2018>>. Acesso em: 12 out. 2020.

[18] PORTAL SOLAR. Tipos de Painel Solar Fotovoltaico. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 29 ago. 2020.

[19] RAMOS, A. E. M.; ANDRADE, V. S. Análise de Desempenho de Sistema Fotovoltaica Conectado – Um Estudo de Caso em uma Instituição Pública de Governador Valadares. IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, São Bernardo do Campo, SP, 2018.

[20] CANAL SOLAR. Top 5 Ranking dos Maiores Fabricantes de Inversores Solares. 2019. Disponível em: <<https://www.canalsolar.com.br/index.php/noticias/item/126-top-5-ranking-dos-maiores-fabricantes-de-inversores-solares>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

[21] SANTANA, B. Inversores Fotovoltaicos: Conheça 5 Marcas que Revolucionam o Mercado de Energia Solar. BMS Energia Solar, 2019. Disponível em: <<https://bmsenergiasolar.com.br/inversores-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

[22] FERREIRA, R. M. Estudo de Viabilidade Econômica Para Implantação de Geração Fotovoltaica em Escola Municipal de Abaeté/MG. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Formiga, MG, 2016.

[23] MIRANDA, A. B. C. M. Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2014.

[24] ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Resolução Normativa N° 687, de 24 de Novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2020.

[25] FERREIRA, J. L. C.; PIZZOLATO, N. D. Análise Econômica de um Sistema Fotovoltaico para Condomínio – Estudo de Caso. Revista de Trabalhos Acadêmicos, Universo Juiz de Fora, v. 1, n. 10, 2019.

[26] ALVES, J. F.; CARVALHO, L. C. Implantação de Energia Solar Fotovoltaica: Análise da Viabilidade Econômica em Supermercado de Porte Médio. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas. Varginha, MG, 2019.