

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FELIPE GIOVANNI ALVES FURTADO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
EM INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS**

**PATO BRANCO**

**2021**

**FELIPE GIOVANNI ALVES FURTADO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
EM INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS**

**Feasibility Analysis Of Installing A Photovoltaic System In Dairy Industries**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof. Dr. Alexandre Batista de Jesus Soares.

**PATO BRANCO**

**2021**



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FELIPE GIOVANNI ALVES FURTADO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
EM INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 19 / Novembro / 2021

---

Alexandre Batista de Jesus Soares  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Filomena Barbosa Rodrigues Mendes  
Doutora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

José Paulo de Barros Neto  
Mestre  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PATO BRANCO**

**2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha família que sempre me apoiou, mesmo quando escolhi estudar tão distante de minha terra natal, e me deu suporte durante toda minha vida em minhas escolhas.

A todos os professores da UTFPR com quem tive contato em meio acadêmico ou fora dele, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Batista de Jesus Soares com quem tive a oportunidade de cursar várias disciplinas e ao final do curso aceitou meu convite para orientação do TCC.

Gostaria de agradecer também aos meus amigos Aviner Moraes, Matheus Ayres, Matheus Queiroz, Pablo Ruiz e minha namorada Bianca Karasek, que se tornaram minha família no Paraná, e que pude sempre recorrer nos momentos de felicidade e tristeza durante minha graduação.

Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.  
(TESLA; NIKOLA, 1927).

## RESUMO

FURTADO, Felipe Giovanni Alves. **Análise de Viabilidade da Instalação de um Sistema Fotovoltaico em Indústrias de Laticínios**. 2021. 55 p. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

A energia solar tem ganhado mais destaque a cada ano, seja pela conscientização da população ou pela econômica que gera para as unidades consumidoras, uma vez que o valor energia disponibilizada pela concessionária tende a aumentar todo ano. Este busca apresentar a facilidade nos dias de hoje para se implementar um sistema fotovoltaico em uma indústria, utilizando como exemplo, uma indústria de laticínio. O trabalho apresenta inicialmente, o estado da arte de sistemas fotovoltaicos, com a história, tipos e características. Posteriormente, é detalhado todo o processo para o dimensionamento do sistema, analisando-se o consumo energético da indústria, espaço disponível para a geração. Ao final do trabalho, é apresentado o cálculo para analisar a viabilidade econômica financeira do projeto proposto.

**Palavras-chave:** Geração intermitente, Mercado de energia elétrica, Energia Renovável.

## ABSTRACT

FURTADO, Felipe Giovanni Alves. **FEASIBILITY ANALYSIS OF INSTALLING A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN DAIRY INDUSTRIES**. 2021. 55 p. Monograph (Graduation in Electric Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2021.

Solar energy has gained more prominence with each passing year, whether by raising the population's awareness or by the economy it generates for consumer units, since the energy made available by the utility becomes more expensive every year. This seeks to present the facility nowadays to implement a photovoltaic system in an industry, using as an example, a dairy industry. The work initially presents the state of the art of photovoltaic systems, with its history, types and characteristics. Subsequently, the entire process for sizing the system is detailed, analyzing the industry's energy consumption, space available for generation. At the end of the work, the calculation to analyze the economic and financial viability of the proposed project is presented.

**Keywords:** Intermittent Generation, Electricity Market, Renewable Energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Efeito Fotovoltaico. . . . .	20
Figura 2:	Conexão de fontes de tensão em série. . . . .	20
Figura 3:	Gráfico relação "Corrente vs Tensão"em ligação <i>string</i> . . . . .	21
Figura 4:	Conexão de fontes de tensão em paralelo. . . . .	21
Figura 5:	Gráfico relação "Corrente vs Tensão"em ligação <i>array</i> . . . . .	22
Figura 6:	Superposição dos gráficos de "Corrente vs Tensão"e de "Potência vs Tensão". . . . .	23
Figura 7:	Painel Fotovoltaico sob o efeito de sombreamento. . . . .	24
Figura 8:	Exemplo de sistema fotovoltaico na configuração <i>on-grid</i> . . . . .	25
Figura 9:	Exemplo de sistema fotovoltaico na configuração <i>off-grid</i> . . . . .	26
Figura 10:	Módulo fotovoltaico EMS 330P. . . . .	29
Figura 11:	Caixa de conexão. . . . .	30
Figura 12:	Conector MC4. . . . .	31
Figura 13:	Estrutura de cobertura. . . . .	32
Figura 14:	Estrutura de Telhado. . . . .	32
Figura 15:	Inversor Fotovoltaico SE100K. . . . .	33
Figura 16:	Controlador de Carga. . . . .	34
Figura 17:	String Box. . . . .	35
Figura 18:	Bateria Estacionária. . . . .	36
Figura 19:	Fatura de serviço de fornecimento de energia elétrica da indústria em estudo. . . . .	38
Figura 20:	Vista vertical do laticínio em estudo. . . . .	39
Figura 21:	Irradiação Solar no Plano Horizontal para a localização do laticínio. . . . .	40
Figura 22:	Histórico do consumo energético de Janeiro a novembro de 2020 da indústria em estudo. . . . .	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Geração elétrica por fonte no Brasil em 2020. . . . .	12
Tabela 2:	Geração elétrica por fontes alternativas – 10 maiores países em 2017. . . . .	16
Tabela 3:	Irradiação solar média da região do laticínio em estudo. . . . .	40
Tabela 4:	Itens do Kit de Sistema Fotovoltaico de 128,16 kWp da Portal Solar.	42
Tabela 5:	Orçamentos para sistema fotovoltaico de potência instalada de cerca de 128,16 kWp. . . . .	43
Tabela 6:	Consumo energético no horário de pico, fora de pico e reservado no ano de 2020. . . . .	45
Tabela 7:	Previsão da geração de energia provinda do sistema fotovoltaico.	46
Tabela 8:	Economia mensal e anual com a instalação do sistema fotovoltaico.	47
Tabela 9:	Histórico de reajustes da ENEL Goiás. . . . .	48
Tabela 10:	Valor Presente e Saldo ao longo de 10 anos utilizando o sistema fotovoltaico. . . . .	49
Tabela 11:	Resultados do cálculo de VPL. . . . .	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica.
CA	Corrente Alternada.
CC	Corrente Contínua.
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito.
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos.
DSV	Dispositivo de Seccionamento Visível.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética.
HSP	Horas de Sol Pico.
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços.
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia.
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.
TE	Tarifa de Consumo Energia.
TMA	Taxa Mínima de Atratividade.
TUSD	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição .
UC	Unidade Consumidora.
VPL	Valor Presente Líquido.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	MOTIVAÇÃO	13
1.2	OBJETIVO GERAL	16
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4	MÉTODO DE PESQUISA	17
<b>2</b>	<b>ESTADO DA ARTE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b>	<b>19</b>
2.1	HISTÓRIA	19
2.2	EFEITO FOTOVOLTAICO	19
2.3	CONEXÕES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	20
2.3.1	Conexão do tipo <i>string</i>	20
2.3.2	Conexão do tipo <i>array</i>	21
2.4	CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	22
2.5	SOMBREAMENTO	23
2.6	TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	24
2.7	RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012 DA ANEEL	26
2.8	PROCEDIMENTO DE ACESSO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO	27
<b>3</b>	<b>COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>	<b>28</b>
3.1	GRUPO GERADOR	28
3.1.1	Módulos fotovoltaicos	28
3.1.2	Caixa de conexão	30
3.1.3	Conector MC4	30
3.1.4	Estruturas de fixação	31
3.2	GRUPO DE CONDICIONAMENTO DE POTÊNCIA	33
3.2.1	Inversor	33
3.2.2	Controlador de carga	34
3.2.3	String Box	34

3.3	GRUPO DE ARMAZENAMENTO .....	35
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....</b>	<b>37</b>
4.1	VISITA TÉCNICA .....	37
4.2	CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL .....	37
4.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	40
4.4	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR .....	42
4.5	ORÇAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	42
4.6	ESTUDO DE VIABILIDADE .....	44
4.6.1	Análise da Energia Gerada Mensal .....	44
4.6.2	Cálculo de <i>payback</i> por Valor Presente Líquido .....	47
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao decorrer dos anos tem se intensificado a busca por recursos sustentáveis, essa incessante procura se deve ao alto crescimento populacional mundial, que é diretamente proporcional ao consumo de recursos naturais, que na grande maioria são finitos. A maior parte da energia consumida hoje no Brasil é gerada a partir de hidrelétricas, correspondendo a cerca de 63,5% de toda a matriz energética nacional, seguido por gás natural com 9,6% e usinas eólicas com 8,9%, segundo o balanço energético de 2020, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), como pode ser verificado na tabela 1. Essa predominância de hidrelétricas na matriz energética do Brasil se deve ao fato de ser um país composto por muitos rios, com grandes extensões e caudalosos, e sobre terrenos caracterizados por planaltos e depressões, um terreno extremamente propício à instalação de usinas hidrelétricas.

Tabela 1: Geração elétrica por fonte no Brasil em 2020.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Δ% (2019/2018)	Part. % (2019)
<b>Total</b>	<b>552.498</b>	<b>570.835</b>	<b>590.542</b>	<b>581.486</b>	<b>578.898</b>	<b>587.962</b>	<b>601.396</b>	<b>626.324</b>	<b>4,1</b>	<b>100,0</b>
Hidráulica (i)	415.342	390.992	373.439	359.743	380.911	370.906	388.971	397.877	2,3	63,5
Gás Natural	46.679	68.942	81.073	79.503	56.550	65.591	54.295	60.188	10,9	9,6
Derivados de Petróleo (ii)	16.293	22.223	31.529	25.708	12.207	12.911	10.293	7.846	-23,8	1,3
Carvão	8.422	14.801	18.385	19.096	17.001	16.257	14.204	15.327	7,9	2,4
Nuclear	16.038	15.450	15.378	14.734	15.864	15.739	15.674	16.129	2,9	2,6
Biomassa (iii)	34.706	39.684	44.987	47.394	49.236	49.385	51.876	52.111	0,5	8,3
Eólica	5.050	6.578	12.210	21.626	33.489	42.373	48.475	55.986	15,5	8,9
Solar	2	5	16	59	85	831	3.461	6.651	92,1	1,1
Outras (iv)	9.966	12.160	13.524	13.623	13.554	13.968	14.147	14.210	0,4	2,3

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica - EPE 2020.

Apesar de usinas hidrelétricas serem consideradas uma fonte de energia renovável e sustentável, uma vez que a água é um recurso extremamente abundante, suas construções provocam enormes impactos ambientais. Ao realizar a construção de uma usina hidrelétrica, o rio a jusante da barragem tem seu volume aumentado sig-

nificamente, e moradores dessas regiões necessitam ser realocados. Da mesma forma que os moradores, os animais que habitam na região também necessitam ser retirados e realocados para outro lugar. Essa mudança de habitat geralmente não é algo benéfico aos animais, já que precisarão se readaptar ao novo ambiente, e disputar espaço e comida com os que já vivem ali.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

A energia solar é uma fonte extremamente abundante, e seu uso direcionado à geração de energia está em constante crescimento no país, apesar de representar apenas 1,1% da matriz energética nacional, segundo o EPE (2020). Este tipo de energia é utilizado sendo absorvida através de painéis fotovoltaicos, usinas hipotérmicas e aquecedores solares. No caso de painéis fotovoltaicos, essa conversão da radiação do sol em energia elétrica é realizada através de célula fotovoltaicas.

Segundo o Atlas de Irradiação Solar (2017), o Brasil é um lugar muito propício à utilização de painéis solares, uma vez que recebe em média 5,153 kWh de insolação por metro quadrado, o que garante a eficiência energética do sistema.

A indústria de alimentos é um dos setores que mais impactam na economia nacional, assim sempre representou um dos pilares na balança comercial brasileira. O setor de indústrias de laticínios é um dos que mais faturam no Brasil, chegando a 68,7 bilhões de reais em 2019, sendo 27% apenas no estado de Minas Gerais, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (2019). A região com maior percentual de produção leiteira é o Sul, representando 38,15% da produção nacional, sendo o Paraná o maior produtor da região e o segundo do país, com 4,826 milhões de litros apenas em 2017, segundo Embrapa (2018).

Como é de se esperar de um setor que possui um alto faturamento, possui também um alto consumo energético. No mundo capitalista, é incessante a procura por cortar gastos, e assim obter o maior lucro possível. Unindo esses dois pontos, obtém-se a resposta para que indústrias de laticínios procurem tanto a maior eficiência energética.

Em indústrias de laticínios grande parte da energia consumida é gasta em sistema de iluminação, sistema de climatização e refrigeração, motores e compressores e em caldeiras. Sendo que boa parte desses sistemas, como o de refrigeração, funcionam vinte e quatro horas por dia, mesmo em indústrias de pequeno e médio porte, devido ao alto grau de perecibilidade dos produtos.

A caldeira é um equipamento essencial, não apenas em laticínios, mas também como em indústrias madeireiras, termelétricas, petrolíferas e têxtil. Esta caldeira é, basicamente, um reservatório de água com a função de gerar vapor com inúmeras utilidades dentro da indústria, através da queima de lenha. Em laticínios, esse vapor é necessário para diversas etapas do processamento do leite, como na pasteurização, esterilização de recipientes, fabricação de creme de leite, aquecimento de tanques de água e fermentação para produção de queijos, iogurtes e requeijões. Sendo frequentemente utilizada, a caldeira é mais uma grande unidade consumidora (UC) energética da indústria, uma vez que é composta de vários motores e compressores para seu funcionamento.

Indústrias de laticínios geralmente dispõem de muito espaço disponível para a instalação de sistemas fotovoltaicos, pois possuem bastante espaço no telhado. Além deste espaço, indústrias localizadas em fazendas normalmente têm uma área ao redor das fábricas, que são inutilizadas por questões sanitárias, uma vez que a presença de animais, plantações ou árvores frutíferas podem afetar a qualidade do produto.

O alto consumo energético e o amplo espaço livre para a instalação atribuem às indústrias de laticínios um grande potencial de se implantar um sistema de placas fotovoltaicas. No passado, o sistema não era muito comum de ser encontrado em indústrias, pois o custo era extremamente elevado, porém isso tem mudado gradativamente. O valor inicial para implantação do sistema fotovoltaico sempre foi um empecilho para a aquisição do mesmo, porém esse valor tem diminuído consideravelmente, devido ao avanço da tecnologia que vem se tornando cada vez mais barato e acessível.

Para muitos, o investimento inicial ainda é considerado alto, mesmo que o próprio sistema apresente um retorno financeiro em poucos anos, poucas pessoas possuem um capital disponível para tal investimento. Pensando nisso, o governo tem dado diversos incentivos para a aquisição da tecnologia. Esses incentivos se dão através de tributação com a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços ((ICMS) para micro e mini geração, desburocratização com licenças ambientais, e financiamentos com alto crédito e juros acessíveis.

Além dos incentivos do governo, um grande fator de incentivo à aquisição de geração de energia solar é o sistema de compensação de energia disponibilizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pela resolução normativa 482/12, no qual possibilita ao consumidor disponibilizar na rede a energia gerada pelo seu

sistema fotovoltaico e não utilizada, se tornando um crédito que poderá ser utilizado quando necessitar. Esse incentivo se torna tão atrativo, por causa do principal ponto negativo da geração de energia solar que é a irregularidade, que em alguns períodos é extremamente abundante e em outros escassa, dessa forma, não é necessário possuir um banco de baterias para armazenar a energia. A instalação de um sistema fotovoltaico em laticínios se deve a vários fatores, tais como:

- Indústrias de laticínios normalmente dispõem de uma grande área em seu telhado ou até áreas rurais livres ao redor que permitem a instalação dos painéis;
- Possuir baixa manutenção, necessitando apenas de uma limpeza nas placas, aproximadamente a cada 6 meses;
- Fonte de energia renovável e inesgotável;
- Solução economicamente viável, cujo valor dos painéis fotovoltaicos vem decrescendo progressivamente;
- Redução considerável com o gasto de energia com a concessionária;
- Alta durabilidade, possuindo garantia de produção de pelo menos 25 anos;
- Não gera resíduos poluentes ao meio ambiente;
- Marketing verde: por optar por alternativas sustentáveis, demonstra consciência socioambiental, podendo ser transformada em marketing;
- Inúmeros incentivos do governo através de bancos para o financiamento e facilidade para a aquisição do sistema.

Tabela 2: Geração elétrica por fontes alternativas – 10 maiores países em 2017.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	$\Delta\%$ (2017/2016)	Part. % (2017)
<b>Mundo</b>	<b>1.131</b>	<b>1.342</b>	<b>1.509</b>	<b>1.719</b>	<b>1.972</b>	<b>2.267</b>	<b>14,9</b>	<b>100,0</b>
China	143	206	243	294	389	502	29,2	22,1
Estados Unidos	238	275	304	323	374	423	13,1	18,7
Alemanha	130	137	152	177	177	203	15,1	9,0
Japão	55	73	83	97	109	125	14,9	5,5
Índia	53	61	69	79	107	123	14,4	5,4
Reino Unido	38	50	61	81	83	98	18,2	4,3
Brasil	40	47	58	70	84	95	13,3	4,2
Itália	53	61	64	65	68	70	3,3	3,1
Espanha	66	74	70	68	67	69	2,0	3,0
França	28	30	33	39	41	46	10,8	2,0

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica – EPE 2020.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar e analisar comparativamente a viabilidade econômica da utilização de um sistema fotovoltaico em uma indústria de laticínios. A partir de uma análise positiva sobre o dimensionamento e a viabilidade econômica, é esperado que com a instalação do projeto, haja uma queda considerável do consumo de energia externa, para que mensalmente, a indústria pague apenas o provável financiamento do sistema e o mínimo possível à concessionária.

Este trabalho busca estudar e analisar dados sobre o consumo mensal de energia da fábrica a partir da conta de energia mensal paga à concessionária de energia, e fazer o orçamento para a implementação, para que assim seja possível concluir o quão viável e em quais condições, é a instalação de um sistema fotovoltaico em indústria de laticínios.

A meta principal é alcançar empresas do ramo alimentício, demonstrando uma fonte de energia alternativa à provinda da concessionária, sendo um projeto atrativo por afetar o lado financeiro da indústria, se mostrando viável a longo prazo.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos de estudo são:

- Estimar e analisar o consumo energético através da conta de energia mensal paga à concessionária de energia, na qual terá o consumo energético geral da indústria em estudo;
- Analisar a incidência solar em diferentes épocas do ano na região;
- Estudo de orçamento para a implementação de um sistema fotovoltaico;
- Comparação de custos e calcular o payback, analisando se o estudo é vantajoso para esta indústria de laticínios;
- Apresentar dados viáveis à indústrias de laticínios para a implementação do sistema fotovoltaico.

### 1.4 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia adotada para esta pesquisa parte do levantamento de dados do consumo médio mensal de uma indústria de laticínios em Goiás, que produz cerca de 43 diferentes tipos de produtos, para assim, planejar a implantação de um sistema de placas fotovoltaicas. O estudo na empresa será acompanhado pelo gerente industrial da unidade, que se dispôs a apresentar o laticínio e sanar quaisquer dúvidas e apresentar os dados necessários à pesquisa acadêmica, como as unidades consumidoras de energia, espaço disponível, e gasto mensal atual com energia elétrica.

Posteriormente, a partir dos dados de potência e uso diário de cada unidade consumidora presente na indústria em estudo, será possível calcular a demanda energética diária e mensal da indústria em estudo.

Com o dimensionamento do espaço disponível para a instalação, poderá ser concluído o tamanho do sistema fotovoltaico que pode ser implantado e sua máxima geração. Desta forma, é possível analisar se o sistema conseguirá suprir totalmente, ou pelo menos, boa parte do abastecimento energético da indústria. Durante o dimensionamento será necessário o estudo de ampliação de carga, em vista da frequente alteração das unidades consumidoras da indústria e do possível crescimento da mesma. Logo, serão analisado as condições para que o sistema possa

ser ampliado para atender uma carga maior, através de revisões bibliográficas e até mesmo com as empresas que disponibilizam a instalação do sistema.

Após o devido dimensionamento do sistema fotovoltaico, será necessário a realização do orçamento para a implementação do sistema. Nesse orçamento, deverá estar incluso todos os custos que envolvem a instalação do sistema para a geração de energia como o custo de células fotovoltaicas, inversores, da mão de obra, fiação, estruturas de suporte, e equipamentos de proteção de forma que obedecem a norma regulamentadora NR-10 para garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que interagem nas instalações e serviços com eletricidade.

Ao final do projeto, para avaliação econômica, será feito um estudo de payback, que representa o cálculo do tempo que levará para que a empresa pague o investimento feito, com a economia da conta de energia que obteve ao decorrer dos anos. Ou seja, nesse período o capital investido deverá ser igual à economia obtida através do sistema.

## 2 ESTADO DA ARTE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Neste capítulo será apresentado o estado da arte de sistemas fotovoltaicos, para ajudar a entender a história da criação de energia solar seu princípio de funcionamento, componentes principais do sistema, principais formas de conexão, inversores utilizados, resolução normativa da ANEEL sobre o assunto e procedimentos de acesso à rede de distribuição.

### 2.1 HISTÓRIA

O primeiro registro documentado em livros data de 1839, quando o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, com apenas 19 anos, realizou um experimento utilizando cloreto de prata e brometo de prata para revestir os eletrodos de platina, e após iluminados foram gerados tensão e corrente. Muito conhecido como efeito fotoelétrico, o ocorrido também ficou conhecido como “efeito Becquerel”.

Após o sucesso desse experimento mais estudos foram realizados a respeito do assunto, e em 1883 o americano Charles Fritts desenvolveu a primeira célula fotovoltaica de selênio e em 1884 o primeiro painel solar de telhado do mundo utilizando essas mesmas células, instalando na cidade de Nova York. O termo “fotovoltaica” é a combinação de duas palavras, sendo a primeira foto, que tem origem grega, cujo significado é “luz”. A segunda é voltaica, que vem da palavra “volt”, unidade de tensão elétrica do Sistema Internacional de Unidade, em homenagem a Alessandro Volta, creditado como o inventor da pilha voltaica.

### 2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

Conhecido popularmente com placas solares, os módulos fotovoltaicos são os responsáveis pela geração de energia elétrica a partir do efeito fotoelétrico. Esses módulos são compostos por muitas células fotovoltaicas feitas de materiais semicondutores, onde é produzida uma camada positiva e uma camada negativa (uma com falta e outra com excesso de elétrons) gerando assim um campo elétrico, como uma bateria.

Quando os fótons, provenientes de raios solares, atingem uma célula solar há uma liberação de elétrons da camada negativa, que fluem para a camada positiva. Esse fluxo cria um circuito elétrico, gerando eletricidade.

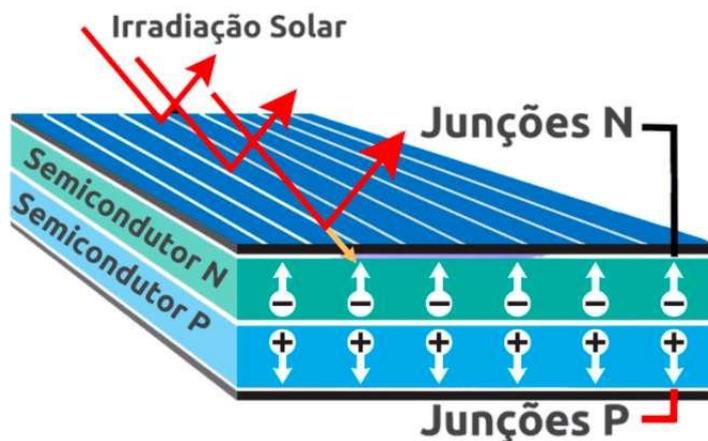


Figura 1: Efeito Fotovoltaico.

Fonte: Ensolare, 2021.

## 2.3 CONEXÕES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

As conexões entre os módulos fotovoltaicos podem ser em série (*string*), paralelo (*array*) ou misto, e esse conjunto de módulos conectados entre si formam os painéis fotovoltaicos.

### 2.3.1 CONEXÃO DO TIPO *STRING*

A conexão mais comum entre módulos fotovoltaicos é a ligação em série, tendo como objetivo principal manter uma corrente constante entre todos os módulos e elevar a tensão final do conjunto, pois cada módulo atua como uma fonte de tensão, e realizando a conexão em série resulta na soma dos tensões de cada um, como pode ser visto na figura 2.

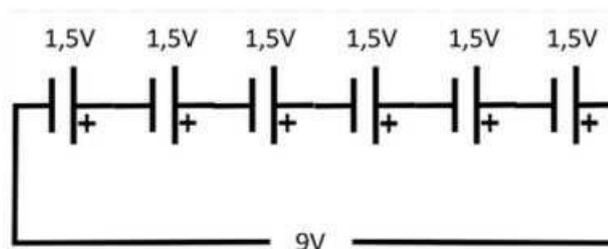


Figura 2: Conexão de fontes de tensão em série.

Fonte: Mundo da Eletrônica, 2021.

O gráfico abaixo apresenta o comportamento de cada curva "Corrente vs Tensão" para ligações do tipo *string*.

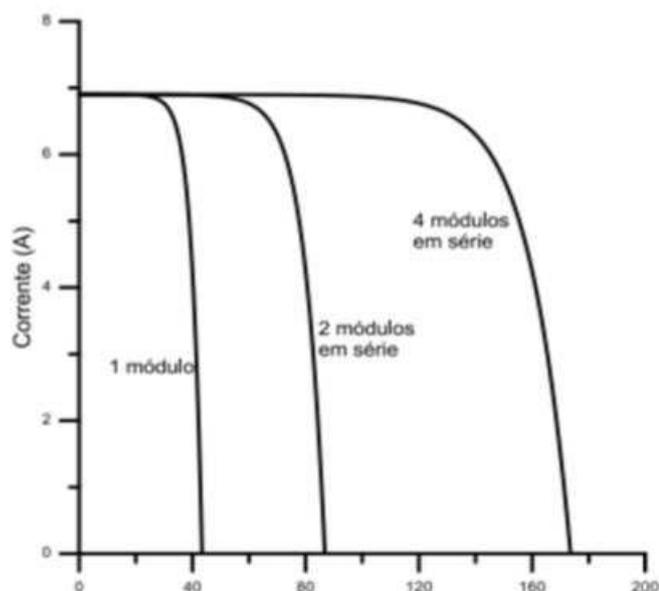


Figura 3: Gráfico relação "Corrente vs Tensão" em ligação *string*.

Fonte: Pinho, 2021.

### 2.3.2 CONEXÃO DO TIPO *ARRAY*

A conexão em paralelos entre os módulos fotovoltaicos é menos utilizada no dia a dia, tendo como principal característica a corrente final a soma das correntes de cada módulo, que como dito anteriormente, atuam como fontes de tensão, como pode ser visto na figura 4.

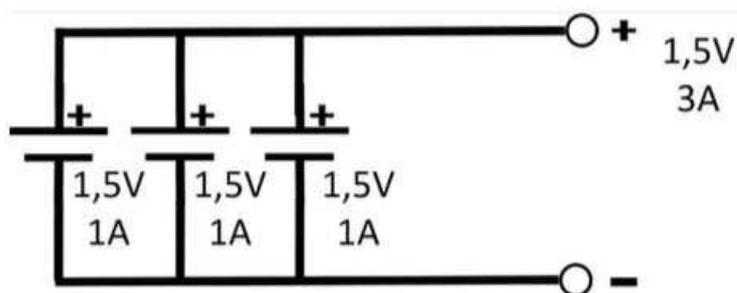


Figura 4: Conexão de fontes de tensão em paralelo.

Fonte: Mundo da Eletrônica, 2021.

O gráfico abaixo apresenta o comportamento de cada curva "Corrente vs Tensão" para ligações do tipo *array*.

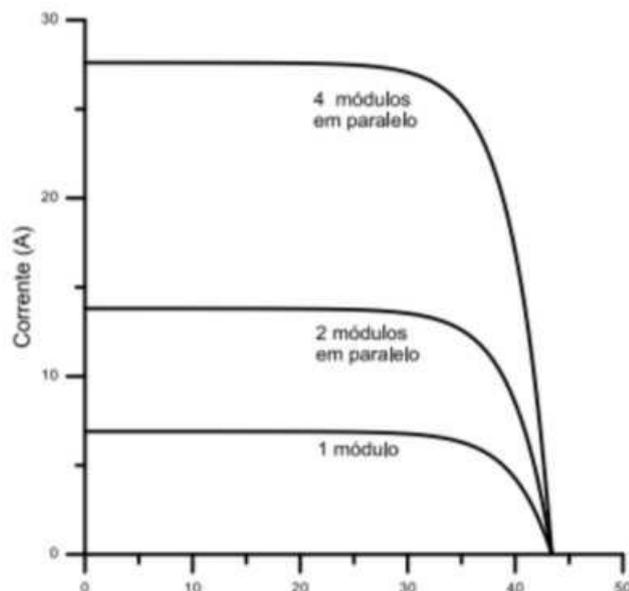


Figura 5: Gráfico relação "Corrente vs Tensão" em ligação *array*.

Fonte: Pinho, 2021.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A principal característica que diferencia um módulo fotovoltaico é sua potência elétrica de pico, dada em "Watt-pico" (Wp), mas os módulos possuem outras características essenciais para seu bom funcionamento, como:

- Potência máxima ( $P_m$ );
- Corrente de potência máxima ( $I_{mp}$ );
- Corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ );
- Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ );
- Tensão de potência máxima ( $V_{mp}$ ).

A potência máxima de um módulo fotovoltaico depende da relação entre  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$ , que são influenciados diretamente pela carga conectada ao painel fotovoltaico e pelos valores de irradiância e temperatura do local onde é instalado. Para determinar a potência máxima do módulo fotovoltaico, o fabricante realiza testes utilizando valores padrões, denominado Standard Teste Conditions (Condições Padrão de Teste) ou STC, como irradiância a  $1000 \text{ W/m}^2$ , temperatura da célula a  $25^\circ\text{C}$ , temperatura do ar  $0^\circ\text{C}$  e massa de ar 1,5, segundo o BlueSol (2021). A partir dos

resultados dos testes, é feito uma superposição dos gráficos de "Corrente vs Tensão" e de "Potência vs Tensão", a fim de determinar a potência máxima, como pode ser visto na figura 6.

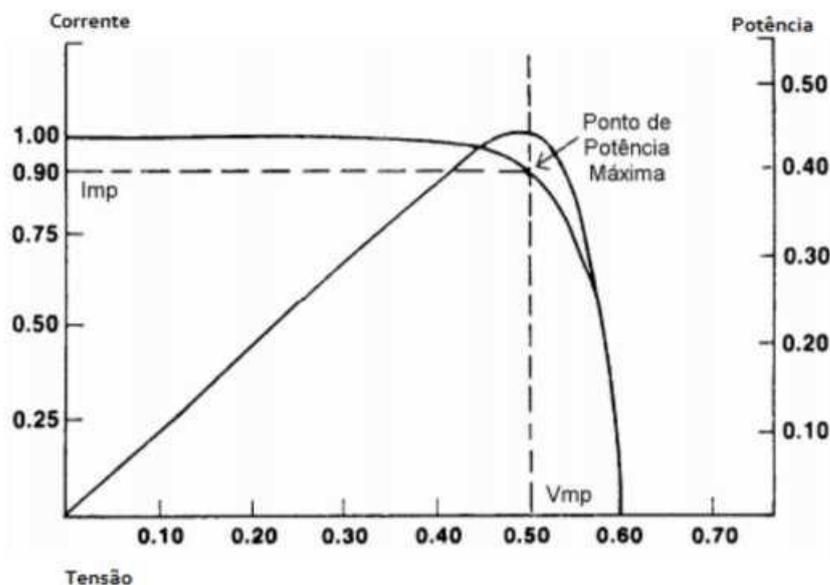


Figura 6: Superposição dos gráficos de "Corrente vs Tensão" e de "Potência vs Tensão".

Fonte: EVOSOL, 2021.

## 2.5 SOMBREAMENTO

Um dos principais problemas ocorridos em painéis fotovoltaicos é o de sombreamento, que pode ser ocasionado por sujeira acumulada ou por sombra de outras placas, representando risco para a eficiência do sistema fotovoltaico. Com o sombreamento, a corrente do módulo sobre o efeito tende a diminuir, e devido a ligação *string*, esse decréscimo influencia a corrente de todos os demais módulos da mesma malha. Além da diminuição de corrente o sombreamento pode gerar perda de potência para o sistema, podendo ser transformada em calor na superfície do módulo fotovoltaico na existência de algum tipo de sujeira, como poeira e folhas, gerando um ponto quente (no inglês, *Hot Spot*), e assim danificando o módulo em questão. Para amenizar o efeito é utilizado o diodo *by pass*.



Figura 7: Painel Fotovoltaico sob o efeito de sombreamento.

Fonte: EVOSOL, 2021.

## 2.6 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Primeiramente os sistemas fotovoltaicos surgiram como solução para fornecer energia elétrica para locais onde a rede elétrica não chegava, e sem essa conexão o sistema fotovoltaico alimentava diretamente os aparelhos consumidores ou a bateria do sistema. Apenas na década de 1990 é que surgiu na Alemanha a possibilidade de se conectar o sistema fotovoltaico diretamente à rede elétrica. Essa conexão só foi possível após o uso de inversores, possibilitando transformar a tensão/corrente contínua provinda dos painéis solares em tensão/corrente alternada. Esse conceito do sistema conectado diretamente à rede elétrica, foi denominado de sistema on-grid e off-grid sistemas sem conexão com a rede de energia elétrica.

A partir da invenção do sistema on-grid foi possível injetar diretamente a energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos na rede elétrica, e abastecendo a unidade consumidora com a energia dessa rede, utilizando-se assim o “crédito” injetado. Com esse sistema foi possível não utilizar mais baterias para o armazenamento de energia, e solucionou a dificuldade do sistema alimentar a unidade consumidora apenas quando tenha incidência solar. Pelo fato de não necessitar de um sistema de baterias, o sistema on-grid, se destaca por possuir um menor custo de implementação e se tornando mais barato que sistemas off-grid.

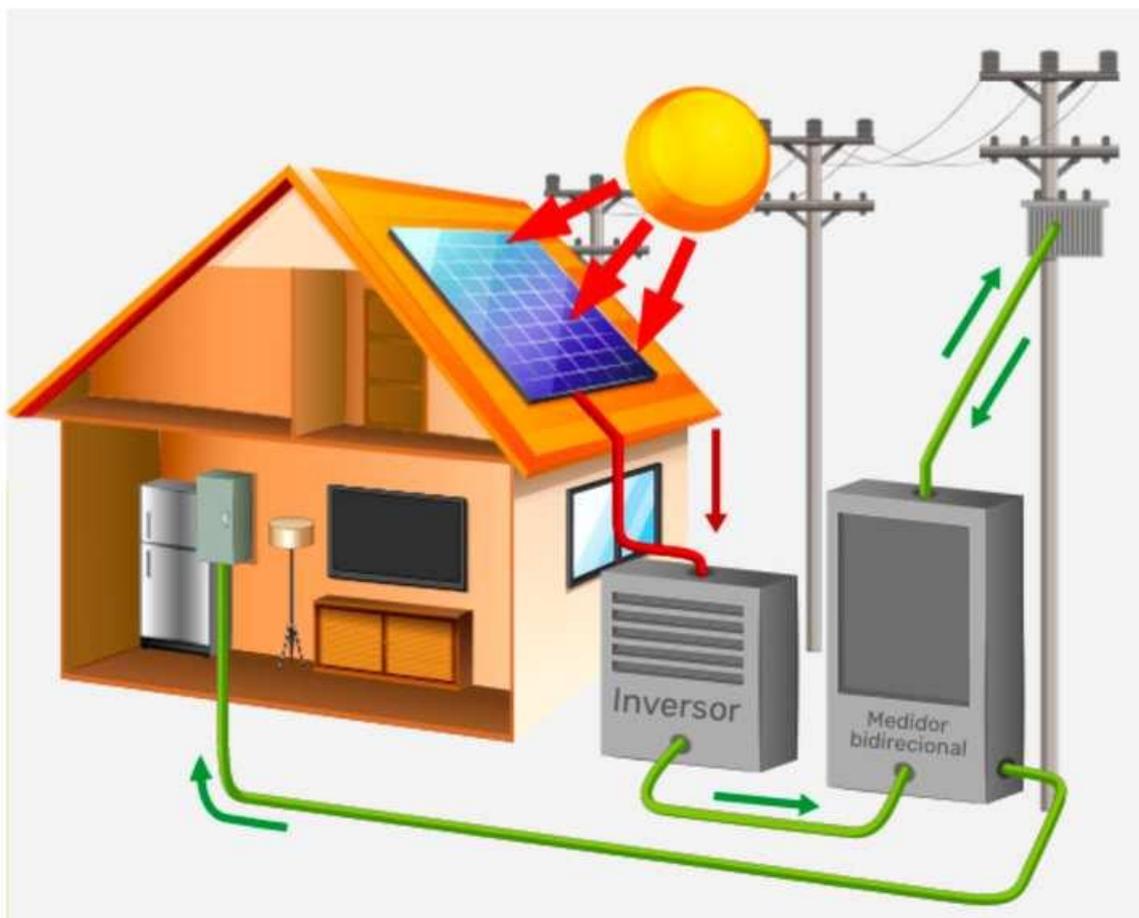


Figura 8: Exemplo de sistema fotovoltaico na configuração *on-grid*.

Fonte: SENAR - Goiás, 2021.

Apesar das vantagens descritas acima, o sistema on-grid possui desvantagens que podem afetar na escolha do sistema, como a necessidade de estar ligado diretamente na rede de distribuição elétrica, ou seja, não é recomendado para locais onde possui difícil acesso à rede, além da necessidade de pagamento mensal da conta de luz, pois mesmo o sistema gerando mais energia que a consumida ainda é necessário o pagamento de taxas mínimas à concessionária de energia.

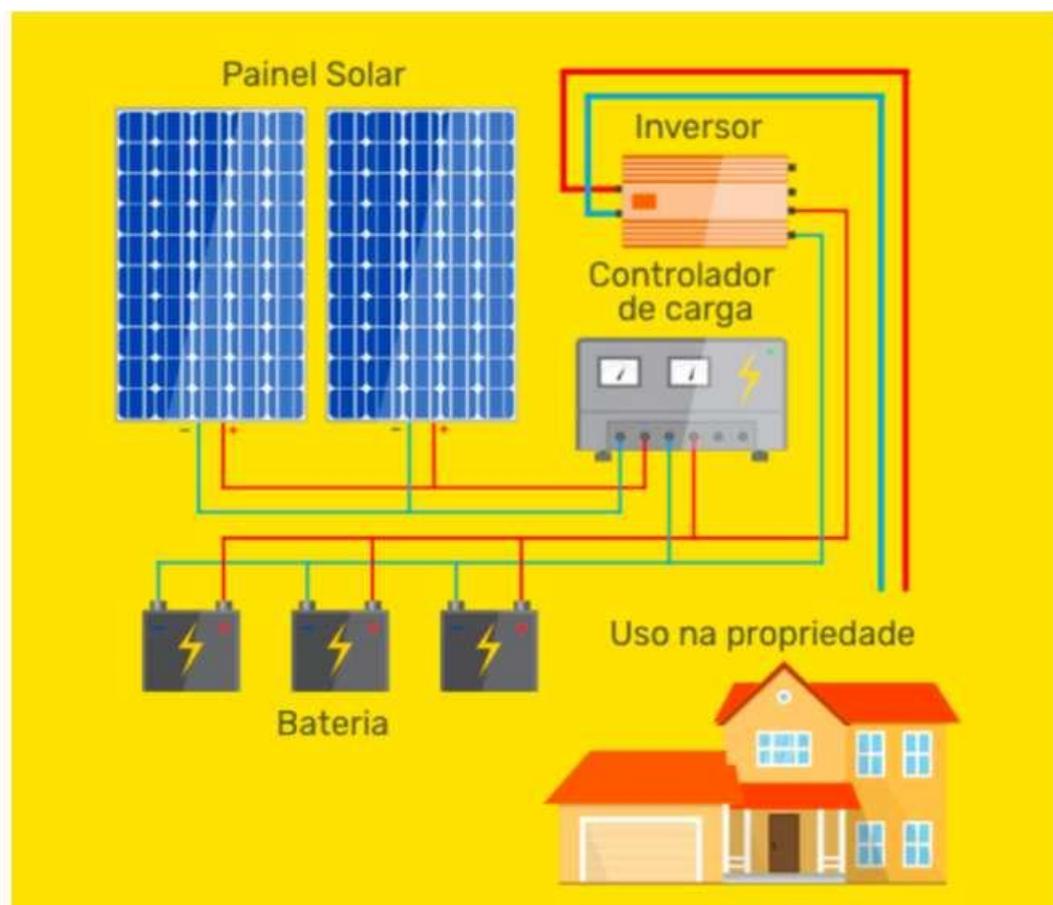


Figura 9: Exemplo de sistema fotovoltaico na configuração *off-grid*.

Fonte: SENAR - Goiás, 2021.

## 2.7 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012 DA ANEEL

A Resolução Normativa ANEEL nº482/2012 entrou em vigor em 17 de abril de 2012 e é imprescindível para a instalação de um sistema fotovoltaico On-Grid. Estabelece as condições para acesso dos sistemas de micro geração distribuída para o sistema de distribuição das concessionárias de energia. Essa resolução normativa estabelece também que a potência instalada da micro e minigeração distribuída é limitada ao valor da potência instalada no caso da unidade consumidora ser do grupo B, ou da demanda contratada no caso da UC ser do grupo A. Em casos da energia gerada for superior que a energia consumida no mês pela UC, o consumidor receberá créditos que poderão ser abatidos nas futuras faturas. Além de poder utilizar os créditos na unidade consumidora onde existe a micro ou minigeração distribuída, há a possibilidade de utiliza-los também em outras UC's desde que seja da mesma titularidade. O período para a utilização dos créditos é de 60 meses.

## 2.8 PROCEDIMENTO DE ACESSO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Em caso de a instalação do sistema fotovoltaico ser On-Grid, o consumidor deverá realizar alguns procedimentos para notificar a concessionária de energia elétrica e obter a autorização para realizar a conexão de sua mini ou micro geração distribuída à rede de distribuição. Primeiramente, o consumidor deverá preencher um formulário de acesso, que contenha as características principais do sistema que deseja instalar, como a potência instalada e os equipamentos utilizados, e ser enviado junto a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do projeto, devidamente assinada pelo engenheiro eletricista responsável pela instalação do projeto. Assim que a concessionária autorizar é feito o contrato de relacionamento operacional, seguido de uma vistoria no local de instalação e emitido o relatório de vistoria. Em caso de aprovação, o consumidor é autorizado a iniciar o projeto de instalação do sistema fotovoltaico em sua propriedade e conecta-lo à rede elétrica.

### 3 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Em geral, os componentes utilizados em um sistema fotovoltaico podem ser divididos em três grupo:

- Grupo Gerador;
- Grupo de condicionamento de potência;
- Grupo de armazenamento.

#### 3.1 GRUPO GERADOR

O grupo gerador, como o próprio nome já diz, é o grupo que compõe todas as peças da parte geradora do sistema, como os módulos fotovoltaicos, caixa de conexão, conector MC4 e estruturas de fixação.

##### 3.1.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo fotovoltaico é composto de diversas células fotovoltaicas interligadas entre si, responsáveis pela captação de energia solar e a sua conversão em energia elétrica. O Principal material utilizado na fabricação de células fotovoltaicas é o Silício (Si), e de acordo com a estrutura molecular o silício é dividido em Silício Monocristalino e Silício Policristalino.

A ligação entre diversos módulos fotovoltaicos recebe a nomenclatura de Painel Fotovoltaico, essa ligação pode ser do tipo série (string), paralelo (array) ou misto, como dito anteriormente. A identificação de um módulo, primeiramente, é realizada através da sua potência elétrica de pico (Wp), e posteriormente através das seguintes características:

- Grupo Gerador;
- Potência Máxima (Pm);
- Corrente de Potência Máxima (Imp);

- Corrente de Curto Circuito ( $I_{sc}$ );
- Tensão de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ );
- Tensão de Potência Máxima



Figura 10: Módulo fotovoltaico EMS 330P.

Fonte: Intelbras, 2021.

Apesar das empresas ressaltarem a necessidade de pouca manutenção dos painéis fotovoltaicos, alguns sistemas podem necessitar de manutenções que podem encarecer o projeto. Em alguns casos, os painéis fotovoltaicos podem apresentar micro fissuras em suas células, mesmo não quebrando o vidro superficial, e assim afetar diretamente a eficiência do sistema. Esses problemas ocorrem geralmente em casos de instalação mal feita onde o próprio peso do painel gera uma tensão mecânica ou em que o instalador se apoia ou pisa no painel durante a instalação e o danifica. Por isso a importância de se contratar uma empresa especializada para realizar a instalação. Os painéis apesar de pesados, são frágeis e formados por uma fina camada de silício, com cerca de 150 micrômetros, por isso são compostos por um vidro temperado por cima para que o proteja do sol e do meio ambiente.

### 3.1.2 CAIXA DE CONEXÃO

A caixa de conexão tem a função de conectar os módulos fotovoltaicos em série e abriga o diodo by pass, utilizado para amenizar os efeitos ocasionados pelo sombreamento, sendo ligado em antiparalelo e fornecendo uma rota alternativa para a passagem de corrente, reduzindo a perda de potência e os danos causados ao módulo.



Figura 11: Caixa de conexão.

Fonte: Energia Total, 2021.

### 3.1.3 CONECTOR MC4

O conector MC4 é um tipo de conector entre os painéis fotovoltaicos, que possui grau de proteção 4 IP67 (total proteção contra poeira e efeitos de uma imersão até 1 metro por 30 minutos).



Figura 12: Conector MC4.

Fonte: Eletrodex, 2021.

#### 3.1.4 ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO

Existem diversos tipos de estruturas de fixação que variam de acordo com o local onde o projeto será instalado. Dessa forma, as estruturas podem ser divididas em três tipos:

- Estrutura de Solo: com diferentes tipos de suporte, como em vara (embutido no concreto), de fundação (concretado no solo) e suporte balastrado (base de concreto, mas sem perfurar a superfície);
- Estrutura de Cobertura: utilizada em telhados que não possuem inclinação, como pode se observar na figura 13. A instalação requer o cálculo de sombreamento, por existir a possibilidade de uma placa projetar sombra em outra;
- Estrutura de Telhado: geralmente instalada em telhados que já possuem uma inclinação ideal e sua área disponível para a instalação é geralmente suficiente, como pode se observar na figura 14. A fixação da estrutura no telhado varia de acordo com o tipo de telha.



Figura 13: Estrutura de cobertura.

Fonte: Alu Cek, 2021.



Figura 14: Estrutura de Telhado.

Fonte: Light Solar Energia, 2021.

## 3.2 GRUPO DE CONDICIONAMENTO DE POTÊNCIA

O grupo de condicionamento de Potência é formado pelos componentes:

- Inversor;
- Controlador de carga;
- Componentes de proteção e de controle.

### 3.2.1 INVERSOR

Como a grande maioria das residências e indústrias consomem corrente do tipo alternada (CA), e a corrente produzida pelo sistema fotovoltaico é do tipo contínua (CC), há a necessidade de um agente responsável por essa inversão para que o consumidor receba a corrente de forma adequada para o consumo. Portanto, é indispensável o uso de inversores fotovoltaicos nos dias de hoje.



Figura 15: Inversor Fotovoltaico SE100K.

Fonte: Portal Solar, 2021.

Os inversores normalmente não necessitam de muita manutenção, porém alguns cuidados são essenciais para seu bom funcionamento. Os principais cuidados preventivos para o inversor, é realizar um dimensionamento correto para que não

acabe o sobrecarregando, verificar sempre o bom funcionamento dos cabos e dos painéis, e não deixa-lo exposto ao ambiente e umidade, deixando sempre em local protegido. Em caso de mal funcionamento, o inversor apresenta mensagem de erro, necessitando contatar um assistência técnica. A garantia de um inversor solar é cerca de 15 anos.

### 3.2.2 CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é utilizado em sistemas off-grid em conjunto com o sistema de armazenamento, regulando a tensão nas baterias, garantindo o controle do sistema e mantendo a carga quando o sistema está carregado.



Figura 16: Controlador de Carga.

Fonte: EPSOLARPV, 2021.

### 3.2.3 STRING BOX

A String Box é responsável por agrupar todos os componentes de segurança do sistema, como:

- Chave seccionadora ou dispositivo de seccionamento visível (DSV): dispositivo de segurança que interrompe a transmissão de energia para um circuito elétrico, possibilitando uma manutenção segura do sistema;
- Dispositivo de proteção contra surtos (DPS): dispositivo de segurança responsável por detectar sobretensões na rede de distribuição elétrica e realizar o desvio de corrente de surto para o aterramento interno;
- Disjuntores: dispositivo de segurança cuja função é proteger o sistema conectado quando a corrente que atravessa o disjuntor for maior que o seu valor

nominal, o disjuntor será desligado e interrompendo a passagem de corrente excessiva que ocasionaria danos ao sistema. Em sistemas fotovoltaicos são utilizados normalmente disjuntores termomagnéticos, podendo ser utilizados para manobras de ligar e desligar os circuitos, proteção contra aquecimentos, curtos circuitos e sobrecargas.



Figura 17: String Box.

Fonte: Minha Casa Solar, 2021.

### 3.3 GRUPO DE ARMAZENAMENTO

O grupo de armazenamento, assim como o controlador de carga, é utilizado apenas em sistemas off-grid, sendo composto por baterias que podem ser ligadas em série, paralelo ou misto para compor o banco de baterias. Os tipos de baterias mais utilizados são de chumbo ácido em gel e chumbo ácido estacionária.



Figura 18: Bateria Estacionária.  
Fonte: Ecoeficientes, 2021.

## 4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

### 4.1 VISITA TÉCNICA

Para o desenvolvimento do trabalho, primeiramente foi realizado uma visita técnica com o intuito de conhecer a indústria de laticínios em estudo, coletar os dados de consumo energético e avaliar os espaços disponíveis para uma possível instalação de um sistema fotovoltaico.

A indústria a qual foi analisada pelo projeto é uma indústria de laticínios com mais de 20 anos, que produz atualmente 43 tipos de produtos, e está localizada dentro da cidade de Caldas Novas – Goiás, junto com sua própria loja. A sua escolha foi devido ao proprietário prontamente disponibiliza-la para estudo, junto com o gerente para acompanhar a visita e sanar quaisquer dúvidas a respeito do projeto.

### 4.2 CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL

Inicialmente, houve certa dificuldade para coletar os dados de consumo energético por diversos motivos, dentre eles vale destacar:

- Muito equipamentos para analisar, diferentes horários de funcionamento, e que segundo o gerente, poderia levar uma semana para analisar integralmente a fábrica;
- Muitas máquinas sem placa de potência, ou com placas ilegíveis.
- Máquinas construídas pelo próprio dono, o que dificulta a análise do consumo energético;
- A possível imprecisão do consumo energético mensal coletado através dessa coleta de dados.

Como consequência da dificuldade com a coleta de dados do consumo energético, foi optado por analisar o consumo energético da fábrica através da fatura de energia mensal, disponibilizada pelo gerente, como pode se analisar na figura. Além de informar que a fatura de energia varia de R\$ 17.000,00 a 20.000,00.

enel		NUMERO 1263273	SERIE 4	EMISSAO 11/12/2020	GRUPO A4	2020112213247																																																																								
<b>NOTA FISCAL</b> <b>FATURA DO SERVIÇO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA - GRUPO A</b> CNPJ: 01.543.032/0001-04 IE: 100.549.420 Rua 2 Qd. A-37, N° 505 - Jardim Goiás - CEP: 74.805-180 - Goiânia - Goiás																																																																														
<b>DALAC PRODUTOS LACTEOS LTDA</b> AVENIDA CAXAMBU, Q. 51, L. 18, S/N, CASA – 1 CALDAS D'OESTE CEP: 75690000 CALDAS NOVAS GO BRASIL CNPJ/CPF: 27.964.080.0001-51 INSC. ESTADUAL: 106.965.999 RZ: 53 REG: P12 UC: 10008867931 BANCO: AGÊNCIA: CONTA CORRENTE: COD. CLIENTE: 107190470						PÁGINA 2 / 4																																																																								
UNIDADE CONSUMIDORA 10008867931	MÊS DE REFERÊNCIA 12/2020	VENCIMENTO 10/01/2021	VALOR TOTAL R\$*****20.795,55																																																																											
<b>DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA/MEDIÇÃO/CONTRATO</b> ATIVIDADE OUTROS (RECEBIMENTOS DIVERSOS) CLASSE TIPO DE LIGAÇÃO INDUSTRIAL VENCIMENTO BASE 20/12/2020 ESTRUTURA TARIFÁRIA THS_VERDE <b>DADOS DA MEDIÇÃO</b> MÊS DE REFERÊNCIA 12/2020 N° MEDIDOR ELETRÔNICO 10763960-8 DATA DA LEITURA ATUAL 09/12/2020 FM 120 DATA DA LEITURA ANTERIOR 06/11/2020 IND PERDA 2,5% DATA DA PROXIMA LEITURA 01/01/2021 DATA DA APRESENTAÇÃO 16/12/2020 NUMERO DE DIAS 33 MEDIA/DIAS 754,7009							<b>DADOS DO CONTRATO</b> DEMANDA 75 NÚMERO CUSD 250/2019 TIPO THS_VERDE VALIDADE 05/06/2021																																																																							
<b>LANÇAMENTOS</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PRODUTO</th> <th>QUANTIDADE</th> <th>TARIFA</th> <th>VALOR</th> <th>PRODUTO</th> <th>QUANTIDADE</th> <th>TARIFA</th> <th>VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE HR</td> <td>3007,35</td> <td>0,025800</td> <td>*****77,89</td> <td>AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE FP</td> <td>19955,52</td> <td>0,025800</td> <td>*****516,84</td> </tr> <tr> <td>AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE P</td> <td>1942,26</td> <td>0,025800</td> <td>*****50,30</td> <td>CONSUMO FP</td> <td>19955,52</td> <td>0,127990</td> <td>*****2.554,10</td> </tr> <tr> <td>CONSUMO HR</td> <td>3007,35</td> <td>0,127990</td> <td>*****384,51</td> <td>CONSUMO P</td> <td>1942,26</td> <td>2,008220</td> <td>*****2.900,48</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA</td> <td>85,608</td> <td>32,516850</td> <td>*****2.783,70</td> <td>DEMANDA ULTRAPASSAGEM 2X</td> <td>10,608</td> <td>65,033710</td> <td>*****689,87</td> </tr> <tr> <td>JUROS MORATÓRIA.</td> <td></td> <td>0,000000</td> <td>*****11,27</td> <td>MULTA - 10/2020.</td> <td></td> <td>0,000000</td> <td>*****336,13</td> </tr> <tr> <td>PARCELA TE FP</td> <td>19955,52</td> <td>0,356730</td> <td>*****7.118,73</td> <td>PARCELA TE HR</td> <td>3007,35</td> <td>0,356730</td> <td>*****1.072,81</td> </tr> <tr> <td>PARCELA TE P</td> <td>1942,26</td> <td>0,682490</td> <td>*****1.311,34</td> <td>UFER FP</td> <td>402,21</td> <td>0,375550</td> <td>*****151,04</td> </tr> <tr> <td>UFER HR</td> <td>33,21</td> <td>0,375550</td> <td>*****12,47</td> <td>UFER P</td> <td>4,46</td> <td>0,375550</td> <td>*****1,67</td> </tr> </tbody> </table>							PRODUTO	QUANTIDADE	TARIFA	VALOR	PRODUTO	QUANTIDADE	TARIFA	VALOR	AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE HR	3007,35	0,025800	*****77,89	AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE FP	19955,52	0,025800	*****516,84	AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE P	1942,26	0,025800	*****50,30	CONSUMO FP	19955,52	0,127990	*****2.554,10	CONSUMO HR	3007,35	0,127990	*****384,51	CONSUMO P	1942,26	2,008220	*****2.900,48	DEMANDA	85,608	32,516850	*****2.783,70	DEMANDA ULTRAPASSAGEM 2X	10,608	65,033710	*****689,87	JUROS MORATÓRIA.		0,000000	*****11,27	MULTA - 10/2020.		0,000000	*****336,13	PARCELA TE FP	19955,52	0,356730	*****7.118,73	PARCELA TE HR	3007,35	0,356730	*****1.072,81	PARCELA TE P	1942,26	0,682490	*****1.311,34	UFER FP	402,21	0,375550	*****151,04	UFER HR	33,21	0,375550	*****12,47	UFER P	4,46	0,375550	*****1,67
PRODUTO	QUANTIDADE	TARIFA	VALOR	PRODUTO	QUANTIDADE	TARIFA	VALOR																																																																							
AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE HR	3007,35	0,025800	*****77,89	AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE FP	19955,52	0,025800	*****516,84																																																																							
AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE P	1942,26	0,025800	*****50,30	CONSUMO FP	19955,52	0,127990	*****2.554,10																																																																							
CONSUMO HR	3007,35	0,127990	*****384,51	CONSUMO P	1942,26	2,008220	*****2.900,48																																																																							
DEMANDA	85,608	32,516850	*****2.783,70	DEMANDA ULTRAPASSAGEM 2X	10,608	65,033710	*****689,87																																																																							
JUROS MORATÓRIA.		0,000000	*****11,27	MULTA - 10/2020.		0,000000	*****336,13																																																																							
PARCELA TE FP	19955,52	0,356730	*****7.118,73	PARCELA TE HR	3007,35	0,356730	*****1.072,81																																																																							
PARCELA TE P	1942,26	0,682490	*****1.311,34	UFER FP	402,21	0,375550	*****151,04																																																																							
UFER HR	33,21	0,375550	*****12,47	UFER P	4,46	0,375550	*****1,67																																																																							
<b>COMPOSIÇÃO DO VALOR DE VENDA DE ENERGIA</b> PARCELA DE USO DO SISTEMA: 8611,45 USO TRANSMISSÃO 900,7800 PARCELA DE FORNECIMENTO: 9915,63 ENC.SETORIAL 1018,2900				<b>TRIBUTOS</b> IMPOSTO ALIQUOTA BASE DE CÁLCULO VALOR COFINS 4,3636% R\$*****20.446,15 R\$*****892,18 PIS/PASEP 0,9474% R\$*****20.446,15 R\$*****193,70 ICMS 29% R\$*****20.446,15 R\$*****5.929,38																																																																										
<b>7826.EAC3.A3DB.F5AD.288E.227E.3037.DC94</b>																																																																														
NOTIFICAÇÃO: 1 FATURA VENCIDA: MÊS 11/2020 VALOR TOTAL: R\$ 16.846,43 (DESCONSIDERE SE FOI PAGO).																																																																														

Figura 19: Fatura de serviço de fornecimento de energia elétrica de indústria em estudo.

Fonte: Laticínios Dalac, 2021.

A partir da fatura de energia disponibilizada foi possível coletar os seguintes dados importante para o projeto:

- Unidade consumidora pertencente ao grupo A4, possuindo então tensão entre 2,3 kV e 25 kV, instalação trifásica e considerada de alta-tensão;
- Tipo de ligação industrial;

- Estrutura tarifaria verde;
- Média de consumo geral de 754,7009 kWh/dia;
- Média de consumo geral de 22.641,0270 kW em 30 dias.
- Consumo de 22962,87 kWh em 33 dias em horário fora de pico e horário reservado, resultando em uma média de 695,8445 kWh/dia.

Dado que a fábrica e a loja se localizam dentro da cidade, e assim não possui espaço no solo para alocar as placas fotovoltaicas, o projeto deve ser feito para uma possível instalação das mesmas no telhado da fábrica.

Segundo o proprietário da indústria, o laticínio possui cerca de 15 metros de largura e 50 metros de profundidade, assim resultando em uma área de 750 metros quadrados. Para verificar, foi utilizado o aplicativo Google Earth, confirmando assim o laticínio com 745 metros quadrados com aproximadamente 14,7 metros de largura e 50,5 metros de comprimento. Na figura 4 podemos ver a vista vertical do laticínio em estudo, onde a figura está alinhada com norte.

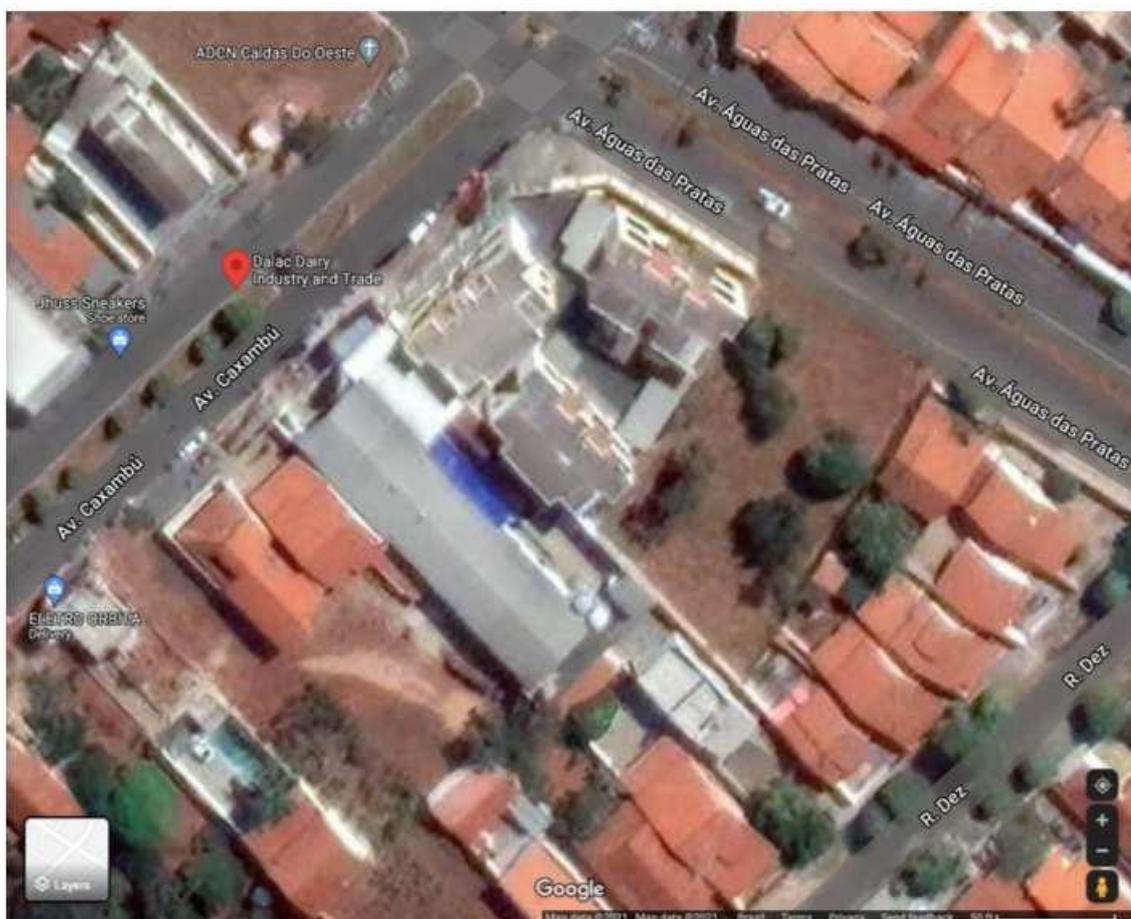


Figura 20: Vista vertical do laticínio em estudo.

Fonte: Google Maps, 2021.

Como a largura da fábrica não corresponde exatamente à largura do telhado, foi necessário calcular através da altura do telhado. Considerando apenas metade do telhado, é possível verificar um triângulo retângulo, podendo calcular a largura do telhado através da altura, que deve corresponder a 10% da largura. Dessa forma, é deduzido que a largura real do telhado é 14,77 metros, comprimento 50,5 e área 746,05 metros quadrados.

### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Após a visita técnica e a coleta de dados necessários para o prosseguimento do estudo, é possível iniciar o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Para começar o dimensionamento, é de extrema importância analisar como o sol atua na região onde se pretende instalar o sistema fotovoltaico. O valor de irradiância do sol ou horas de sol pico (HSP) é diferente para cada região, mas pode ser facilmente encontrado através do site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), utilizando as coordenadas do local escolhido. Para a região do laticínio em estudo, os resultados foram os apresentados na tabela a seguir:

Tabela 3: Irradiação solar média da região do laticínio em estudo.

Município	UF	Irradiação solar média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Caldas Novas	GO	5,7	5,9	5,3	5,2	4,8	4,4	4,7	5,6	5,4	5,7	5,6	5,8	5,33

Fonte: CRESESB, 2021.



Figura 21: Irradiação Solar no Plano Horizontal para a localização do laticínio.

Fonte: CRESESB, 2021.

Dado que o espaço disponível para a instalação do sistema fotovoltaico da indústria em estudo é limitado ao teto, o cálculo do dimensionamento do sistema terá

de ser feito a partir o da quantidade de placas fotovoltaicas que a cobertura do laticínio é capaz de alocar.

O telhado da indústria em estudo possui duas partes com dimensões de 50 metros de comprimento por 7,5 metros de largura, podendo se alocar assim 144 placas fotovoltaicas de 445 W da Risen Solar Technology com dimensões de 2,178 metros de comprimento e 0,996 metro de largura, sendo distribuídas de forma que tenha 3 placas por 48 em cada parte do telhado. Sendo assim, o sistema fotovoltaico teria num total de 288 placas solares.

A partir da quantidade de placas que irão compor o sistema fotovoltaico é possível calcular a potência total do sistema fotovoltaico, que é calculado através do produto da quantidade de placas pela potência de cada uma, resultando em um valor de 128,16 kW ou 128,16 kWp. Então, o valor da energia de produção pode ser obtido através da fórmula de dimensionamento de sistema fotovoltaico:

$$Energia_{Geração} = Potência_{Total_{Painéis}} * HSP * \eta_{Rendimento} \quad (1)$$

Onde, HSP é irradiação média solar anual obtida anteriormente e o rendimento é a eficiência do painel, sendo considerado perdas por temperatura, acúmulo de sujeira, perdas no inversor, cabeamento e perdas pelo posicionamento dos painéis. Em geral é utilizado 89% de eficiência, porém como no dimensionamento em estudo será utilizado as duas partes do telhado (sentido nordeste e sudoeste), mesmo que o cálculo considere a incidência em plano horizontal, adota-se 15% de perdas e uma eficiência de 85%. Entretanto, como é apenas uma estimativa, ressalta-se que essa eficiência pode não ser exata.

$$Energia_{Geração} = 128,16 * 5,33 * 0,85 = 580.628,88 Wh/dia \quad (2)$$

Substituindo os valores, obtêm-se o valor de 580.628,88 Wh/dia, ou aproximadamente 580,629 kWh/dia. Sendo assim, em um mês de 30 dias espera-se que o sistema dimensionado gere cerca de 17.419 kWh.

#### 4.4 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

O inversor é essencial para todo projeto fotovoltaico On-Grid, sendo assim seu dimensionamento deve ser o correto para evitar perdas e problemas no sistema fotovoltaico. O valor do inversor levará em conta o valor da potência pico do sistema calculado anteriormente, normalmente tendo o valor de sua potência igual ou próximo à potência pico do sistema fotovoltaico. Em casos de grandes projetos, pode ser necessário associar mais um de inversor para que se consiga o valor mais próxima da potência ideal, e assim consiga o melhor funcionamento do sistema instalado.

Neste caso, como o sistema fotovoltaico em estudo foi dimensionado com 116,64 kWp, o inversor solar escolhido foi um inversor com 100 kW de potência que deve conseguir suprir o sistema e ter um bom funcionamento.

#### 4.5 ORÇAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para realizar o orçamento do sistema fotovoltaico foi feito primeiramente uma pesquisa para analisar os valores de cada item do sistema fotovoltaico em estudo, descobrindo-se que a empresa Portal Solar disponibiliza kits de sistema fotovoltaico de diferentes potências para compras online.

O Kit de sistema fotovoltaico ofertado no site da Portal Solar de potência instalada de 128,16 kWp custa R\$ 347.369,00 com frete de R\$ 27.484,50, totalizando um valor de R\$ 374.853,50, podendo ser parcelado em até 72 vezes em parceria com o banco BV. Os itens inclusos no kit de sistema fotovoltaico, estão descritos na tabelas abaixo:

Tabela 4: Itens do Kit de Sistema Fotovoltaico de 128,16 kWp da Portal Solar.

Item	Quantidade
Estrutura Weg para telha metálica 4 módulos	72
Protetor de surto Weg - SPW02-275-20	4
Conector Solar - Par MC4 Macho + Femea- Staubli - 6 mm <sup>2</sup>	22
Cabo Solar - Condumax - Solarmax Flex SN - FV 0,6/1KV - Preto - 6 mm <sup>2</sup>	500
Inversor Solar Weg - SIW500H - ST100 M1 - 100.0 KW - Trifásico - 380 V - 10 MPPT	1
Painel Solar Fotovoltaico Risen 445 Wp - Modelo RSM156-6-445M	288
Cabo Solar - Condumax - Solarmax Flex SN - FV 0,6/1KV - Vermelho - 6 mm <sup>2</sup>	500
Disjuntor DWB400N320-3DA - 320.0 A- Trifásico	1

Fonte: Autoria própria.

Além dos itens do kit do sistema fotovoltaico, seria necessário contabilizar

também o valor da mão de obra especializada que será preciso contratar para a instalação do projeto. O custo da mão de obra pode variar de acordo com a região e com o tamanho do sistema fotovoltaico que pretende instalar. Para o fornecimento apenas da instalação do sistema fotovoltaico, as empresas de energia fotovoltaica costumam cobrar cerca de 15% do valor total dos módulos fotovoltaicos do sistema, segundo a BlueSol (2021), totalizando cerca de R\$ 430.000,00 todo o projeto.

Porém, considerando que a empresa buscaria as soluções mais práticas, foi realizado contato com diversas empresas que realizam todo o projeto, desde o fornecimento dos equipamentos até a instalação e regularização do projeto. Entretanto, foi possível realizar o orçamento para o estudo apenas com quatro empresas, sendo duas de fora da região e duas localizadas na cidade de Caldas Novas, Goiás. A dificuldade de orçar o sistema fotovoltaico em estudo se deu por algumas empresas dificultarem a disponibilização dos dados para o trabalho acadêmico ou pelo fato do projeto feito pela empresa possuir placas fotovoltaicas de baixos valores de potência, e uma vez que a indústria em estudo possui espaço limitado, o sistema deve conter placas com a máxima potência disponibilizada no mercado. Abaixo, segue a tabela com os orçamentos realizados:

Tabela 5: Orçamentos para sistema fotovoltaico de potência instalada de cerca de 128,16 kWp.

Empresa	Potência Instalada (kWp)	Custo Médio (R\$)
Intelbras	129	588.376,80
Portal Solar	131,2	544.262,40
Sinal Media Solar	128	600.000,00
Eco Solar	130	620.000,00

Fonte: Autoria própria.

A partir do orçamento realizado, constata-se que o projeto deve custar à vista de R\$ 540.000,00 a R\$ 620.000,00, com os equipamentos e mão de obra inclusos. Para realizar o estudo de viabilidade, foi utilizado o orçamento de menor valor dentre as empresas da região do laticínio, sendo então R\$ 600.000,00.

Vale destacar que no orçamento do sistema fotovoltaico a ser instalado, não inclui um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). O SPDA já deve estar instalado na indústria (como é o caso do laticínio em estudo), uma vez

que as indústrias possuem uma grande potência instalada, podem perder diversos equipamentos, e ficar inativa até que se restaure toda a fábrica. Sendo assim, é de extrema importância que a indústria possua um sistema de SPDA eficaz, mesmo que não esteja nos planos instalar-se uma geração de energia fotovoltaica.

## 4.6 ESTUDO DE VIABILIDADE

### 4.6.1 ANÁLISE DA ENERGIA GERADA MENSAL

Para o cálculo de viabilidade com maior exatidão, é necessário analisar o consumo energético mensal na industrial e comparar com a geração mensal que seria obtida com o sistema de energia fotovoltaica. Dessa forma, foi analisado o histórico do consumo energético de janeiro a dezembro de 2020.

HISTÓRICO									
PERÍODO	MÉTODO DE FATURAMENTO	CONSUMO FATURADO TOTAL (kWh)	DEMANDA FATURADA (kW)			UFER FATURADA TOTAL (kVArh)	DMCR FATURADA (kVAr)		
			MÁXIMA	PONTA	FORA PONTA		MÁXIMA	PONTA	FORA PONTA
DEZ / 19	LIDA	20.991,96	76,1616	0,0000	0,0000	136,53	0,0000	0,0000	0,0000
JAN / 20	LIDA	20.683,74	78,2280	0,0000	0,0000	202,95	0,0000	0,0000	0,0000
FEV / 20	LIDA	21.189,52	76,4568	0,0000	0,0000	236,16	0,0000	0,0000	0,0000
MAR / 20	LIDA	18.739,48	76,1616	0,0000	0,0000	188,19	0,0000	0,0000	0,0000
ABR / 20	LIDA	20.110,24	75,1284	0,0000	0,0000	173,43	0,0000	0,0000	0,0000
MAI / 20	LIDA	18.090,00	79,2612	0,0000	0,0000	306,27	0,0000	0,0000	0,0000
JUN / 20	LIDA	15.643,68	75,0000	0,0000	0,0000	372,69	0,0000	0,0000	0,0000
JUL / 20	LIDA	16.906,47	76,0140	0,0000	0,0000	405,90	0,0000	0,0000	0,0000
AGO / 20	LIDA	17.124,81	75,0000	0,0000	0,0000	413,28	0,0000	0,0000	0,0000
SET / 20	LIDA	20.661,56	75,4236	0,0000	0,0000	476,01	0,0000	0,0000	0,0000
OUT / 20	LIDA	21.966,86	75,0000	0,0000	0,0000	324,83	0,0000	0,0000	0,0000
NOV / 20	LIDA	21.863,72	76,8996	0,0000	0,0000	354,24	0,0000	0,0000	0,0000
DEZ / 20	LIDA	24.905,13	85,6080	0,0000	0,0000	439,88	0,0000	0,0000	0,0000

PERÍODO	CONSUMO LIDO (kWh)			DEMANDA LIDA (kW)		
	PONTA	FORA PONTA	HOR. RES.	PONTA	FORA PONTA	HOR. RES.
DEZ / 19						
JAN / 20	1326,00	16638,21	2719,53	51,0696	78,2280	39,2616
FEV / 20	1547,65	16907,58	2734,29	47,9700	76,4568	38,8188
MAR / 20	1223,05	15077,34	2439,09	49,4460	76,1616	36,9000
ABR / 20	1294,93	16250,76	2564,55	45,4608	75,1284	26,5680
MAI / 20	946,26	15033,06	2110,68	36,3096	79,2612	27,8964
JUN / 20	1068,18	12745,26	1830,24	37,1952	73,5048	27,6012
JUL / 20	1065,30	13900,23	1940,94	34,5364	76,0140	26,8632
AGO / 20	1276,26	14010,93	1837,62	36,6048	71,7336	23,0256
SET / 20	1599,02	16962,93	2099,61	55,0548	75,4236	27,6012
OUT / 20	2026,10	17612,37	2328,39	52,1028	73,9476	38,3760
NOV / 20	1731,08	17564,40	2568,24	53,4312	76,8996	36,7524
DEZ / 20						

PERÍODO	UFER LIDA (kVArh)			DMCR LIDA (kVAr)		
	PONTA	FORA PONTA	HOR. RES.	PONTA	FORA PONTA	HOR. RES.
DEZ / 19						
JAN / 20	0,00	184,50	18,45	48,0438	77,1948	32,1030
FEV / 20	0,00	228,78	7,38	36,4944	73,7262	27,2691
MAR / 20	0,00	154,98	33,21	33,5052	77,7852	24,2802
ABR / 20	0,00	129,15	44,28	38,6712	72,1395	17,1216
MAI / 20	0,00	228,78	77,49	29,1510	79,5195	19,4463
JUN / 20	0,00	217,71	154,98	31,2543	70,6266	16,8633
JUL / 20	0,00	206,64	199,26	30,5901	75,2760	16,3098
AGO / 20	0,00	232,47	180,81	32,2137	69,4827	15,9408
SET / 20	0,00	265,68	210,33	48,1545	75,0177	22,9518
OUT / 20	0,11	280,44	44,28	47,7855	75,1284	29,5569
NOV / 20	0,00	313,65	40,59	48,7080	71,2539	26,3835
DEZ / 20						

Figura 22: Histórico do consumo energético de Janeiro a novembro de 2020 da indústria em estudo.

Fonte: Laticínios Dalac, 2021.

Considerando que as tarifas para o horário fora de pico e horário reservado são as mesmas, pode-se somar os dois consumos para facilitar o cálculo de viabilidade.

É importante ressaltar quem em consumidores do grupo "B" é cobrado, no

mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade de acesso a rede, e já com consumidores do grupo "A" é cobrado o valor referente à demanda contratada que já deve ser paga mensalmente pela empresa. Então, no caso deste projeto esse valor não deve ser considerado no estudo de viabilidade.

Tabela 6: Consumo energético no horário de pico, fora de pico e reservado no ano de 2020.

Mês	Consumo FP (kWh)	Consumo HR (kWh)	Consumo P (kWh)	Consumo FP+HR (kWh)
Janeiro	16638,21	2719,53	1326,00	19357,74
Fevereiro	16907,58	2734,29	1547,65	19641,87
Março	15077,34	2439,09	1223,05	17516,43
Abril	16250,76	2564,55	1294,93	18815,31
Mai	15033,06	2110,68	946,26	17143,74
Junho	12745,26	1830,24	1068,18	14575,50
Julho	13900,23	1940,94	1065,30	15841,17
Agosto	14010,93	1837,62	1276,26	15848,55
Setembro	16962,93	2099,61	1599,02	19062,54
Outubro	17612,37	2328,39	2026,10	19940,76
Novembro	17564,40	2568,24	1731,08	20132,64
Dezembro	19955,52	3007,05	1942,26	22962,57

Fonte: Autoria própria.

Para realizar o cálculo para simular a geração de energia do sistema fotovoltaico foi utilizado a equação de "Energia de geração", utilizada no dimensionamento do sistema fotovoltaico, porém substituindo a média do HSP anual, pelo mensal, e multiplicando o resultado pelo número de dias de cada mês.

Tabela 7: Previsão da geração de energia provinda do sistema fotovoltaico.

Mês	Dias	HSP	Energia de Geração Mensal (kWh)
Janeiro	30	5,68	18562,69
Fevereiro	28	5,88	17935,22
Março	31	5,30	17898,18
Abril	30	5,20	16994,02
Mai	31	4,76	16074,60
Junho	30	4,44	14510,28
Julho	31	4,68	15804,43
Agosto	31	5,57	18809,98
Setembro	30	5,43	17745,67
Outubro	31	5,66	19113,91
Novembro	30	5,57	18203,21
Dezembro	31	5,75	19417,84

Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados da energia de geração mensal do sistema fotovoltaico e do consumo energético mensal da indústria, é possível calcular o quanto o laticínio deixará de consumir em cada mês e, conseqüentemente, o quanto deixará de pagar para a concessionária de energia. Para esse cálculo é levado em consideração que o sistema fotovoltaico a ser implementado, na maior parte do tempo geraria energia no horário fora de ponta, sendo este o horário de maior consumo e de maior geração do sistema, e dessa forma toda a geração produzida pelo sistema fotovoltaico será consumida pela indústria sem a necessidade de ser injetada na rede para ser utilizada como crédito, embora possa acontecer esporadicamente, porém em quantia insignificante para o cálculo. Sendo assim, é multiplicado a energia gerada pela tarifa de energia, considerando esta como a soma da tarifa de consumo energia (TE) e da tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD), pela energia gerada, quando menor que o consumo total fora de ponta, o que resulta em uma economia anual de R\$ 100.689,36.

Tabela 8: Economia mensal e anual com a instalação do sistema fotovoltaico.

Mês	Energia de Geração Mensal (kWh)	Consumo FP+HR (kWh)	Tarifa	Economia
Janeiro	18562,69	19357,74	0,48472	R\$ 8.997,71
Fevereiro	17935,22	19641,87	0,48472	R\$ 8.693,56
Março	17898,18	17516,43	0,48472	R\$ 8.490,56
Abril	16994,02	18815,31	0,48472	R\$ 8.237,34
Mai	16074,60	17143,74	0,48472	R\$ 7.791,68
Junho	14510,28	14575,50	0,48472	R\$ 7.033,42
Julho	15804,43	15841,17	0,48472	R\$ 7.660,73
Agosto	18809,98	15848,55	0,48472	R\$ 7.682,11
Setembro	17745,67	19062,54	0,48472	R\$ 8.601,68
Outubro	19113,91	19940,76	0,48472	R\$ 9.264,89
Novembro	18203,21	20132,64	0,48472	R\$ 8.823,46
Dezembro	19417,84	22962,57	0,48472	R\$ 9.412,22
			Total	R\$ 100.689,36

Fonte: Autoria própria.

#### 4.6.2 CÁLCULO DE *PAYBACK* POR VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Para realizar o cálculo de *payback*, é utilizada a ferramenta de Valor Presente Líquido (VPL), que é amplamente utilizado para planejar investimentos a longo prazo e que se trata de um método que consiste em calcular a data em que a soma de todos os fluxos de caixa, incluindo o investimento inicial, se zera, usando como taxa de desconto a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) do projeto. O cálculo do VPL não faz a comparação direta do investimento do valor investido com o esperado de retorno, pois através do método é possível fazer ajustes, descontando as taxas de juros, e dessa forma, obter a noção mais precisa do valor do investimento no futuro.

Segundo Araújo (2011), o valor do VPL pode ser calculado pela seguinte equação:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+R)^t} - FC_0$$

(3)

Onde:

- $VPL$ : Valor Presente Líquido;
- $FC_t$ : Fluxo de caixa;
- $FC_0$ : Investimento inicial;
- $R$ : Taxa de desconto ou (taxa mínima de atratividade);
- $t$ : Período de tempo;

Para considerar um fluxo de caixa mais preciso, é utilizada uma média anual de aumento de energia elétrica de 10,10%, com base na média dos reajustes aplicados pela ENEL Goiás, disponibilizados no *site* da ANEEL. Conforme a tabela 9.

Tabela 9: Histórico de reajustes da ENEL Goiás.

<b>Ano</b>	<b>Variação Percentual</b>
2014	19,35%
2015	32,20%
2016	-8,92%
2017	14,27%
2018	15,57%
2019	-5,00%
2020	2,60%
<b>Média</b>	<b>10,01%</b>

Fonte: Adaptado da ENEL Goiás.

Como taxa mínima de atratividade para o cálculo de *payback* por VPL (Valor Presente Líquido), utiliza-se o valor da taxa de Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC) refere-se à taxa de juros apurada nas operações de empréstimos de um dia entre as instituições financeiras que utilizam títulos públicos federais como garantia (Banco Central do Brasil, 2021). Atualmente a cotação da taxa SELIC está em 6,25% ao ano.

A partir da taxa mínima de atratividade, taxa de aumento da tarifa de energia, investimento inicial é possível e o período de tempo é possível obter os resultados do método VPL na tabela 10 para o projeto proposto, onde pode-se verificar que em 5 anos o sistema começa a se tornar lucrativo, com o saldo se tornando positivo.

Tabela 10: Valor Presente e Saldo ao longo de 10 anos utilizando o sistema fotovoltaico.

Período	Fluxo de Caixa (CF)	Valor Presente (VP)	Saldo (R\$)
0	-R\$ 600.000,00	-R\$ 600.000,00	-R\$ 600.000,00
1	R\$ 100.689,36	R\$ 94.766,46	-R\$ 505.233,54
2	R\$ 110.768,36	R\$ 98.120,07	-R\$ 407.113,47
3	R\$ 121.856,28	R\$ 101.592,37	-R\$ 305.521,10
4	R\$ 134.054,09	R\$ 105.187,55	-R\$ 200.333,55
5	R\$ 147.472,91	R\$ 108.909,95	-R\$ 91.423,61
6	R\$ 162.234,94	R\$ 112.764,08	R\$ 21.340,47
7	R\$ 178.474,66	R\$ 116.754,60	R\$ 138.095,07
8	R\$ 196.339,98	R\$ 120.886,34	R\$ 258.981,41
9	R\$ 215.993,61	R\$ 125.164,29	R\$ 384.145,70
10	R\$ 237.614,57	R\$ 129.593,64	R\$ 513.739,34

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11: Resultados do cálculo de VPL.

Investimento inicial	R\$ 600.000,00
Taxa de aumento da TE	10,01%
Taxa de desconto	6,25%
Soma Vps	R\$ 1.113.739,34
VPL do projeto	R\$ 513.739,34
Taxa interna de retorno (TIR)	19%
Taxa de lucratividade	R\$ 1,8562
Tempo de Payback	5,81

Fonte: Autoria própria.

A tabela 10 apresenta os resultados do cálculo, como:

- Soma dos valores presentes: Soma de todo o lucro bruto obtido ao longo de 10 anos com o sistema fotovoltaico instalado;
- VPL do projeto: Saldo final ao longo de 10 anos com o sistema fotovoltaico instalado, resultando em R\$ 513.739,34;
- Taxa de lucratividade: divisão da soma dos valores presentes pelo investimento inicial;

- Período de tempo: estimado em 10 anos;
- Taxa interna de retorno: percentual de retorno do projeto, calculado no *software* Excel, resultando em 19% e sendo assim, maior que a taxa SELIC e indicando que o empreendimento tende a ser viável economicamente.

Segundo os resultados da pesquisa, em um período de 10 anos, a empresa lucraria cerca de R\$ 514.000,00 com o sistema fotovoltaico instalado e deixaria de pagar cerca de R\$ 1.114.000,00 a mais do que já terá de pagar à concessionária de energia. Considerando que o tempo de vida útil do sistema fotovoltaico é estimado em 25 anos, o período de tempo utilizado no cálculo corresponde a apenas metade desse tempo. É esperado que em um intervalo de tempo maior o projeto se torne cada vez mais lucrativo e viável economicamente, entretanto não foi aplicado no cálculo por se considerar que quanto maior o período de tempo utilizado na simulação, ao decorrer do tempo mais variáveis imprevistas podem afetar diretamente a avaliação.

## 5 CONCLUSÃO

O mundo moderno possui o desafio e a meta de alcançar cada vez mais o desenvolvimento através de técnicas eficientes e, ao mesmo tempo, sustentáveis. A energia solar se torna um grande atrativo, uma vez que é considerada uma energia limpa e renovável e que reduz impactos provindos de atividades humanas. Essas técnicas não devem ser avaliadas apenas por aspectos econômicos, pois podem gerar ganhos imensuráveis a longo prazo, porém como na área de indústrias o que desperta o interesse é o lucro, é esse aspecto que esse projeto aborda.

O objetivo desse estudo foi dimensionar e analisar um sistema fotovoltaico para determinada indústria de laticínios, esperando-se que o tempo de retorno do investimento inicial seja atrativo. Pretendia-se realizar o estudo em uma pequena indústria de laticínios, por se tratar de um projeto mais simples, com gastos energéticos consideravelmente menores e, como consequência, um investimento inicial muito maior para adquirir o sistema fotovoltaico. Entretanto, como o projeto visava servir como base de projetos para indústrias de todo o tamanho, a alteração não foi um problema, pelo contrário, se mostrou pertinente.

O período de tempo do sistema fotovoltaico instalado analisado pelo projeto foi de 10 anos, gerando, segundo os cálculos do projeto, um total de cerca de R\$ 514.000,00 ao final do período, já contabilizando o investimento. Pode se dizer que os resultados do estudo foram satisfatórios, uma vez que o tempo de *payback* calculado foi de apenas 5 anos e 10 meses, ou seja, a partir desse período a indústria tende a economizar mais R\$ 120.000,00 por ano.

Ressalta-se que na maior parte do tempo toda a energia gerada pelo sistema fotovoltaico será diretamente consumida pela indústria, uma vez que os maiores gastos energéticos são justamente em horários em que o sistema estará gerando energia. Como consequência, o sistema conseguirá suprir apenas o gasto energético em horários fora de pico. Isto se deve ao fato desta indústria em estudo possuir espaço limitado para a instalação de painéis fotovoltaicos. Destaca-se que em indústrias localizadas fora da cidade, como em fazendas e chácaras, a geração de energia pode ser maior, assim como o retorno do investimento.

Para trabalhos futuros sugere-se estudos em locais do ramo de laticínios,

---

como indústrias e até em ordenhadeiras, pois é um setor que está sempre em alta e gera um grande fluxo monetário no país. Os estudos podem ser como viabilidade de instalação de sistema fotovoltaico, mas também de aquecimento solar para a limpeza e higienização dos locais e equipamentos e até para atuar em conjunto com caldeiras, que hoje é movida a basicamente queima de lenha.

## REFERÊNCIAS

- BLUESOL. **Blue Sol Solar Energy**. Outubro 2021. Disponível em: <<https://bluesol.com.br>>. Acesso em: 30 out. 2021.
- DE, CAPACITAÇÃO; GERAIS, MINAS; FORA-MG, JUIZ DE. Embrapa gado de leite. ELÉTRICA, EPE Anuário Estatístico De Energia. Ano base 2019. **Empres Pesquis Energética**, 2020.
- ELÉTRICA, QUE CELEBRAM A de Energia. Agência nacional de energia elétrica-aneel. **Abril de**, 2005.
- ENEL. **Ente nazionale per l'energia elettrica**. Outubro 2021. Disponível em: <<https://www.enel.com.br/en-goias.html>>. Acesso em: 30 out. 2021.
- FUSANO, Renato Hideo. **Análise dos índices de mérito do sistema fotovoltaico conectado à rede do escritório verde da UTFPR**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.
- GRIEBELER, Diane Ines; CORASSINI, Luíse Bamberg; CASTRO, Simone Da Silva; RIBEIRO, Kétilin Milbradt; CERETTA, Franciane Cougo Da Cruz; CRUZ, Anderson Cougo Da. Análise para implantação de sistema fotovoltaico de geração de energia em uma agroindústria de santo cristo/rs analysis for deployment of photovoltaic system energy generating in an agribusiness of santo cristo/rs.
- MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco José Lopes de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel de Lima; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. Atlas brasileiro de energia solar 2. Inpe, 2017.
- OLIVEIRA, Flávio Gil da Cunha. **Dimensionamento de uma central de miniprodução fotovoltaica para uma exploração agrícola direcionada à indústria de laticínios**. Tese (Doutorado) — Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto., 2013.
- RAMALHO, Luiz Henrique; SOTO, Tadeu Augusto Vieira. Energia fotovoltaica. **Portal de Educação do SENAR Goiás**, Saraiva, v. 1, 2021.
- RIBEIRO, Uirê Guimarães Vieira *et al.* **Estudo de viabilidade econômica de instalação de fontes de energia renováveis baseadas em células fotovoltaicas para o uso residencial**. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2012.
- RODRIGUES, Márcio Aparecido Oliveira; SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. Análise de impactos técnico e social da utilização da energia solar fotovoltaica no distrito federal. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. [S.l.: s.n.], 2018.

SOLAR, Portal. **Portal Solar**. Outubro 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br>>. Acesso em: 30 out. 2021.

STANQUEVISKI, Lucas Luan da Fonseca. **Dimensionamento e análise da viabilidade da implantação de um sistema de microgeração fotovoltaica no Câmpus da UTFPR-Pato Branco**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

SUKHATME, Suhas P; NAYAK, JK. **Solar energy**. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2017.

VILLALBA, Marcelo Gradella. Energia solar fotovoltaica - sistemas isolados e conectados à rede. Saraiva, v. 2, 2013.