



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO EM UMA COMUNIDADE NO MUNICÍPIO DE
COREMAS - PB**

RICHARD KILBER LACERDA DA SILVA

POMBAL – PB

2024

RICHARD KILBER LACERDA DA SILVA

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO EM UMA COMUNIDADE NO MUNICÍPIO DE
COREMAS - PB

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Unidade Acadêmica de
Ciências e Tecnologia Ambiental da
Universidade Federal de Campina Grande,
como parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de Engenheiro
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Borges da
Nóbrega

POMBAL – PB

2024

S586e Silva, Richard Kilber Lacerda da.
Estudo da viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico em uma comunidade no município de Coremas-PB / Richard Kilber Lacerda da Silva. – Pombal, 2024.
69 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2024.

“Orientação: Prof. Dr. Raphael Borges da Nóbrega”.

Referências.

1. Energia solar. 2. Tarifa social. 3. Microgeração. I. Nóbrega, Raphael Borges da. II. Título.

CDU 620.92(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

RICHARD KILBER LACERDA DA SILVA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO EM UMA COMUNIDADE NO MUNICÍPIO DE COREMAS - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente (RICHARD KILBER LACERDA DA SILVA) **APROVADO** no dia 31 de maio 2024 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande.

Registre-se e publique-se.

Documento assinado digitalmente
 **RAPHAEL BORGES DA NOBREGA**
Data: 02/06/2024 10:26:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Raphael Borges da Nóbrega
(Orientador – UFCG – CCTA – UACTA)

Documento assinado digitalmente
 **MATEUS RODRIGUES DA COSTA**
Data: 01/06/2024 16:52:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Me. Mateus Rodrigues da Costa
(Membro Interno – UFCG – CCTA – UACTA)

Documento assinado digitalmente
 **YVES CLEMENTE DANTAS REIS**
Data: 31/05/2024 17:53:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Yves Clemente Dantas Reis
(Membro Externo – Dantas & Gomes
Soluções Elétricas – Engenheiro Eletricista)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos. Graças a Ele é possível finalizar essa etapa importantíssima de minha vida.

Aos meus Pais, Suênia e Damião, por jamais desistirem de mim e me darem todo apoio e suporte necessário para enfrentar e sair vencedor dessa etapa. Sem o apoio deles nada seria possível. Importante ressaltar que mesmo com todas as dificuldades encontradas ao longo do período, eles permaneceram fortes e confiantes de que tudo seria possível, e ao ver a alegria deles, eu também ficava feliz e motivado para vencer esta etapa. São minha base, minha fortaleza, meu porto seguro. Obrigado por tudo, eu amo vocês.

Agradeço também ao meu orientador Professor Dr. Raphael Borges, por qual criei uma profunda admiração e um imenso respeito, por aceitar me auxiliar no meu trabalho e conclusão de curso, o qual passou por inúmeras mudanças de tema. Não tive o prazer de conhece-lo presencialmente durante minhas disciplinas de graduação, mas pude perceber que os elogios sobre ser um excelente professor estavam corretos.

Expresso também meus sinceros agradecimentos a minha irmã Kemelly Sophia, que esteve presente em minha vida ficando feliz por minhas conquistas e me apoiando nos momentos de alegria e dificuldades.

Aos meus familiares, que de maneira direta ou indireta, contribuíram de forma significativa par meu desenvolvimento.

Aos meus amigos, Elber Kevenny, José André, Victor Gomes e Edilson Matos, que sempre estiveram comigo durante toda minha graduação, principalmente no apartamento. Tenho enorme carinho por vocês e espero que consigam conquistar tudo que desejam. Grande parte dos melhores momentos que passei durante minha graduação devo a vocês, principalmente pelas conversas “produtivas” que tínhamos, as músicas que eram colocadas e era possível escutar do outro lado da cidade, as cantorias, e principalmente o apoio que me deram nos melhores e piores momentos.

Aos meus outros amigos e colegas que conheci e tive o prazer de dividir momentos durante a graduação, como Milena Nery, Rony Brito, Mayara Ketilly, Laert

Luan, Widnes Robert e todos os outros colegas. Agradeço por todos os momentos de risadas, diversão e amizade que tivemos e desejo sucesso na vida profissional de vocês.

Aos professores que se fizeram presentes durante toda a minha graduação e contribuíram de maneira significativa para minha evolução de estudante para profissional. Agradeço em especial, meu orientador Raphael Borges e ao professor Eduardo Morais e gostaria de citar também os professores Rosinete Batista, Elisângela Silva, Leovegildo Douglas, Rodrigo Chagas, Eric Mateus e Larissa Batista que foram fundamentais na minha graduação, me ajudando a me tornar um aluno e um profissional melhor.

Agradeço também a Universidade Federal de Campina Grande – Campus Pombal pelos recursos e oportunidades que tornaram possível a realização do meu sonho.

RESUMO

Neste trabalho, foi analisada a viabilidade de implantar um sistema fotovoltaico em uma comunidade localizada no município de Coremas – PB, avaliando o retorno financeiro da utilização de energia solar. Para isso, empregou-se o método de *payback* para comparar o período de retorno do investimento, considerando a comunidade com benefício da Tarifa Social. A metodologia envolveu a análise do sistema de microgeração solar fotovoltaica em uma comunidade e o cálculo do *payback* considerando os custos de instalação, manutenção e tarifas de energia. Os resultados deste estudo demonstraram que a substituição da Tarifa Social pela microgeração distribuída é viável dependendo do consumo das residências.

Palavras-chave: Energia Solar. Tarifa Social. Microgeração.

ABSTRACT

This study analyzed the feasibility of installing a photovoltaic system in a community located in the municipality of Coremas - PB, assessing the financial return on the use of solar energy. To this end, the payback method was used to compare the return on investment period, considering the community benefiting from the Social Tariff. The methodology involved analyzing the photovoltaic solar microgeneration system in a community and calculating the payback considering the costs of installation, maintenance and energy tariffs. The results of this study showed that replacing the Social Tariff with distributed microgeneration is viable depending on household consumption.

Keywords: Solar Energy. Social Tariff. Microgeneration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de energia elétrica por fonte no Brasil em 2022	19
Figura 2 – Geração de energia elétrica por fonte no Brasil em 2016	19
Figura 3 – Funcionamento da conversão de energia	22
Figura 4 – Sistema fotovoltaico interligado à rede.....	23
Figura 5 – Sistema fotovoltaico não interligado à rede.....	24
Figura 6 – Componentes de um módulo fotovoltaico	25
Figura 7 – Conexão dos painéis solares	26
Figura 8 – Inversor tipo central.....	27
Figura 9 – Inversor tipo micro inversor	27
Figura 10 – Medidor bidirecional	29
Figura 11 – Tipos de radiação solar	31
Figura 12 – Mapa de irradiação no Brasil.....	31
Figura 13 – Resumo das regras de transição.....	33
Figura 14 – Consumo e geração média mensal da residência R1	48
Figura 15 – Consumo e geração média mensal da residência R2.....	49
Figura 16 – Consumo e geração média mensal da residência R3.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens das fontes de energias solar e eólica	20
Quadro 2 – Emissões de gases no Sistema Interligado Nacional	21
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens dos tipos de inversores	28
Quadro 4 - Cobrança do fio B.....	32
Quadro 5 - Descontos da Tarifa Social de energia elétrica	34
Quadro 6 – Consumo médio das residências da comunidade	37
Quadro 7 – Tarifas de energia com e sem geração distribuída.....	39
Quadro 8 – Tarifa TUSD fio B	40
Quadro 9 – Consumo médio diário das residências	43
Quadro 10 – Irradiação solar mensal do município de Coremas-PB.....	43
Quadro 11 – Potência do sistema das residências	44
Quadro 12 – Consumo e geração média mensal da residência R1	45
Quadro 13 – Consumo e geração média mensal da residência R2	46
Quadro 14 – Consumo e geração média mensal da residência R3	47
Quadro 15 – Custo da energia sem geração distribuída R1	50
Quadro 16 – Custo da energia sem geração distribuída R2	51
Quadro 17 – Custo da energia sem geração distribuída R3	52
Quadro 18 – Custo de energia e saldo com fio B do sistema R1	54
Quadro 19 – Custo de energia e saldo com fio B do sistema R2.....	55
Quadro 20 – Custo de energia e saldo com fio B do sistema R3.....	56
Quadro 21 – Fluxo de caixa e VPL do sistema R1	58
Quadro 22 – Fluxo de caixa e VPL do sistema R2.....	59
Quadro 23 – Fluxo de caixa e VPL do sistema R3.....	60
Quadro 24 – VPL, TIR e <i>Payback</i> do sistema R1	61
Quadro 25 – VPL, TIR e <i>Payback</i> do sistema R2	61
Quadro 26 – VPL, TIR e <i>Payback</i> do sistema R3	61

LISTA DE SIGLAS

Siglas

- ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica;
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica;
- CA – Corrente Alternada;
- CC – Corrente Contínua;
- CDE – Conta de Desenvolvimento Energético;
- CO₂ – Dióxido de Carbono;
- COFINS - Contribuição para o Financiamento de Seguridade Social;
- CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
- EMUC - Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras;
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética;
- EVA - Copolímero de Etileno Vinil Acetato;
- GEE – Gases do Efeito Estufa;
- GW – Gigawatt;
- ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços;
- Km² – Quilometro ao quadrado;
- kWh – Quilowatt-hora;
- kWh/m² – Quilowatt-hora por metro quadrado;
- MPPT - Rastreamento do Ponto de Máxima Potência;
- MW – Megawatt;
- PIS - Programa de Integração Social;
- PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica;
- PWM - Modulação por Largura de Pulso;
- SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas;
- SPPM – Seguidores de Ponto de Potência Máxima;
- TE – Tarifa de Energia;
- TIR – Taxa Interno de Retorno;
- TUSD - Tarifa do Uso de Rede de Distribuição;
- TSEE – Tarifa Social de Energia Elétrica;
- TWh - Terawatt-hora;

- VPL – Valor Presente Líquido;
- W/m² – Watt por metro quadrado;

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	Contextualização	15
1.2.	Justificativa	16
1.3.	Objetivos.....	17
1.3.1.	<i>Objetivo Geral</i>	17
1.3.2.	<i>Objetivos Específicos.....</i>	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1.	Matriz Elétrica e Energias Renováveis.....	18
2.2.	Energia Solar.....	21
2.3.	Sistemas Fotovoltaicos	23
2.3.1.	<i>Painel Fotovoltaico</i>	24
2.3.2.	<i>Inversor de Frequência.....</i>	26
2.3.3.	<i>Medidor Bidirecional.....</i>	28
2.3.4.	<i>Controlador de Carga</i>	29
2.3.5.	<i>Baterias.....</i>	30
2.4.	Radiação e Irradiação Solar	30
2.5.	TUSD Fio B	32
2.6.	Tarifa Social.....	33
2.7.	Payback Simples.....	34
2.8.	Valor Presente Líquido (VPL).....	34
2.9.	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	35
3.	METODOLOGIA.....	37
3.1.	Material	37
3.2.	Métodos	38
3.2.1.	<i>Pré-dimensionamento do Sistema</i>	38
3.2.2.	<i>Tarifa Social.....</i>	39
3.2.3.	<i>TUSD Fio B</i>	39
3.2.4.	<i>Parâmetros para projeções de geração e consumo do sistema</i>	40
3.2.5.	<i>Viabilidade Econômico-financeira.....</i>	41
3.2.5.1.	<i>Payback Simples</i>	41
3.2.5.2.	<i>Valor Presente Líquido (VPL)</i>	41

3.2.5.3.	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	42
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1.	Potência dos Sistemas	43
4.2.	Geração e Consumo dos Sistemas	44
4.3.	Retorno dos Sistemas	53
5.	CONCLUSÕES.....	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O crescimento da população mundial tem ocasionado um aumento significativo por fontes de energia. Dentre as fontes de energia utilizadas, os combustíveis fósseis como carvão, gás natural e derivados do petróleo representam uma parcela significativa na geração de energia primária, com um percentual de 58,9% (EPE, 2023).

Atualmente, o alto consumo de energias não renováveis vem sendo uma preocupação global devido a quantidade de carbono (CO₂) emitida para a atmosfera, sendo possível sentir verdadeiras alterações climáticas. Portanto, a atenção da sociedade se volta para o controle da emissão de gases poluentes e para a proteção dos recursos naturais existentes (GOLDEMBERG e LUCON, 2012; COYLE e SIMONS, 2014; REI et al., 2017).

A utilização de fontes renováveis de energia contribui como uma opção de mitigar a quantidade de carbono emitida para a atmosfera pois são obtidas de recursos naturais que é reabastecida naturalmente e não se esgota com o tempo. Isto inclui energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa, geotérmica e outras formas de energia renovável. As fontes renováveis oferecem uma série de vantagens, como a redução das emissões de gases com efeito de estufa, o desenvolvimento econômico, a redução da dependência dos combustíveis fósseis e a promoção da inovação tecnológica (ABSOLAR, 2020). A utilização de energias renováveis é incentivada a nível mundial como parte dos esforços para mitigar as alterações climáticas, promover a segurança energética e criar um futuro mais sustentável (SEBRAE, 2022).

O território brasileiro apresenta características favoráveis para o uso de fontes renováveis, especialmente a energia solar, da qual a região Nordeste possui alto potencial para utilização, possuindo níveis de irradiação favoráveis, o que o torna um candidato natural para investimentos na geração de energia elétrica a partir desta fonte (BEZERRA, 2021).

A energia solar é uma fonte com recursos inesgotáveis, sendo a mais abundante do planeta (KEMERICH et al., 2016). Além disso, é uma fonte de energia limpa e renovável que causa menos impacto ambiental em comparação com usinas hidrelétricas, nucleares ou termelétricas, que emitem grandes quantidades de CO₂ na atmosfera (MENEGUZZO et al., 2015).

A utilização de sistemas fotovoltaicos para produção de energia elétrica é considerada uma alternativa promissora quando comparada a outras fontes de geração. Um dos principais fatores que favorece a utilização está associado ao fato do sistema possuir uma longa vida útil (no mínimo, 25 anos). Além disso, o retorno do investimento é relativamente rápido e possui uma baixa manutenção. O sistema também possui um impacto ambiental limitado pois praticamente carece de emissões de resíduos ou poluição (JUNIOR, PEREIRA E LIRA, 2021).

1.2. Justificativa

A energia solar é uma fonte de energia renovável obtida a partir da luz solar, captada e convertida em eletricidade ou calor através de equipamentos como painéis e coletores solares. Ademais, a energia solar é uma das fontes de energia mais abundantes e limpas, proporcionando soluções sustentáveis para as necessidades energéticas da sociedade.

O Nordeste é uma região com grande potencial e propícia para a geração fotovoltaica pois tem características geográficas e climáticas que a favorecem (Silva et al., 2016). Segundo o Portal Solar (2021), os níveis de incidência solar na cidade de Coremas-PB são considerados um dos mais altos do Nordeste favorecendo a geração de energia fotovoltaica e o desenvolvimento da região.

A cidade de Coremas-PB possui comunidades rurais que são atendidas pelo fornecimento de energia elétrica para suas atividades econômicas (agricultura, pecuária, piscicultura, entre outros) e para o uso do dia a dia. As comunidades são, geralmente, de baixa renda e beneficiados com descontos em suas contas de energia por meio da aplicação da Tarifa Social.

A utilização de sistemas fotovoltaicos para geração de energia nas residências das comunidades poderia reduzir os custos da conta de energia elétrica, além de ser possível constituir créditos para eventuais compensações futuras.

Nesse sentido, o presente trabalho visa analisar a viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico em um conjunto de residências de uma comunidade localizada no município de Coremas – PB e definir se há um retorno favorável em detrimento aos benefícios da tarifa social.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade de implantação de um sistema de energia solar para atendimento de residências de uma comunidade da cidade de Coremas – PB.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudar a demanda de energia elétrica das residências;
- Pré-dimensionar um sistema de geração solar fotovoltaica;
- Identificar os impactos da implementação do sistema para as residências;
- Comparar o retorno considerando o tipo de tarifa aplicado nas residências.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

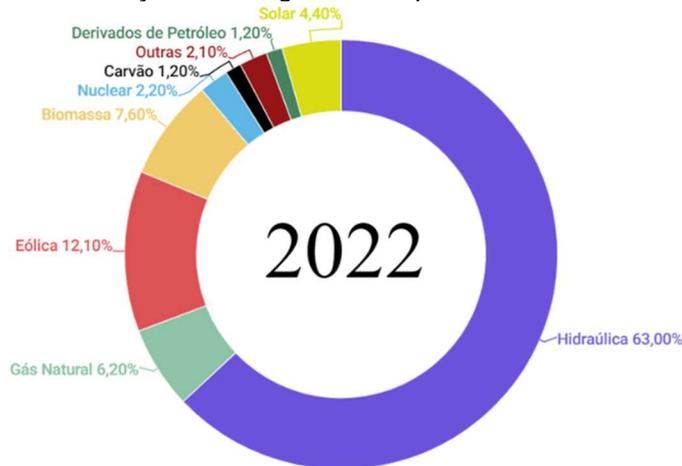
2.1. Matriz Elétrica e Energias Renováveis

A energia elétrica representa uma parte significativa do consumo e dos investimentos em pesquisa, sendo essencial para a vida nas sociedades modernas. O consumo de energia elétrica tem crescido mais rapidamente do que o consumo de energia em geral, indicando que a eletricidade ocupa uma porção cada vez maior no consumo global de energia (PETIT, 2019).

As energias renováveis são consideradas inesgotáveis porque são derivadas de recursos naturais que se regeneram continuamente. As fontes renováveis incluem a energia hídrica (da água dos rios), a energia solar (da luz solar), a energia eólica (do vento), a biomassa (da matéria orgânica), a energia geotérmica (da energia no interior da Terra) e a energia oceânica (da maré e das ondas). Tais fontes são consideradas limpas, pois emitem uma quantidade menor de gases de efeito estufa (GEE) que as fontes fósseis e, por isso, estão ganhando espaço no mercado brasileiro e mundial (EPE, 2019).

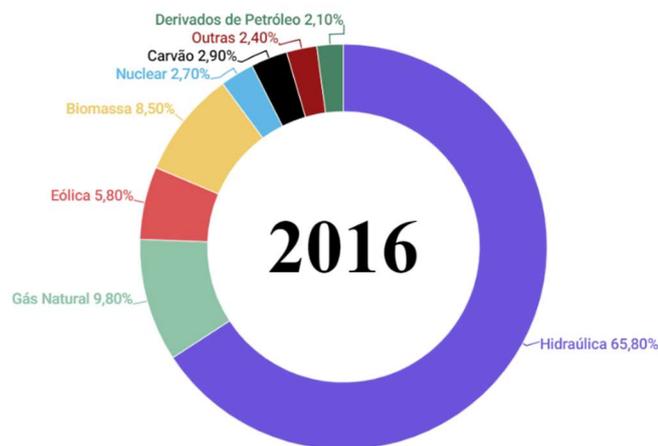
Entre os anos de 2021 e 2022, a capacidade de geração de eletricidade no Brasil aumentou em 8,3%, tendo como principal recurso o uso da energia hidráulica. Porém, como resultado da crescente utilização de diferentes fontes de energias renováveis, a maior expansão proporcional ocorreu no uso de geração solar, que teve na potência instalada um aumento de 82,4% em relação ao ano de 2021, correspondendo a uma expansão de 11 GW de plantas de geração solar (EPE, 2023). Os dados referentes à geração elétrica por fonte, no ano de 2022 e 2016, podem ser observados nas Figura 1 e 2.

Figura 1 – Geração de energia elétrica por fonte no Brasil em 2022



Fonte: Adaptado da EPE (2023)

Figura 2 – Geração de energia elétrica por fonte no Brasil em 2016



Fonte: Adaptado da EPE (2017)

A partir das Figuras 1 e 2 é possível perceber que as fontes de geração de energia elétrica de 2016 e 2022 sofreram mudanças significativas na matriz elétrica brasileira. Em 2016 a energia solar estava incluída na categoria “Outras” e em 2022, já estava com uma participação considerável na matriz elétrica (4,4%). A energia eólica foi a que mais se destacou com aumento na participação, possuindo em 2016 uma contribuição de 5,8% na geração, enquanto que em 2022 possuía 12,1%, representando um aumento de 6,3%.

Devido ao rápido desenvolvimento, o uso da energia solar e eólica tem muitos benefícios quando se trata de energias tradicionais e mesmo de outros tipos de energias renováveis. Nos últimos anos, foram feitos progressos significativos em uma variedade de novas tecnologias (Alsharif et al., 2018; Settino et al., 2018) que contribuíram para o aumento da participação no mercado. Portanto, apesar de suas

limitações, como custo inicial elevado e necessidade de condições naturais favoráveis, ambas as fontes de energia fornecem inúmeros benefícios à sociedade, como a redução do uso de combustíveis fósseis e a criação de empregos. As vantagens e desvantagens das energias solar e eólica estão representadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens das fontes de energias solar e eólica

Fontes de Energia	Solar	Eólica
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Energia renovável e sustentável; • Manutenção mínima dos painéis solares; • Agrega valor ao imóvel; • Ocupa menos espaço; • Livre das alterações de taxas; • Excelente vida útil; • Economia na conta de luz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Energia renovável e sustentável; • Manutenção mínima das turbinas eólicas ou aerogeradores; • Geração de renda e melhores condições, devido ao arrendamento de terras; • Reduz a elevada dependência energética do exterior; • Excelente rentabilidade.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Variações do clima; • Necessita de incidência solar; 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto visual e sonoro considerável; • Altos custos para implantação; • Intermitência dos ventos;

Fonte: Adaptado de Araújo et al. (2024)

Com relação quantidade de energia elétrica gerada, em 2022 foram produzidos 677 TWh de eletricidade, correspondendo a um crescimento de 3,2% entre 2021 e 2022. Nesse período, as maiores quedas percentuais na geração termelétrica a derivados do petróleo (-57,2%), carvão (-54,6%) e gás natural (-51,6%) (EPE, 2023).

Com relação às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes da geração elétrica no Brasil, houve redução de 43%, com destaque para o gás natural (-61,4%) e carvão (-56,4%). No entanto, no Sistema Isolado, houve um aumento de 8,4% em 2022 em relação ao ano anterior. Os valores percentuais de emissões de gases no SIN podem ser visualizados no Quadro 2.

Quadro 2 – Emissões de gases no Sistema Interligado Nacional

Fonte	2018	2019	2020	2021	2022	% (2022/2021)
Total	34	34	30	55	22	-60,40%
Gás Natural	1	0	18	31	12	-61,40%
Carvão	2	1	10	16	7	-56,40%
Óleo Diesel	19	20	0	2	2	51,70%
Óleo Combustível	12	13	1	5	0	-99,40%

Fonte: Adaptado do Balanço Energético Nacional (2023)

Um termo que se destaca hoje é desenvolvimento sustentável, que vem ganhando cada vez mais uso após a Conferência das Nações Unidas no Rio de Janeiro (ECO92). De acordo com Beatriz et al. (2011), o desenvolvimento sustentável envolve três critérios: econômico, buscando o desenvolvimento duradouro; ambiental ou ecológico, desenvolvendo-se em equilíbrio com os sistemas naturais; e social, a distribuição justa de renda e serviços prestados pela economia. A energia é a base do desenvolvimento e devem ser procuradas novas fontes de energia que reduzam os problemas de emissões de gases de efeito estufa e diminuam a dependência de combustíveis fósseis, como a energia solar.

2.2. Energia Solar

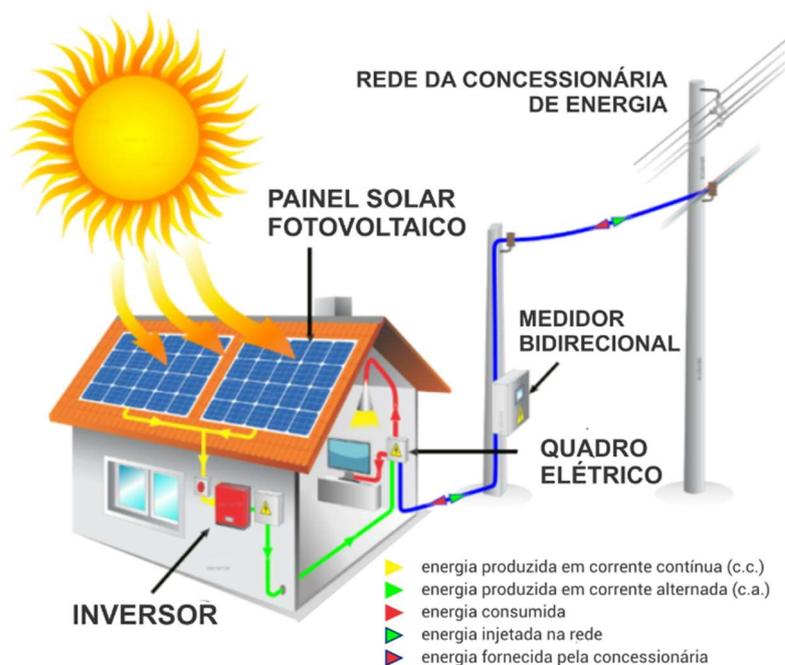
A energia solar é uma forma de energia renovável e sustentável obtida a partir da luz do sol, em que é coletada e transformada em eletricidade ou calor por meio de equipamentos como painéis solares e coletores solares. Na energia solar térmica, a luz solar é utilizada para aquecer um fluido, como água ou um fluido térmico, a partir de coletores solares. Na energia solar fotovoltaica a luz solar pode ser convertida diretamente em energia elétrica através da aplicação de dispositivos semicondutores que utilizam o efeito fotovoltaico para conversão.

O uso da energia solar para geração de energia elétrica tem crescido significativamente nos últimos anos devido à busca contínua por fontes de energia renováveis. De 2016 até março de 2024 houve um aumento de 41.180 MW de potência instalada na fonte solar fotovoltaica no Brasil (ABSOLAR, 2024).

Os principais componentes da energia fotovoltaica são as placas solares (módulo fotovoltaico) e inversores. As placas solares transformam a luz solar (os fótons) em energia elétrica contínua, que é então convertida em corrente alternada

pelo equipamento inversor para uso doméstico e para se adequar as características da rede elétrica. A energia que sai do inversor pode ser utilizada para fazer funcionar qualquer equipamento, como TV, som, geladeira, freezer, lâmpadas, máquina de lavar roupa e outros equipamentos (ABSOLAR, 2020). A conversão de energia está representada na Figura 3.

Figura 3 – Funcionamento da conversão de energia



Fonte: InfnitSOLAR (2021)

A energia solar fotovoltaica é adquirida por meio do efeito fotovoltaico, que envolve a transformação direta da luz solar em eletricidade, representando uma alternativa promissora para a expansão da capacidade de geração de energia elétrica com um impacto ambiental reduzido (GASPARIN ET AL., 2021).

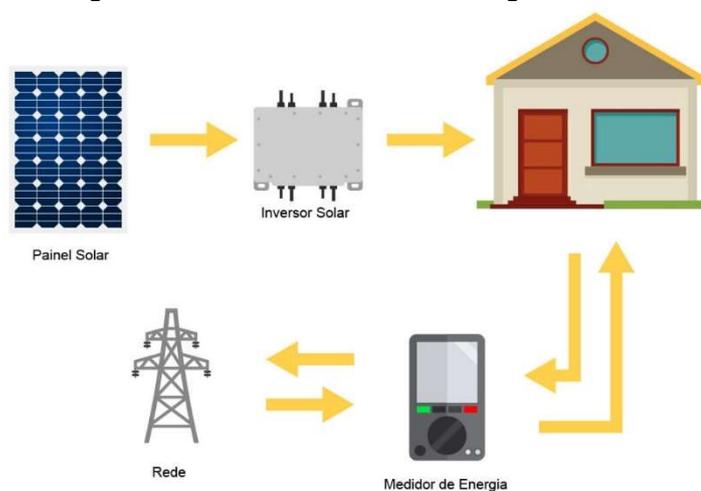
O efeito fotovoltaico ocorre quando a energia solar é diretamente convertida em eletricidade e se baseia no uso de materiais semicondutores, caracterizados pela presença de bandas de energia, uma ocupada por elétrons e outra desocupada. O material mais comumente empregado para esse propósito é o silício. Os átomos desse material possuem quatro elétrons que formam ligações com átomos circundantes, criando uma estrutura em rede (CRESESB, 2006).

2.3. Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos fazem uso de células, módulos e arranjos nos quais o efeito fotovoltaico resulta na geração direta de eletricidade. Algumas características desse tipo de sistema favorecem a sua utilização como: natureza estacionária e silenciosa, ausência de componentes mecânicos móveis e a modularidade dos dispositivos.

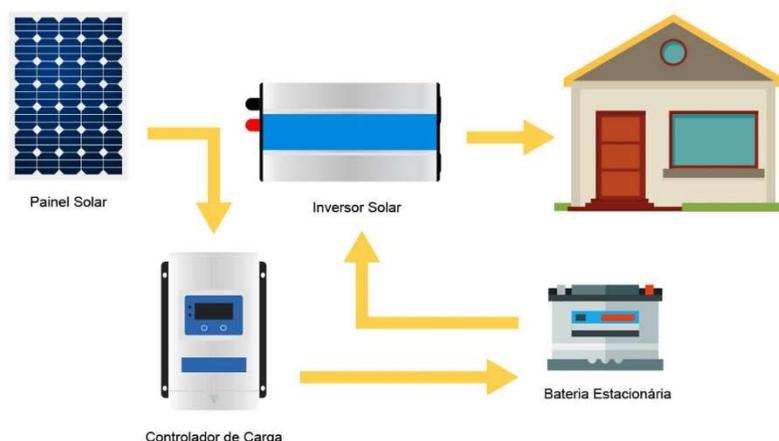
Basicamente, os sistemas fotovoltaicos são compostos por painéis fotovoltaicos, inversor e dispositivos de proteção. Quando o sistema fotovoltaico é ligado à rede da concessionária (*On Grid*) é necessário a utilização de um medidor bidirecional. Em alguns casos, o sistema pode não estar ligados à rede (*Off Grid*), necessitando da utilização de controladores de carga e bancos de bateria para armazenamento da energia excedente. Os sistemas estão representados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Sistema fotovoltaico interligado à rede



Fonte: NeoSolar (2021)

Figura 5 – Sistema fotovoltaico não interligado à rede



Fonte: NeoSolar (2021)

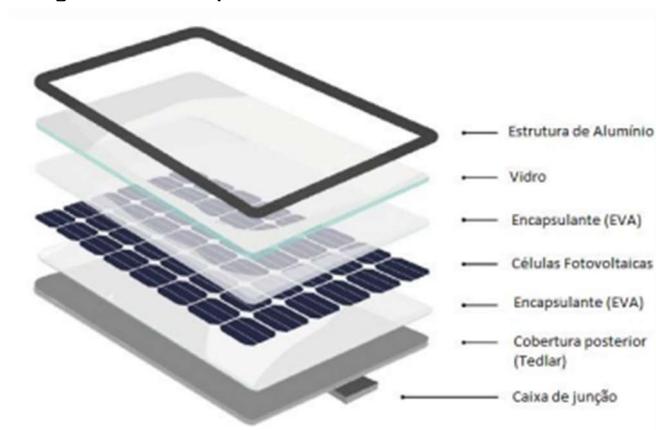
Os sistemas solares são notáveis porque necessitam de pouca manutenção, devido a qualidade e eficiência dos equipamentos. Além disso, a modularidade dos sistemas solares possibilita uma ampla gama de projetos, permitindo adaptações na produção que variam desde mW até MW (PINHO E GALDINO, 2014).

2.3.1. Painel Fotovoltaico

Os painéis solares são dispositivos compostos por células fotovoltaicas que convertem a luz solar em eletricidade. Geralmente, eles são feitos de silício cristalino ou outros materiais semicondutores, encapsulados em camadas protetoras de vidro e plástico para resistir às condições ambientais.

A estrutura de um módulo fotovoltaico convencional é composta pelos seguintes componentes: substrato (tedlar), conjunto de células fotovoltaicas ligadas em série, material encapsulante (EVA), vidro para proteção mecânica, bordas de alumínio para ligação entre esses materiais, garantindo proteção e isolamento das intempéries e da caixa de junção onde os diodos de by-pass estão localizados e onde os terminais positivo e negativo da bateria se conectam (LORENZO, 2006; PINHO E GALDINO, 2014). Os componentes de um módulo fotovoltaico estão apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Componentes de um módulo fotovoltaico

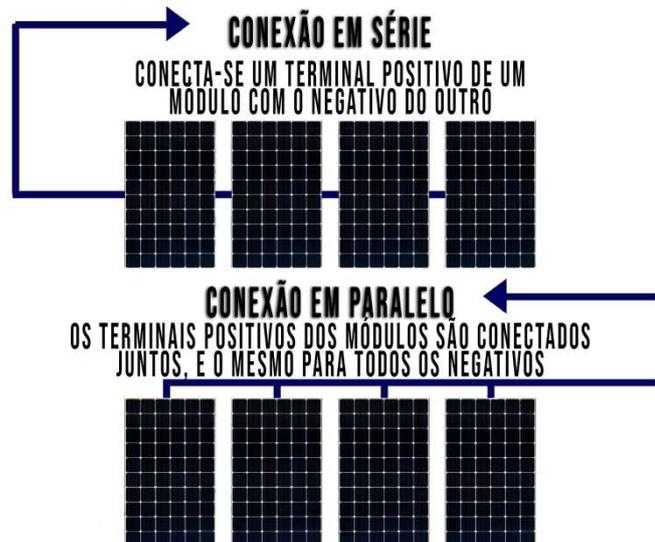


Fonte: Aryan et al. (2018)

Em geral, os painéis solares são instalados em telhados de edifícios residenciais e comerciais, tanto em locais urbanos quanto rurais com exposição suficiente ao sol. Além disso, os painéis podem ser instalados em terrenos abertos, onde podem ser alinhados em grandes arranjos para maximizar a captação de luz solar.

Os painéis solares podem ser conectados de duas maneiras principais: em série ou em paralelo. Ao usar uma conexão em série, a tensão de saída total do sistema é a soma das tensões de cada painel individual, ocasionando um aumento de tensão. Nos painéis em paralelo, a corrente é a soma das correntes de cada painel individual, resultando em um aumento na corrente. Essas formas de conexão permitem que os sistemas solares maximizem sua eficiência e capacidade de acordo com as necessidades específicas de cada uso. As conexões em série e em paralelo estão representadas na Figura 7.

Figura 7 – Conexão dos painéis solares



Fonte: Adaptado de Instituto Solar (2024)

2.3.2. Inversor de Frequência

Um inversor é um dispositivo eletrônico que converte energia de uma fonte de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). A mudança do tipo de corrente é fundamental para a incorporação da energia solar aos sistemas elétricos convencionais, pois garante a compatibilidade com a rede elétrica existente e o seu uso, seja ele doméstico ou comercial. Os inversores fotovoltaicos devem fornecer energia na mesma tensão, frequência e amplitude da rede elétrica.

No sistema fotovoltaico, o inversor de frequência monitora o ponto de máxima potência (MPPT) dos painéis solares em tempo real e ajusta suas características de operação para maximizar a produção de energia, mesmo em condições de luminosidade e temperatura variáveis. Além disso, o inversor de frequência oferece controle e eficiência ao sistema fotovoltaico, aumentando sua confiabilidade e desempenho geral como também oferece funções adicionais de sincronização com a rede elétrica e monitoramento em tempo real (PINHO e GALDINO, 2014).

Os inversores comumente utilizados nos sistemas fotovoltaicos podem ser de dois tipos: central ou micro inversores. Os inversores do tipo central (*String*) normalmente são instalados na parede e a conexão dos painéis no inversor é feita em série. Já os micros inversores são instalados no telhado, abaixo dos painéis, e normalmente usados para cada 4 placas solares. Os tipos de inversores estão

representados nas Figuras 8 e 9, enquanto as vantagens e desvantagens dos tipos de inversores estão representadas no Quadro 3.

Figura 8 – Inversor tipo central



Fonte: GeraçãoSOLAR (2020)

Figura 9 – Inversor tipo micro inversor



Fonte: GeraçãoSOLAR (2020)

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens dos tipos de inversores

Tipo de Inversor	Central (<i>String</i>)	Micro inversor
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido processo de reposição, já que se trata de somente um aparelho instalado; • Monitoramento integrado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento individual dos painéis; • Em caso de falha de um dos painéis, não afetará o desempenho geral do sistema; • Instalação flexível, em caso de ampliação do sistema, podendo até mesmo ter painéis com potências diferentes.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de local ventilado e sem circulação de pessoas; • Em caso de falha, o sistema inteiro ficará desligado; • Menos versátil, pois os painéis deverão apontar na mesma direção e ter a mesma potência; • Em caso de falha em algum painel, o desempenho geral será prejudicado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade de acesso devido o micro inversor ser instalado no telhado, embaixo ou próximo dos módulos fotovoltaicos

Fonte: Autor (2024)

2.3.3. Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional desempenha um papel crucial em sistemas de geração de energia, como os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, ao medir e registrar a quantidade de eletricidade que flui tanto para dentro quanto para fora da rede. Em sistemas residenciais ou comerciais, quando os painéis solares geram mais eletricidade do que o necessário, o excedente é injetado na rede elétrica; da mesma forma, quando a demanda excede a geração solar, a eletricidade é retirada da rede. Assim, o medidor bidirecional registra essa troca, medindo tanto a eletricidade consumida da rede quanto a eletricidade gerada e devolvida pelo sistema fotovoltaico. O medidor bidirecional está representado na Figura 10.

Figura 10 – Medidor bidirecional



Fonte: Solis Energia (2019)

No sistema fotovoltaico também há ocorrência de simultaneidade. Esse termo trata-se do quanto da energia gerada pelo sistema fotovoltaico é utilizada diretamente no momento em que é produzida, sem necessidade de armazenamento ou injeção na rede elétrica.

2.3.4. Controlador de Carga

Um controlador de carga é um dispositivo utilizado em sistemas fotovoltaicos off-grid que serve para proteger a bateria contra descargas profundas e sobrecargas, garantindo uma vida útil mais longa. A utilização do controlador de carga torna-se importante pelo fato das baterias consistirem em um equipamento crítico no sistema e representarem a maior parte dos custos incorridos após a instalação de um sistema fotovoltaico. (PINHO; GALDINO, 2014).

No mercado, diferentes tipos de controladores de carga podem ser encontrados com características e preços variados, sendo as opções mais comuns os modelos PWM (*Pulse Width Modulation*) e MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). A seleção desses dispositivos depende do projeto, seguindo algumas características: chaveamento eletrônico, proteção contra inversão de polaridade e desconexão de carga para evitar uso excessivo da bateria (OLIVEIRA, 2019).

2.3.5. Baterias

As baterias são utilizadas, em grande parte, nos sistemas off-grid onde são fundamentais para o armazenamento de energia geradas pelos painéis solares, para uso posterior. As baterias garantem o fornecimento contínuo de eletricidade em locais não conectados à rede elétrica pública, suprindo demandas em momentos de baixa geração de energia, como à noite ou em dias nublados. Além disso, as baterias possibilitam a autonomia desses sistemas, permitindo que operem de forma independente, adaptando-se às variações de geração e demanda. Em alguns casos, a utilização de sistemas de baterias pode ser utilizada em sistemas conectadas à rede, onde podem contribuir para otimizar o uso da eletricidade e reduzir os custos energéticos.

2.4. Radiação e Irradiação Solar

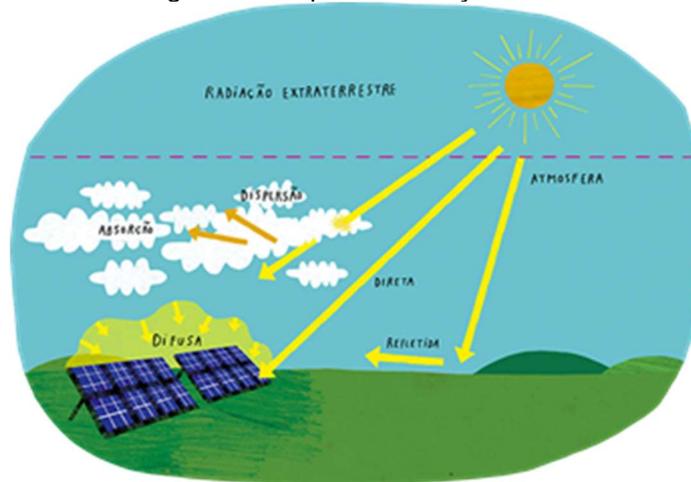
A radiação solar, composta pela luz visível, os raios ultravioletas e os raios infravermelhos, refere-se aos tipos de radiação eletromagnética emitidos pelo sol. Essa radiação é a principal fonte de energia do sistema solar. A radiação solar se origina das reações de fusão que ocorrem no sol e é irradiada em todas as direções sem a necessidade de um meio material para ser transmitida. Essa energia chega até o planeta por meio de ondas eletromagnéticas (VILLALVA, 2012).

A irradiação solar é a quantidade de energia solar que atinge uma superfície terrestre em um determinado período de tempo. Além disso, a irradiação solar é medida em watts por metro quadrado (W/m^2) e indica a disponibilidade de energia solar em um local específico em um determinado momento, com base em uma variedade de fatores ambientais e geográficos.

A energia solar é medida em kWh/m^2 e é recebida pelos módulos fotovoltaicos de três formas diferentes: radiação difusa, radiação direta e radiação refletida (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006). A radiação difusa alcança a superfície terrestre em todas as direções devido à sua propagação nas moléculas e partículas da atmosfera. A radiação direta não sofre desvio pela atmosfera e chega diretamente do sol ao painel fotovoltaico. Por outro lado, a radiação refletida é aquela que sofre reflexão ao incidir em um determinado objeto. A radiação solar global é a soma de

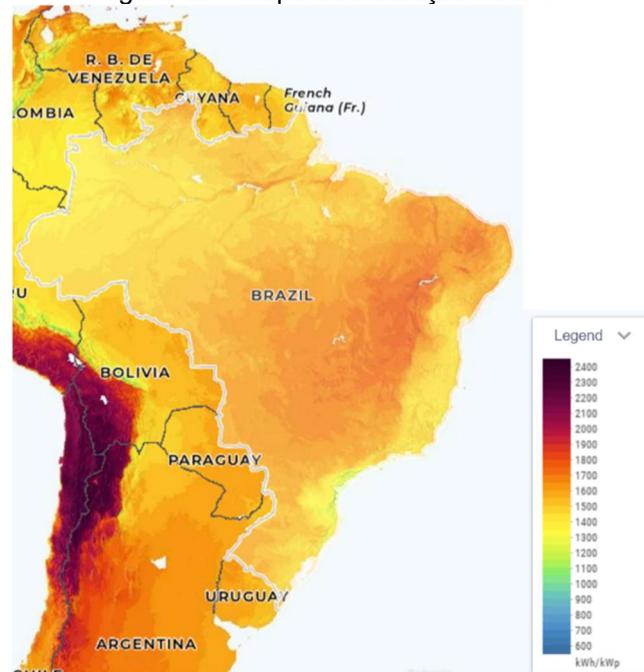
todas as formas de radiação solar que atingem o solo, isto é, a combinação das radiações direta, e refletida. Na Figura 11 está representado os tipos de radiação solar enquanto na Figura 12 é apresentado o mapa com a média da irradiação global no território brasileiro.

Figura 11 – Tipos de radiação solar



Fonte: GENERG (2020)

Figura 12 – Mapa de irradiação no Brasil



Fonte: Atlas Solar Global (2024)

2.5. TUSD Fio B

O Marco Legal da Geração Distribuída, também conhecido como Lei 14.300/2022, entrou em vigor em 2023 possibilitando melhoras na segurança jurídica do mercado e a imposição de tributações aos sistemas de distribuição, o que afeta diretamente as taxas de retorno dos investimentos.

Os sistemas fotovoltaicos homologados em 2023 foram sujeitos a regras de transição, em que uma delas trata-se da cobrança progressiva da TUSD Fio B, que será incorporada à Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). No primeiro ano, será aplicada uma taxa de 15%, aumentando anualmente até atingir 90% dessa componente em 2028. A partir de 2029, estima-se que essa cobrança será de 100%, mas isso dependerá de um estudo a ser realizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), podendo haver alterações a partir de 2029 (GREENER, 2022). Aqueles que não possuem direitos adquiridos e que possuem geração junto à carga, geração compartilhada, EMUC (empreendimento com múltiplas unidades consumidoras) ou autoconsumo menor que 500kW terá a cobrança da TUSD fio B conforme o Quadro 4 (BRASIL, 2022).

Quadro 4 - Cobrança do fio B

Cobrança Gradual do Fio B						
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
15% do Fio B	30% do Fio B	45% do Fio B	60% do Fio B	75% do Fio B	90% do Fio B	Nova Regra

Fonte: Adaptado da Lei 14.300 (2022)

A partir de 2029, serão cobradas todas as componentes do preço da eletricidade não relacionadas com os custos de energia, deduzidos todos os benefícios ao sistema elétrico propiciados pelas centrais de microgeração e minigeração distribuída. A Aneel deverá valorizar esses benefícios de acordo com as diretrizes do Conselho Nacional de Política Energética (BRASIL, 2022). A Figura 13 representa o resumo das regras de transição.

Figura 13 – Resumo das regras de transição

Regra de transição do Marco Legal

- A transição para a nova regra dependerá de **dois fatores** principais:



Fonte: GREENER (2022)

2.6. Tarifa Social

A Lei nº 10.438/2002 introduziu o programa Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), unificando critérios e estabelecendo um programa em nível nacional. Um dos objetivos da legislação foi criar uma classificação residencial para consumidores de baixa renda, resultando em tarifas de energia mais baixas. A classificação foi viabilizada através da análise da correlação entre as variáveis de renda e consumo de energia (BRASIL, 2002).

Os consumidores pertencentes à Subclasse Residencial Baixa Renda recebem descontos, resultando na isenção das taxas associadas à Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA. A Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010 e o Decreto nº 7.583, de 13 de outubro de 2011, regulamentam esse benefício (ANEEL, 2022). Além dessas isenções, descontos adicionais são aplicados na tarifa residencial, de forma cumulativa, conforme descrito no Quadro 5. Com a implementação do sistema fotovoltaico na residência, a Tarifa Social é perdida e ocorre a cobrança comum de tarifa da concessionária.

Quadro 5 - Descontos da Tarifa Social de energia elétrica

Faixa de Consumo (kWh/mês)	Desconto
De 0 a 30 kWh	65%
de 31 kWh a 100 kWh	40%
De 101 kWh a 220 kWh	10%
Superior a 220 kWh	0%

Fonte: Adaptado da Lei 12.212 (2010)

2.7. Payback Simples

O Método do *Payback* Simples é uma ferramenta financeira comum utilizada para avaliar a viabilidade econômica de projetos de investimento, incluindo a instalação de sistemas fotovoltaicos em residências. O método permite calcular o tempo necessário para recuperar o investimento inicial por meio dos fluxos de caixa gerados pelo projeto.

O *payback* é essencial na análise de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos residenciais, pois ajuda a determinar em quantos anos o retorno do investimento se iguala ou supera o valor inicial investido. Basicamente, o cálculo do *payback* envolve determinar o período de tempo em que a soma dos fluxos de caixa do projeto se iguala ao investimento inicial, indicando o tempo necessário para recuperar o capital investido.

O resultado é expresso em anos ou meses, dependendo da precisão desejada na análise econômica do projeto.

2.8. Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma técnica avançada de análise de investimentos que considera o valor do dinheiro ao longo do tempo. Com o VPL, os fluxos de caixa futuros de uma empresa são ajustados a uma taxa específica, também chamada de taxa de desconto, custo de oportunidade ou custo de capital (GITMAN, 2002). Dessa maneira, é possível avaliar se um fluxo de caixa futuro, ajustado a uma taxa apropriada, resultará em um retorno positivo ou negativo.

No estudo de viabilidade econômica de um projeto de sistema fotovoltaico residencial, o Valor Presente Líquido (VPL) é uma ferramenta utilizada para calcular

o retorno financeiro esperado em relação aos custos iniciais do sistema. Os fluxos de caixa futuros são estimados e ajustados de acordo com a taxa de desconto determinada, permitindo avaliar se o projeto é economicamente viável.

Para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) em um projeto de sistema fotovoltaico residencial, é crucial considerar todos os fluxos de caixa relevantes ao longo do tempo. Isso abrange os custos iniciais de instalação do sistema, como a compra de equipamentos e a mão de obra necessária, além dos fluxos de caixa futuros, como a economia gerada pela energia produzida.

A fórmula fundamental do Valor Presente Líquido (VPL) envolve a soma de todos os fluxos de caixa futuros, deduzidos por uma taxa de desconto adequada. Quanto maior a taxa de desconto, menor será o valor atribuído aos fluxos de caixa futuros.

Após o cálculo, um VPL positivo indica que o projeto de sistema fotovoltaico residencial é economicamente viável, pois o retorno financeiro esperado supera o investimento inicial. Por outro lado, um VPL negativo sugere que o projeto pode não ser vantajoso economicamente, indicando que o investimento provavelmente não será recuperado.

Ao utilizar o Valor Presente Líquido (VPL) para avaliar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico residencial, é importante levar em conta outras métricas financeiras, como a Taxa Interna de Retorno (TIR), para obter uma análise abrangente e sólida da viabilidade do projeto.

2.9. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é empregada para identificar a taxa de retorno que um projeto proporciona. Quanto maior a TIR, mais atrativo é o investimento. O cálculo da TIR é normalmente realizado por meio de um processo iterativo, no qual diferentes taxas são testadas até encontrar aquela que torna o Valor Presente Líquido (VPL) dos fluxos de caixa igual a zero (MONTEVECHI; PAMPLONA, 2006).

Se a TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade o investimento é considerado viável, pois a taxa de retorno esperada é superior à requerida pelos investidores. Por outro lado, se a TIR for menor do que a taxa mínima de atratividade o investimento pode não ser financeiramente atrativo.

Na análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico residencial, a Taxa Interna de Retorno (TIR) possui uma relevância significativa na avaliação do projeto. A TIR oferece uma medida da lucratividade do investimento, indicando a taxa de retorno esperada ao longo do tempo.

Para calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR), são considerados os fluxos de caixa futuros esperados do projeto, abrangendo os custos iniciais de instalação do sistema, os fluxos de caixa gerados pela economia de energia, as receitas provenientes de programas de compensação energética ou venda de energia excedente, e quaisquer outros benefícios financeiros relevantes.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho, com a descrição do material utilizado e os procedimentos adotados para a análise.

3.1. Material

O estudo para implantação do sistema fotovoltaico foi realizado considerando uma comunidade localizada no município de Coremas – PB e composta por 11 residências. Para tanto, os dados de consumo médio mensal de energia elétrica das residências foram determinados considerando as faturas de energia elétrica no período de janeiro/2023 até dezembro/2023. No Quadro 6 é possível visualizar o consumo médio mensal das residências.

Quadro 6 – Consumo médio das residências da comunidade

Residências	Consumo médio mensal (kWh)
R1	376,92
R2	289,13
R3	91,10
R4	86,83
R5	73,50
R6	59,44
R7	37,42
R8	36,75
R9	30
R10	30
R11	30

Fonte: Autor (2024)

A partir dos valores informados no Quadro 6, uma análise prévia sobre a viabilidade e atratividade da instalação do sistema fotovoltaico foi realizada. Como as residências são beneficiadas pela tarifa social de energia elétrica e a maioria possui consumo médio inferior a 100 kWh, o estudo foi realizado considerando as três residências que possuem maiores consumos (R1, R2 e R3).

3.2. Métodos

3.2.1. Pré-dimensionamento do Sistema

A partir dos valores de consumo médio das residências selecionadas, o pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado para cada residência. Para tanto, inicialmente foi determinado o valor médio de consumo diário com base na equação 01 e considerando que o mês possui 30 dias.

$$\bar{X}d = \frac{\bar{X}m}{30 \text{ dias}} \quad (01)$$

Em que:

$\bar{X}d$ é o consumo médio diário

$\bar{X}m$ é o consumo médio mensal

Em seguida, foram determinados os valores de irradiação solar para o município de Coremas. Para tanto, utilizou-se o programa SunData v3.0 da CRESESB. Considerando as coordenadas 7,001° S e 37,949° O, referentes a cidade de Coremas-PB.

A partir das informações obtidas e considerando um rendimento de 75% foi possível determinar a potência do sistema fotovoltaico para cada residência por meio da equação 02. Esse rendimento foi determinado de forma empírica devido a impossibilidade de calcular as perdas de geração do sistema, que normalmente variam de 22% a 30%.

$$W_{ps} = \frac{\bar{X}d}{I_{rm} * r} \quad (02)$$

Em que:

W_{ps} é a potência do sistema

$\bar{X}d$ é o consumo médio diário

I_{rm} é a irradiação média diária

r é rendimento do sistema

Após a determinação da potência do sistema fotovoltaico foi possível simular e pesquisar em algumas empresas, o orçamento necessário para implantar um sistema que suprisse a necessidade da potência do sistema. Para o estudo, selecionou-se o

maior valor de orçamento no intuito de analisar a situação mais crítica. Juntamente ao orçamento foi obtido a estimativa de geração de energia.

3.2.2. Tarifa Social

As residências analisadas no trabalho estão enquadradas no grupo B1 e possuem o benefício da tarifa social de energia elétrica. A tarifa para o grupo B1 no estado da Paraíba é de R\$0,60219, desconsiderando os impostos e benefícios.

Para determinar a tarifa com impostos foi considerado que a alíquota do PIS é de 1,08%, a alíquota do COFINS é de 5% e a alíquota do ICMS é de 18%. Logo, o valor da tarifa de energia utilizada para os cálculos será de R\$ 0,7819. Para efeito de cálculo, não foram consideradas a taxa de iluminação pública e as bandeiras tarifárias.

No Quadro 7 é possível visualizar os valores das tarifas para o grupo B1 considerando impostos e benefícios, assim como, a ausência deles.

Quadro 7 – Tarifas de energia com e sem geração distribuída

MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL - BAIXA TENSÃO		TUSD + TE	TUSD + TE + IMPOSTOS
TARIFA	Classe	Consumo (R\$/kWh)	Consumo (R\$/kWh)
B1	Até 30 kWh	0,1895	0,2460
	de 30 a 100 kWh	0,3248	0,4218
	de 101 até 220 kWh	0,4872	0,6327
	acima de 220 kWh	0,5414	0,7030
	RESIDENCIAL SEM BENEFÍCIO	0,60219	0,7819

Fonte: Adaptado de ENERGISA (2023)

3.2.3. TUSD Fio B

Para a análise dos encargos referente a TUSD fio B foi utilizado o valor obtido no site da Aneel para a concessionária ENERGISA/PB, que corresponde ao valor de R\$ 0,21248. A tarifa da TUSD fio B utilizada refere-se a uma residência do Subgrupo B1, Modalidade Convencional, da classe e subclasse Residencial. O valor do TUSD fio B está representado no Quadro 8 abaixo.

Quadro 8 – Tarifa TUSD fio B

Tarifa TUSD Fio B		
Unidade	Componente Tarifária	Valor (R\$)
MWh	TUSD Fio B	212,48
kWh	TUSD Fio B	0,21248

Fonte: Adaptado da ANEEL (2023)

A cobrança do Fio B segue um aumento progressivo até o ano de 2029, alcançando 100% do seu total. Os valores específicos para cada ano estão detalhados no Quadro 4.

3.2.4. Parâmetros para projeções de geração e consumo do sistema

Uma vez realizado o pré-dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos e levantado os custos de instalação, projeções sobre a geração do sistema e do consumo de energia elétrica foram realizados para um período de 25 anos.

Para a geração do sistema foi considerado um decaimento da potência máxima de saída das placas de 0,7% ao ano. Dessa forma, a capacidade máxima de geração será de aproximadamente 80% no final do período estimado. Para o consumo de energia elétrica foi considerado um aumento anual médio de 4,3%, que seria o crescimento para o período 2017-2026 (EPE,2017) e um fator de simultaneidade de 30%, considerando que esse valor é comum para análise de residências (ENERGES, 2022).

Para os cálculos do custo da energia elétrica foram utilizados os valores das tarifas com tributos cobrados pela concessionária Energisa - PB (Quadro 7) e considerando uma taxa de inflação de 8% ao ano. Para analisar o custo do consumo de energia elétrica com o sistema fotovoltaico foi empregado o valor de tarifa sem benefícios. Já para o caso de o consumidor não possuir o sistema de geração foram utilizados os valores de tarifa com benefícios.

As residências estudadas possuem alimentação monofásica. Dessa forma, o consumidor que possui sistema de geração está sujeito a pagar no mínimo 30 kWh por mês, mesmo que sua demanda real seja menor. Para uma análise mais rigorosa

do retorno financeiro das situações, os créditos gerados não foram incluídos nem compensados.

3.2.5. Viabilidade Econômico-financeira

Para avaliar a viabilidade financeira e o retorno do investimento no sistema fotovoltaico, foram utilizados os métodos de análise de investimento: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* simples.

3.2.5.1. *Payback* Simples

O método do *payback* simples foi utilizado para examinar o retorno do investimento. O processo envolve:

- Determinar o valor do investimento inicial para a implantação do sistema de energia solar;
- Realizar uma estimativa do fluxo de caixa a partir das receitas e economias obtidas com a utilização do sistema fotovoltaico ao longo do tempo, considerando tanto os ganhos como a geração de energia solar quanto os custos operacionais associados;
- Somar os fluxos de caixa ao longo do tempo e, a partir do valor acumulado, determinar o período necessário para recuperar o investimento inicial.

O fluxo de caixa do investimento é determinado pela diferença entre o custo da conta de energia elétrica com e sem a energia solar.

3.2.5.2. Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido foi calculado conforme a Equação 03.

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{Fc * t}{(1 + i)^n} \quad (03)$$

Em que:

VPL é o Valor Presente Líquido;

Fc é o fluxo de caixa;

t é o momento em que o fluxo de caixa ocorreu;

i é a taxa de desconto (ou taxa mínima de atratividade);

n é o período de tempo.

A taxa de desconto empregada foi de 8% e o tempo total analisado foi de 25 anos.

3.2.5.3. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno foi calculada conforme a Equação 04.

$$0 = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} \quad (04)$$

Em que:

Fc = fluxo de caixa;

TIR = Taxa interna de Retorno;

N = período de tempo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos durante o estudo e desenvolvimento do trabalho e as análises comparativas de viabilidade financeira entre implantação do sistema e conta de energia com benefício social.

4.1. Potência dos Sistemas

A partir dos dados de consumo médio informados no Quadro 6 (seção 3.1), determinou-se o consumo médio diário das residências R1, R2 e R3, conforme o Quadro 9.

Quadro 9 – Consumo médio diário das residências

Residências	Consumo médio diário (kWh/dia)
R1	12,56
R2	9,64
R3	3,04

Fonte: Autor (2024)

Os valores de irradiação solar para Coremas, utilizando o SunData v3.0, estão representados no Quadro 10.

Quadro 10 – Irradiação solar mensal do município de Coremas-PB

Estação: Coremas
Município: Coremas, PB - BRASIL
Latitude: 7,001° S
Longitude: 37,949° O
Distância do ponto de ref. (6,99926° S; 37,9352° O): 1,5 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	6,24	6,23	6,23	5,92	5,33	4,91	5,18	5,99	6,44	6,58	6,73	6,39	6,01	1,83
✓	Ângulo igual a latitude	7° N	5,97	6,07	6,22	6,08	5,61	5,23	5,49	6,23	6,51	6,46	6,46	6,07	6,03	1,28
✓	Maior média anual	6° N	6,01	6,10	6,23	6,06	5,57	5,19	5,45	6,20	6,51	6,48	6,50	6,12	6,03	1,32
✓	Maior mínimo mensal	16° N	5,53	5,78	6,11	6,20	5,88	5,55	5,80	6,43	6,49	6,20	6,01	5,58	5,96	,96

Fonte: CRESESB (2024)

No Quadro 10, é possível visualizar os valores de irradiação solar para o plano horizontal e para planos inclinados, considerando três ângulos de inclinação distintos em relação ao plano horizontal. O ângulo igual à latitude local (7° N); o ângulo que proporciona o maior valor médio diário anual de irradiação solar (6° N); e o ângulo que proporciona o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar (16° N). As inclinações obtidas são sugestões para a instalação dos painéis fotovoltaicos, com

base na latitude local (0° N) sendo utilizada como ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico instalado.

O ângulo que proporciona a maior média diária anual de irradiação solar geralmente é escolhido quando se busca maximizar a geração anual de energia. Por outro lado, o ângulo que resulta no menor valor mínimo mensal de irradiação solar é frequentemente adotado como uma medida conservadora, especialmente em situações em que a disponibilidade contínua de energia elétrica é crucial para as atividades principais. Por isso, busca-se minimizar o risco de falta de energia ao utilizar esse ângulo mais conservador.

O valor da irradiação solar diária no local selecionado para os cálculos foi de 6,01 kWh/m².dia. Desse modo, a potência do sistema das residências R1, R2 e R3 foram calculadas a partir da Equação 2 e podem ser visualizadas no Quadro 11.

Quadro 11 – Potência do sistema das residências

Residências	Potência do Sistema (kWp)
R1	2,80
R2	2,14
R3	0,70

Fonte: Autor (2024)

4.2. Geração e Consumo dos Sistemas

A partir dos valores informados no Quadro 11 foi possível estimar a geração média mensal para as residências R1, R2 e R3. Para a residência R1, estima-se que a geração média mensal de energia elétrica seja de 442,47 kWh e o consumo médio de 376,92 kWh. Para a residência R2 é estimado a geração média mensal de 353,97 kWh e o consumo médio de 289,13 kWh. Para residência R3, estima-se que a geração média mensal de energia elétrica seja de 132,75 kWh e o consumo médio de 91,10 kWh.

Nos Quadros 12, 13 e 14, é possível observar o consumo médio anual da residência, bem como a quantidade de energia gerada e utilizada pelo sistema fotovoltaico.

Quadro 12 – Consumo e geração média mensal da residência R1

Ano	Geração média mensal (kWh)	Consumo médio mensal (kWh)	Injetado (kWh)	Consumo simultâneo (kWh)	Energia consumida da rede (kWh)	Energia comprada (kWh)
	[A]	[B]	[C]	[D]=[A-C]	[E]=[B-D]	[F]=[E-C]
1	442	377	310	133	244	0
2	439	393	308	132	261	0
3	436	410	305	131	279	0
4	433	428	303	130	298	0
5	430	446	301	129	317	16
6	427	465	299	128	337	38
7	424	485	297	127	358	61
8	421	506	295	126	380	85
9	418	528	293	125	402	110
10	415	551	291	125	426	135
11	412	574	289	124	451	162
12	410	599	287	123	476	189
13	407	625	285	122	503	218
14	404	652	283	121	530	248
15	401	680	281	120	559	279
16	398	709	279	119	589	311
17	395	739	277	119	621	344
18	393	771	275	118	653	378
19	390	804	273	117	687	414
20	387	839	271	116	723	452
21	384	875	269	115	760	490
22	382	912	267	115	798	531
23	379	952	265	114	838	573
24	376	993	264	113	880	616
25	374	1035	262	112	923	661

Fonte: Autor (2024)

Quadro 13 – Consumo e geração média mensal da residência R2

Ano	Geração média mensal (kWh)	Consumo médio mensal (kWh)	Injetado (kWh)	Consumo simultâneo (kWh)	Energia consumida da rede (kWh)	Energia comprada (kWh)
	[A]	[B]	[C]	[D]=[A-C]	[E]=[B-D]	[F]=[E-C]
1	354	289	248	106	183	0
2	351	302	246	105	196	0
3	349	315	244	105	210	0
4	347	328	243	104	224	0
5	344	342	241	103	239	0
6	342	357	239	103	254	15
7	339	372	238	102	270	33
8	337	388	236	101	287	51
9	335	405	234	100	305	70
10	332	422	233	100	323	90
11	330	440	231	99	342	111
12	328	459	229	98	361	132
13	325	479	228	98	382	154
14	323	500	226	97	403	177
15	321	521	225	96	425	200
16	319	544	223	96	448	225
17	316	567	221	95	472	251
18	314	591	220	94	497	277
19	312	617	218	94	523	305
20	310	643	217	93	550	334
21	308	671	215	92	579	364
22	305	700	214	92	608	395
23	303	730	212	91	639	427
24	301	761	211	90	671	460
25	299	794	209	90	704	495

Fonte: Autor (2024)

Quadro 14 – Consumo e geração média mensal da residência R3

Ano	Geração média mensal (kWh)	Consumo médio mensal (kWh)	Injetado (kWh)	Consumo simultâneo (kWh)	Energia consumida da rede (kWh)	Energia comprada (kWh)
	[A]	[B]	[C]	[D]=[A-C]	[E]=[B-D]	[F]=[E-C]
1	133	91	93	40	51	0
2	132	95	92	40	55	0
3	131	99	92	39	60	0
4	130	103	91	39	64	0
5	129	108	90	39	69	0
6	128	112	90	38	74	0
7	127	117	89	38	79	0
8	126	122	88	38	84	0
9	125	128	88	38	90	2
10	125	133	87	37	96	8
11	124	139	87	37	102	15
12	123	145	86	37	108	22
13	122	151	85	37	114	29
14	121	157	85	36	121	36
15	120	164	84	36	128	44
16	119	171	84	36	135	52
17	119	179	83	36	143	60
18	118	186	82	35	151	69
19	117	194	82	35	159	77
20	116	203	81	35	168	87
21	115	211	81	35	177	96
22	115	221	80	34	186	106
23	114	230	80	34	196	116
24	113	240	79	34	206	127
25	112	250	79	34	217	138

Fonte: Autor (2024)

Na primeira coluna [A], são apresentadas as projeções de geração do sistema fotovoltaico, começando com a geração média mensal no primeiro ano. Nos anos subsequentes, é observado um decréscimo na potência, com uma taxa adotada de decaimento de 0,7% ao ano.

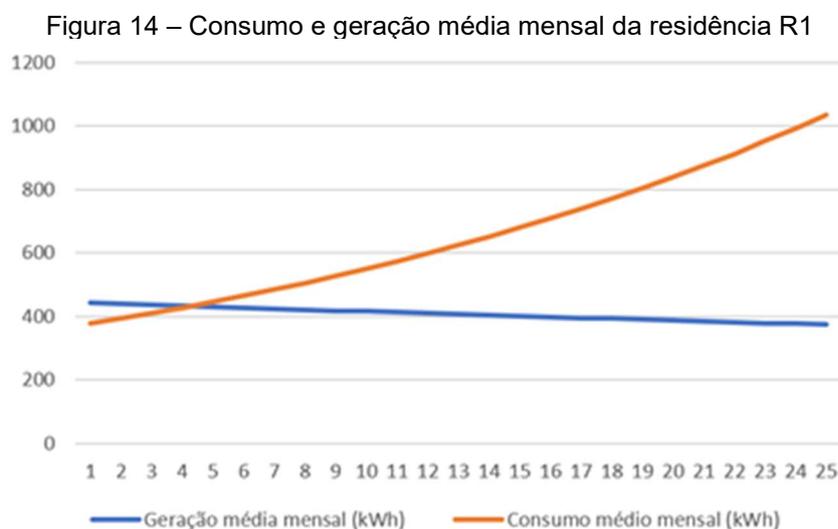
Na coluna [B], são listados os valores de consumo médio mensal da rede de distribuição, levando em conta um aumento de 4,3% ao ano.

Na coluna [C], são apresentadas as quantidades médias mensais de energia gerada pelo sistema fotovoltaico que foram injetadas na rede da concessionária, considerando um fator de simultaneidade de 30%. Enquanto isso, na coluna [D], estão exibidos os valores de consumo simultâneo do sistema, ou seja, a energia que foi consumida e gerada ao mesmo tempo.

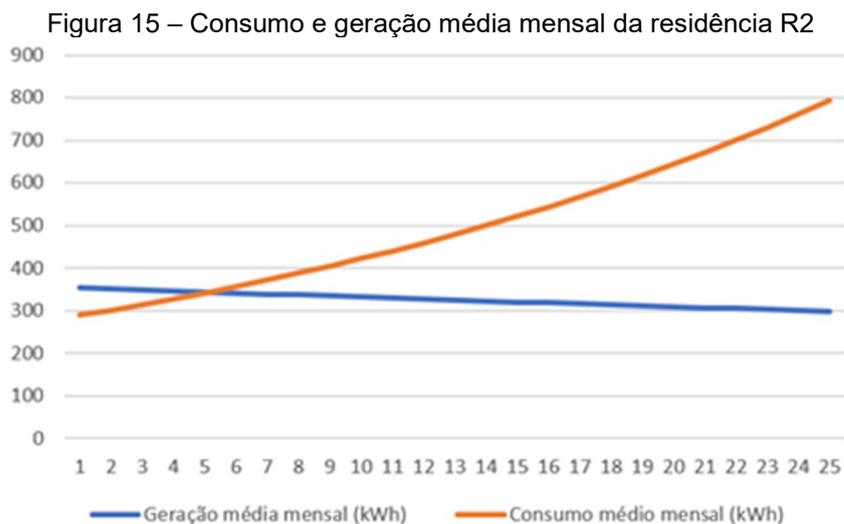
A coluna [E] representa a energia média mensal consumida da rede da distribuidora ao ano, ou seja, a energia que não foi consumida simultaneamente. Essa quantidade é obtida pela diferença entre o consumo médio mensal e o consumo simultâneo.

Na coluna final [F], são apresentados os valores da energia adquirida por mês. Os campos com zero indicam os meses em que houve um excedente de energia gerada. Os créditos gerados não foram incluídos na avaliação do retorno financeiro das situações.

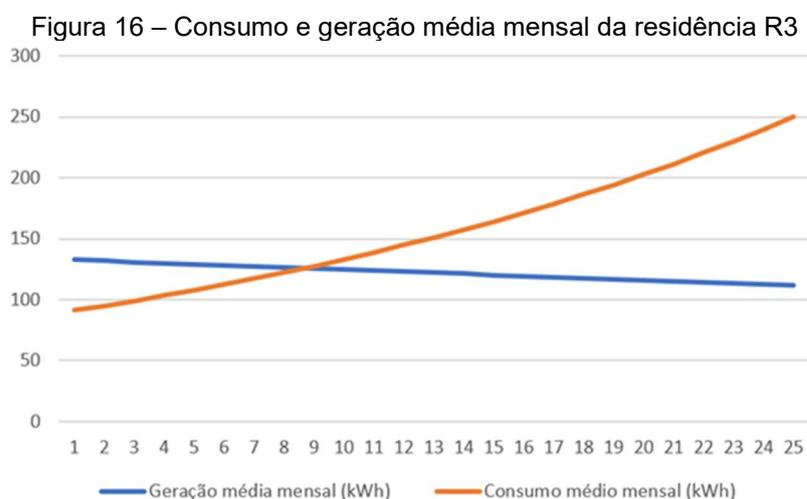
Nas Figuras 14, 15 e 16 é possível visualizar as projeções de geração e consumo ao longo dos 25 anos de vida útil dos sistemas pra as residências R1, R2 e R3, respectivamente.



Fonte: Autor (2024)



Fonte: Autor (2024)



Fonte: Autor (2024)

Os Quadros 15, 16 e 17 mostram os custos com energia para a residência na ausência do sistema de energia fotovoltaica para as residências R1, R2 e R3, respectivamente. Essas projeções são essenciais para calcular o período de retorno do investimento, pois permite analisar a discrepância nos custos com e sem o uso da energia solar.

Quadro 15 – Custo da energia sem geração distribuída R1

Ano	Consumo (kWh)	Custo de energia ao mês sem GD (R\$)	Custo de energia ao ano sem GD (R\$)
	[A]	[B] = [A] x Tarifa Grupo B	[C] = [B] x 12
1	377	R\$ 223,13	R\$ 2.677,56
2	393	R\$ 234,52	R\$ 2.814,28
3	410	R\$ 246,41	R\$ 2.956,88
4	428	R\$ 258,80	R\$ 3.105,61
5	446	R\$ 271,73	R\$ 3.260,74
6	465	R\$ 285,21	R\$ 3.422,53
7	485	R\$ 299,27	R\$ 3.591,28
8	506	R\$ 313,94	R\$ 3.767,29
9	528	R\$ 329,24	R\$ 3.950,87
10	551	R\$ 345,20	R\$ 4.142,34
11	574	R\$ 361,84	R\$ 4.342,05
12	599	R\$ 379,19	R\$ 4.550,34
13	625	R\$ 397,30	R\$ 4.767,59
14	652	R\$ 416,18	R\$ 4.994,18
15	680	R\$ 435,88	R\$ 5.230,51
16	709	R\$ 456,42	R\$ 5.477,01
17	739	R\$ 477,84	R\$ 5.734,10
18	771	R\$ 500,19	R\$ 6.002,25
19	804	R\$ 523,49	R\$ 6.281,93
20	839	R\$ 547,80	R\$ 6.573,64
21	875	R\$ 573,16	R\$ 6.877,89
22	912	R\$ 599,60	R\$ 7.195,22
23	952	R\$ 627,18	R\$ 7.526,20
24	993	R\$ 655,95	R\$ 7.871,41
25	1035	R\$ 685,96	R\$ 8.231,46

Fonte: Autor (2024)

Quadro 16 – Custo da energia sem geração distribuída R2

Ano	Consumo (kWh)	Custo de energia ao mês sem GD (R\$)	Custo de energia ao ano sem GD (R\$)
	[A]	[B] = [A] x Tarifa Grupo B	[C] = [B] x 12
1	289	R\$ 161,33	R\$ 1.935,91
2	301	R\$ 170,06	R\$ 2.040,74
3	314	R\$ 179,17	R\$ 2.150,08
4	328	R\$ 188,68	R\$ 2.264,11
5	342	R\$ 198,59	R\$ 2.383,05
6	357	R\$ 208,93	R\$ 2.507,11
7	372	R\$ 219,71	R\$ 2.636,50
8	388	R\$ 230,95	R\$ 2.771,45
9	405	R\$ 242,68	R\$ 2.912,21
10	422	R\$ 254,92	R\$ 3.059,02
11	440	R\$ 267,68	R\$ 3.212,14
12	459	R\$ 280,99	R\$ 3.371,85
13	479	R\$ 294,87	R\$ 3.538,42
14	500	R\$ 309,35	R\$ 3.712,15
15	521	R\$ 324,45	R\$ 3.893,36
16	543	R\$ 340,20	R\$ 4.082,36
17	567	R\$ 356,62	R\$ 4.279,49
18	591	R\$ 373,76	R\$ 4.485,09
19	617	R\$ 391,63	R\$ 4.699,53
20	643	R\$ 410,27	R\$ 4.923,19
21	671	R\$ 429,71	R\$ 5.156,47
22	700	R\$ 449,98	R\$ 5.399,79
23	730	R\$ 471,13	R\$ 5.653,56
24	761	R\$ 493,19	R\$ 5.918,25
25	794	R\$ 516,19	R\$ 6.194,32

Fonte: Autor (2024)

Quadro 17 – Custo da energia sem geração distribuída R3

Ano	Consumo (kWh)	Custo de energia ao mês sem GD (R\$)	Custo de energia ao ano sem GD (R\$)
	[A]	[B] = [A] x Tarifa Grupo B	[C] = [B] x 12
1	91	R\$ 33,11	R\$ 397,30
2	95	R\$ 34,80	R\$ 417,54
3	99	R\$ 36,48	R\$ 437,79
4	103	R\$ 38,80	R\$ 465,62
5	108	R\$ 41,97	R\$ 503,58
6	112	R\$ 44,50	R\$ 533,95
7	117	R\$ 47,66	R\$ 571,91
8	122	R\$ 50,82	R\$ 609,87
9	128	R\$ 54,62	R\$ 655,42
10	133	R\$ 57,78	R\$ 693,38
11	139	R\$ 61,58	R\$ 738,93
12	145	R\$ 65,37	R\$ 784,48
13	151	R\$ 69,17	R\$ 830,03
14	157	R\$ 72,97	R\$ 875,58
15	164	R\$ 77,39	R\$ 928,72
16	171	R\$ 81,82	R\$ 981,87
17	179	R\$ 86,88	R\$ 1.042,60
18	186	R\$ 91,31	R\$ 1.095,74
19	194	R\$ 96,37	R\$ 1.156,48
20	203	R\$ 102,07	R\$ 1.224,80
21	211	R\$ 107,13	R\$ 1.285,54
22	221	R\$ 113,20	R\$ 1.358,42
23	230	R\$ 119,87	R\$ 1.438,42
24	240	R\$ 126,82	R\$ 1.521,86
25	250	R\$ 134,07	R\$ 1.608,88

Fonte: Autor (2024)

Na coluna [A], encontram-se os valores do consumo médio mensal das residências em estudo considerando um aumento no consumo de 4,3% ao ano. Na coluna [B], são apresentados os custos mensais relacionados ao consumo de energia, considerando as tarifas mostradas no Quadro 4. Já na coluna [C], estão indicados os custos com energia elétrica para cada ano da projeção.

4.3. Retorno dos Sistemas

Uma vez realizado o pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico, alguns orçamentos foram obtidos para cada residência. Para a residência R1 foram obtidos valores entre R\$ 10.000,00 e R\$ 14.000,00. Para a residência R2 os valores variaram de R\$ 9.500,00 a R\$ 13.000,00. Para a residência R3 os valores ficaram entre R\$ 3.000,00 e R\$ 5.000,00. Para fins de análise da viabilidade financeira foram utilizados os maiores valores de orçamento de modo a realizar um estudo mais rigoroso. Deste modo, os valores dos sistemas considerados para as residências R1, R2 e R3 foram R\$ 14.000,00, R\$ 13.000,00 e R\$ 5.000,00, respectivamente.

A cobrança do fio B foi determinada conforme estipulado pela Lei nº 14.300/2022. De acordo com essa regulamentação, o consumidor será tarifado pela energia que ele injeta na rede. Essa cobrança leva em conta um fator de simultaneidade de 30%, o que significa que apenas 70% da energia gerada pelo sistema fotovoltaico é injetada na rede e contabilizada para efeitos de cobrança.

Para os cálculos realizados, levou-se em consideração o valor da tarifa, incluindo os tributos cobrados pela concessionária Energisa PB, no montante de R\$ 0,7819 por kWh. Além disso, foi considerado a cobrança da TUSD Fio B, que corresponde a R\$ 0,21248, sendo cobrado de forma progressiva conforme demonstrado no Quadro 4. Nos Quadros 18, 19 e 20 é possível visualizar o consumo com a tarifação, o consumo da TUSD Fio B, o custo total de energia e o saldo a cada ano, ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema R1, R2 e R3.

Quadro 18 – Custo de energia e saldo com fio B do sistema R1

Ano	Geração total anual (kWh)	Consumo total anual (kWh)	Injetado (kWh)	Consumo simultâneo (kWh)	Energia compensada Fio B (kWh)	Energia consumida da rede (kWh)	Energia resultante após a compensação (kWh)	Consumo com taxaço (R\$)	Consumo com custo de disponibilidade (R\$)	Consumo com Fio B (R\$)	Custo de energia ao ano (R\$)	Saldo (R\$)
	[A]	[B]	[C]	[D] = [A-C]	[E]	[F] = [B-D]	[G] = [F-C]	[H] = [G X Tarifa]	[I] = [H e custo de disponibilidade]	[J] = [E X Fio B]	[K] = [I+J]	[L] = [Custo sem GD-K]
1	5310	4523	3717	1593	2930	2930	0	0,00	281,48	186,78	468,26	2209,30
2	5272	4704	3691	1582	3122	3122	0	0,00	281,48	298,53	580,02	2234,26
3	5236	4892	3665	1571	3321	3321	0	0,00	281,48	423,45	704,93	2251,95
4	5199	5088	3639	1560	3528	3528	0	0,00	281,48	562,24	843,73	2261,88
5	5163	5291	3614	1549	3614	3743	129	100,70	281,48	691,07	972,55	2288,18
6	5126	5503	3588	1538	3588	3965	377	294,45	294,45	762,48	1056,93	2365,60
7	5091	5723	3563	1527	3563	4196	633	494,62	494,62	757,14	1251,76	2339,52
8	5055	5952	3538	1516	3538	4436	897	701,48	701,48	751,84	1453,32	2313,97
9	5019	6190	3514	1506	3514	4684	1171	915,30	915,30	746,58	1661,88	2288,99
10	4984	6438	3489	1495	3489	4942	1453	1136,37	1136,37	741,35	1877,73	2264,62
11	4949	6695	3465	1485	3465	5210	1746	1365,00	1365,00	736,16	2101,16	2240,88
12	4915	6963	3440	1474	3440	5489	2048	1601,49	1601,49	731,01	2332,50	2217,84
13	4880	7242	3416	1464	3416	5777	2361	1846,16	1846,16	725,89	2572,06	2195,53
14	4846	7531	3392	1454	3392	6077	2685	2099,36	2099,36	720,81	2820,17	2174,00
15	4812	7832	3369	1444	3369	6389	3020	2361,43	2361,43	715,77	3077,20	2153,31
16	4779	8146	3345	1434	3345	6712	3367	2632,74	2632,74	710,75	3343,49	2133,51
17	4745	8472	3322	1424	3322	7048	3726	2913,66	2913,66	705,78	3619,44	2114,66
18	4712	8810	3298	1414	3298	7397	4098	3204,59	3204,59	700,84	3905,43	2096,82
19	4679	9163	3275	1404	3275	7759	4484	3505,93	3505,93	695,93	4201,87	2080,06
20	4646	9529	3252	1394	3252	8135	4883	3818,12	3818,12	691,06	4509,18	2064,46
21	4614	9911	3230	1384	3230	8526	5297	4141,59	4141,59	686,22	4827,82	2050,07
22	4581	10307	3207	1374	3207	8933	5726	4476,81	4476,81	681,42	5158,23	2036,99
23	4549	10719	3185	1365	3185	9354	6170	4824,24	4824,24	676,65	5500,89	2025,31
24	4517	11148	3162	1355	3162	9793	6631	5184,40	5184,40	671,91	5856,31	2015,10
25	4486	11594	3140	1346	3140	10248	7108	5557,79	5557,79	667,21	6225,00	2006,47

Fonte: Autor (2024)

Quadro 19 – Custo de energia e saldo com fio B do sistema R2

Ano	Geração total anual (kWh)	Consumo total anual (kWh)	Injetado (kWh)	Consumo simultâneo (kWh)	Energia compensada Fio B (kWh)	Energia consumida da rede (kWh)	Energia resultante após a compensação (kWh)	Consumo com taxaço (R\$)	Consumo com custo de disponibilidade (R\$)	Consumo com Fio B (R\$)	Custo de energia ao ano (R\$)	Saldo (R\$)
	[A]	[B]	[C]	[D] = [A-C]	[E]	[F] = [B-D]	[G] = [F-C]	[H] = [G X Tarifa]	[I] = [H e custo de disponibilidade]	[J] = [E X Fio B]	[K] = [I+J]	[L] = [Custo sem GD-K]
1	4248	3470	2973	1274	2195	2195	0	0,00	281,48	139,94	421,42	1514,49
2	4218	3619	2953	1265	2353	2353	0	0,00	281,48	225,02	506,50	1534,24
3	4188	3774	2932	1257	2518	2518	0	0,00	281,48	320,99	602,48	1547,60
4	4159	3937	2911	1248	2689	2689	0	0,00	281,48	428,51	709,99	1554,12
5	4130	4106	2891	1239	2867	2867	0	0,00	281,48	548,25	829,74	1553,32
6	4101	4282	2871	1230	2871	3052	181	141,87	281,48	609,97	891,46	1615,65
7	4072	4467	2851	1222	2851	3245	394	308,30	308,30	605,70	914,01	1722,49
8	4044	4659	2831	1213	2831	3446	615	480,77	480,77	601,46	1082,23	1689,22
9	4016	4859	2811	1205	2811	3654	844	659,53	659,53	597,25	1256,79	1655,42
10	3987	5068	2791	1196	2791	3872	1081	844,88	844,88	593,07	1437,95	1621,07
11	3959	5286	2772	1188	2772	4098	1326	1037,10	1037,10	588,92	1626,02	1586,12
12	3932	5513	2752	1180	2752	4334	1581	1236,49	1236,49	584,80	1821,29	1550,56
13	3904	5750	2733	1171	2733	4579	1846	1443,37	1443,37	580,70	2024,08	1514,34
14	3877	5998	2714	1163	2714	4834	2121	1658,08	1658,08	576,64	2234,71	1477,44
15	3850	6255	2695	1155	2695	5100	2406	1880,94	1880,94	572,60	2453,54	1439,82
16	3823	6524	2676	1147	2676	5378	2702	2112,33	2112,33	568,59	2680,92	1401,44
17	3796	6805	2657	1139	2657	5666	3009	2352,61	2352,61	564,61	2917,23	1362,26
18	3770	7098	2639	1131	2639	5967	3328	2602,18	2602,18	560,66	3162,85	1322,24
19	3743	7403	2620	1123	2620	6280	3660	2861,45	2861,45	556,74	3418,18	1281,35
20	3717	7721	2602	1115	2602	6606	4004	3130,83	3130,83	552,84	3683,67	1239,53
21	3691	8053	2584	1107	2584	6946	4362	3410,77	3410,77	548,97	3959,74	1196,74
22	3665	8399	2566	1100	2566	7300	4734	3701,72	3701,72	545,13	4246,85	1152,94
23	3639	8761	2548	1092	2548	7669	5121	4004,18	4004,18	541,31	4545,50	1108,07
24	3614	9137	2530	1084	2530	8053	5523	4318,65	4318,65	537,52	4856,17	1062,08
25	3589	9530	2512	1077	2512	8454	5941	4645,63	4645,63	533,76	5179,39	1014,92

Fonte: Autor (2024)

Quadro 20 – Custo de energia e saldo com fio B do sistema R3

Ano	Geração total anual (kWh)	Consumo total anual (kWh)	Injetado (kWh)	Consumo simultâneo (kWh)	Energia compensada Fio B (kWh)	Energia consumida da rede (kWh)	Energia resultante após a compensação (kWh)	Consumo com taxaço (R\$)	Consumo com custo de disponibilidade (R\$)	Consumo com Fio B (R\$)	Custo de energia ao ano (R\$)	Saldo (R\$)
	[A]	[B]	[C]	[D] = [A-C]	[E]	[F] = [B-D]	[G] = [F-C]	[H] = [G X Tarifa]	[I] = [H e custo de disponibilidade]	[J] = [E X Fio B]	[K] = [I+J]	[L] = [Custo sem GD-K]
1	1593	1093	1115	478	615	615	0	0,00	281,48	139,94	421,42	-24,12
2	1582	1140	1107	475	666	666	0	0,00	281,48	225,02	506,50	-88,96
3	1571	1189	1100	471	718	718	0	0,00	281,48	320,99	602,48	-164,69
4	1560	1240	1092	468	772	772	0	0,00	281,48	428,51	709,99	-244,37
5	1549	1294	1084	465	829	829	0	0,00	281,48	548,25	829,74	-326,15
6	1538	1349	1077	461	888	888	0	0,00	281,48	609,97	891,46	-357,51
7	1527	1407	1069	458	949	949	0	0,00	281,48	605,70	887,19	-315,28
8	1517	1468	1062	455	1013	1013	0	0,00	281,48	601,46	882,95	-273,08
9	1506	1531	1054	452	1054	1079	25	19,59	281,48	597,25	878,74	-223,32
10	1495	1597	1047	449	1047	1148	101	79,30	281,48	593,07	874,56	-181,18
11	1485	1665	1039	445	1039	1220	181	141,18	281,48	588,92	870,40	-131,48
12	1475	1737	1032	442	1032	1295	263	205,30	281,48	584,80	866,28	-81,80
13	1464	1812	1025	439	1025	1373	348	271,78	281,48	580,70	862,19	-32,16
14	1454	1890	1018	436	1018	1454	436	340,71	340,71	576,64	917,34	-41,76
15	1444	1971	1011	433	1011	1538	527	412,20	412,20	572,60	984,80	-56,08
16	1434	2056	1004	430	1004	1626	622	486,37	486,37	568,59	1054,96	-73,10
17	1424	2144	997	427	997	1717	720	563,33	563,33	564,61	1127,95	-85,35
18	1414	2236	990	424	990	1812	823	643,21	643,21	560,66	1203,87	-108,13
19	1404	2332	983	421	983	1911	929	726,14	726,14	556,74	1282,88	-126,40
20	1394	2433	976	418	976	2015	1039	812,24	812,24	552,84	1365,08	-140,28
21	1384	2537	969	415	969	2122	1153	901,67	901,67	548,97	1450,64	-165,10
22	1375	2646	962	412	962	2234	1272	994,56	994,56	545,13	1539,68	-181,26
23	1365	2760	955	409	955	2351	1395	1091,06	1091,06	541,31	1632,37	-193,95
24	1355	2879	949	407	949	2472	1524	1191,33	1191,33	537,52	1728,86	-207,00
25	1346	3003	942	404	942	2599	1657	1295,55	1295,55	533,76	1829,31	-220,43

Fonte: Autor (2024)

Na coluna [E], são indicados os valores anuais de energia compensada que serão considerados na cobrança do Fio B. Esses valores referem-se à energia consumida e injetada pelas residências da seguinte maneira: para a residência R1, até o ano 4, o sistema injeta na rede mais do que utiliza, e a partir do ano 5, injeta menos do que demanda. Para a residência R2, até o ano 5, o sistema injeta mais do que consome, e a partir do ano 6, passa a injetar uma quantidade inferior ao consumo. Para a residência R3, até o ano 8, o sistema injeta mais do que usa, e a partir do ano 9, injeta uma quantidade menor do que a utilizada.

Na coluna [I], é possível visualizar os custos de energia por ano, levando em conta também o custo mínimo de disponibilidade de 30 kWh durante os 12 meses, multiplicado pela tarifa de energia. Na coluna [J], encontram-se os valores referentes à cobrança da TUSD Fio B. Por outro lado, na coluna [K], são mostrados os custos totais de energia a cada ano, representando a soma da energia adquirida e da cobrança do Fio B.

Por último, na coluna [L], é possível observar o saldo resultante da utilização do sistema fotovoltaico. Essa coluna calcula a diferença entre os custos de energia sem a energia solar (conforme Quadros 15, 16 e 17) e com a energia solar (coluna K), proporcionando o saldo anual necessário para o cálculo do *payback*. Com base nos dados de saldo do custo de energia descritos nos Quadros 18, 19 e 20, é possível gerar o fluxo de caixa para o cálculo do *payback*, como ilustrado nos Quadros 21, 22 e 23 a seguir.

Quadro 21 – Fluxo de caixa e VPL do sistema R1

ANO	FLUXO DE CAIXA	VALOR PRESENTE	VP ACUMULADO
0	-14000,00	-R\$ 14.000,00	-R\$ 14.000,00
1	2209,30	R\$ 2.045,65	-R\$ 11.954,35
2	2234,26	R\$ 1.915,52	-R\$ 10.038,83
3	2251,95	R\$ 1.787,67	-R\$ 8.251,16
4	2261,88	R\$ 1.662,55	-R\$ 6.588,61
5	2288,18	R\$ 1.557,30	-R\$ 5.031,31
6	2365,60	R\$ 1.490,73	-R\$ 3.540,58
7	2339,52	R\$ 1.365,09	-R\$ 2.175,49
8	2313,97	R\$ 1.250,17	-R\$ 925,32
9	2288,99	R\$ 1.145,07	R\$ 219,75
10	2264,62	R\$ 1.048,96	R\$ 1.268,70
11	2240,88	R\$ 961,08	R\$ 2.229,78
12	2217,84	R\$ 880,73	R\$ 3.110,51
13	2195,53	R\$ 807,29	R\$ 3.917,81
14	2174,00	R\$ 740,16	R\$ 4.657,97
15	2153,31	R\$ 678,81	R\$ 5.336,78
16	2133,51	R\$ 622,75	R\$ 5.959,53
17	2114,66	R\$ 571,53	R\$ 6.531,06
18	2096,82	R\$ 524,73	R\$ 7.055,79
19	2080,06	R\$ 481,98	R\$ 7.537,76
20	2064,46	R\$ 442,93	R\$ 7.980,69
21	2050,07	R\$ 407,26	R\$ 8.387,95
22	2036,99	R\$ 374,69	R\$ 8.762,63
23	2025,31	R\$ 344,94	R\$ 9.107,57
24	2015,10	R\$ 317,78	R\$ 9.425,35
25	2006,47	R\$ 292,98	R\$ 9.718,33

Fonte: Autor (2024)

Quadro 22 – Fluxo de caixa e VPL do sistema R2

ANO	FLUXO DE CAIXA	VALOR PRESENTE	VP ACUMULADO
0	-13000,00	-R\$ 13.000,00	-R\$ 13.000,00
1	1514,49	R\$ 1.402,31	-R\$ 11.597,69
2	1534,24	R\$ 1.315,36	-R\$ 10.282,33
3	1547,60	R\$ 1.228,53	-R\$ 9.053,80
4	1554,12	R\$ 1.142,33	-R\$ 7.911,47
5	1553,32	R\$ 1.057,16	-R\$ 6.854,31
6	1615,65	R\$ 1.018,14	-R\$ 5.836,17
7	1722,49	R\$ 1.005,06	-R\$ 4.831,11
8	1689,22	R\$ 912,63	-R\$ 3.918,48
9	1655,42	R\$ 828,12	-R\$ 3.090,36
10	1621,07	R\$ 750,87	-R\$ 2.339,49
11	1586,12	R\$ 680,26	-R\$ 1.659,23
12	1550,56	R\$ 615,75	-R\$ 1.043,48
13	1514,34	R\$ 556,82	-R\$ 486,66
14	1477,44	R\$ 503,01	R\$ 16,35
15	1439,82	R\$ 453,89	R\$ 470,24
16	1401,44	R\$ 409,07	R\$ 879,30
17	1362,26	R\$ 368,18	R\$ 1.247,48
18	1322,24	R\$ 330,89	R\$ 1.578,37
19	1281,35	R\$ 296,90	R\$ 1.875,27
20	1239,53	R\$ 265,94	R\$ 2.141,21
21	1196,74	R\$ 237,74	R\$ 2.378,95
22	1152,94	R\$ 212,07	R\$ 2.591,02
23	1108,07	R\$ 188,72	R\$ 2.779,74
24	1062,08	R\$ 167,49	R\$ 2.947,23
25	1014,92	R\$ 148,20	R\$ 3.095,43

Fonte: Autor (2024)

Quadro 23 – Fluxo de caixa e VPL do sistema R3

ANO	FLUXO DE CAIXA	VALOR PRESENTE	VP ACUMULADO
0	-5000,00	-R\$ 5.000,00	-R\$ 5.000,00
1	-24,12	-R\$ 22,33	-R\$ 5.022,33
2	-88,96	-R\$ 76,27	-R\$ 5.098,60
3	-164,69	-R\$ 130,74	-R\$ 5.229,34
4	-244,37	-R\$ 179,62	-R\$ 5.408,96
5	-326,15	-R\$ 221,97	-R\$ 5.630,93
6	-357,51	-R\$ 225,29	-R\$ 5.856,22
7	-315,28	-R\$ 183,96	-R\$ 6.040,18
8	-273,08	-R\$ 147,54	-R\$ 6.187,72
9	-223,32	-R\$ 111,71	-R\$ 6.299,43
10	-181,18	-R\$ 83,92	-R\$ 6.383,35
11	-131,48	-R\$ 56,39	-R\$ 6.439,74
12	-81,80	-R\$ 32,48	-R\$ 6.472,22
13	-32,16	-R\$ 11,82	-R\$ 6.484,05
14	-41,76	-R\$ 14,22	-R\$ 6.498,27
15	-56,08	-R\$ 17,68	-R\$ 6.515,94
16	-73,10	-R\$ 21,34	-R\$ 6.537,28
17	-85,35	-R\$ 23,07	-R\$ 6.560,35
18	-108,13	-R\$ 27,06	-R\$ 6.587,41
19	-126,40	-R\$ 29,29	-R\$ 6.616,69
20	-140,28	-R\$ 30,10	-R\$ 6.646,79
21	-165,10	-R\$ 32,80	-R\$ 6.679,59
22	-181,26	-R\$ 33,34	-R\$ 6.712,93
23	-193,95	-R\$ 33,03	-R\$ 6.745,96
24	-207,00	-R\$ 32,64	-R\$ 6.778,61
25	-220,43	-R\$ 32,19	-R\$ 6.810,79

Fonte: Autor (2024)

Depois de elaborado o fluxo de caixa, é viável calcular o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o período de *payback*. Esses dados são concisamente apresentados nos Quadros 24, 25 e 26 abaixo.

Quadro 24 – VPL, TIR e *Payback* do sistema R1

SOMA VPS (ANO 1 A 25)	R\$ 23.718,33
VPL	R\$ 9.718,33
TIR	16%
TAXA DE LUCRATIVIDADE	1,694
TEMPO DE <i>PAYBACK</i>	8,808

Fonte: Autor (2024)

Quadro 25 – VPL, TIR e *Payback* do sistema R2

SOMA VPS (ANO 1 A 25)	R\$ 16.095,43
VPL	R\$ 3.095,43
TIR	11%
TAXA DE LUCRATIVIDADE	1,238
TEMPO DE <i>PAYBACK</i>	13,967

Fonte: Autor (2024)

Quadro 26 – VPL, TIR e *Payback* do sistema R3

SOMA VPS (ANO 1 A 25)	-R\$ 1.810,79
VPL	-R\$ 6.810,79
TIR	0%
TAXA DE LUCRATIVIDADE	-0,362
TEMPO DE <i>PAYBACK</i>	Projeto Inviável

Fonte: Autor (2024)

A viabilidade econômica dos sistemas R1 e R2 é confirmada pelo Valor Presente Líquido (VPL) positivo, enquanto o sistema R3 é considerado inviável. O investimento do sistema R1 será recuperado em cerca de 9 anos, e ao longo de sua vida útil, o projeto resultará em um lucro líquido de R\$ 9.718,33. Essa taxa de lucratividade equivale a um retorno de R\$ 1,694 para cada unidade monetária investida. O investimento do sistema R2 será recuperado em cerca de 14 anos, e ao

longo de sua vida útil, o projeto resultará em um lucro líquido de R\$ 3.095,43. Essa taxa de lucratividade equivale a um retorno de R\$ 1,238 para cada unidade monetária investida. O sistema R3 não apresenta retorno e ocasiona um acúmulo de custos durante a vida útil do projeto.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada uma análise de viabilidade econômico-financeira da implantação de sistemas fotovoltaicos como alternativa para redução de custos de energia em uma comunidade no município de Coremas – PB, na qual as residências possuem benefício da Tarifa Social.

A realização de uma análise preliminar no consumo das residências na comunidade evidenciou que maior parte delas possuíam um consumo inferior a 100 kWh. Logo, foi utilizado as residências que possuíam os maiores consumos para o estudo.

O dimensionamento dos sistemas foi realizado considerando fatores como o consumo médio e diário das residências e a irradiação solar diária média mensal do município de Coremas – PB para determinar a potência do sistema. A potência encontrada serviu como base para determinar o custo inicial do investimento.

Para o estudo da viabilidade de implantação de sistemas fotovoltaicos, o *payback*, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) foram utilizados como parâmetros da análise. Além disso, considerou-se um aumento gradativo do consumo e da tarifa de energia elétrica ao longo dos anos. Os créditos gerados não foram compensados para que houvesse uma análise mais rigorosa do retorno do investimento.

Os resultados do *payback*, do VPL e da TIR evidenciaram a inviabilidade de implantar o sistema fotovoltaico em residências de baixo consumo, visto que o sistema da residência R3 (91,10 kWh) não trouxe retorno econômico e sua permanência na tarifa social seria mais atrativa economicamente. Já para as residências R1 (376,92 kWh) e R2 (289,13 kWh) constatou-se um retorno positivo em seus investimentos, indicando a viabilidade de implantação dos sistemas fotovoltaicos nessas residências.

Portanto, é possível notar que a viabilidade de instalação de um sistema fotovoltaico não foi possível para a comunidade como um todo, devido ao baixo consumo das demais residências. Entretanto, o presente trabalho comprovou a viabilidade do sistema fotovoltaico para substituir os descontos de energia elétrica da tarifa social, visto que as residências de maior consumo obtiveram um retorno positivo de seus investimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. Energia solar: a energia do futuro, 2020. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-a-energia-do-futuro/>. Acesso em: 22 de abril de 2024.

ABSOLAR. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo, 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 22 de abril de 2024.

Alsharif, M. H., Kim, J., Kim, J. H. (2018). Opportunities and challenges of solar and wind energy in South Korea: A review. *Sustainability*, 10(6), 1822.

ALDO. Como funciona um medidor bidirecional, 2021. Disponível em: https://www.aldo.com.br/blog/conheca-mais-sobre-o-medidor-bidirecional/?desktop_view=show. Acesso em: 03 de maio de 2024.

América do Sol. Potencial Solar no Brasil, 2018. Disponível em: <https://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>. Acesso em 08 de nov. de 2023.

ANTUNES, P. d. B. Direito ambiental. [S.l.]: Atlas, 2021. ISBN 9788597027389.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. Tarifa Social, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/tarifa-social>. Acesso em: 01 de maio de 2024

DE ARAÚJO, Raiane Sodré et al. Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 11, p. e468111133893-e468111133893, 2022.

ARYAN, V; FONT-BRUCART, M; MAGA, D. “A comparative life cycle assessment of end-of-life treatment pathways for photovoltaic backsheets”, *Progress in Photovoltaics*, v. 26, pp. 443-459, 2018.

BEATRIZ, P.; REBOLLAR, M.; RODRIGUES, P.; GUERRA, J. B. A.; YOUSSEF, Y. *Energia Solar*. [S.l.: s.n.], 2011.

BEZERRA, Francisco Diniz. Energia solar. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n.174, jul. 2021.

BRASIL. Assembleia Legislativa. Constituição (2022). Lei nº 14.300, de 07 de janeiro de 2022. Lei 14.300. Distrito Federal, Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Planalto Federal, 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/l10438.htm. Acesso em: 20 de abril de 2024.

BRASIL. Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010. Planalto Federal, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.htm#art12. Acesso em: 05 de maio de 2024.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Alternativas Energéticas: uma visão Cemig. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

COYLE, E.D.; SIMMONS, R.A. Understanding the global energy crisis. Purdue University Press, 2014.

CRESESB/CEPEL. Energia Solar Fotovoltaica, 2006. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321. Acesso em: 13 de abril de 2024.

CRESESB. Pontencial Solar – SunData v3.0, 2024. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 02 de maio de 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Projeção da demanda de energia elétrica, 2017. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF%5B1%5D.pdf. Acesso em: 02 de junho de 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2017. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Fontes de energia, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 22 de abril de 2024.

ENERGES. Simultaneidade Impacta a Viabilidade da Geração Própria?, 2022. Disponível em: <https://energes.com.br/simultaneidade/#:~:text=f%C3%A1cil%20e%20descomplicad,o,-,O%20que%20%C3%A9%20Simultaneidade%3F,utilizada%20no%20processo%20de%20compensa%C3%A7%C3%A3o..> Acesso em: 02 de junho de 2024.

FRANCISCO, E. Indicadores de renda baseados em consumo de energia elétrica: abordagens domiciliar e regional na perspectiva da estatística espacial. 2010. 381 p. Tese de Doutorado em Administração de Empresas, Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2010.

GASPARIN, F. B., LIMA, V. O. D.; MICHELETTI, D. H.; BURINA, E. L. K. A Influência de Políticas Públicas para o Progresso da Geração Solar Fotovoltaica e Diversificação Da Matriz Energética Brasileira. Rev. Virtual Quim., p. 1-5, 2021.

GERAÇÃO SOLAR. Diferença entre micro inversor x inversor central, 2020. Disponível em: <https://geracaosolarengenharia.com.br/energia-solar-micro-inversor-vs-inversor-central/>. Acesso em: 02 de maio de 2024.

GITMAN, L. J. Princípios de administração financeira. Tradução de Jean Jacques Salim. 7º ed. São Paulo: Harbra, 2002.

GÓMEZ, J. M. et al. A irradiância solar: conceitos básicos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, p. e3312, 2018.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. São Paulo: USP, 2012.

GREENER. Análise do Marco Legal da Geração Distribuída Sancionado o PL 5.829/2019 que institui o Marco Legal da MMGD. 2022. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/analise-do-marco-legal-da-geracao-distribuida-lei-14-300-2022/>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

INFINITSOLAR. A energia fotovoltaica, 2021. Disponível em: <https://infinit solar.com.br/energia-fotovoltaica/>. Acesso em: 24 de abril de 2024.

JUNIOR, J.; PEREIRA, J.; LIRA, R. Sistema individual de energia elétrica com fonte intermitente fotovoltaico off grid implantada em uma habitação ribeirinha no município de manacapuru - am. Brazilian Journal of Development, v. 7, p. 118458–118475, 12 2021.

KEMERICH, P. DA C. et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET), v. 20, n. 1, p. 241–247, 2016.

LORENZO, E. “Radiación Solar y Dispositivos Fotovoltaicos, Electricidad Solar Fotovoltaica”, V. II, Espanã, 2006.

MENEGUZZO, F. et al. The great solar boom: a global perspective into the far reaching impact of an unexpected energy revolution. Energy Science & Engineering, v. 3, n. 6, p. 499–509, nov. 2015.

MORAIS, J. M. d. Impactos das energias solar e eólica na demanda de baterias de lítio. 2020. Artigo, IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada).

MESQUITA, José Manuel. Método de avaliação do nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais. 2014. 116 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/869/1/PB_PPGEE_M_Mesquita%20Jos%C3%A9%20Manuel_2014.pdf . Acesso em: 12 de abril de 2024.

NADIMI, R.; TOKIMATSU, K. Energy use analysis in the presence of quality of life, poverty, health, and carbon dioxide emissions. Energy, v. 153, p. 671–684, 2018a.

NEOSOLAR. Equipamentos do Kit Solar I, 2021. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/kit-solar>. Acesso em: 1 de maio de 2024.

NETO, A. B. F.; CORRÊA, W. L. R.; PEROBELLI, F. S. Consumo de energia e crescimento econômico: Uma análise do Brasil no período 1970-2009. *Análise Econômica*, v. 34, n. 65, p. 181– 203, 2016.

OLIVEIRA, R. P. d. Bancada didática para sistema fotovoltaico off-grid. 2019. Monografia (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação), UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto), Ouro Preto, Brasil.

PAMPLONA, E.O.; MONTEVECHI, J.A.B. Engenharia Econômica I. São Paulo, 2006.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; de LIMA, F. J.L.; RÜTHER, R.; de ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; DE SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos, 2ª Edição, p. 88, 2017.

PETIT, Vincent. *The New World of Utilities: A Historical Transition Towards a New Energy System*. Suíça: Springer, 2019. 212 p.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A. “Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos”. Rio de Janeiro, 2014.

PIRES, B.; SANTOS, C. L. d. Eletrificação rural utilizando energia solar fotovoltaica. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), UNIP (Universidade Paulista), Brasília, Brasil.

PORTAL SOLAR. Energia Fotovoltaica na Paraíba, 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-na-paraiba>. Acesso em: 12 de abril de 2024.

REI, F. C.F.; GONÇALVES, A.F.; SOUZA, L.P. ACORDO DE PARIS: REFLEXÕES E DESAFIOS PARA O REGIME INTERNACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, Belo Horizonte, v. 14, n. 29, p. 81-99, out. 2017.

SEBRAE. Conheça os benefícios da implementação da energia renovável, 2022. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/conheca-os-beneficios-da-implementacao-da-energia-renovavel,1eb2b94e3a7e3810VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 22 de abril de 2024.

SENADO, Agência. Lei institui marco legal da micro e minigeração de eletricidade.2022. Disponível em: [https://www.camara.leg.br/noticias/843782-lei-institui-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-de-energia/#:~:text=O%20presidente%20Jair%20Bolsonaro%20sancionou,sexta%2Dfeira%20\(7\)](https://www.camara.leg.br/noticias/843782-lei-institui-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-de-energia/#:~:text=O%20presidente%20Jair%20Bolsonaro%20sancionou,sexta%2Dfeira%20(7)). Acesso em: 20 de abril de 2024.

SETTINO, J et al. Overview of solar technologies for electricity, heating and cooling production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90, 892–909

SOLIS ENERGIA. Como funciona o medidor bidirecional da energia solar, 2019. Disponível em: <https://solisenergia.com.br/como-funciona-o-medidor-bidirecional-da-energia-solar/>. Acesso em: 02 de maio de 2024.

SILVA, G.L.; OLIVEIRA, M. S.; SILVA, R. M.; SILVA, N. L. Análise de viabilidade econômica entre o uso de energia em grid e a solar no sertão paraibano. Energ. Agric., Botucatu, v. 31, n.1, p.89-96, 2016.

SILVEIRA, Camila et al. Avaliação do Desempenho e Estudo da Viabilidade financeira da Geração Distribuída por Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, p. 1184-1192, 2018

VASCONCELOS, L. B. d. Estratégias de armazenamento de energia com baterias para atender um consumidor do grupo A no horário de ponta. 2022. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), UFC (Universidade Federal do Ceará), Fortaleza, Brasil.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Editora Érica, 2012.

YES ENERGIA. Descubra Como as Baterias e Sistemas Off-Grid da YES Energia Trazem Segurança em Tempos de Crise, 2020. Disponível em: <https://yesenergiasolar.com.br/ descubra-como-as-baterias-e-sistemas-off-grid-da-yes-energia-trazem-seguranca-em-tempos-de-crise>. Acesso em: 06 de maio de 2024.