



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL-IEDS**

**CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**CLAUDIA LARISSA DE SOUSA CAVALCANTE**

**AValiação de Pós-Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Residenciais**

**REDEnção**

**2021**

**CLAUDIA LARISSA DE SOUSA CAVALCANTE**

**AVALIAÇÃO DE PÓS-PROJETO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do título de graduação em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Alves de Lima Henn.

**REDENÇÃO**

**2021**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Cavalcante, Claudia Larissa de Sousa.

C364a

Avaliação de pós-projeto de sistemas fotovoltaicos residenciais  
/ Claudia Larissa de Sousa Cavalcante. - Redenção, 2021.  
69f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de  
Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da  
Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção,  
2021.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Alves de Lima Henn.

1. Sistema de energia fotovoltaica. 2. Energia solar -  
Aspectos econômicos. 3. Custo-benefício. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621.31

---

**CLAUDIA LARISSA DE SOUSA CAVALCANTE**

**AVALIAÇÃO DE PÓS-PROJETO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do título de graduação em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Alves de Lima Henn.

Aprovado em 20 / 08 / 2021.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Gustavo Alves Lima Henn (Orientador)

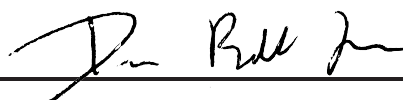
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



---

Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



---

Prof. Dr. Davi Rabelo Joca

Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

*Dedico à Deus, aos meus pais, Rita e José. Ao meu irmão, Cayan, que foi a razão da minha escolha de curso. Aos amigos, que me apoiaram durante esta jornada. O apoio e carinho de todos foram essenciais para essa conquista.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados na minha jornada.

Aos meus pais, Rita e José, por todo o suporte durante a minha trajetória acadêmica. Eu não estaria vivenciando esse momento sem o esforço da minha mãe para prover meus estudos.

Ao meu irmão, Cayan, por todo o apoio durante minha vida. Minha escolha de curso foi realizada por causa dele e seu costume de me sempre desafiar.

Agradeço ao Prof. Dr. Gustavo Alves de Lima Henn pela orientação, apoio e paciência que contribuiu tanto para a realização deste trabalho. Não somente na realização do trabalho, mas durante minha trajetória acadêmica nas suas disciplinas, suas palavras contribuíram para o meu sucesso na finalização do curso.

Aos meus familiares, Ayla, Eric, Milly e Willy por todo apoio durante minha vida. O apoio e a confiança de vocês em mim foram essenciais para o meu desenvolvimento.

Aos meus amigos Bárbara, Daniel, Fernando, Jonathan, Rachel, Renan, Roberto e Rodrigo que me ajudaram me dando força e apoio para prosseguimento durante todo o curso. Minha imensa gratidão por todo companheirismo quando moramos juntos durante o período presencial acadêmico, sem vocês teria sido extremamente difícil.

Aos meus amigos Daniele, Eduardo, Gladson e Beatriz que me apoiaram tanto quando precisei. Conhece-los sempre será um dos melhores presentes que o Movimento Empresa Júnior me deu.

A minha amiga Dani, que me apoiou durante este trabalho, minha gratidão.

Ao Movimento Empresa Júnior e a Engene Jr; somente tenho gratidão por todo ensinamento de vida, propósito e profissionalismo. Minha evolução como profissional e pessoa é imensa graças a eles.

Agradeço ao Prof. Dr. Davi Rabelo Joca, por me permitir utilizar seus dados de projetos e por ter aceitado o convite para participar da banca Examinadora desta Monografia.

Agradeço ao Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho por ter aceitado o convite para participar da banca Examinadora desta Monografia.

A todos os professores que tive o privilégio de ter durante essa longa jornada, agradeço imensamente por todo o conhecimento compartilhado.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Serei sempre grata por todo apoio durante minha vida acadêmica.

*“A persistência é o caminho do êxito”*

*Charles Chaplin*

## RESUMO

No atual cenário energético brasileiro, devido à diminuição das chuvas e, conseqüentemente, redução da geração de energia através das usinas hidrelétricas, o país aciona frequentemente as termelétricas, fonte mais cara de produção de energia, o que ocasiona o aumento do preço de energia elétrica para o consumidor final, e favorece a busca por energia renovável por meio de tecnologias alternativas. A energia fotovoltaica, dentre as tecnologias de fontes renováveis disponíveis, não tem a necessidade de um processo complexo para a instalação e geração. A mesma consiste na conversão de energia irradiada pelo sol em energia elétrica, através do uso de módulos fotovoltaicos e inversor para converter a corrente contínua produzida pelos módulos em corrente alternada. O presente trabalho descreve um estudo realizado a partir de cinco instalações de sistemas fotovoltaicos e compara os resultados teóricos esperados e reais de geração, levantando os parâmetros necessários para a execução de um projeto de energia solar. A análise é realizada através dos dados de geração obtidos dos sistemas instalados e tem como objetivo identificar se o consumidor obterá o retorno previsto. A partir da observação dos dados de geração, os projetos 1, 3 e 5 estão apresentando uma média de geração abaixo da esperada. Através das análises de *payback*, foi possível identificar que o projeto 4 possui o melhor custo-benefício por possuir um retorno inferior aos outros projetos.

**Palavras-chave:** Sistemas fotovoltaicos, Projetos, Geração de energia, Razoabilidade de custos.



## ABSTRACT

In the current Brazilian energy scenario, due to the decrease in rainfall and, consequently, reduction in energy generation through hydroelectric plants, the country frequently activates thermoelectric plants, a more expensive source of energy production, which causes an increase in the price of electricity for the final consumer, and favors the search for renewable energy through alternative technologies. Photovoltaic energy, among the technologies from renewable sources available, does not have the need for a complex process for installation and generation. It consists in the conversion of energy radiated by the sun into electrical energy, through the use of photovoltaic modules and an inverter to convert the direct current produced by the modules into alternating current. The present work describes a study carried out from five installations of photovoltaic systems and compares the expected theoretical and real generation results, raising the necessary parameters for the execution of a solar energy project. The analysis is performed using the generation data obtained from the installed systems and aims to identify whether the consumer will obtain the expected return. Based on the observation of generation data, projects 1, 3 and 5 are showing an average of generation below the expected. Through payback analyses, it was possible to identify that project 4 has the best cost-benefit ratio as it has a lower return than other projects.

**Keywords:** Photovoltaic systems, Projects, Power generation, Cost reasonableness.

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b>	Extrato da patente da primeira célula fotovoltaica .....	23
<b>Figura 2.2</b>	Sistemas fotovoltaicos integrados .....	24
<b>Figura 3.1</b>	Vista de situação da UC .....	36
<b>Figura 3.2</b>	Vista da UC .....	37
<b>Figura 3.3</b>	Localização do sistema .....	37
<b>Figura 3.4</b>	Média de consumo anual .....	38
<b>Figura 3.5</b>	Geração aproximada .....	39
<b>Figura 3.6</b>	Placa de risco .....	41
<b>Figura 3.7</b>	Localização da placa de advertência .....	42
<b>Figura 3.8</b>	Diagrama unifilar .....	42
<b>Figura 3.9</b>	Diagrama geral .....	43
<b>Figura 3.10</b>	Aterramento .....	43
<b>Figura 4.1</b>	Energia gerada e estimada do projeto 1 .....	49
<b>Figura 4.2</b>	Energia gerada e estimada do projeto 2 .....	49
<b>Figura 4.3</b>	Energia gerada e estimada do projeto 3 .....	50
<b>Figura 4.4</b>	Energia gerada e estimada do projeto 4 .....	51
<b>Figura 4.5</b>	Energia gerada e estimada do projeto 5 .....	52
<b>Figura 4.6</b>	Retorno mensal do investimento do projeto 1 .....	53
<b>Figura 4.7</b>	Retorno mensal do investimento do projeto 2 .....	54
<b>Figura 4.8</b>	Retorno mensal do investimento do projeto 3 .....	54
<b>Figura 4.9</b>	Retorno mensal do investimento do projeto 4 .....	55
<b>Figura 4.10</b>	Retorno mensal do investimento do projeto 5 .....	56
<b>Figura 4.11</b>	Padrão de consumo do projeto 5 .....	57

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b>	Energia primária <i>per capita</i> em vários países do mundo	19
<b>Tabela 3.1</b>	Tipo de ligação	34
<b>Tabela 3.2</b>	Seção dos condutores de proteção	41
<b>Tabela 4.1</b>	Inversores utilizados	47
<b>Tabela 4.2</b>	Painéis utilizados	47
<b>Tabela 4.3</b>	Preços finais dos projetos	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(a-Si)	Silício amorfo
(a-Si:H)	Silício amorfo hidrogenado
(CdTe)	Telureto de cádmio
(CO <sub>2</sub> )	Gás carbônico
(c-Si)	Silício cristalino
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	Amazonas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AP	Autoprodução de energia
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
BIPV	Sistemas fotovoltaicos integrados
BNDS	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
Coelce	Companhia Energética do Ceará
Coema	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CPF	Cadastro de pessoa física
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DPS	Dispositivo de proteção contra surtos
Enel	Ente nazionale per l' Energia elétrica
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de efeito estufa
Kw	Quilowatts
kWh	Quilowatts hora
kWp	Quilowatt pico

MG	Minas Gerais
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatts
NBR	Norma Brasileira
NREL	National Renewable Energy
NT	Norma Técnica
NTC	Norma Técnica Copel
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PIE	Produção independente de energia
PRODIST	Procedimentos de distribuição
RN	Resolução Normativa
TUSD	Tarifa de uso dos sistemas de distribuição
TW	Terawatts

## LISTA DE SÍMBOLOS

$V$	Tensão de saída do inversor
$\Delta V\%$	Queda de tensão percentual
$\Delta V$	Tensão do sistema
$\cos\theta$	Fator de potência do inversor
$L$	Distância do circuito
$I$	Corrente
$I_{nm}$	Corrente de saída
$\rho$	Resistividade do material condutor
$Sc$	Seção mínima do condutor
$ISI$	Corrente máxima da saída do inversor
$ID$	Corrente do Disjuntor
$IF$	Corrente do cabo

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	09
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	10
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	11
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	13
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	16
1 INTRODUÇÃO .....	16
1.1 OBJETIVO GERAL .....	20
1.1.1 Objetivos específicos .....	20
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	21
2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	21
2.2 A ORIGEM DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	21
2.3 O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	24
2.4 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	25
<b>2.4.1 Sistema solar fotovoltaico conectado à rede</b> .....	25
<b>2.4.2 Sistema solar fotovoltaico isolado</b> .....	26
2.5 LEGISLAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....	27
<b>2.5.1 Primeiras regulamentações para a geração distribuída no Brasil</b> .....	27
<b>2.5.2 Projetos de lei em análise</b> .....	28
2.5.2.1 Projeto de lei número 5829/2019 .....	28
2.5.2.2 Projeto de lei número 2474/2020 .....	29
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	30
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	31
3.1 NORMAS TÉCNICAS PARA PROJETOS FOTOVOLTAICOS .....	31
3.2 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	33
<b>3.2.1 Dimensionamento do equipamento</b> .....	35
3.3 PROJETO .....	35
<b>3.3.1 Memorial descritivo</b> .....	35
<b>3.3.2 Diagrama unifilar e geral</b> .....	42
<b>3.3.3 Formulários e documentos</b> .....	44
<b>3.3.4 Solicitação de parecer de acesso</b> .....	44
<b>3.3.5 Vistoria</b> .....	45

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	4336
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	47
4.1 INTRODUÇÃO .....	47
4.2 GERAÇÃO DOS PROJETOS .....	48
4.3 RETORNO DOS INVESTIMENTOS .....	52
4.4 PADRÃO DE CONSUMO PÓS-PROJETO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA ..	56
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	58
5 CONCLUSÃO .....	58
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60
ANEXO A – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO POTÊNCIA IGUAL OU INFERIOR A 10KW .....	63
ANEXO B – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO POTÊNCIA SUPERIOR A 10 KW .....	64
ANEXO C – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO SUPERIOR A 75 KW .....	65
ANEXO D – CADASTRO ENEL .....	67
ANEXO E – FORMULÁRIO DE COMPENSAÇÃO .....	68



## CAPÍTULO 1

### 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico do mundo está atrelado à eletricidade. Inicialmente, diante da necessidade de iluminação noturna e aquecimento, o ser humano utilizou o fogo. A partir da necessidade de alimentação, os humanos desenvolveram a agricultura e a pecuária. Segundo Farias e Sellito (2011), visando otimizar as tarefas e aumentar o nível de conforto, foram demandadas novas formas da utilização de energia, que foram sendo descobertas e aperfeiçoadas. Com o desenvolvimento do conhecimento houve o surgimento de dispositivos mais complexos utilizados para o aproveitamento da energia. Segundo Amaral (2010), na era das máquinas à vapor surge o carvão mineral e com ele o início de uma nova era, representada pela revolução industrial, a criação do automóvel e exploração do petróleo.

Com o domínio da eletricidade houve a necessidade do aumento da geração, devido ao crescente aumento do consumo. Porém, a ampliação da geração aumentou a emissão de gás carbônico para atmosfera devido à queima dos combustíveis fósseis. Para Zaniolo e Colzani:

Antes da década de 1970, o ser humano entendia que o meio ambiente era uma fonte de recursos inesgotáveis e que sua exploração estava ligada ao desenvolvimento. Os Estados mais desenvolvidos no período da Revolução Industrial, França, Inglaterra e Estados Unidos da América, não se preocupavam com a degradação do meio ambiente. Foi neste período em que a exploração dos recursos naturais se intensificou. A teoria era de que se os recursos de um local se esgotassem, seriam achados outros em locais diferentes, mesmo que fora de suas 17 fronteiras. (ZANIOLO, COLZANI, 2008, p.16).

Para Tolmasquim (2007), a partir da Revolução Industrial a energia se tornou fator determinante na competitividade econômica dos países e na qualidade de vida, fato que pode ser comprovado pela análise do padrão histórico de desenvolvimento das sociedades. A Primeira Revolução Industrial marca a quebra histórica no funcionamento dos sistemas energéticos, antes estruturados, encerrando-se a fase da soberania das fontes de energia biológicas, advindas do esforço do homem e dos animais, iniciando a crescente dos combustíveis fósseis. (SACHS, 2007).

Segundo Moreira (1998), o meio ambiente foi exposto a uma contínua devastação que acabou arriscando o ecossistema do planeta e a vida dos seres humanos, devido ao crescente uso dos combustíveis poluentes. Era difícil contrariar o progresso em defesa do meio ambiente. O surgimento da consciência ambiental surgiu após a Segunda Guerra

Mundial, e a partir disso foram aprovados pelo governo métodos de proteção para as águas e os mares. O aquecimento global somente veio adquirir destaque após a Convenção de Estocolmo em 1972.

Segundo Andrade e Costa (2008), a partir da Revolução Industrial ocorreu um crescimento de 30% na concentração de CO<sup>2</sup> na atmosfera e que a média de temperatura da Terra aumentou entre 0,3 e 0,6°C no século XX. O aquecimento do planeta ocasionou aumento do nível dos oceanos, mudança na dinâmica dos ventos e chuvas, aumento no nível de intensidade de ciclones tropicais, excessos de secas e enchentes, diminuição da biodiversidade devido à extinção de espécies, dentre outros fatores advindos da mudança climática.

Em 1997, 97% dos GEE (Gases de Efeito Estufa) emitidos foram de origem nas nações industrializadas, resultado advindo, principalmente, da queima de combustíveis fósseis, sobretudo para geração de energia e atividades industriais. E 80% de toda energia produzida no mundo é consumida por apenas 25% da população que vive nas nações industrializadas (BAHIA, 2005).

A percepção dos seres humanos sobre o impacto no meio ambiente foi evoluindo ao longo do tempo, sendo possível observar a partir dos instrumentos de combate à poluição criados pela comunidade internacional. A Conferência de Estocolmo surgiu para chamar a atenção da população para a importância do início da adoção de medidas para prevenir a poluição e melhorar o meio ambiente, garantindo assim um futuro menos poluído. Para Shayani, Oliveira e Camargo:

A pesquisa e o desenvolvimento científico, entretanto, também devem caminhar em busca do desenvolvimento sustentável. A utilização de recursos fósseis poluentes, em lugar de renováveis não-poluentes, justificados por uma possível maior eficiência ou redução de custos, deve ser julgada com uma abordagem holística, direcionando os esforços para a solução que melhor atenda às necessidades da humanidade e da natureza. (SHAYANI, OLIVEIRA e CAMARGO, 2006).

Em dezembro de 1997 foi firmado o Protocolo de Kioto, que estabeleceu como meta que os países industrializados deveriam reduzir as emissões de gases de efeito estufa para valores 5% inferiores àqueles obtidos em 1990, durante o período entre 2008 e 2012. O protocolo beneficiou o meio ambiente gerando estímulo da produção de energia limpa. Além disso, os países foram beneficiados com a cooperação internacional na transferência de tecnologia para a geração de energia e comércio de carbono. Para a vigência do protocolo, devido à necessidade da aprovação interna de cada país signatário, era obrigatória a ratificação por um número mínimo de países que

correspondesse à no mínimo 55% das emissões de GEE dos países desenvolvidos, as restrições ficaram estabelecidas por 38 países (FIGUERES; IVANOVA, 2005).

O acordo surgiu como uma oportunidade para que a população protegesse o meio ambiente e que países em desenvolvimento iniciassem um crescimento mais sustentável, diminuindo a emissão de gases. Segundo Shayani, Oliveira, Camargo (2006), a emissão de gás carbônico proveniente das centrais elétricas brasileiras vem aumentando ao longo dos anos, estando em 2006 com o dobro de emissões de 1990.

A partir disso foi necessária a busca pela diversificação da matriz energética dos países e por fontes mais limpas de geração. Para Alves e Nascimento:

[...] várias são as razões para o fomento às fontes renováveis alternativas. Atualmente, os recursos naturais e renováveis tem sido o foco de inúmeras pesquisas, impulsionadas pelo aumento das preocupações com o meio ambiente, devido aos problemas ecológicos e do aquecimento global, gerados pela utilização de combustíveis fósseis. O aproveitamento correto das fontes renováveis é um excelente modo de substituir as “energias sujas” e evitar danos ao planeta. (ALVES e NASCIMENTO, 2016, p.1).

Devido à necessidade, as fontes de energia renováveis se tornaram uma alternativa para diminuir a utilização de fontes que são prejudiciais ao meio ambiente. As fontes de energia renováveis são aquelas capazes de se renovar, também sendo capazes de diminuir o impacto ambiental por ser uma alternativa aos combustíveis fósseis. As energias alternativas renováveis mais comuns são a energia solar, energia eólica, energia hidráulica, energia geotérmica e biomassa. Essas fontes possuem um impacto ambiental menor por não serem contribuintes para o efeito estufa.

Devido à vasta extensão de território e diversos biomas brasileiros as fontes renováveis têm grande potencial no Brasil, devido a relação entre a energia primária e população ser menor que a média mundial, conforme tabela 1.1 apresenta.

**Tabela 1.1** - Energia primária *per capita* em vários países do mundo.

<b>País</b>	<b>Energia primária per capita(tep)</b>	<b>País</b>	<b>Energia primária per capita (tep)</b>
<b>Índia</b>	0,3	Coréia	4,1
<b>Indonésia</b>	0,5	Rússia	4,2
<b>China</b>	0,7	OECD	4,7
<b>Brasil</b>	0,8	Nova Zelândia	4,8
<b>México</b>	1,5	Austrália	5,7
<b>Mundo</b>	1,5	Canadá	8,2
<b>Japão</b>	4,1	Estados Unidos	8,3

Fonte: Shayani, Oliveira e Camargo (2006).

Quando se trata de tecnologia para a exploração desses recursos, o Brasil encontra dificuldades devido ao baixo investimento em tecnologia local. Ainda é encontrado um mercado local limitado que impacta diretamente o custo final dessas fontes, sendo a maior parte da tecnologia importada de outros países. Para Shayani, Oliveira, Camargo:

[...] a simplicidade com que esta energia é gerada promove uma conseqüente redução de custos quando todos os processos necessários são contabilizados. Os recursos fósseis precisam, intrinsecamente, serem extraídos dos locais onde estão concentrados, transportados para as refinarias onde são preparados para a queima, movidos novamente para as usinas e, após a geração de eletricidade, esta deve ser transmitida através de linhas de alta tensão para o consumidor, enquanto que os resíduos devem ser eliminados. A utilização de máquinas rotativas, tais como turbina e gerador, necessitam de uma rotina de manutenção mais complexa, devido ao desgaste natural das peças móveis, além de gerar poluição sonora durante o seu funcionamento. (SHAYANI, OLIVEIRA e CAMARGO, 2006).

Dentre as tecnologias de fontes renováveis disponíveis, a energia solar fotovoltaica não tem a necessidade de um processo complexo para a instalação. Ela consiste na conversão da energia irradiada pelo sol em energia elétrica através do uso de módulos fotovoltaicos e inversor para converter a corrente contínua produzida pelos módulos em corrente alternada. Na conversão fotovoltaica outro grande benefício é a carga estar próximo ao local de geração, evitando custos de transmissão em alta tensão.

Na energia fotovoltaica, existem sistemas conectados na rede de distribuição (*on grid*) e sistemas isolados (*off grid*). Os sistemas isolados podem ser usados em locais onde não existe uma rede de transmissão de energia elétrica próxima. Para locais em que são utilizados geradores movidos à diesel, é uma forma sustentável de substituição. Já os sistemas conectados às redes de distribuição são comuns em residências, comércios e indústrias, e nos últimos anos ocorreu uma facilidade maior de acesso devido à expansão do setor de energia solar no Brasil.

No entanto, devido ao elevado custo para o consumidor adquirir um sistema solar fotovoltaico, este deve ter o dimensionamento correto para otimizar sua relação de custo e benefício. O dimensionamento desse tipo de sistema é composto pela análise de consumo do local onde ocorrerá a instalação, tipo de fornecimento da concessionária, identificação da insolação local e quais os equipamentos serão utilizados para compor o sistema, tais como: inversor, módulos fotovoltaicos, cabos, kit de fixação dos módulos, disjuntores e DPS. Nesse contexto, é importante entender as variáveis que afetam diretamente o dimensionamento do sistema e otimizar o sistema fotovoltaico, evitando erros de dimensionamento e prejuízos ao cliente.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar 5 instalações de energia solar fotovoltaica e comparar os resultados teóricos e reais de geração. Descrever todos os componentes de sistema *on grid* e os parâmetros envolvidos para sua ligação à rede de distribuição. Levantar os parâmetros necessários para a execução de um projeto de energia solar: dimensionamento, diagramas, memorial, formulários e documentos obrigatórios para homologação. Por fim, verificar se o retorno financeiro foi condizente com o esperado teoricamente.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Apresentar o dimensionamento e realização do projeto de energia solar fotovoltaica.
- Identificar o *payback* do consumidor, identificando se obterá o retorno previsto.
- Analisar a eficiência e desempenho dos equipamentos instalados a partir da análise prévia da geração prevista e real.

## CAPÍTULO 2

### 2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A quantidade de energia que o sol produz todos os dias ao planeta é suficiente para alimentar a demanda diária da Terra. A superfície da Terra recebe cerca de  $9,5 \times 10^4$  TW (Terawatts) de energia solar por ano, o que supriria a demanda de toda a população. (MACHADO e MIRANDA, 2015) Diante de todo o recurso disponível para a geração de energia, surge a energia solar fotovoltaica, que é a energia obtida através da conversão da radiação do sol a partir de materiais semicondutores. No entanto, este tipo de produção de energia nem sempre foi conhecido e passou por um processo de evolução.

### 2.2 A ORIGEM DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A conversão da luz do sol em energia elétrica ocorre através do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico surge através da absorção da luz do sol, ocasionando uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. E foi em 1839 que o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por Edmund Becquerel, que ao expor à luz dois eletrodos de prata num eletrólito produziu uma diferença de potencial quando expostas à luz (NASCIMENTO, 2004).

No processo de conversão da energia radiante em energia elétrica a célula é a unidade fundamental. A primeira célula fotovoltaica foi construída em 1877 por W.G. Adams e R.E. Day, constituída por eletrodos de selênio que produziam uma corrente elétrica quando expostos à radiação. Segundo Nascimento (2014) uma célula fotovoltaica não é responsável por armazenar energia elétrica. Ela mantém um fluxo de elétrons em um circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela, sendo assim denominado “Efeito Fotovoltaico”.

Segundo Brito e Vallêra (2006), em março de 1953 Calvin Fuller, químico do laboratório Bell Laboratories, realizou um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, assim controlando as propriedades elétricas deles. Ele produziu um material condutor através de uma barra de silício dopada com uma concentração de gálio, constituído as cargas móveis positivas sendo denominado como silício do “tipo p”. Logo após Gerald Pearson, também do laboratório Bell Laboratories, submergiu uma barra de silício dopado em lítio quente, criando na superfície da barra uma zona com excesso de elétrons livres, sendo constituídos com carga negativa e sendo denominado silício do “tipo n”. Quando o silício do “tipo n” entra em contato com o silício do “tipo p”, ocorre o

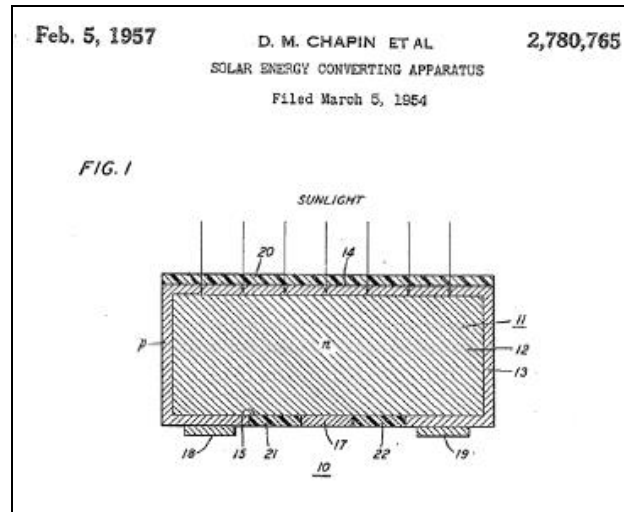
surgimento de um campo elétrico, surgindo a denominada “junção p-n”. (VALLÊRA; BRITO, 2006)

Pearson verificou que a amostra “junção p-n” quando exposta a luz solar produzia uma corrente elétrica, constituindo a primeira célula solar de silício. Daryl Chapin, engenheiro do Bell Laboratories, realizava estudos com as células de selênio. No entanto, Pearson e Chapin verificaram que a eficiência da célula de silício era cerca de 4% e até então a eficiência da célula de selênio de Chapin possuía uma eficiência máxima menor que 1%. No entanto, a célula de silício possuía alguns impedimentos para sua melhor performance, segundo Brito e Vallêra :

Por um lado a célula revelava uma resistência-série muito significativa, devido à dificuldade em soldar contatos elétricos ao material. Por outro lado, mesmo à temperatura ambiente, verificaram que o lítio migrava para o interior do silício, pelo que a junção p-n (a “zona activa” da célula solar) ficava cada vez mais profunda e inacessível aos fótons da radiação solar, diminuindo assim a eficiência da célula. Fuller experimentou fazer a dopagem do tipo n usando uma difusão de fósforo, e obteve uma junção p-n mais estável do que a anterior. Porém, o problema dos contactos persistia. Foi então que Fuller substituiu o gálio por arsénio (formando um substrato do tipo n) seguido por uma difusão de boro (formando uma zona do tipo p à superfície). (VALLÊRA; BRITO, 2006)

As novas células modificadas por Fuller podiam agora ser soldadas e revelaram uma eficiência recorde até aquele momento, alcançando 6%. Em 1954, Chapin e colaboradores do Bell Laboratory, realizaram a publicação do primeiro artigo citando células fotovoltaicas em silício e registraram a primeira patente de uma célula. No entanto, esta célula possuía a eficiência de baixa e o custo para a produção era elevado, tornando inviável a replicação em larga escala. A Figura 2.1 abaixo apresenta o extrato da patente da primeira célula fotovoltaica registrada.

**Figura 2.1** - Extrato da patente da primeira célula fotovoltaica



Fonte: VALLÊRA e BRITO (2006).

A primeira célula fotovoltaica de Chapin, Fuller e Pearson foi utilizada para alimentar uma rede telefônica. O painel possuía 9 células com 30 mm de diâmetro e foi instalado em outubro de 1955. Porém, era mais economicamente viável sua utilização no espaço. Os satélites antes utilizavam pilhas químicas e com relutância a NASA passou a utilizar células fotovoltaicas como uma alternativa caso a pilha falhasse. No satélite Vanguard I, lançado em 1958, a pilha química falhou e o painel solar manteve o transmissor ativo. O satélite manteve-se operando durante 8 anos. E após essa demonstração de eficiência a NASA passou a adotar as células fotovoltaicas como fonte de energia dos satélites. (WOLF, 1960)

Em 1955, tinha sido iniciada a corrida espacial entre União Soviética e Estados Unidos. Observando a eficiência das células fotovoltaicas, dois meses depois do lançamento do Vanguard I os pesquisadores enviaram ao espaço o Sputnik-3 com células fotovoltaicas e atualmente todos os veículos espaciais são equipados com essa tecnologia. No entanto, o custo elevado somente tornava viável o uso em locais mais complexos e distantes, como o espaço. (VALLÊRA, A., BRITO M., 2006)

Com os avanços da microeletrônica, em 1956 foram fabricadas as primeiras células fotovoltaicas industriais, porém, ainda apresentando um alto custo. Devido a isso, foram utilizadas para fornecimento de energia elétrica para satélites pelo custo não ser um fator importante. As células fotovoltaicas também eram utilizadas para fornecimento de energia elétrica em estações remotas de telecomunicações, por causa de suas características e resultados de utilização no espaço.



Na década de 1970 ocorreu a crise do petróleo, onde o setor petrolífero passou por duas crises de preços que alteraram profundamente o mercado, pois desde o início do século XX, a economia mundial e principalmente dos países mais desenvolvidos passou a depender do petróleo. Foi a partir da crise do petróleo que a energia solar passou a atrair mais atenção dos governos, devido à possibilidade do esgotamento das reservas petrolíferas. (VALLÊRA; BRITO, 2006).

### 2.3 O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O desenvolvimento da tecnologia dos materiais fotovoltaicos é constante. Em 1998, o recorde de eficiência de uma célula em silício monocristalino era de 24,7%, em 2020, ocorreu o anúncio que a equipe do National Renewable Energy Laboratory (NREL), nos EUA, que desenvolveu uma célula com eficiência de 47,1%, sendo constituída por seis camadas fotoativas, cada uma formada por vários tipos de metais semicondutores, tendo como função captar energia de diferentes partes do espectro luminoso. (VIAUD; HOLFFMAM, 2004)

No mercado existem diversas tecnologias fotovoltaicas, onde se destacam as células de silício cristalino (c-Si), o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou a-Si), o telureto de cádmio (CdTe) e outros elementos relacionados ao dissulfeto de cobre e índio. (Ruther, Salomani e Marinovski, 2004). No entanto, os painéis mais utilizados são de silício cristalino e silício amorfo, apresentando ainda, opções mais diversificadas com painéis mais leves, flexíveis, resistentes e que podem ser integrados às edificações, como é o exemplo de painéis utilizados em BIPV (Sistemas Fotovoltaicos Integrados).

**Figura 2.2 - Sistemas Fotovoltaicos Integrados**



Fonte: PORTAL SOLAR (2021).

A expansão da energia solar ocorreu devido aos fatores ambientais, mas também aos incentivos governamentais, o avanço da tecnologia das células fotovoltaicas, diminuição do preço dos equipamentos, baixo custo operacional e de manutenção e, devido à sua característica, que permite uma instalação mais simples. Segundo a ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), a energia solar fotovoltaica lidera entre as fontes renováveis, com 8 GW de potência operacional. Esse tipo de fonte de energia trouxe ao país mais de R\$ 40 bilhões e gerou mais de 240 mil empregos.

## 2.4 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica eram inicialmente somente de grande porte, no intuito de diminuir os problemas existentes na possível escassez dos recursos para geração de energia. À medida que o mercado e o conhecimento sobre as tecnologias avançaram, as pequenas gerações de energia em residências começaram a tomar espaço. (ATHANASIA, 2000)

Convencionalmente a geração de energia elétrica ocorre distante do ponto de consumo, como é o caso das usinas de energia eólica, energia hidrelétrica e energia termoelétrica. Essa condição faz com que ocorra perdas na distribuição para os consumidores, aumentando assim os custos com a produção de energia. Com isso, surge uma alternativa para a redução dessas perdas atreladas à geração distribuída, permitindo uma maior diversificação de tecnologias e a unidade de geração próxima a carga. (RODRIGUES, 2002)

Existem dois tipos de geração distribuída no país definidas pela Aneel, a microgeração, que compreende sistemas de até 75 quilowatts (kW), e a minigeração, que compreende sistemas de grande porte e com potência de 75 quilowatts (kW) até 5 megawatts (MW).

### 2.4.1 Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à rede

Os sistemas conectados à rede elétrica de distribuição da concessionária devem seguir os requisitos da distribuidora de energia elétrica local para a sua instalação. Devendo ser operados dentro de parâmetros com tensão, frequência e capacidades de detecção de falta de energia (BLUESOL, 2017). O cumprimento desses parâmetros garante que não seja enviado para a rede uma energia elétrica não apropriada e evitando assim acidentes ou perdas.

No sistema *on grid*, no período em que existe a incidência de raios solares, o consumidor irá utilizar a energia produzida pelo sistema fotovoltaico e o excedente irá para a rede de distribuição. Durante a noite, período sem radiação solar, o consumidor utilizará a energia da concessionária. O sistema fotovoltaico deve ser dimensionado corretamente para suprir a demanda da noite, produzindo mais energia do que consome durante o dia (OLIVEIRA, 2002).

Para realizar a contabilização da diferença entre o que foi gerado e consumido pela unidade consumidora a concessionária de energia elétrica utiliza um medidor bidirecional. O sistema de compensação de energia solar é popularmente conhecido como créditos de energia solar, onde o excedente é contabilizado e pode ser utilizado pelo consumidor em um período de até 5 anos em qualquer residência que tenha o mesmo CPF ou CNPJ cadastrado da unidade geradora.

O sistema fotovoltaico ligado à rede é constituído por dois quadros elétricos de proteção, denominados *string box*, inversor, painéis fotovoltaicos, cabos que ligam os componentes, estrutura de fixação dos painéis, o sistema anti-surto (caso não esteja incluído no inversor). Este sistema automaticamente passa a utilizar a energia da rede de distribuição caso não ocorra a geração.

O sistema *on grid* apresenta vantagens adicionais pois não é necessária a utilização de um banco de baterias para controlar a carga. Este fato acarreta no custo final do sistema ser menor, pois as baterias apresentam um elevado valor de comercialização.

#### **2.4.2 Sistema Solar Fotovoltaico Isolado**

No sistema isolado da rede, também denominado *off grid*, o sistema pode ser do tipo com ou sem uso de banco de baterias. Os sistemas isolados são utilizados em locais isolados onde não há redes de distribuição próximas. Os sistemas sem baterias podem ser utilizados em locais onde não existe a necessidade de uso em horários sem incidência solar, podendo também ser utilizado para bombeamento de água, telefone público em rodovias e outras. (VILLALVA, 2012)

O sistema com baterias é utilizado quando existe a necessidade de uso de energia nos locais à noite ou em momentos que não há geração. Para a potencialização do rendimento do conjunto baterias e gerador fotovoltaico, fazendo com que os acumuladores tenham sua vida útil maior, é necessário a instalação de um controlador de carga, para que não ocorra a incidência de descargas constantes nas baterias (PINHO;

GALDINO, 2014). Os sistemas isolados não necessitam seguir todos os requisitos do sistema *on grid*, pois sua corrente não será injetada na rede elétrica.

Em sistemas isolados, as baterias mais utilizadas são as de chumbo-ácido e devem possuir longa duração, pois são carregadas e descarregadas constantemente. A carga deve possuir eficiência elevada e bom desempenho com baixas correntes de carga e descarga. (PINHO; GALDINO, 2014)

## 2.5 LEGISLAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

### 2.5.1 Primeiras Regulamentações para Geração Distribuída no Brasil

O setor elétrico brasileiro sempre privilegiou, no contexto de energias renováveis, a expansão da energia hidráulica no planejamento, a geração distribuída sendo tratada como uma perda do seu monopólio (COELHO, 1999).

Dentre as primeiras resoluções da geração distribuída pode-se citar a Portaria DNAEE no 246 de 22/12/1988, responsável por regulamentar a aquisição de Energia elétrica excedente de produtores de energia pelas concessionárias em contratos de longo prazo. Em 1989 e 1991, o artigo 1 desta Portaria foi alterado para melhor entendimento do texto pelas Portarias DNAEE no 94 de 13/06/1989 e no 220 de 24/01/1991. Esta portaria autoriza que a aquisição de energia elétrica excedente seja permitida para os sistemas de geração que não utilizam derivados de petróleo, com exceção dos cogeneradores.

Em 1998, a Lei 9.648 de 27/05/1998 viria a beneficiar os clientes de GD (Geração Distribuída), revisada posteriormente pelo Projeto de Lei no 2.905/2000 do MME, referindo-se aos aspectos de comercialização da energia excedente por PIE (Produtor Independente de Energia Elétrica) e AP (Autoprodução de Energia Elétrica). Existiu uma tentativa de incluir nesta Lei os mesmos benefícios das pequenas centrais hidrelétricas, como isenção de encargos de transporte de energias, redução dos consumidores livres e garantia de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), no entanto somente são instituídas tais demandas na Lei 10.438/2002.

A Portaria no 227 de 02/07/1999 do MME institui as políticas e diretrizes destinadas a promover o melhor aproveitamento dos recursos energéticos do Brasil, focando na utilização de processos de cogeração em vários setores industriais. Outra resolução da geração distribuída é a Resolução Nº 21 de 20/01/2000, que estabelece os requisitos necessários para a obtenção de qualificação junto à ANEEL, de centrais cogeneradoras de

Energia, para poderem participar das políticas de incentivos à cogeração. Para enquadramento neste Instrumento, as centrais cogedoras deverão estar regularizadas perante a ANEEL e atenderem aos requisitos mínimos de racionalidade energética.

O Brasil não possuía regulamentação sobre a aplicação e uso de sistemas de geração de energia solar até o início de 2012. Foi neste ano que a ANEEL criou a Resolução Normativa 482/2012, permitindo a criação de sistemas de geração distribuída local, representando o início da geração em residências, condomínios, comércios ou indústrias. A norma permite que os consumidores não paguem pela utilização da rede de distribuição. A RN 482/2012 estabelece regras para o sistema de compensação de energia, popularmente chamado de “créditos de energia”. No sistema de compensação vigente, o excedente gerado pode ser utilizado em qualquer unidade consumidora, desde que esteja sob a mesma titularidade da unidade geradora, o cliente pode utilizar o excedente dentro do prazo de 60 meses e após esse período o cliente perde esses “créditos”.

## **2.5.2 Projetos de Lei em análise**

### *2.5.2.1 Projeto de Lei número 5829/2019*

A Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL permite o uso da rede da concessionária, sem pagamento, e permite o uso da rede para a utilização dos “créditos de energia”. Estes benefícios influenciaram para que a energia solar no Brasil crescesse nos últimos 9 anos, garantindo o interesse dos consumidores no investimento com retorno satisfatório.

No entanto, estava previsto para em 2019 a norma sofrer alterações; a proposta da ANEEL é a cobrança dos custos de rede e dos encargos para os consumidores de GD. A porcentagem de cada uma das tarifas na soma do quanto o consumidor paga pela conta de energia varia de acordo para cada estado, no entanto, o custo efetivo da tarifa somente de energia representa menos de 50% atualmente da fatura. Esta proposta reduz o retorno do investimento em energia solar consideravelmente, podendo acarretar na diminuição da evolução do setor.

Como alternativa para reduzir o impacto das alterações realizadas pela ANEEL da RN 482/2012 e perante a pressão do setor de energia solar, surgiu o projeto mais recente de Lei para geração distribuída prevê a criação do Marco Legal da Geração Distribuída,

sendo de autoria do deputado Silas Câmara (Republicanos-AM) e tem como relator o deputado Lafayette Andrada (Republicanos/MG).

Enquanto, por um lado, o projeto permite benefícios para o consumidor que também gera sua energia, ele estende a cobrança de encargos e tarifas de uso dos sistemas de transmissão e de distribuição aos micro e minigeradores de energia elétrica. As propostas somente passarão a vigorar após 12 meses da publicação da Lei, e os clientes terão direito às regras vigentes no atual momento de protocolação da solicitação do parecer de acesso da unidade geradora.

Para os novos clientes da Geração Distribuída que obtiverem o parecer de acesso após a vigência da Lei, será cobrado a TUSD (Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição) - Fio B, correspondente ao custo do serviço que a distribuidora presta, tarifa que é aproximadamente 28% da conta de energia elétrica.

O último texto base, apresentado por Lafayette em março de 2021, determina que consumidores com protocolo de solicitação de acesso em até 12 meses da publicação da Lei terão direito garantido por 26 anos. Mesmo com uma possível troca de titularidade, o cliente não perderia o direito anterior adquirido. O texto também traz que os sistemas de geração junto à carga, de geração compartilhada, o autoconsumo até 200 kW e as fontes de qualquer modalidade, terão um cronograma de pagamento do Fio B gradual que contempla desde 0% em 2022 até 100% em 2033. (HEIN, 2021).

#### *2.5.2.2 Projeto de Lei número 2474/2020*

O sistema atual de créditos de energia não permite a doação de geração extra de energia para unidades consumidoras que não estejam sob o mesmo CPF ou CNPJ do titular da unidade geradora. O projeto de Lei 2474/20 foi apresentado pelos deputados Franco Cartafina e Lucas Redecker e permite a cessão voluntária da geração extra de energia em sistemas de microgeração ou minigeração a serviço públicos, hospitais, entidades de atendimento ao idoso e outras voltadas à assistência social, durante o período de emergência pública do novo coronavírus. (HAJE, 2021).

Na proposta, as concessionárias de distribuição de energia deverão disponibilizar, em mecanismo público e visível, a requisição da cessão voluntária de créditos da energia, enquanto entidade beneficiada pelos créditos deverá enviar declaração de anuência. O texto não é destinado a regulamentar amplamente a doação de créditos, visando estabelecer uma diretriz adicional a ser seguida na regulamentação energética atual.

A proposta pode ser o início da doação da geração extra para outros titulares de unidades consumidoras, e a partir da flexibilização gradual das Leis, será possível ter futuramente uma Lei que permita a venda da energia elétrica para terceiros ou para a concessionária, assim como ocorre em outros países. Na Alemanha, por exemplo, os geradores de energia recebem o pagamento pela energia elétrica que alimenta a rede, variando o custo conforme a capacidade de produção da instalação, a quantidade de kilowatts-hora (kWh) produzida e a fonte de energia renovável utilizada.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando-se em consideração os aspectos mencionados, é possível observar que a energia fotovoltaica está em processo de crescimento no mundo. Trata-se de uma fonte de energia considerada limpa em sua geração e sem possibilidade de esgotar-se em virtude de ser dependente do sol.

A evolução da energia fotovoltaica ocorreu devido a fatores ambientais, diante da necessidade dos países de obter novas tecnologias para a geração de energia e que produzissem menos poluição. No entanto, seu crescimento somente se tornou notável após incentivos governamentais.

No Brasil, o setor energético sempre privilegiou a energia advinda das hidroelétricas e seus incentivos para outros tipos de geração começaram mais tardiamente. As primeiras resoluções para o setor de geração distribuída surgiram em 1998, para o setor de energia fotovoltaica as primeiras regulamentações surgiram em 2012. Está em processo de votação na câmara dos deputados o projeto de lei que prevê a criação do marco legal para a geração distribuída. O marco legal trará segurança jurídica para os geradores de energia, mesmo com a possibilidade de taxações, e trará um ambiente mais favorável para os investimentos em energia solar.

A partir de incentivos governamentais ocorreu o crescimento da energia fotovoltaica no mundo. Portanto, a partir da regulamentação da geração distribuída no Brasil que deve conter melhorias para o setor e a evolução da tecnologia ocorrendo constantemente, diminuindo os preços dos materiais fotovoltaicos, prevê-se um aumento crescente da geração de energia fotovoltaica.

## CAPÍTULO 3

### 3.1 NORMAS TÉCNICAS PARA PROJETOS FOTOVOLTAICOS

Para a aprovação do projeto de um sistema solar fotovoltaico é necessária seguir as normas da concessionária de energia local, no Ceará são seguidas as normas da ENEL e ANEEL. O dimensionamento correto de todos os equipamentos pelas normas permite que não ocorram acidentes devido à injeção de energia em tensão ou corrente acima das permitidas para a rede de distribuição. A padronização também é importante para evitar erros cometidos pelos próprios projetistas no dimensionamento dos equipamentos.

Segundo a ENEL, os sistemas de Micro e Minigeração Distribuída instalados no Ceará devem seguir as seguintes normas:

- Resolução Normativa Nº 414 - Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica (com atualização da Res.670 de 2016).
- Resolução Normativa Nº 482 - Acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica (com a atualização da Res.687 de 2015).
- PRODIST Módulo 3 seção 3.7 R.06 - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.
- Portaria Nº 004/2016 - Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (com atualização das portarias 357, 271 e 17).
- CNC-OMBR-MAT-18-0122-EDBR - Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Enel Distribuição Ceará / Enel Distribuição Goiás/ Enel Distribuição Rio.
- Norma Técnica Coelce NT br 010 - Conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico da Ampla/Coelce.
- Resolução Coema 03/2016 - Critérios e Procedimentos simplificados para implantação de sistemas de Micro e Mini Geração Distribuída.

No entanto, ao realizar a execução do projeto é importante ter conhecimentos também sobre outras normas visando o perfeito funcionamento do sistema fotovoltaico como documentos técnicos da ENEL, legislações da ANEEL, legislação INMETRO e Normas Brasileiras, abaixo estão descritas as principais:

Documentos Técnicos da Enel Distribuição



- CNC-OMBR-MAT-18-0165-EDRJ Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária;
- CNC-OMBR-MAT-18-0268-EDBR Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária – 15 kV;
- CNC-OMBR-MAT-18-0035-EDRJ Consumidor Autoprodutor de Energia.
- CNC-OMBR-MAT-18-0124-EDCE Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição;
- CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição;
- CNC-OMBR-MAT-18-0126-EDCE Fornecimento de Energia Elétrica a Prédios de Múltiplas Unidades Consumidoras;
- CNC-OMBR-MAT-18-0127-EDCE Fornecimento de Energia Elétrica em Alta Tensão - 69 kV;
- CNC-OMBR-MAT-18-0131-EDCE Conexão de Central Geradora de Energia ao Sistema Elétrico da Enel Distribuição Ceará;
- NTC-04 – Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição;
- NTC-05 – Fornecimento de energia elétrica em tensão primária de distribuição – Classes 15 e 36,2 kV;
- NTC-74 – Ligações especiais para atendimento em baixa tensão.

#### Legislação da ANEEL:

- Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010 – Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica;
- Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012 – Acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica;
- Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015 – Altera a Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012 e os Módulos 1 e 3 do PRODIST.
- PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

#### Legislação do INMETRO:

- Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011 – Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica;
- Portaria nº 271, de 02 de junho de 2015 - Reconhecer, provisoriamente, para fins de cumprimento das disposições aprovadas pela Portaria Inmetro nº 004/2011, os resultados de ensaios em sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, aprovados;
- Portaria nº 357, de 01 de agosto de 2014 - Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, Controlador de Carga, Inversor e Bateria), estabelecidos pela Portaria Inmetro nº 004/2011.

#### Normas Brasileiras:

- NBR 5410, Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
- NBR 10068, Folha de desenho – Leiaute e dimensões – Padronização; NBR 14039, Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV;
- NBR 16149, Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- NBR 16150, Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade;
- NBR 16274, Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;
- NBR IEC 62116, Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

### 3.2 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Na atualidade existem diversas plataformas e planilhas para o cálculo de potência do sistema fotovoltaico devido à popularização do comércio de equipamentos fotovoltaicos. Para o dimensionamento do sistema é necessário primeiramente a escolha do local de instalação do sistema solar fotovoltaico e o padrão de consumo do local. Com a obtenção da localização utiliza-se o portal da CRESESB para obter a incidência média solar anual do local de instalação.

Para obtenção da geração necessária é necessário subtrair a média de consumo anual pela taxa de disponibilidade:

$$\text{Geração necessária} = \text{Média de Consumo} - \text{Taxa de disponibilidade} \quad (3.1)$$

A taxa de disponibilidade se encontra na tabela abaixo e resulta a partir do tipo de ligação do local. Esta taxa é fixa independente do consumo mensal do cliente.

**Tabela 3.1 - Tipo de Ligação**

<b>Tipo de Ligação</b>	<b>Taxa de disponibilidade</b>
<b>Monofásico</b>	30 kWh
<b>Bifásico</b>	50 kWh
<b>Trifásico</b>	100 kWh

Fonte: Própria autora (2021).

Obtido a geração necessária do sistema, torna-se possível obter facilmente a geração diária dividindo o valor pela quantidade de dias. A partir do resultado da geração é possível calcular o valor da potência do sistema.

$$Potência = \frac{Geração\ Diária\ Necessária}{Irradiação * Eficiência} \quad (3.2)$$

A irradiação do local pode ser obtida pelo banco de dados do site do CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito) a partir das coordenadas geográficas do local. Com a potência necessária para o sistema e o tipo de telhado do local é possível escolher o kit fotovoltaico adequado.

Quanto à eficiência, são levados em consideração fatores como inclinação e direção dos módulos, acúmulo de sujeira, sombreamentos, efeito joule e a própria eficiência dos equipamentos. Os projetistas costumam adotar um valor fixo de eficiência considerando as perdas, são comumente usados valores entre 10% e 20% de perdas.

Com o objetivo de evitar as perdas no sistema e manter a eficiência inicialmente adotada é necessária a manutenção regular do equipamento. Em sistemas de pequeno porte é possível identificar mais rapidamente possíveis perdas.

A fim de impedir problemas e manter a eficiência do sistema, é necessária a manutenção regular do mesmo, sendo uma boa prática a elaboração de um plano de manutenção que atenda além das especificações dos fabricantes, as especificações do projeto. Em sistemas de pequeno porte, um dos itens que pode ser efetuado pelo próprio usuário é a inspeção visual, atentando-se às condições físicas das estruturas e dos módulos. Na parte de estrutura, deve-se observar se a mesma está fixa, sofrendo corrosão e até mesmo aterrada. Nos módulos, a parte frontal deve estar limpa e íntegra,

não apresentando rachadura ou descoloração nas células. O crescimento de vegetação também é um item a ser observado. (SILVA; FLORIAN; PESTANA, 2018)

### 3.2.1 Dimensionamento do equipamento

O dimensionamento do sistema fotovoltaico é realizado anteriormente ao projeto, com a escolha do material e aquisição deste pelo cliente. Devido à variedade de equipamentos disponíveis no mercado, é necessário fazer uma seleção minuciosa do material para designação do melhor equipamento e com melhor eficiência para a potência necessária. Inicialmente, deve-se escolher o painel que será utilizada e a partir da potência da placa se determina a quantidade de painéis necessários.

$$Quantidade\ de\ Painéis = \frac{Potência\ do\ Sistema}{Potência\ do\ painel} \quad (3.3)$$

Posteriormente se determina o inversor adequado e que suporte a potência do painel. Para a escolha do inversor se observa a potência máxima de entrada e a tensão máxima de entrada do dispositivo. Determina-se a *string box* CC que será utilizado a partir da quantidade de MPPT do inversor. É necessária observação da estrutura do telhado do local para a escolha do material de fixação das placas solares. Existem no mercado diferentes tipos de material para telhado cerâmico, fibrocimento, metálico, laje e para fixação das placas em solo.

## 3.3 PROJETO

O projeto de energia solar fotovoltaica é constituído pelo memorial descritivo, diagrama unifilar e emissão por parte do engenheiro responsável da ART do projeto. Todos esses itens são necessários para a posterior instalação do projeto por parte dos técnicos. O projeto é realizado após a definição exata do equipamento que será utilizado pois é necessário o conhecimento das especificações técnicas do equipamento principal, inversor e placas, para os cálculos e descrições de como será instalado o equipamento.

### 3.3.1 Memorial Descritivo

O memorial descritivo do projeto de energia solar é um item obrigatório do projeto de energia solar fotovoltaica. Nele deve conter todas as informações e cálculos que foram necessários para o projeto. Na capa do memorial é aconselhado conter nome do cliente, informações do que se trata aquele documento e potência instalada do sistema. O

memorial descritivo é dividido em descrição da unidade consumidora, descrição geral do sistema, descrição dos equipamentos, descrição do sistema de proteção e anexos.

No início do memorial deve constar a descrição da unidade consumidora: Titular da unidade consumidora, código do cliente, endereço completo, CPF do titular e as coordenadas geográficas do local.

É importante verificar o disjuntor do medidor da unidade consumidora e verificar se a potência disponibilizada segunda a Tabela 2 da Norma CNC-OMBR-MAT-18-0124-EDCE para o tipo de disjuntor da residência está de acordo. A potência necessária de geração estando acima da disponibilizada pela Enel para a residência é necessária uma solicitação de acréscimo de carga. Essas informações devem conter no local destinado a descrição da unidade consumidora.

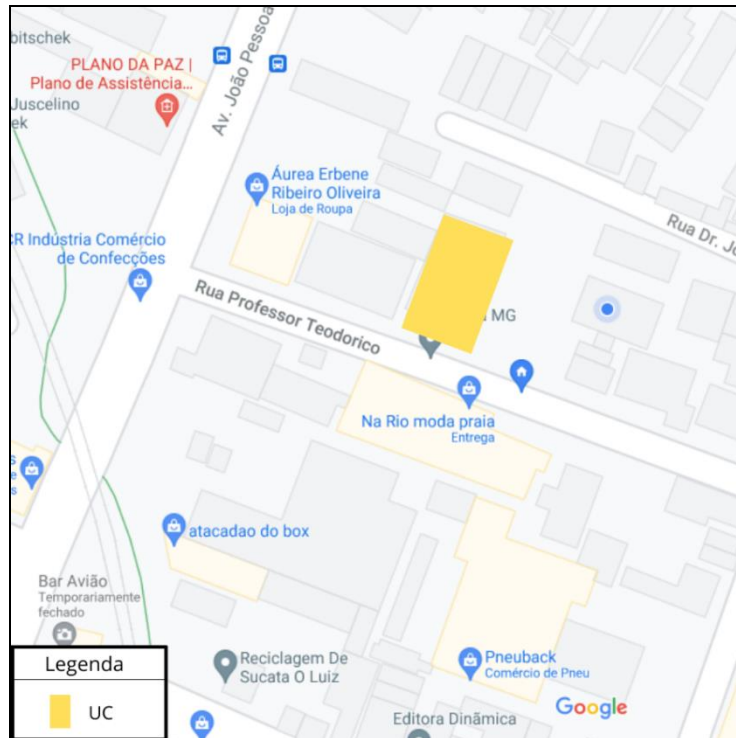
Após a descrição dos dados é necessário a apresentação em formato de imagem do local onde será instalado o sistema. A imagem pode ser realizada através do programa Google Earth conforme figuras abaixo:

**Figura 3.1.** Vista de situação da UC



Fonte: Própria autora (2021).

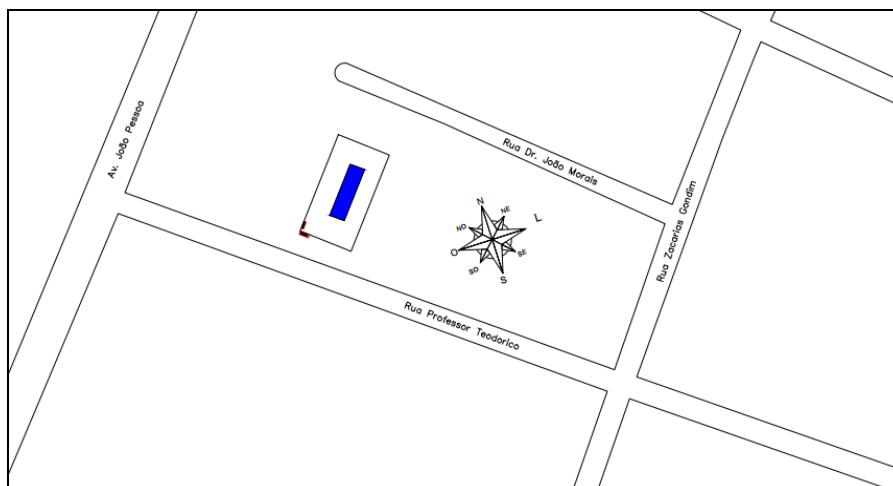
**Figura 3.2 – Vista da UC**



Fonte: Própria autora (2021).

Outro formato que pode ser utilizado para a representação da localização do gerador fotovoltaico é por meio de desenho no programa AutoCAD. Neste formato, essa representação pode ser colocada no memorial descritivo e anexada junto aos diagramas. Na figura 5 é possível observar a representação em formato de desenho da localização do sistema.

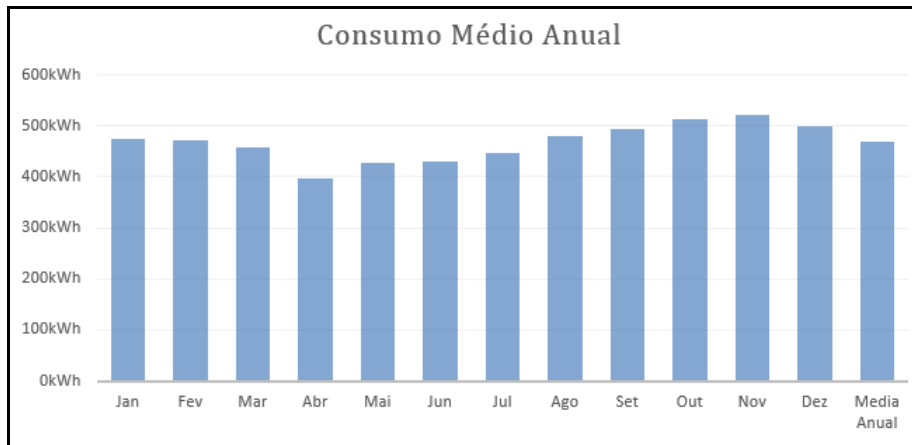
**Figura 3.3 - Localização do sistema.**



Fonte: Própria autora (2021).

Para justificar a potência do sistema escolhido, alguns projetistas apresentam no memorial descritivo o gráfico de consumo anual. Os dados para a construção do gráfico são obtidos através do gráfico de consumo médio da conta de energia dos clientes. A representação desse gráfico é apresentada abaixo:

**Figura 3.4 - Média de consumo anual.**



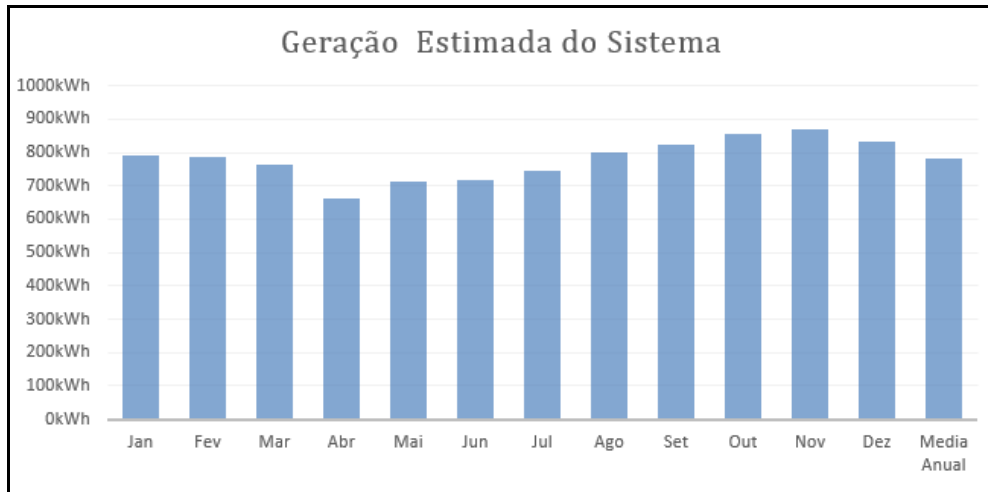
Fonte: Própria autora (2021).

Todas as informações referentes à geração de energia que o sistema solar deverá gerar devem constar no memorial descritivo do projeto. A geração estimada é apresentada normalmente por meio de gráficos que mostram como deve ser a geração a partir dos dados do kit fotovoltaico escolhido. Nesse cálculo, é incluído a eficiência do inversor de acordo com as informações técnicas apresentadas no datasheet, a radiação diária média de acordo com os dados coletados na base de dados do CRESESB considerando a localidade da instalação do sistema, a potência total instalada e as perdas possíveis do sistema devido ao cabeamento e outros, conforme equação abaixo:

$$Geração = \frac{Potência * Irradiação * Eficiência do Inversor * 30}{1 - Perdas} \quad (3.4)$$

Para uma melhor representação da geração usa-se gráficos de geração mensal estimada, conforme figura 3.5:

**Figura 3.5 - Geração aproximada.**



Fonte: Própria autora (2021).

Na descrição do sistema é necessário apresentar mais detalhes dos principais componentes do sistema como a descrição do inversor, placas, *string box* CC e CA.

No memorial deve-se constar os cálculos envolvidos para definição de cabeamento e disjuntores. Para inversores que não utilizam toda a sua potência, deve conter a informação a partir do cálculo da corrente de saída do inversor, descrita abaixo:

$$Inm = \frac{kW * 1000}{\Delta V * \cos \phi} \quad (3.5)$$

Onde  $Inm$  é a corrente de saída do inversor,  $kW$  é a potência do sistema,  $\Delta V$  é a tensão de saída do inversor e  $\cos \phi$  o fator de potência do inversor. Após obter a corrente que irá circular pelo circuito sendo através do cálculo ou do *datasheet* do inversor, realiza-se o cálculo de queda de tensão para se obter qual o diâmetro mínimo dos cabos.

Para obter o diâmetro mínimo do cabo na parte CC do sistema calcula-se a partir da queda de tensão:

$$Sc = \frac{200 * \rho * (L * I)}{\Delta V \% * V} \quad (3.6)$$

Onde  $Sc$  é a seção mínima do condutor e  $\rho$  é a resistividade do material condutor, cujo valor é aproximadamente 0,01785. A queda de tensão percentual é representada por  $\Delta V\%$  e a  $V$  é a tensão de saída do inversor. A corrente, representada por  $I$ , deve ser a máxima que circula por cada *string*. E a tensão deve ser a de saída da *string*. Para a parte CA do circuito pode dividir-se em partes sendo a primeira parte do inversor ao quadro



geral e a segunda parte do quadro geral para o medidor da unidade consumidora. Para a primeira parte realiza-se o mesmo cálculo de queda de tensão:

$$S_c = \frac{200 * \rho * (L * I)}{\Delta V \% * V} \quad (3.7)$$

Onde a corrente será a máxima que passa pelo inversor e a tensão será a de saída do inversor. Para a segunda parte, que compreende a partir do quadro geral ao medidor, pode ser calculada da mesma forma calculada a partir da saída do inversor. No entanto, outro formato mais simples é seguir os critérios da Tabela 1 da norma técnica CNC OMBR MAT 18 0124 EDCE, onde verifica-se a potência instalada e a tabela, obtendo assim a seção mínima do condutor.

Na descrição do sistema de proteção deve-se conter a descrição dos seguintes equipamentos: *string box* CC, *string box* CA e do sistema de aterramento. O *string box* CC é facilmente escolhido a partir da identificação do número de entradas do inversor ou inversores vendidos completos no mercado. O *string box* CA é composto por disjuntor e dispositivo de proteção contra surto. Para selecionar o disjuntor adequado leva-se em consideração que a corrente máxima de saída do inversor deve ser menor que a corrente que o disjuntor suporta e a capacidade de condução de corrente do condutor conforme abaixo:

$$I_{SI} \leq I_D < I_F \quad (3.8)$$

Onde  $I_{SI}$  é a corrente de saída máxima do inversor,  $I_D$  é a corrente do disjuntor e  $I_F$  é a corrente máxima suportada pelo condutor. Quando dois ou mais dispositivos de proteção contra sobrecorrente são instalados em série, suas características de atuação devem ser escolhidas de forma que, no caso de circulação de uma sobrecorrente no circuito, o dispositivo atue protegendo o circuito. O disjuntor que liga o sistema ao quadro geral da unidade consumidora deve ser de corrente superior ao disjuntor do *string box* CA por segurança.

Os condutores de proteção devem estar interligados em barramentos de equipotencialização e estas barras de equipotencialização interligadas entre si, e aterradas, de modo a evitar descargas elétricas inesperadas e indesejadas. Estes

condutores de proteção deverão ter uma seção mínima segundo aos valores recomendados pela ABNT — NBR 5410, conforme abaixo:

**Tabela 3.2 - Seção dos Condutores de Proteção**

<b>Seção dos condutores de fase - S(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Seção mínima do condutor de proteção correspondente (mm<sup>2</sup>)</b>
<b>S ≤ 16</b>	S
<b>16 &lt; S ≤ 35</b>	16
<b>S &gt; 35</b>	S/2

Fonte: Adaptado da tabela 58 da NBR:5410 (2004, p.150).

A proteção contra contatos diretos de pessoas ou animais em partes energizadas deve ser assegurada pelo isolamento, afastamento e colocação de dispositivos de proteção adequados, de acordo com o que prescreve a NBR 5410/2008 da ABNT.

Ao lado do medidor do local deve ser instalada uma sinalização informando o cuidado ao manusear o dispositivo. É utilizada uma placa de advertência com as dimensões 25 cm x 18 cm em chapa metálica galvalume (43,5% zinco, 55% alumínio e 1,5% silício) com espessura mínima de 2 mm, conforme figura abaixo:

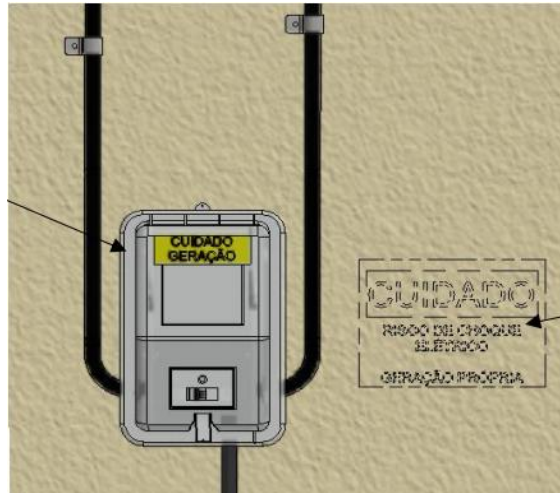
**Figura 3.6 - Placa de risco.**



Fonte: Especificação técnica n.122 ENEL (2018).

A localização da placa deve ser próxima ao medidor do local, conforme figura abaixo.

**Figura 3.7 - Localização da placa de advertência.**

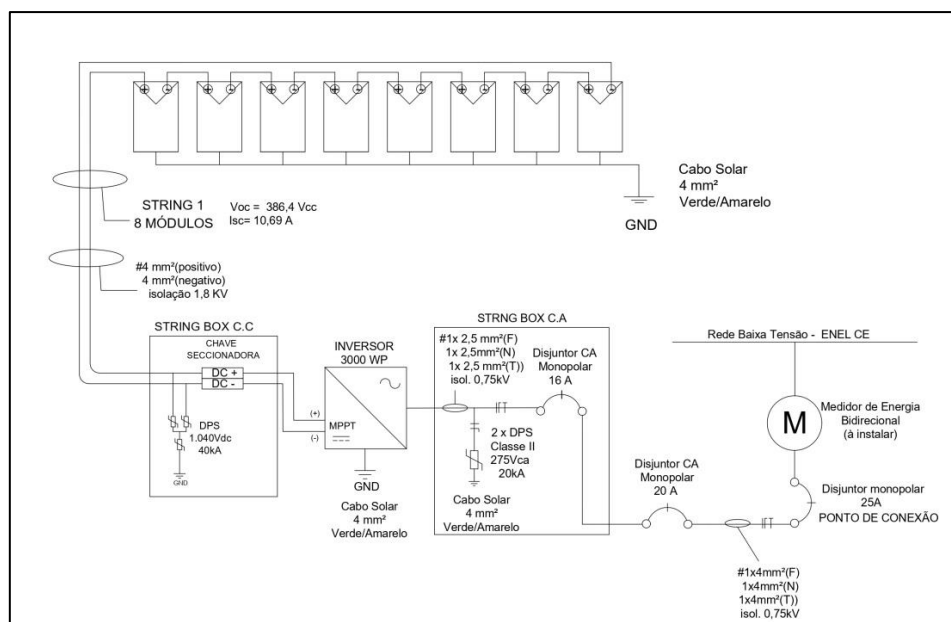


Fonte: Especificação técnica n.122 ENEL (2018).

### 3.3.2 Diagrama unifilar e geral

O diagrama unifilar é a representação visual do projeto, sendo importante para a instalação do sistema fotovoltaico. Através do diagrama os técnicos podem realizar com exatidão o projeto pois possuem a representação mais detalhada visualmente da instalação. No diagrama unifilar devem estar contidos a quantidade de placas do sistema, as conexões do sistema, o inversor, dispositivos de proteção e medidor do local. Abaixo segue representação do diagrama de um sistema fotovoltaico:

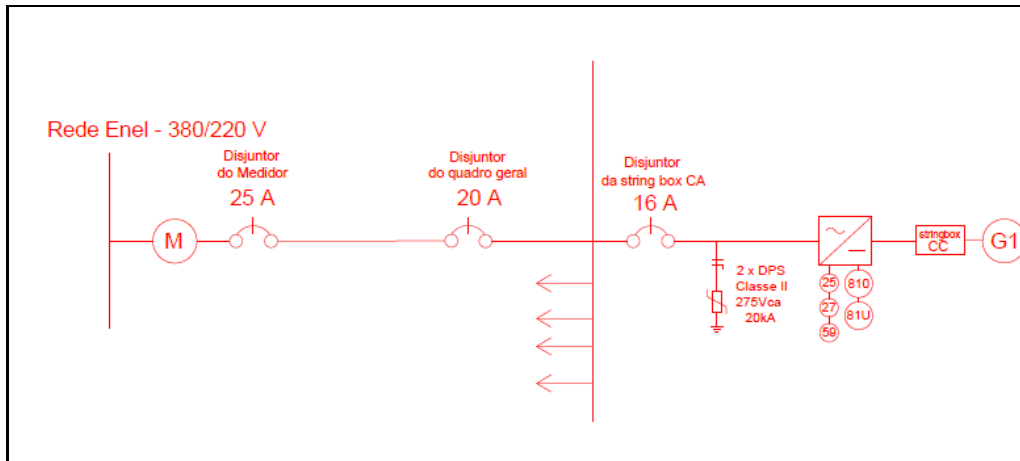
**Figura 3.9 - Diagrama unifilar.**



Fonte: Própria autora (2021).

Outra representação que pode ser enviada é em formato de blocos, segue representação do diagrama geral:

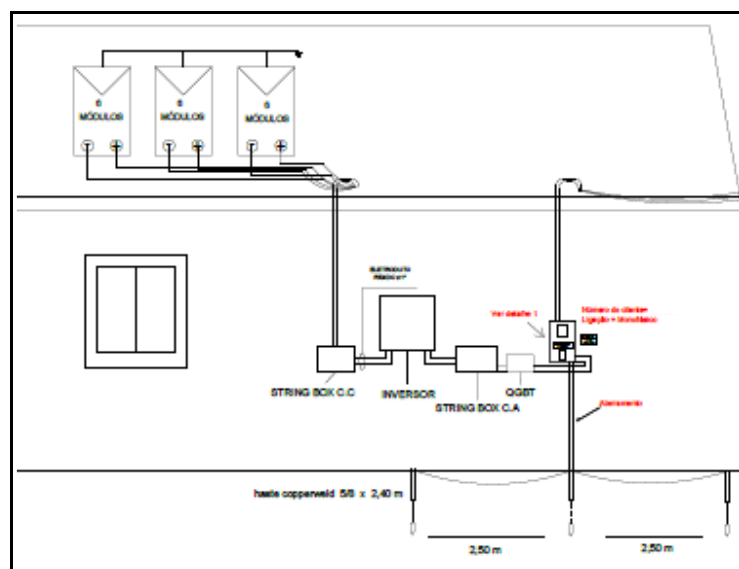
**Figura 3.8 – Diagrama geral.**



Fonte: Própria autora (2021).

Todos os diagramas acompanham legendas para melhor compreensão de quem irá ler. Outro diagrama que pode ser anexado, no entanto, não é exigido é o diagrama que contém a descrição de como será o aterramento. Abaixo é apresentada na figura 3.10 uma imagem de uma representação de um aterramento que será realizado para proteção de um sistema.

**Figura 3.10 – Aterramento.**



Fonte: Própria autora (2021).

Em casos de problemas posteriores da instalação, o auxílio do diagrama facilita o trabalho podendo identificar onde está o problema exato do projeto. Não havendo um diagrama no local do serviço, fará com que os trabalhadores desconheçam as principais características dos circuitos elétricos, nos quais vão ser realizadas intervenções (OLIVEIRA, 2017).

### **3.3.3 Formulários e documentos**

Para ocorrer a instalação do sistema é necessário inicialmente a solicitação do parecer de acesso e para a solicitação desse documento é necessário o envio através do portal da ENEL na parte de Geração Distribuída. O primeiro passo é o preenchimento dos dados do cliente, da unidade consumidora e do sistema no portal. Logo após, deve ser anexado todos os formulários e documentos necessários. Existem três formulários de solicitação de acesso para microgeração: para sistemas menores ou iguais 10 kWp, sistemas maiores que 10 kWp e menores que 75 kWp e sistemas de minigeração, que são sistemas com potência superior a 75 kWp. A escolha do formulário adequado é feita a partir da potência do sistema que será instalado. Nos ANEXOS A, B e C é possível verificar os 3 tipos de formulários. Os formulários devem ser datados na data do envio da solicitação, caso seja enviado com data diferente a ENEL solicitará o reenvio do projeto.

A concessionária também exige o envio do formulário da ANEEL de registro de mini e microgeração, porém, este formulário não é mais exigido após a concessionária, em abril de 2021, mudar o formato de envio que era realizado por e-mail por plataforma própria no site da ENEL. No entanto, alguns projetistas ainda anexam junto ao formulário de solicitação de acesso, o formulário de registro para garantir que a concessionária possua todos os dados necessários devido ainda o mesmo existir na lista que a concessionária informa nos documentos exigidos. Outro documento necessário é a lista de unidades que serão beneficiadas pelo rateio, se o cliente optar pelo rateio. Todas as unidades consumidoras beneficiadas devem estar sob a mesma titularidade. O formulário ANEEL e o documento padrão de rateio podem ser visualizados no ANEXO D e E, respectivamente. Quando consórcios, é necessário um documento jurídico que comprove a solidariedade entres os integrantes.

### **3.3.4 Solicitação de parecer de acesso**

O parecer de acesso é um documento emitido pela concessionária de energia que permite ao cliente realizar a instalação do sistema fotovoltaico. Para a aprovação do

projeto junto à concessionária de energia elétrica e sua consequente ligação do sistema, é necessário a elaboração e envio dos seguintes itens para a concessionária de energia:

- Memorial Descritivo;
- Diagrama Unifilar;
- Anotação de Responsabilidade Técnica do projeto;
- Formulário de Solicitação de Acesso para Microgeração Distribuída;
- Certificado de conformidade dos inversores;
- Formulário ANEEL de registro de mini e micro geradores distribuídos;
- Lista de unidades e percentuais de rateio, se necessário;
- Cópia do instrumento jurídico que comprove solidariedade entre os integrantes, se necessário;

O envio desses itens tem como objetivo a obtenção do parecer de acesso para a instalação do sistema fotovoltaico. Se o cliente instalar o sistema sem a obtenção do parecer de acesso é aplicada uma multa. A instalação do sistema sem a prévia autorização da ENEL pode acarretar em uma acidente, pois a concessionária não saberá que existe um sistema conectado ali e conseqüentemente a rede pode não estar preparada para isso.

A ART de projeto deve ser emitida pelo engenheiro responsável junto ao CREA, devidamente preenchida e assinada pelas partes envolvidas. Outro documento que deve ser anexado no portal para a solicitação do parecer de acesso é o certificado de conformidade do inversor que é obtido junto à empresa ao qual o cliente obteve o material.

Para a concessionária conferir a assinatura do solicitante do parecer de acesso é necessário o envio do documento de identidade junto a documentação. A solicitação do parecer de acesso pode ser realizada pelo próprio titular da unidade geradora ou pelo engenheiro responsável pelo projeto, sendo necessário uma procuração assinada em cartório autorizando a solicitação. Devido a complexidade da solicitação, é comumente realizada a solicitação pelo engenheiro e o cliente somente assina os documentos.

### **3.3.5 Vistoria**

Após o recebimento do parecer de acesso ocorre a instalação do sistema fotovoltaico na unidade consumidora conforme projeto realizado. Finalizada a instalação é solicitada junto à concessionária a vistoria do sistema pela ENEL, que realiza uma análise técnica em toda instalação e esta deve estar em conformidade com o projeto enviado.

No entanto, se o sistema estiver instalado de forma diferente do projeto a concessionária não autoriza a ligação do sistema e informa o que está faltando ou feito de forma errada para ser realizada as alterações. A nova vistoria realizada pela ENEL é cobrada uma taxa, sendo somente cobrada se não for aprovada a ligação do sistema na primeira vistoria.

Aprovada a ligação do sistema, a equipe da ENEL realiza a troca do medidor do local por um medidor bidirecional, responsável por medir a energia que entra na residência produzida pela ENEL e a energia gerada pela residência. Após a troca, o engenheiro responsável pelo projeto realiza a configuração do sistema para acompanhamento remoto e a ligação do sistema.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a completa execução de um projeto de energia fotovoltaica é necessário o conhecimento prévio das normas técnicas, logo a falta de conhecimento delas pode acarretar em erros que podem gerar acidentes ou a falta do retorno do investimento.

O projeto de energia solar fotovoltaica inicia-se a partir do dimensionamento do sistema, considerando consumo médio de energia, insolação do local e a eficiência prevista. Após isso são escolhidos os materiais adequados para a potência dimensionada e feito o projeto.

No entanto, para a ligação do sistema ser realizada é necessário o envio do projeto para a concessionária de energia elétrica. A homologação do sistema é realizada após o envio do diagrama unifilar, memorial descritivo, formulários, certificado de conformidade do inversor, ART e lista de unidades consumidoras de rateio. O projeto precisa ser construído e enviado conforme todas as normas solicitadas pela concessionária local para que o sistema seja ligado as linhas de distribuição. Esta também é uma forma de verificação do projeto para evitar acidentes e projetos incorretos ligados nas unidades consumidoras.

Levando-se em consideração todos os aspectos de um projeto de energia fotovoltaica é possível identificar os influenciadores da geração de um sistema e também como ele deverá ser projetado para que funcione conforme o esperado e apresente o retorno previsto ao cliente.

## CAPÍTULO 4

### 4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados do acompanhamento de 5 instalações de sistemas fotovoltaicos. Serão avaliados os dados de geração estimados e os dados de geração reais a partir do sistema de monitoramento dos equipamentos. Será avaliado a partir dos dados apresentados se os equipamentos estão funcionando conforme dimensionamento prévio e apresentando os resultados esperados de geração.

Para obtenção dos resultados de geração foram utilizados para microinversores Hoymiles, o equipamento de monitoramento DTU - W100 e o inversor Growatt, com o monitoramento integrado ao equipamento.

Os inversores utilizados nos projetos foram descritos na tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Inversores utilizados.**

<b>Projeto</b>	<b>Inversor</b>	<b>Modelo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Total</b>
<b>1</b>	Hoymiles	MI-1200	1	1200 W
<b>2</b>	Hoymiles	MI-1200	4	4800 W
<b>3</b>	Hoymiles	MI-1200	3	3600 W
<b>4</b>	Growatt	6000TL-X	1	6000 W
<b>5</b>	Growatt	6000TL-X	1	6000 W

Fonte: Própria autora (2021).

Os painéis fotovoltaicos utilizados são descritos na tabela 4.2. Nela estão presentes a quantidade de painéis, modelo e a potência total dos painéis.

**Tabela 4.2 - Painéis utilizados.**

<b>Projeto</b>	<b>Painel</b>	<b>Modelo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Total</b>
<b>1</b>	GCL	GCL-P6/72H-335	4	1,34 kWp
<b>2</b>	TRINA SOLAR	TSM- PE15H-340	16	5,44 kWp
<b>3</b>	SUNTECH	STP3805-72/Vfh	12	4,56 kWp
<b>4</b>	DAH SOLAR	HCP72X9-370W	16	7,40 kWp
<b>5</b>	LONGI	LR4-72HPH-440M	16	7,04 kWp

Fonte: Própria autora (2021).



Os valores dos projetos em reais para o consumidor estão descritos na tabela 4.3.

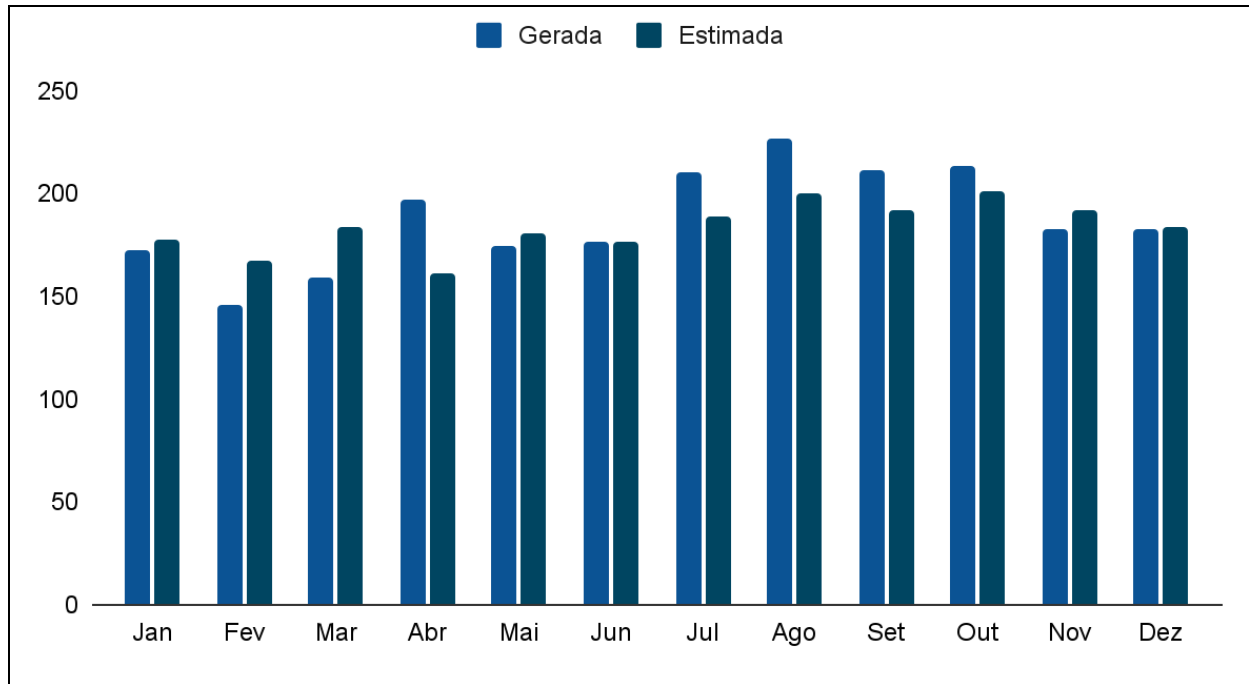
**Tabela 4.3 - Preços finais dos projetos.**

<b>Projeto</b>	<b>Preço Final</b>
<b>1</b>	R\$ 5.200,00
<b>2</b>	R\$ 23.400,00
<b>3</b>	R\$ 20.900,00
<b>4</b>	R\$ 26.919,00
<b>5</b>	R\$ 27.500,00

Fonte: Própria autora (2021).

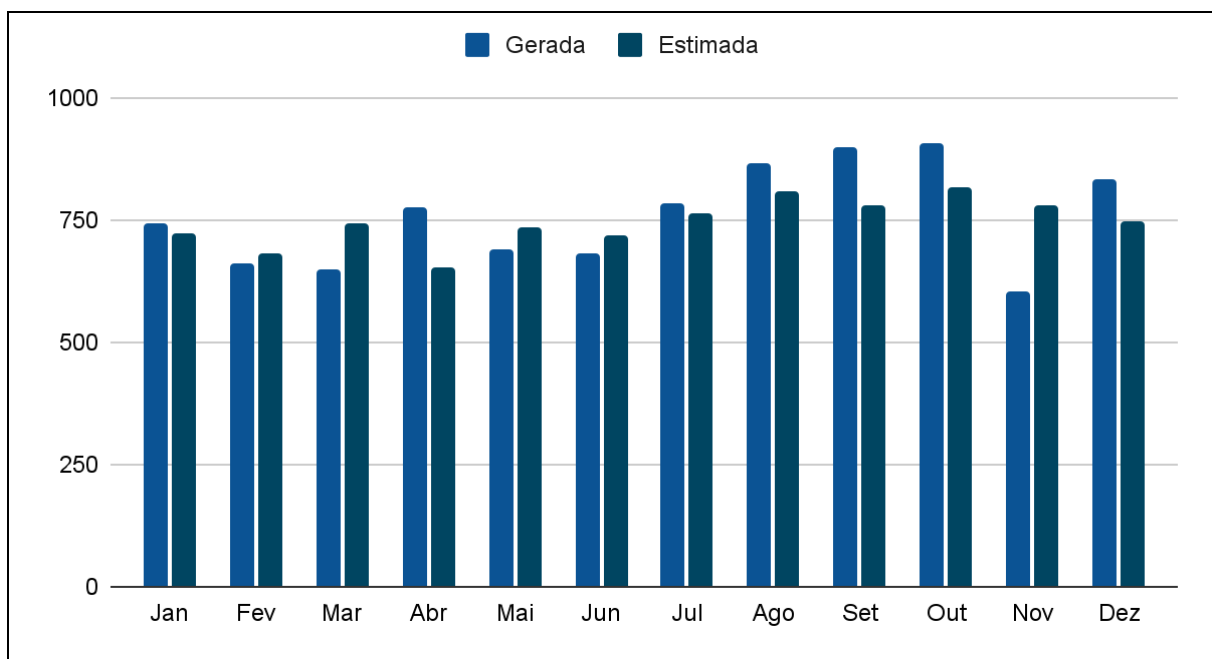
#### 4.2 GERAÇÃO DOS PROJETOS

No projeto 1, o cliente está gerando uma média de 182,65 kWh por mês considerando os últimos 12 meses de geração, iniciando em junho de 2020 até maio de 2021. Na figura 4.1 é possível observar a geração a partir dos dados obtidos no aplicativo de acompanhamento de geração. É possível notar uma diferença na geração do projeto e na geração estimada conforme figura 4.1. A geração estimada teoricamente do projeto era de 183,69 kWh. Essa diferença pode ser causada pelos valores utilizados no cálculo de geração serem utilizados da CRESESB e apresentarem médias de insolação de locais aproximados, podendo a insolação anual variar conforme os anos. Fatores como a inclinação dos módulos adotada na instalação e o acúmulo de sujeira em determinadas épocas do ano também podem ter interferido para a geração real ser inferior à esperada.

**Figura 4.1 - Energia gerada e estimada do projeto 1.**

Fonte: Própria autora (2021).

No projeto 2 o cliente está gerando uma média de 760,85 kWh por mês, considerando os últimos 12 meses de geração, iniciando em maio de 2020 e finalizando em junho 2021. Na figura 4.2 é possível observar a geração real do sistema.

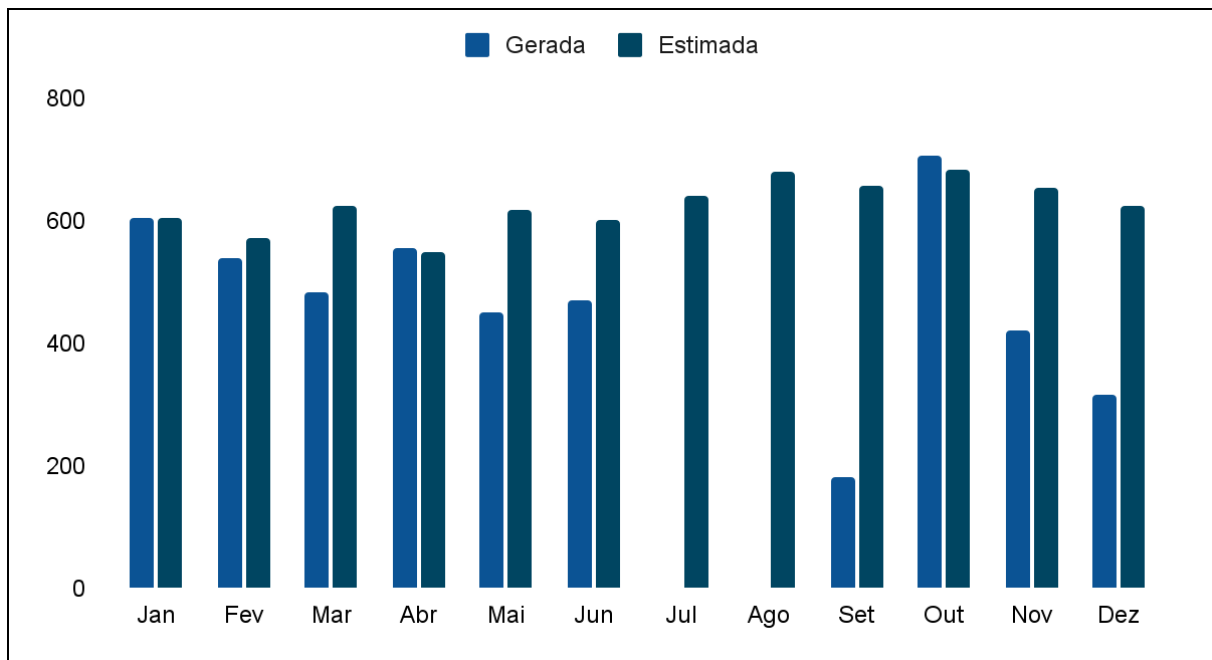
**Figura 4.2 - Energia gerada e estimada do projeto 2.**

Fonte: Própria autora (2021).

No figura 4.2, a geração teoricamente estimada é de 745,72 kWh mensais. Ainda na figura 4.2, é possível verificar que a geração esperada foi suprida e o sistema está gerando mais que o esperado. Ocasionando ao cliente um ganho de geração acima do esperado.

No projeto 3, o cliente está gerando uma média de 472,96 kWh por mês considerando os últimos 10 meses de geração, referente aos meses de setembro de 2020 à junho de 2021, uma vez que o sistema não possui monitoramento anterior. Na figura 4.3 é possível observar a geração, o ideal para a verificação dos dados de geração assertivamente era uma média dos últimos 12 meses.

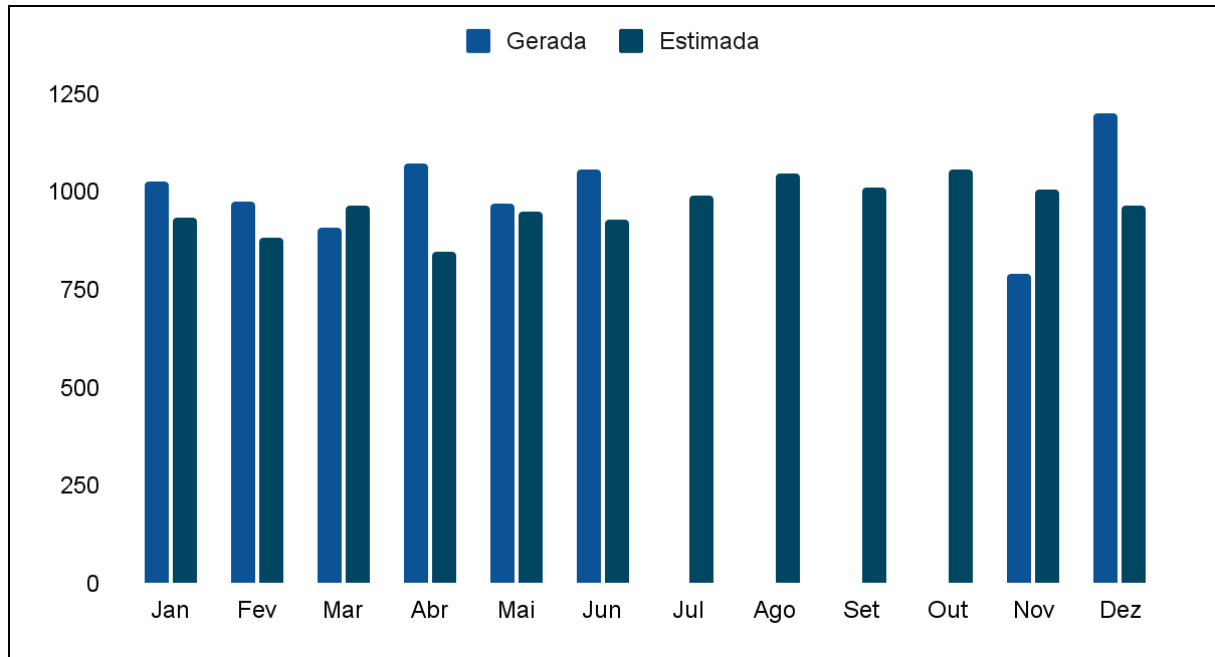
**Figura 4.3 - Energia gerada e estimada do projeto 3.**



Fonte: Própria autora (2021).

A média estimada de geração é de 625,09 kWh. A partir da figura 4.3 é possível admitir que a geração não está de acordo com o esperado e está gerando menos que o esperado. Os meses que não se obtém registro de geração afetaram a média, como também os meses finais do ano possuem características de intenso período de chuvas.

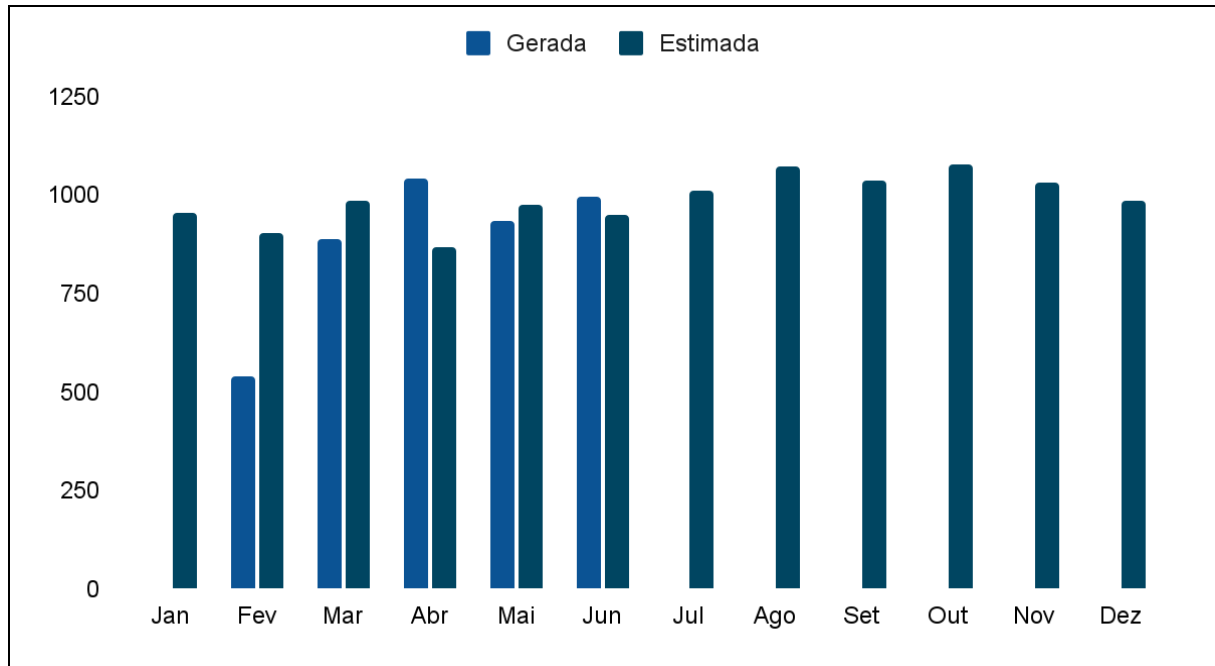
No projeto 4, o cliente está gerando uma média de 1000,15 kWh por mês considerando os últimos 8 meses de geração, compreendendo os meses de novembro de 2020 até junho de 2021. Não obtém-se registros dos outros 4 meses de geração. No figura 4.4 é possível observar a geração dos últimos meses.

**Figura 4.4 - Energia gerada e estimada do projeto 4.**

Fonte: Própria autora (2021).

A geração aproximada teoricamente do projeto é de 965,05 kWh e a média dos meses de geração real é 1000,15 kWh por mês. O que supõe-se que a geração real cumpre a geração estimada do projeto e ainda gera mais que o esperado. No entanto, a correta avaliação é prejudicada pela falta dos 4 meses de geração para se obter um registro da média mais adequada.

No projeto 5, o cliente está gerando uma média de 879,3 kWh por mês considerando os últimos 5 meses de geração, os meses de fevereiro de 2021 até junho de 2021. Na figura 4.5 é possível observar a geração dos últimos 5 meses. No entanto, devido à potência do projeto é possível identificar que o primeiro mês de geração está com uma geração menor devido ao sistema somente ter sido ligado próximo a metade do mês. A análise eficaz do projeto é afetada pelos dados iniciais de geração e por somente ter registros de geração dos meses historicamente com mais frequência de chuva e consequentemente menor geração de energia.

**Figura 4.5 - Energia gerada e estimada do projeto 5.**

Fonte: Própria autora (2021).

A geração esperada do sistema é em média de 986,98 kWh por mês, conforme figura 4.5. É possível observar que a geração ainda não está cumprindo o esperado. No entanto, a partir dos dados de geração dos meses que possuem uma maior insolação poderá ser identificado se o sistema possui algum erro ou se está gerando o esperado. Observando-se os últimos meses de geração podemos obter uma média de geração de 964,75 kWh mensal, aproximando-se o resultado da geração real.

### 4.3 RETORNO DOS INVESTIMENTOS

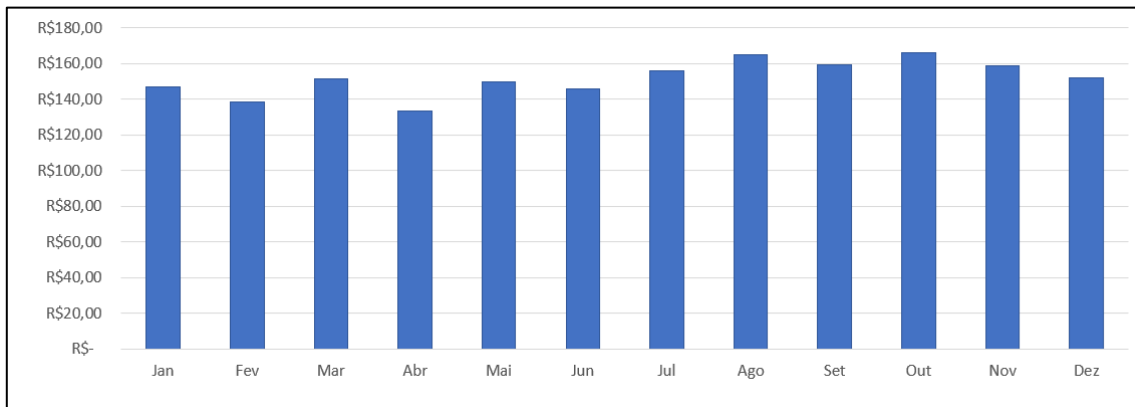
Na área de energia solar o retorno do investimento é um dos grandes atrativos dos consumidores que decidem gerar sua própria energia. Este dado torna o mercado de energia solar mais atrativo por ter um retorno médio de investimento de 5 anos. O retorno do investimento também é afetado diretamente pelas tarifas das concessionárias que sofreram reajustes consideráveis no ano de 2021.

Para obter-se o valor aproximado de *payback* utiliza-se a equação 4.1. Não sendo considerados valores de acréscimo de ICMS e curva de tendência das tarifas.

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Valor do projeto}}{\text{Média de retorno real da geração}} \quad (4.1)$$

No projeto 1, o retorno mensal esperado é de R\$ 151,95 por mês em média, conforme figura 4.6. Para o cálculo de consumo em reais foi utilizado a tarifa atual da Enel de R\$ 0,82722 para consumidores de classe residencial, sendo utilizada para todos os projetos. O retorno anual esperado é de aproximadamente R\$ 1.823,40 e o *payback* tendo assumido o investimento de R\$ 5.200,00 era esperado de aproximadamente 2 anos e 11 meses.

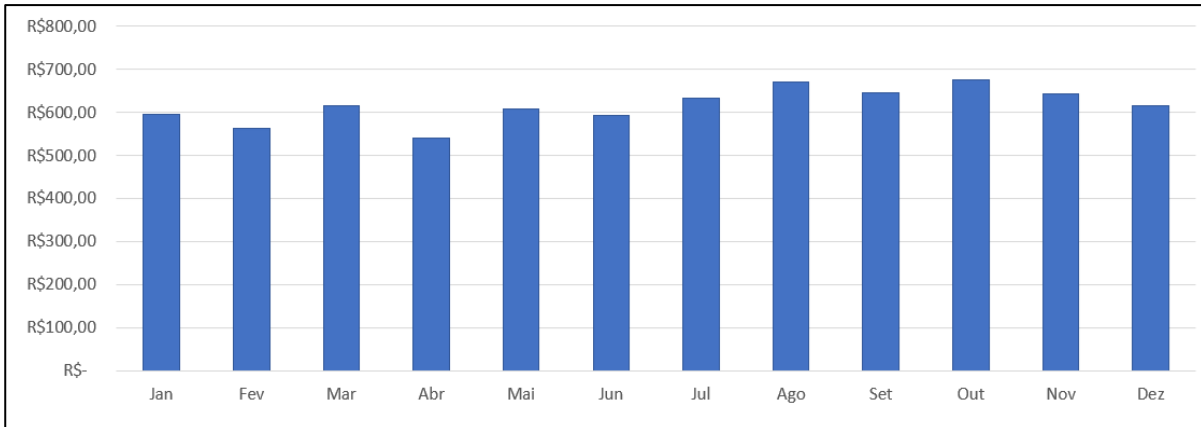
**Figura 4.6** - Retorno mensal do investimento do projeto 1.



Fonte: Própria autora (2021).

A partir dos dados de geração da figura 4.1 e multiplicando pela tarifa de energia atual no Ceará que está 0,82722, obtém-se que o sistema 1 gera uma economia de R\$ 149,77 mensalmente e de aproximadamente R\$ 1797,27 por ano. Portanto, o *payback* sendo igual ao esperado, pois mesmo tendo uma geração de energia menor não, a diferença não é consideravelmente grande.

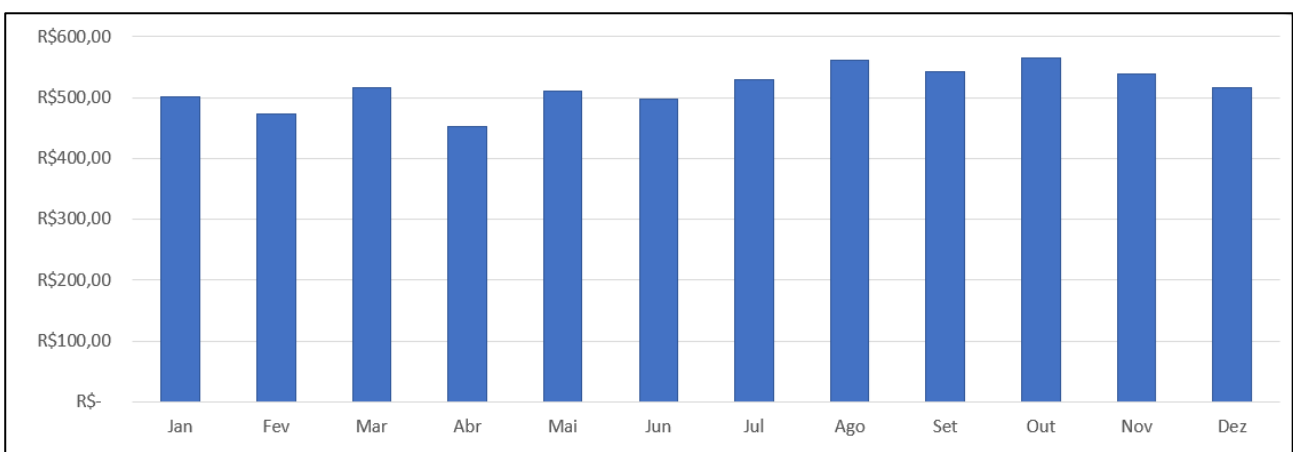
No projeto 2 o retorno mensal esperado é de R\$ 616,87 por mês em média, conforme gráfico 4.8. O retorno anual esperado é de aproximadamente R\$ 7.402,44 e o *payback* simples tendo o investimento de R\$ 23.400,00 era esperado de aproximadamente 3 anos e 2 meses.

**Figura 4.7** - Retorno mensal do investimento do projeto 2.

Fonte: Própria autora (2021).

Com os dados de geração real do projeto 2 obtidos no gráfico 4.2, obtém-se uma economia de R\$ 616,87 mensalmente e de aproximadamente R\$ 7.402,44 por ano. O *payback* simples real está sendo realizado em aproximadamente 3 anos e 1 mês, obtendo um retorno antes do esperado.

No projeto 3, o retorno mensal esperado é de R\$ 517,09 por mês em média, conforme gráfico 4.9. O retorno anual esperado é de aproximadamente R\$ 6205,08 e o *payback* simples tendo o investimento de R\$ 20.900,00, era esperado de aproximadamente 3 anos e 5 meses.

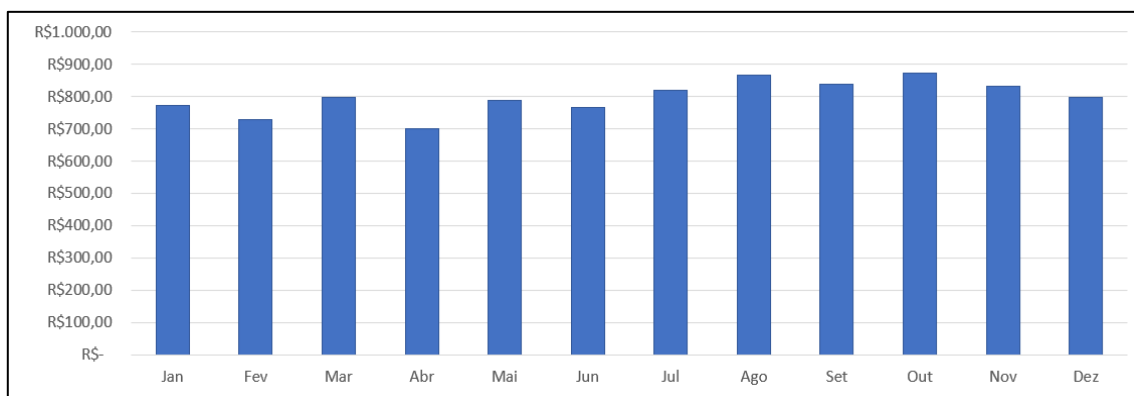
**Figura 4.8** - Retorno mensal do investimento do projeto 3.

Fonte: Própria autora (2021).

A economia real que o sistema 3 está gerando é de R\$ 391,24 mensalmente e aproximadamente R\$ 4.694,88 por ano. O *payback* sendo aproximadamente 4 anos e 6 mês, sendo 1 ano e 6 meses superior ao esperado.

No projeto 4, o retorno mensal esperado é de R\$ 798,31 por mês em média, conforme figura 4.10. O retorno anual esperado é de aproximadamente R\$ 9579,72 e o *payback* simples tendo o investimento de R\$ 26.919,00 era esperado de aproximadamente 2 anos e 10 meses.

**Figura 4.9 - Retorno mensal do investimento do projeto 4.**



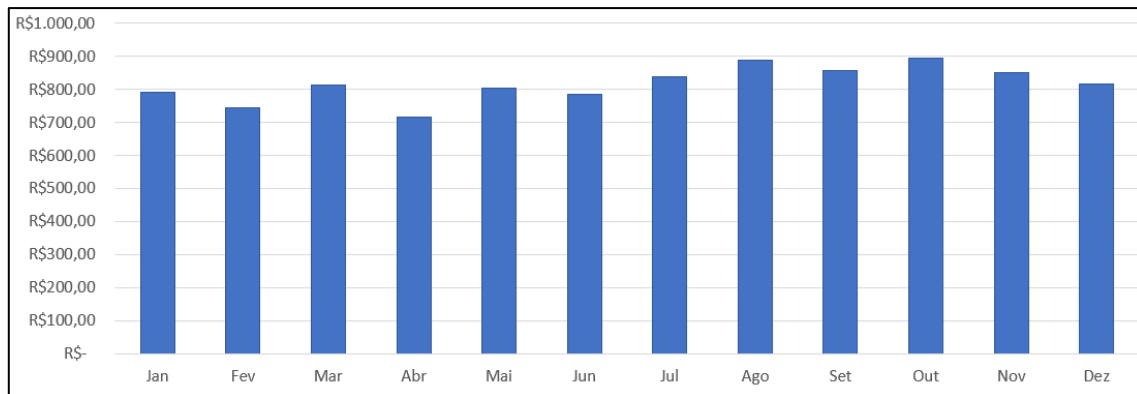
Fonte: Própria autora (2021).

O sistema 4 está gerando uma economia de R\$ 827,34 mensalmente e aproximadamente R\$ 9.928,12 por ano, conforme dados de geração do gráfico 4.4. Se o sistema continuar gerando com a mesma eficiência dos meses dos dados de geração o retorno será após 2 anos e 9 meses, um mês abaixo do esperado.

No projeto 5 o retorno mensal esperado é de R\$ 816,45 por mês em média, conforme figura 4.11. O retorno anual esperado é de aproximadamente R\$ 9.797,40 e o *payback* simples tendo o investimento de R\$ 27.500,00 era esperado de aproximadamente 2 anos e 10 meses.

No entanto, a economia gerada pelo sistema é de apenas R\$ 727,37 mensalmente e aproximadamente R\$ 8.278,44 por ano, resultado inferior ao esperado de geração. Se o sistema continuar mostrando uma eficiência inferior à esperada, o *payback* simples passará a ser em 3 anos e 2 meses.



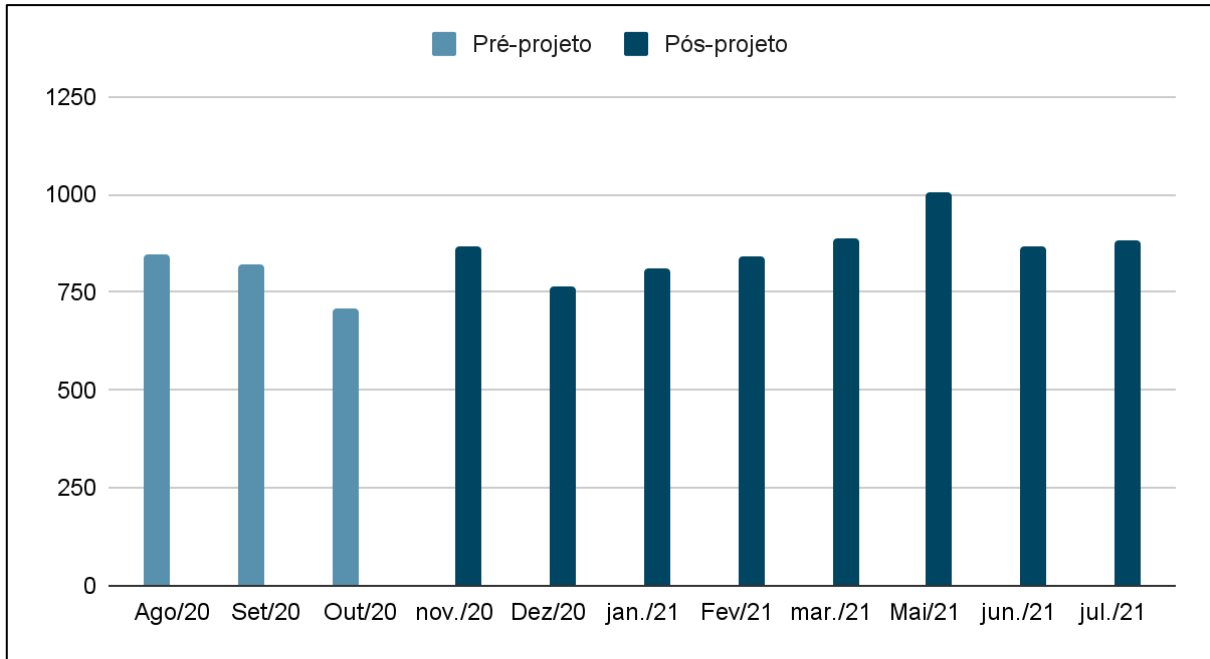
**Figura 4.10 - Retorno mensal do investimento do projeto 5 .**

Fonte: Própria autora (2021).

#### 4.4 PADRÃO DE CONSUMO PÓS-PROJETO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Uma das principais questões ao adquirir um sistema fotovoltaico é a economia de energia. Devido ao crescente preço das tarifas e o valor final para o consumidor afetar o orçamento mensal, são adotadas práticas de economia normalmente pela população. No entanto, ao gerar energia elétrica o consumidor acaba se descuidando das práticas de economia ao criar segurança pelas contas de energia com valor final reduzido.

Frequentemente, é possível observar em faturas de energia posteriores a instalação de energia solar o consumo maior por parte do consumidor. Para uma verificação eficaz de padrão de consumo é indicado a observação dos últimos 12 meses de consumo pré e pós-projeto. No entanto, não obtendo os dados é possível fazer uma aproximação por parte dos dados disponíveis. O cliente do projeto 4 possuía uma média de consumo de 793,66 kWh nos últimos 3 meses anteriores à instalação e passou a consumir em média 867,63 kWh nos últimos 8 meses ao estar gerando energia. No figura 4.12 é possível identificar o crescimento do consumo do cliente do projeto 4 após a instalação do sistema.

**Figura 4.11 - Padrão de consumo do projeto 4.**

Fonte: Própria autora (2021).

Uma alternativa para evitar insatisfação dos clientes após a instalação dos sistemas fotovoltaicos sabendo do aumento do padrão de consumo é oferecer na venda do projeto o acréscimo de uma porcentagem de aproximadamente 10% do consumo atual. É importante esclarecer para o consumidor que ao aumentar o consumo pós-projeto a conta de energia irá aumentar, pois o sistema é dimensionamento a partir do consumo atual. Outra alternativa eficiente para o cliente, é a união de um projeto de consultoria em eficiência energética e energia fotovoltaica. Após a aplicação do projeto de eficiência, os moradores do local serão mais conscientes quanto ao consumo de energia e possivelmente não haverá aumento de energia após o projeto de energia fotovoltaica ou, se houver, estará previsto no projeto esse aumento de demanda.

## CAPÍTULO 5

### 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho tinha como objetivo principal analisar 5 instalações de energia solar fotovoltaica, permitindo comparar a geração real e esperada para os projetos teoricamente. No desenvolvimento do presente trabalho, apresentou-se uma contextualização sobre energia solar, sua origem e sua ascensão no mercado de energia e sua regulamentação perante a legislação brasileira.

No Capítulo 3, foi descrito os elementos que compõem um sistema fotovoltaico *on grid*, bem como uma descrição da realização do projeto desde o dimensionamento até a homologação junto à concessionária de energia, assim como a apresentação de todas as normas técnicas necessárias para a execução de um projeto fotovoltaico. Através dessa metodologia foi possível identificar os impactos que a radiação solar, os equipamentos, a execução do projeto causam no dimensionamento e na produção energética de um sistema fotovoltaico.

Os dados de geração dos 5 sistemas fotovoltaicos foram obtidos através dos sistemas de monitoramento dos inversores e microinversores, sendo respectivamente, o sistema do próprio inversor e nos microinversores o equipamento DTU - W100.

Durante a análise dos sistemas fotovoltaicos, identificou-se gerações menores que as previstas teoricamente nos projetos 1, 3 e 5. No projeto 1, a diferença na média é de 1,04 kWh/mês o que não gera ao cliente grandes perdas. Porém, como identificado durante o presente trabalho, a diferença de geração pode ser justificada por insolação local menor que a prevista, perdas causadas por sombreamentos ou sujeira das placas.

No projeto 3, a geração esperada é de 625,09 kWh e a média de geração real está sendo de 472,96 kWh. A diferença de geração se justifica pelo primeiro mês de geração estar com geração somente no final do mês e os meses de novembro e dezembro possuírem histórico de período chuvoso. Outros fatores possivelmente influenciadores são a inclinação dos módulos serem diferentes da esperada e um dos microinversores estarem desligados.

No projeto 5, a geração esperada é de 986,98 kWh e a média de geração real está sendo de 934,1 kWh. No entanto, a diferença de geração se justifica pelo primeiro mês de geração estar com um consumo equivalente a metade da geração esperada e, realizando uma média da geração dos últimos 3 meses é possível obter uma geração de 999,7 kWh, sendo superior à geração esperada do projeto.

Para fins de determinação se o investimento dos projetos 3 e 5 deram retorno aos clientes, é importante ressaltar que a energia elétrica é um custo fixo de todos os consumidores e sendo em menor ou maior tempo ainda haverá retorno satisfatório para o cliente. Os equipamentos possuem garantias longas e em todos os 5 projetos o *payback* simples será inferior ao período de 5 anos.

Para os projetos 2 e 3, sairia economicamente com um custo menor para os clientes a troca dos equipamentos microinversores por inversor tendo em vista os custos atuais de equipamento e as garantias, microinversores a partir de 12 anos e inversores 10 anos, estarem favoráveis aos inversores levando em consideração os dois.

Em função dos resultados obtidos observa-se que o equipamento utilizado causa uma diferença no *payback* do cliente. O projeto 4 é o que possui melhor custo-benefício por possuir um *payback* inferior aos outros projetos. Os projetos 2 e 3, se tivessem utilizado outros equipamentos, obteriam um *payback* menor e teriam um melhor custo-benefício. Durante o trabalho, observa-se que caso as variáveis como radiação solar e diferenças dos equipamentos não sejam consideradas corretamente, o dimensionamento e o desempenho do sistema esperado pode ser comprometido, pois pode-se incorrer em subdimensionamento do sistema.

Por fim, sugere-se para trabalhos futuros a realização de análises de sistemas de mesma potência e na mesma cidade com equipamentos diferentes para uma análise detalhada da eficiência dos equipamentos e verificação de melhor custo-benefício.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 5410: Instalações elétricas em baixa tensão**, 2004.
- ALVES, Geziele M; NASCIMENTO, Raphael S. **Fontes Alternativas e Renováveis de Energia no Brasil: Métodos e Benefícios Ambient.** Centro Universitário Ingáais, 2016. Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/INIC/cd/\\_2016/anais/arquivos/0859\\_1146\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/INIC/cd/_2016/anais/arquivos/0859_1146_01.pdf)> Acesso em: 10 fev. 202.
- AMARAL, Danilo. **História da Mecânica - O motor a vapor.** UFPB, 2010. Disponível em:<[http://www.demec.ufmg.br/port/d\\_online/diario/Ema078/historia%20do%20moto%20a%20vapor.pdf](http://www.demec.ufmg.br/port/d_online/diario/Ema078/historia%20do%20moto%20a%20vapor.pdf)>. Acesso em: 22 Jun. 2021. CGEE – Centro de Gestão e Estudos Energéticos.
- ANDRADE, José C.S; COSTA, Paulo. **Mudança Climática, Protocolo De Kyoto E Mercado De Créditos De Carbono: Desafios À Governança Ambiental Global.** O&S, v.15, n.45, p.29-45, Abril, 2008.
- ATHANASIA, A. L. **The economics of photovoltaic stand-alone residential households: a case study for various European and Mediterranean locations.** *Solar Energy & Solar Cells*, n.62, p.411-427, 2000.
- BAHIA. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Mudanças Climáticas e Biodiversidade.** Bahia Viva, Salvador, ano II, n.4, out. 2005.
- BECQUEREL, E., “**Memoires sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons**”, *Comptes Rendues* 9 (1839) 561
- BRITO, Miguel Centeno; VALLÊRA, António M. **Meio Século de História Fotovoltaica.** *Gazeta de Física*. p. (1-5). 2006.
- COELHO, S. T. **Mecanismos para Implementação de Eletricidade a partir de Biomassa.** Um Modelo para o Estado de São Paulo. 1999. 194p. Tese (Doutorado) – PIPGE – IEE – USP, São Paulo.
- ELETROBRÁS. **Conservação de energia: Eficiência energética de instalações e equipamentos.** Procel. Itajubá, MG, Editora da EFEI, 2001.

FADIGAS, Eliane Aparecida. **Energia Solar Fotovoltaica :Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica.** Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf)  
> Acesso em: 20 de mai. 2021.

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. F. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras.** Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011.

FIGUERES, C; IVANOVA, M. H. **Mudança Climática: interesses nacionais ou um regime global?** IN: ESTY, D. C; IVANOVA, M. H. (orgs.). Governança ambiental global: opções e oportunidades. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005. p. 233-255.

HAJE, Lara. **Projeto permite cessão voluntária de geração extra de energia elétrica para hospitais durante pandemia.** Agência Câmara de Notícias, 30 mar. 2021. Meio Ambiente e Energia. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/741161-projeto-permite-cessao-voluntaria-de-geracao-extra-de-energia-eletrica-parahospitais-durante-pandemia/>> Acesso em: 20 jun. 2021.

HEIN, Henrique. **Lafayette de Andrada apresenta novo texto-base para marco legal da GD.** Canal Solar. 9 mar. 2021. Brasil. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/lafayette-de-andrada-apresenta-novo-texto-base-para-marco-legal-da-gd/>> Acesso em: 16 de jun 2021.

KNIJNIK, R. **Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento.** Porto Alegre, CPEA, 1994.

MACHADO, C. T; MIRANDA, F. S. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão.** Rev. Virtual Quim., 2015, v. 7, n.1, p 126-143. Disponível em: <<http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v7n1a08.pdf>> Acesso em: 7 mai. 2021.

MOREIRA, Igor. **O espaço geográfico: geografia geral e do Brasil.** 41. ed. São Paulo: Ática, 1998.

MOREIRA, Helena Margarid; GIOMETTI, Analúcia Bueno dos Reis. **Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa.** Contexto Internacional [online]. 2008, v. 30, n.

1, pp. 9-47. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-85292008000100001>>. Acesso em: 5 mai. 2021.

NARUTO, Denise Tieko. **Vantagens e Desvantagens da Geração Distribuída e Estudo de Caso de um Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**/Denise Tieko Naruto – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2017.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**, 2004. Monografia (Pós-graduação lato-sensu em fontes alternativas de energia), universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

OLIVATI, Clarissa de Almeida. **Efeito fotovoltaico e fotocondutividade em dispositivos poliméricos**. 2000. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

OLIVEIRA, S. H. F. **Geração Distribuída de Eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo**. São Paulo, 2002.

PIERRE, Tatiana Dillenburg Saint'. **Arquimedes**. Disponível em:<[http://web.ccead.pucRio.br/condigital/mvsl/linha%20tempo/Arquimedes/pdf\\_LT/LT\\_arquimedes.pdf](http://web.ccead.pucRio.br/condigital/mvsl/linha%20tempo/Arquimedes/pdf_LT/LT_arquimedes.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2011.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, CEPEL – CRESESB. Março, 2014.

REIS, L. B DOS; ELIANE A. A. FADIGAS; CLÁUDIO E. CARVALHO. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 1 a ed. Barueri (SP): Manole, 2005.

RUTHER, R. **Instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública**. Florianópolis, 2000.

RODRIGUES, C. **Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SACHS, I. **A Revolução Energética do Século XXI**, Estudos Avançados, Vol. 21, nº 59, p. 21-38, São Paulo – SP, 2007.

SHAYANI, R. A; OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. T. **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais**, 2006.

SOUSA, Luiz di. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<https://programaintegradoronline.com.br/wpcontent/upload.s/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solaresnovo.pdf>> Acesso: 15 de jun. 2021. Blue Sol.

TOLMASQUIM et al. **Matriz Energética Brasileira: Uma Prospectiva, Novos Estudos**. CEBRAP, nº 79, São Paulo – SP, 2007.

TOLMASQUIM, Mauricio. **Oferta de gás será "justa" em 2007 e 2008**. Folha de São Paulo, São Paulo, 20 novembro 2006. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/fi2011200613.htm>.> Acesso em: 21 jul. 2021.

TRONCO, Pedro. FLORIAN, F.. PESTANA, F.A.B. **SISTEMA FOTOVOLTAICO: ESTUDO DE PERDAS**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000153, 05/12/2018. Disponível em: <<https://semanaacademica.com.br/artigo/sistema-fotovoltaico-estudo-de-perdas>> Acessado em: 16/08/2021.

VIAUD, M., HOFFMAN, W. and Aulich H., **“European PV Industry roadmap”**, **Proceedings 19th EPVSEC** (2004).

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2ª ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015.

WOLF, M., **Limitations and possibilities for improvement of photovoltaic solar energy converters**, Proceedings of the IRE 48, 1960.

ZANIOLO, Lioncoln; COLZANI, Paulo Felipe. **Protocolo de Quioto e o Mercado de Carbono**. Orientador: TUSSI, Bruno. 2008. 60f. Monografia – Comércio Exterior, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí. 2008. Disponível em: Acesso em: 10 jun. 2021.



## ANEXO A – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO POTÊNCIA IGUAL OU INFERIOR A 10KW

Formulário de Solicitação de Acesso para Microgeração Distribuída com Potência Igual ou Inferior a 10kW

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua / Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: (    )	Celular: (    )	
CNPJ/CPF:		
2 - Dados da Unidade Consumidora		
Carga instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão:	monofásica <input type="checkbox"/>	bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/>
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/>	Solar <input type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração		<input type="checkbox"/>
2. Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção(inversor, se for o caso)/Medição e memorial descritivo da instalação.		<input type="checkbox"/>
3. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.		<input type="checkbox"/>
4. Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: <a href="http://www.aneel.gov.br/scg">www.aneel.gov.br/scg</a>		<input type="checkbox"/>
5. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012		<input type="checkbox"/>
6. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)		<input type="checkbox"/>
7. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		<input type="checkbox"/>
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____	/ /	_____
Local	Data	Assinatura do Responsável

## ANEXO B – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO POTÊNCIA SUPERIOR A 10KW

Formulário de Solicitação de Acesso para Microgeração Distribuída com Potência Superior a 10kW

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: (    )	Celular: (    )	
CNPJ/CPF:		
2 - Dados da Unidade Consumidora		
Potência instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão:    monofásica <input type="checkbox"/>	bifásica <input type="checkbox"/>	trifásica <input type="checkbox"/>
Tipo de ramal:        aéreo <input type="checkbox"/>	subterrâneo <input type="checkbox"/>	
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/>	Solar <input type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/>
	Biomassa <input type="checkbox"/>	Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração		<input type="checkbox"/>
2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo		<input type="checkbox"/>
3. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção		<input type="checkbox"/>
4. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.		<input type="checkbox"/>
5. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: <a href="http://www.aneel.gov.br/scg">www.aneel.gov.br/scg</a>		<input type="checkbox"/>
6. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012		<input type="checkbox"/>
7. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)		<input type="checkbox"/>
8. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		<input type="checkbox"/>
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____ / _____ / _____	_____ / _____ / _____	_____
Local	Data	Assinatura do Responsável

## ANEXO C – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO SUPERIOR A 75KW

### Formulário de Solicitação de Acesso para Minigeração Distribuída

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Grupo B <input type="checkbox"/>	Grupo A <input type="checkbox"/> Classe:
Titular da UC:		
Rua / Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: (    )	Celular: (    )	
CNPJ/CPF:		
2 - Dados da Unidade Consumidora		
Localização em coordenadas:	Latitude:	Longitude:
Potência instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão:	monofásica <input type="checkbox"/>	bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/>
Transformador particular (kVA):	75 <input type="checkbox"/> 112,5 <input type="checkbox"/> 225 <input type="checkbox"/>	outro:
Tipo de instalação:	Posto de transformação <input type="checkbox"/>	cabine <input type="checkbox"/> subestação <input type="checkbox"/>
Tipo de ligação do transformador:		
Impedância percentual do transformador:		
Tipo de ramal:	aéreo <input type="checkbox"/>	subterrâneo <input type="checkbox"/>
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/>	Solar <input type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de minigeração	<input type="checkbox"/>	
2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo	<input type="checkbox"/>	
3. Estágio atual do empreendimento, cronograma de implantação e expansão	<input type="checkbox"/>	
4. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção	<input type="checkbox"/>	
5. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.	<input type="checkbox"/>	
6. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: <a href="http://www.aneel.gov.br/scg">www.aneel.gov.br/scg</a>	<input type="checkbox"/>	
7. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012	<input type="checkbox"/>	
8. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)	<input type="checkbox"/>	
9. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)	<input type="checkbox"/>	
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
Local	____/____/____ Data	Assinatura do Responsável

## ANEXO D – CADASTRO ANEEL

### CADASTRO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

#### IDENTIFICAÇÃO

NOME DO TITULAR: \_\_\_\_\_

CNPJ/CPF: \_\_\_\_\_ CÓDIGO DA UC: \_\_\_\_\_

ENDEREÇO: \_\_\_\_\_ CEP: \_\_\_\_\_

MUNICÍPIO: \_\_\_\_\_ UF: \_\_\_\_\_ TELEFONE: \_\_\_\_\_

E-MAIL: \_\_\_\_\_

#### GERAÇÃO

TIPO DE GERAÇÃO:  SOLAR  ÉOLICA  HÍBRIDO  OUTRO: \_\_\_\_\_

ÁREA DOS ARRANJOS: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

MÓDULOS	INVERSORES
FABRICANTE: _____	FABRICANTE: _____
MODELO: _____	MODELO: _____
POTÊNCIA TOTAL: _____ kWp	POTÊNCIA TOTAL: _____ kWp
QUANTIDADE: _____	QUANTIDADE: _____

\* PREENCHIMENTO SOMENTE PARA GERAÇÕES EÓLICAS OU HÍBRIDAS

FABRICANTE: \_\_\_\_\_ MODELO: \_\_\_\_\_

POTÊNCIA INVERSOR: \_\_\_\_\_ kW POTÊNCIA AEROGERADOR: \_\_\_\_\_ kW

EIXO DO ROTOR: \_\_\_\_\_ ALTURA DA PÁ: \_\_\_\_\_ m

## ANEXO E – FORMULÁRIO DE COMPENSAÇÃO

### **Formulário para cadastro de Unidades Consumidoras participantes do Sistema de Compensação**

Solicito que o excedente de energia injetada na rede pela unidade consumidora nº. \_\_\_\_\_, que esteja disponível para alocação nos termos da ReN Aneel 482/2012 (alterada pela ReN Aneel 687/2015), seja rateada entre as unidades consumidoras abaixo relacionadas, conforme percentuais discriminados.

Dados da(s) Unidade(s) Consumidora(s) Beneficiária(s)				(%)
Unidade Consumidora	Nome do Titular	CPF/CNPJ do Titular	Endereço	

Declaro ainda estar ciente e concorda que:

a) a soma dos percentuais informados limita-se e não excede à 100%, sendo que, caso resulte em valor inferior, a diferença será alocada na unidade consumidora geradora.

b) em caso de encerramento da relação contratual do atual titular de qualquer dessas unidades consumidoras (nos termos do art. 70 da ReN Aneel 414/2010), o percentual alocado à mesma será transferido para a unidade consumidora geradora, até o envio de novo formulário para redefinição do rateio.

c) as informações cadastradas com base no especificado neste documento somente serão alteradas mediante entrega de novo formulário, sendo de responsabilidade exclusiva do titular da unidade consumidora geradora (ou seu representante formalmente designado, no caso de Pessoa Jurídica) a emissão e entrega do mesmo.

d) este documento cancela e substitui qualquer outra solicitação anterior de cadastro de beneficiários relacionadas à unidade consumidora geradora acima identificada.

e) a relação de beneficiários deverá atender as seguintes regras de titularidade:

- Auto-consumo remoto: todas as UCs deverão estar sob mesma titularidade da geradora ou de filiais;
- Condomínio/Consórcio/Cooperativa: mesma titularidade ou de titularidade de condômino/consorciado/cooperado (mediante entrega de documentação específica).

Titular da Unidade Consumidora (Nome Completo/Razão Social):

E-mail para contato:

CPF/CNPJ:

FORTALEZA \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Assinatura (Titular ou Responsável formalmente autorizado - quando PJ):

## **Instruções para Documentações Complementares**

### **AUTO-CONSUMO REMOTO**

Tratando-se de auto-consumo remoto, as unidades consumidoras beneficiárias deverão estar sob mesma titularidade da unidade geradora, admitindo-se o cadastramento de filiais, quando a unidade geradora constar sob titularidade da matriz. A validação será pelo CPF (quando tratar-se de unidade geradora sob titularidade de pessoa física) ou pela raiz do CNPJ (quando tratar-se de unidade geradora sob titularidade de pessoa jurídica).

### **CONDOMÍNIOS**

Tratando-se de condomínios, deverá ser apresentado:

- Convenção do Condomínio (registrado em cartório de registro de imóveis) com uma cláusula de responsabilidade solidária e relação de cotas condominiais, para definição das unidades consumidoras que pertencem ao condomínio.
- Convenção do Condomínio, Ata ou regimento interno (registrado em cartório de registro de imóveis) onde conste a autorização para instalação da central geradora, bem como indique o responsável por representar o condomínio.
- Registro de imóveis das unidades consumidoras indicadas como participantes do sistema de compensação, para fins de conferência do endereço e validação de que realmente são participantes do condomínio.

### **CONSÓRCIO**

Conforme Art. 279 da Lei 6404/76, o consórcio será constituído mediante contrato aprovado pelo órgão da sociedade competente para autorizar a alienação de bens do ativo não circulante, do qual constarão:

- I - a designação do consórcio se houver;
  - II - o empreendimento que constitua o objeto do consórcio; (micro ou minigeração) III - a duração, endereço e foro;
  - IV - a definição das obrigações e responsabilidade de cada sociedade consorciada, e das prestações específicas;
  - V - normas sobre recebimento de receitas e partilha de resultados; (quotas)
  - VI - normas sobre administração do consórcio, contabilização, representação das sociedades consorciadas e taxa de administração, se houver; (responsável pela administração)
  - VII - forma de deliberação sobre assuntos de interesse comum, com o número de votos que cabe a cada consorciado;
  - VIII - contribuição de cada consorciado para as despesas comuns, se houver.
- Parágrafo único. O contrato de consórcio e suas alterações serão arquivados no registro do comércio do lugar da sua sede, deve a certidão do arquivamento ser publicada.

**Importante:** caso no Contrato não conste a relação atualizada dos consorciados, deverá ser apresentada documentação complementar hábil.

### **COOPERATIVA**

Para cooperativa, conforme artigo 4º da Lei 5764/1971, o documento de sua constituição e Estatuto de Cooperativa, também devidamente registrado na Junta Comercial.

Deverá constar no estatuto, as seguintes informações:

- I – Objetivos da cooperativa; (micro geração)
- II – Número de cooperados e capital social; (beneficiários/quotas)
- III – Informações sobre o mercado
- IV – Previsão Financeira Anual
- V – Prestação de serviços aos cooperados
- VI – Inversões da cooperativa: ativo fixo e capital de giro
- VII – Fontes de capital
- VIII – Recursos humanos (empregados e custo anual)
- IX – Custos operacionais para o 1º ano de funcionamento: custos fixos, variáveis e totais. X – Resultado operacional para o 1º ano de funcionamento
- XI – Fluxo de caixa
- XII – Ponto de nivelamento
- XIII – Benefícios com a implantação da cooperativa de acordo com o Art. 21 da Lei 5764/71 e além de atender ao disposto no Art. 4º, o Estatuto e deverá indicar:
  - a denominação social, contendo a expressão "cooperativa";
  - endereço completo da sede e foro;
  - prazo de duração;
  - área de ação da sociedade;
  - objeto da sociedade;
  - fixação do exercício social
  - da data do levantamento do balanço geral;
  - os direitos e deveres dos associados;
  - natureza da responsabilidade dos associados;
  - condições de admissão, demissão, eliminação e exclusão;
  - normas para sua representação nas assembleias gerais, quando for o caso;
  - capital social mínimo expresso em moeda nacional corrente;
  - valor da quota-parte, o mínimo de quotas-partes a ser subscrito pelo associado, o modo de integralização das quotas-partes, bem como as condições de sua retirada nos casos de demissão, eliminação ou exclusão do associado;
  - fundos obrigatórios e demais fundos que porventura forem criados;
  - forma de devolução das sobras registradas aos associados, ou do rateio das perdas apuradas por insuficiência de contribuição para cobertura das despesas da sociedade;
  - modo de administração e fiscalização, estabelecendo os respectivos órgãos, com definição de suas atribuições, poderes e funcionamento, a representação ativa e passiva da sociedade em juízo ou fora dele, o prazo de mandato, bem como o processo de substituição dos administradores e conselheiros fiscais;
  - formalidades de convocação das assembleias gerais e a maioria requerida para a sua instalação e validade de suas deliberações, vedado o direito de voto aos que nela tiverem interesse particular sem privá-los da participação nos debates;
  - formas de dissolução, fusão, incorporação desmembramento da sociedade;
  - modo e o processo de alienação ou oneração de bens imóveis da sociedade;
  - modo de reforma do estatuto;
  - número mínimo de associados.

**Importante:** caso no Estatuto não conste a relação atualizada dos cooperados, deverá ser apresentada documentação complementar hábil.