

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS GOMES SCHMIDT

**VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE MINIGERAÇÃO
DE ENERGIA SOLAR PARA COMERCIALIZAÇÃO**

PONTA GROSSA

2022

LUCAS GOMES SCHMIDT

**VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE MINIGERAÇÃO
DE ENERGIA SOLAR PARA COMERCIALIZAÇÃO**

**Feasibility of implementation mini-generation
of solar energy for commercialization**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcio Mendes Casaro

PONTA GROSSA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

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

LUCAS GOMES SCHMIDT

**VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE MINIGERAÇÃO
DE ENERGIA SOLAR PARA COMERCIALIZAÇÃO**

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

Data de aprovação: 29/junho/2022

Marcio Mendes Casaro
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Alexandre Junior Fenato
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paulo Sergio Parangaba Ignacio
Especialização
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2022

Dedico este trabalho à minha família,
pelo apoio. Aos meus amigos, pelo
companheirismo. Por fim à instituição,
pelas lições ensinadas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho não poderia ser finalizado sem a ajuda de diversas pessoas e/ou instituições às quais presto meus agradecimentos. Certamente, esses parágrafos não abrangem todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre estas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e tem minha gratidão.

A minha família, pelo carinho, incentivo e total apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, que me mostrou os caminhos a serem seguidos e pela confiança depositada.

A todos os professores e colegas do curso, que ajudaram de forma direta e indireta na realização e/ou conclusão deste trabalho.

A todos os demais que de alguma forma contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade..” (EINSTEIN, 1921, tradução).¹

¹ “*There is a driving force more powerful than steam, electricity and atomic energy: will.*” (EINSTEIN, 1921).

RESUMO

Os sistemas fotovoltaicos estão se destacando cada vez mais como uma alternativa de geração de energia para consumo próprio, é possível implementar desde pequenas usinas de geração para uso residencial e/ou comercial à grandes geradores no âmbito industrial. Paralelamente o conceito de mercado livre de energia também cresce, onde é possível comercializar energia, uma solução que pode gerar redução nos custos mensais de consumo de quem compra e uma fonte de renda atraente para quem vende. Todos esses fatores agregados aos atuais incentivos do Brasil faz com que o número de geradores solares e participantes do mercado livre cresça relativamente em comparação com períodos anteriores. Convenientemente, verifica-se a necessidade e o interesse de um estudo de viabilidade de investimento em usina solar categorizado como minigeração distribuída, com grandes chances de aprovação, devido à sua viabilidade comprovada pelos métodos da taxa de retorno interna e do valor presente líquido, para o ano de 2023 na região de Ponta Grossa, cidade localizada no estado do Paraná.

Palavras-chave: Minigeração; Energia; Elétrica; Solar; Comercialização.

ABSTRACT

Photovoltaic systems are increasingly standing out as an alternative for generating energy for own consumption, it is possible to implement from small generation plants for residential and/or commercial use to large generators in the industrial scope. At the same time, the concept of a free energy market also grows, where it is possible to sell energy, a solution that can generate a reduction in monthly consumption costs for those who buy and an attractive source of income for those who sell. All these factors added to the current incentives in Brazil cause the number of solar generators and free market participants to grow relatively compared to previous periods. Conveniently, there is a need and interest in a feasibility study of investment in a solar plant categorized as distributed mini-generation, with great chances of approval, due to its viability proven by the methods of the internal rate of return and the net present value, for the year 2023 in the region of Ponta Grossa, a city located in the state of Paraná.

Keywords: Minigeneration; Energy; Electric; Solar; Commercialization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Aerogerador com três pás	23
Figura 2 – Radiação Solar média no bairro Nova Rússia - Ponta Grossa	30
Figura 3 – Configuração funcional geral de um sistema fotovoltaico.	35
Figura 4 – Aplicação das Novas Regras da Lei 14.300	37
Figura 5 – Etapas necessárias para participar do Mercado Livre de Energia	39
Figura 6 – Inversor trifásico SIW500H ST200 HV	44
Figura 7 – Módulo de silício Monocristalino	45
Gráfico 1 – Consumo per capita	19
Gráfico 2 – Consumo Final por Fonte	20
Gráfico 3 – Oferta Interna de Energia por Fonte	22
Gráfico 4 – Preço médio da energia fotovoltaica comercializada nos leilões (US\$/MWh)	25
Gráfico 5 – Projeção da energia gerada de micro e minigeração distribuída por fonte em 2030 (%)	27
Gráfico 6 – Evolução da geração distribuída no Brasil 2007 – 2020	31
Gráfico 7 – Número de agentes por classe	40
Gráfico 8 – Curva característica V-I à diferentes temperaturas	46
Gráfico 9 – Curva característica V-I à diferentes irradiações	47
Gráfico 10 – Relação V-I do arranjo em série	48
Gráfico 11 – Relação V-I do arranjo em paralelo	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação dos Materiais	43
Tabela 2 – Dados Placa Solar de Silício Monocristalino	46
Tabela 3 – Payback Simples	53
Tabela 4 – Payback Descontado	54
Tabela 5 – Fluxo do caixa simulado no período de 25 anos	55
Tabela 6 – Histórico Taxa Selic	56

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACEEL	Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETENE	Empresa Transmissora de Energia do Nordeste
LEN	Leilão de Energia Nova
LER	Leilão de Energia de Reserva
NOTC	Nominal Operation Cell Temperature
REN	Resolução Normativa
SEP	Sistema Elétrico de Potência
STC	Standard Test Conditions
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	ESTADO DA ARTE	13
1.2	O PROBLEMA	14
1.3	HIPÓTESE	14
1.4	OBJETIVOS	15
1.4.1	Objetivo Geral	15
1.4.2	Objetivos Específicos	15
1.5	JUSTIFICATIVA	15
1.6	METODOLOGIA	16
1.7	DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO	16
2	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA E SUAS MODALIDADES	17
2.1	PERSPECTIVA HISTÓRICA SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	17
2.2	MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL	18
2.3	MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	19
2.3.1	Geração Hidroelétrica	21
2.3.2	Geração Eólica	22
2.3.3	Biomassa	24
2.3.4	Termoelétrica	24
2.3.5	Geração Solar	25
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CENÁRIO DA MATRIZ SOLAR	27
3.1	FUNDAMENTOS DE GERAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA	27
3.2	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	30
3.2.1	Normativa 482/2012	32
3.2.2	Normativa 687/2015	33
3.2.3	Normativa 786/2017	34
3.2.4	Normas ABNT	34
3.2.4.1	ABNT NBR 16690/2019	35
3.2.5	Lei nº 14.300/2022	36
3.2.6	Mercado Livre de Energia	38
3.2.6.1	Grupos Tarifários	41
3.2.6.2	Projeto de Lei 414/2021	41
4	DADOS DO PROJETO E ESTUDO DE VIABILIDADE	43
4.1	RELAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DOS EQUIPAMENTOS ESTIMADOS PARA MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA	43
4.1.1	Inversor trifásico SIW500H ST200 HV	44
4.1.2	Módulo de silício Monocristalino	45
4.1.2.1	Associações de células e módulos fotovoltaicos	47
4.1.3	Metodologia alternativa para calculo de potência da usina	49
4.1.4	Fator de Capacidade	51
4.2	INVESTIMENTO	51
4.3	PAYBACK E VIABILIDADE DO PROJETO	51
4.3.1	Capacidade de geração da usina	52

4.3.2	Payback Simples	52
4.3.3	Payback Descontado	53
4.3.4	Viabilidade do projeto	54
4.3.4.1	Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)	54
4.3.4.2	Método do Valor Presente Líquido (VPL)	56
4.4	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: PERSPECTIVA NO BRASIL	57
5	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	60
	ÍNDICE REMISSIVO	65

1 INTRODUÇÃO

As primeiras fontes de energia elétrica provinham de recursos não renováveis, ou seja, aqueles que podem se esgotar, pois é consumido em velocidade maior do que é produzido, por exemplo o petróleo.

Com as grandes crises que se desenvolveram na história da humanidade, estudo e pautas sobre fontes alternativas, como as renováveis, que a velocidade de produção atende a de consumo, foram levantadas.

No Brasil, a grande fonte de energia elétrica é a geração hidrelétrica, devido ao grande potencial hídrico do país. No entanto, com as recentes crises hídricas, a geração termoelétrica, no início do ano de 2016, tem tido participação, considerada acima do desejável em um país com abundância de fontes energéticas renováveis.

O uso das termoelétricas na geração de energia do país acarreta em diversas taxas nas faturas de energia, que ocasiona o aumento de custo da tarifa do consumidor final. (OLIVEIRA, 2020).

Uma alternativa recorrente, é a instalação do próprio gerador pelo consumidor, seja ele de pequeno ou grande porte, tais geradores podem utilizar fontes não renováveis como os à diesel bem como renováveis, como os sistemas fotovoltaicos.

Esses sistemas podem trabalhar com diversas configurações, acoplados ou não a rede, com ou sem armazenamento de excedente. Além disso ainda é possível injetar o excedente gerado na rede elétrica, em troca de créditos que podem ser abatidos na fatura de energia.

Graças as Resoluções Normativas do Brasil, que incentivam cada vez mais esse tipo de aplicação, o país tem apresentado valores de participação de geração distribuída cada vez mais altos nas pesquisas realizadas pelo país.

1.1 ESTADO DA ARTE

Segundo Assessoria de Imprensa ANEEL, dados da Agência Nacional de Energia Elétrica, no Brasil, em setembro de 2015, registrou cerca de 5040 sistemas de micro e minigeração conectados à rede elétrica, destes, 4.955 são fotovoltaicos e representam uma potência instalada de 35,9 mil kW.

Conforme estudos, em 2019, o mercado de energia solar no Brasil cresceu

mais de 212%, alcançando a cerca de 2,4 GW instalados. Ao final de 2020, o total atual de sistemas foi de aproximadamente 715 mil e foram instalados cerca de 3,15 GW somente provindos da matriz fotovoltaica, dos quais 2,53 GW provém da geração distribuída. O investimento necessário para chegar a esses valores foi de cerca de 16 bilhões de reais, com aproximadamente 100 mil gerados. Para 2021, a estimativa de crescimento do mercado solar foi de 68%. de (PORTAL SOLAR, 2021).

A previsão é que até 2024 serão cerca de 1,2 milhão de unidades consumidoras/geradoras de energia. Os sistemas fotovoltaicos residenciais são os maiores agentes dessa revolução energética, representando 78% do total instalado, os comerciais contabilizam por 16% e as indústrias por apenas 2%. (ASSESSORIA DE IMPRENSA ANEEL, 2016).

1.2 O PROBLEMA

A inflação energética é um grande problema enfrentado pelo Brasil, que aumenta os custos do consumo de energia, nos anos anteriores, e talvez nos futuros, a principal causa desse problema tem sido a pandemia de COVID-19, que gerou o empréstimo Conta-Covid, pago pelos consumidores de maneira indireta. A previsão de novos aumentos para 2022 é de cerca de 21% segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica. (PORTAL SOLAR, 2021).

1.3 HIPÓTESE

Através do estudo de viabilidade de aplicação de uma unidade geradora na categoria de minigeração distribuída, levantar informações de potência gerada e consumida e payback, constatar a importância das fontes renováveis e do progresso do Brasil em relação à geração distribuída.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Estudar a viabilização de uma estimativa de investimento em equipamentos de sistemas fotovoltaicos, para minigeração distribuída e comercialização na cidade de Ponta Grossa.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudo da matriz energética do mundo;
- Integração às Resoluções normativas e legislação quanto à geração distribuída;
- Estudo do cenário da geração distribuída no Brasil;
- Aplicação de uma central geradora fotovoltaica dentro das características de minigeração distribuída na cidade de Ponta Grossa; e a
- Análise de retorno de investimento da aplicação;
- Expor os resultados obtidos do estudo de viabilidade da aplicação do projeto;

1.5 JUSTIFICATIVA

A energia solar têm se destacado entre as opções de geração distribuída, devido à seus vários benefícios, tais como, sua grande quantidade, seu fator não poluente, e quase que isenta de impactos ambientais na conversão de energia. Além disso na cidade de Ponta Grossa e no Brasil é notório o quanto essa categoria tem crescido no mercado, tecnologia cada vez mais avançada e mão de obra mais qualificada. Aproveitando um estudo prévio na implementação de um sistema fotovoltaico em um terreno específico, realizar o estudo do potencial que a aplicação em questão pode gerar.

1.6 METODOLOGIA

Utilizando-se de uma estratégia exploratória, o presente trabalho apresenta o estudo de viabilidade de minigeração distribuída que será aplicada em um determinado terreno.

Este trabalho abordará temas como os cenários e histórico das matrizes energéticas do mundo e do Brasil, incluindo dados como o consumo de energia da população. Além de adentrar-se nas legislações brasileiras no que se diz respeito à geração distribuída e suas peculiaridades.

1.7 DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO

Nos Capítulo 2 será revisado o cenário histórico da energia no Brasil e no mundo, não só no setor solar, mas também nas demais modalidades de geração.

No Capítulo 3 serão apresentados conceitos, definições, normas vigentes e informações importantes no contexto da geração fotovoltaica.

Os dados técnicos do projeto, e o valor do investimento serão abordados no Capítulo 4, com explicações mais detalhadas, simulações de viabilidade e especificações dos equipamentos contidos no projeto.

Por fim no Capítulo 5 será apresentado a conclusão da monografia analisando e comparando os resultados obtidos, bem como sugestões de trabalhos futuros.

2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA E SUAS MODALIDADES

2.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A guerra do oriente médio em 1973 e o recente conflito entre Iraque e o Irã evidenciam a dependência do petróleo dos países do mundo. Esses conflitos ocasionaram oscilações drásticas na economia, que por consequência impulsionaram os investimentos em tecnologias independentes desse combustível fóssil, como as células solares. (VALLÊRA; BRITO, 2021).

Conforme Neto, nessa época, a gestão da demanda de energia, e a estimulação do uso de energias renováveis foram técnicas empregadas por diversos países para esquivar a dependência dos principais exportadores de petróleo.

Desde então o setor de energia renovável tem ganhado cada vez mais espaço no mundo. Em 2017 estima-se que 10,3 milhões de pessoas tenham sido empregadas na área, aumento de 5,3%, em relação ao ano anterior. Países como a China, Brasil, Estados Unidos, Índia, Japão e a Alemanha em 2017 possuíam a maior porcentagem dos empregos gerados no setor de energia renovável, sendo que somente a Ásia representa 62% do total. (NETO, 2019).

O desenvolvimento das tecnologias de energia renovável é um caminho rico em oportunidades de negócios, eficaz na substituição de combustíveis poluentes e não renováveis, fonte de renda para o próprio país, indústrias, comércios locais e consumidores finais pois auxilia a atender a demanda de energia necessária e em alguns casos podendo ser até comercializada.

Devido ao aumento da prática de comercialização de energia elétrica, o Sistema Elétrico de Potência (SEP), que é responsável pela geração, transporte e distribuição de energia, recentemente também começou a englobar responsabilidades na área de comercialização da mesma, esta que gerencia a compra, venda e regulação dos preços dentro de todo o sistema. (SILVA, 2019).

O segmento de comercialização de energia é relativamente novo, tanto no Brasil quanto no mundo. Seu surgimento está relacionado com a reestruturação do setor elétrico, ocorrida na década de 1990, e seu papel muito mais relacionado ao contexto econômico e institucional do que propriamente ao processo físico de produção e transporte da energia.

2.2 MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL

Os combustíveis não renováveis como o petróleo e o gás natural, ambos abundantes e baratos, são predominantes em diversos setores, e oferecem uma poderosa estrutura de comercialização que abrange todo o mundo. O prolema é que além de essenciais para a indústria automobilística, pois os veículos e maquinários equipados com motores a combustão ainda são essenciais no cotidiano das pessoas, as crises que possam vir a acontecer nesse setor refletem-se diretamente sobre toda a economia mundial. (CARVALHO, 2014).

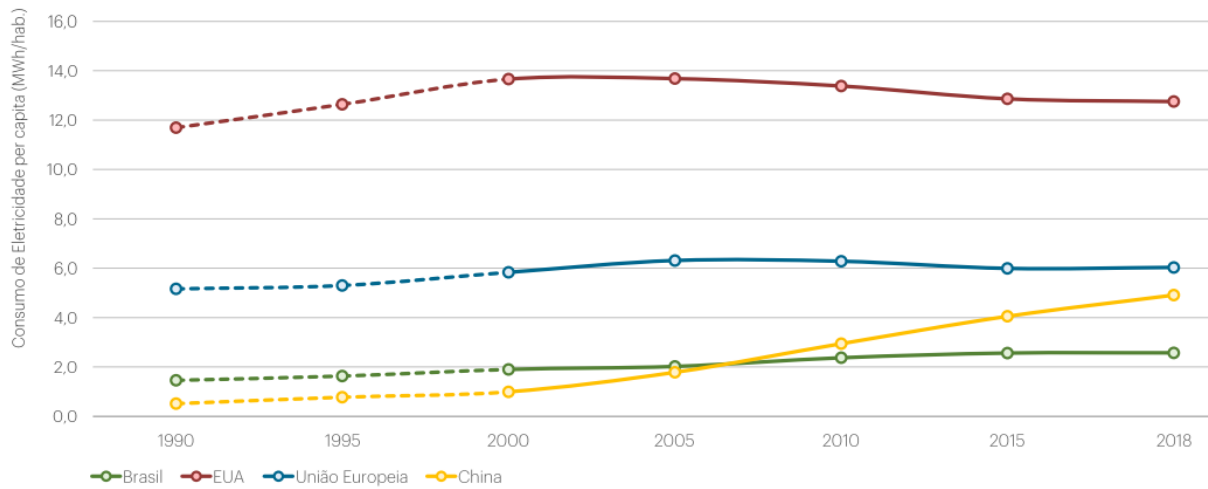
De acordo com Carvalho, a abrangência dos derivados de petróleo é tão vasta que acabou fermentando no setor agrário a chamada “revolução verde”, pois, os fertilizantes e pesticidas de origem petroquímica, o maquinário dependente desses combustíveis colidiam com o ciclo de regeneração natural dos solos.

Como o petróleo se tornava disponível no mundo inteiro, devido a grande quantidade exportação e importação, diversas fábricas foram construídas com mão de obra relativamente barata, oferecida por países subdesenvolvidos que não possuíam tecnologia para trabalhar de modo eficiente com esse combustível fóssil.

Apesar da presença avassaladora, Borges Neto, 2012, expõe que nos últimos anos foi possível observar uma redução no nível de consumo por habitantes das energias convencionais (derivado de fontes não renováveis), dados apontam para um consumo per capita em média de menos de uma Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP) por pessoa/ano, conforme mostrado no Gráf. 1, sendo a linha em amarela o consumo per capita da China, verde - Brasil, vermelha - Estados Unidos e azul - países da Europa. Chegando em 0,2 em alguns países da Ásia e da África versus os 8 e 4 TEP dos países da América do Norte e Europa ocidental. Já a China e a Índia são exceções entre os países em desenvolvimento com uso significativo de carvão.

Com a crescente busca por combustíveis renováveis e sustentáveis, às perspectivas de continuidade da redução do custo de geração, à disponibilidade de linhas de financiamento adequadas, o aumento da eficiência e devido à sua abundância, a fonte solar tem se sobressaído no mercado de geração distribuída. A participação junto às políticas de incentivos e normativas de regulação, tem permitido o seu crescimento de forma exponencial em diversos países, incluindo o Brasil. (ETENE, 2021).

Os sistemas fotovoltaicos de geração distribuída correspondiam, em 2010, a

Gráfico 1 – Consumo per capita

Fonte: (EPE, 2021b), p62.

70% da potência fotovoltaica e em 2020, 63%, cerca de 350 GW, levando-se em conta que paralelamente outras matrizes energética também cresceram. As projeções indicam um aumento significativo da participação da fonte solar na matriz de geração de energia elétrica mundial. Em 2019, a geração de energia elétrica no mundo foi de 27.004 TWh, tendo a fonte solar contribuído com 724 TWh. Dentre os países com maior capacidade instalada fotovoltaica, destacam-se a China com 35,0%, os Estados Unidos com 10,6%, o Japão 10,5%, a Alemanha com 8,3% e a Índia com 6,0%. (ETENE, 2021).

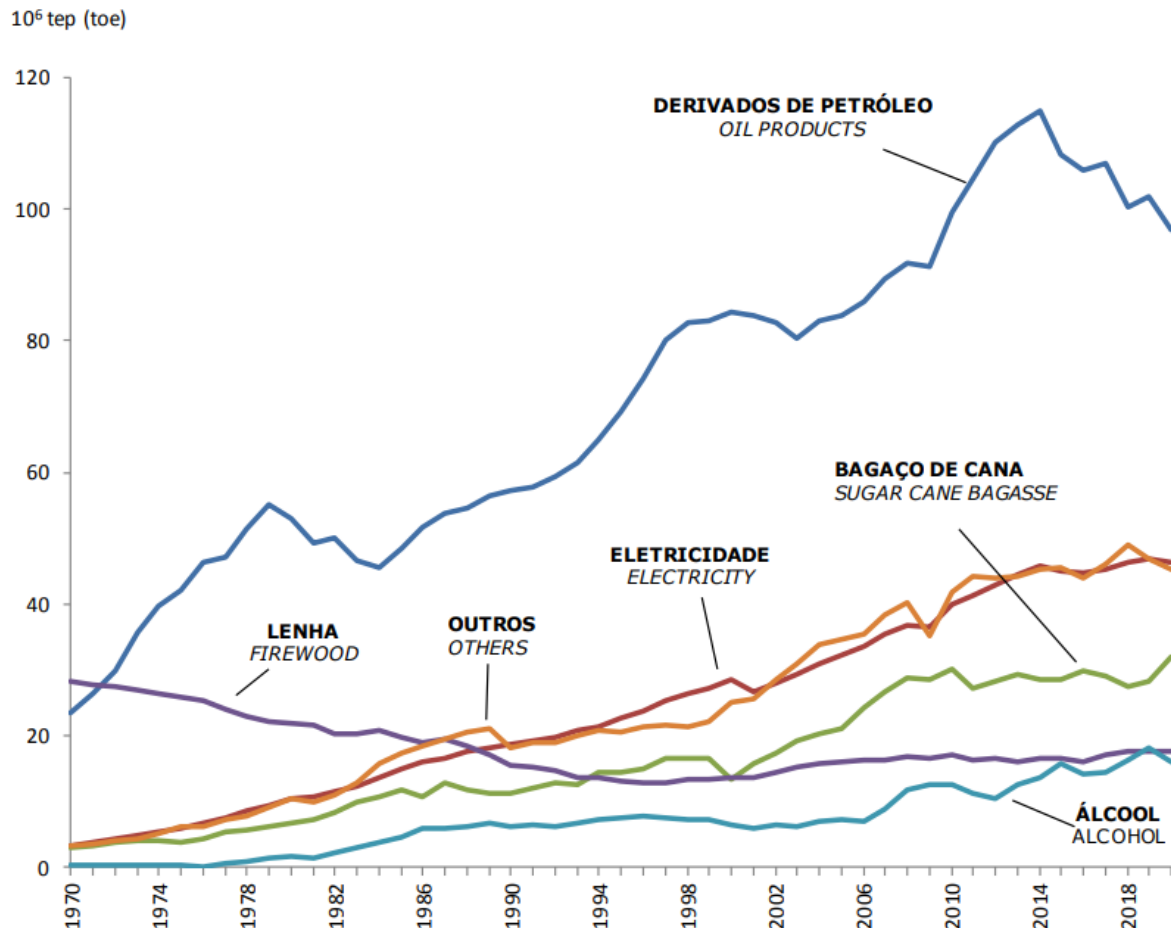
Assim como a matriz solar, a matriz eólica também apresentou crescimento, aumentando de 24 GW em 2001 para 539 GW em 2017. Nesse ano a China se tornou o maior mercado mundial com 35% de participação, seguida pelos EUA com 17% e pela Alemanha com 10% na geração de energia eólica.

2.3 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

No Brasil, até a década de 40, a maior parte da geração de energia do país provinha da lenha, que representava cerca de 75% do consumo energético. A Segunda Guerra Mundial, acarretou diversos avanços tecnológicos no mundo, e no Brasil não foi diferente, essas novas tecnologias demandavam um maior consumo de energia, que por consequência levaram o país a implantar dois sistemas fundamentais, o elétrico, para fornecimento de energia para as cidades, o setor de serviços e uma parte das indústrias, e o do petróleo e gás, que atendia os transportes e outra parte das indústrias.

Com o tempo a lenha teve seu consumo reduzido, e outras alternativas como petróleo, eletricidade, e outros combustíveis renováveis ganharam mais espaço, como mostra o Gráf. 2 encontrado no Balanço Energético Nacional (BEN) - Relatório Síntese - elaborado pelo Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (CARVALHO, 2014).

Gráfico 2 – Consumo Final por Fonte



Fonte: (EPE, 2021a) p28.

De acordo com Barros, 2019, as primeiras usinas e linhas de transmissão construídas tinham o propósito de alimentar cargas pontuais. Com o tempo o uso de eletricidade ganhou mais espaço e renome gerando maior investido no SEP do país, para que a energia elétrica chegasse até o consumidor.

Dados da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRA-DEE), no Brasil, o primeiro contrato de comercialização de energia elétrica, ocorreu em 1999, aproximadamente dois anos após a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Atualmente, existem mais de 100 agentes de comercialização de energia elétrica no Brasil, muitos deles atuando como intermediários entre usinas e

consumidores livres. (ABRADEE, 2021).

O sistema elétrico brasileiro apresenta alto nível de ramificação e interligação. Somente uma parte da Região Norte não possui seu sistema elétrico interligado ao restante do País, de maneira proposital, pois a Floresta Amazônica da região e as grandes distâncias oferecem dificuldades na implementação da interligação. (BARROS, 2019).

Esse sistema é formado por extensas linhas de transmissão e caso ocorra alguma adversidade no SEP, que interrompa o fornecimento de energia elétrica, outras usinas irão atender a carga, evitando que ocorra a interrupção no abastecimento de energia elétrica. Esse é um dos principais objetivos de ter toda a infraestrutura interligada.

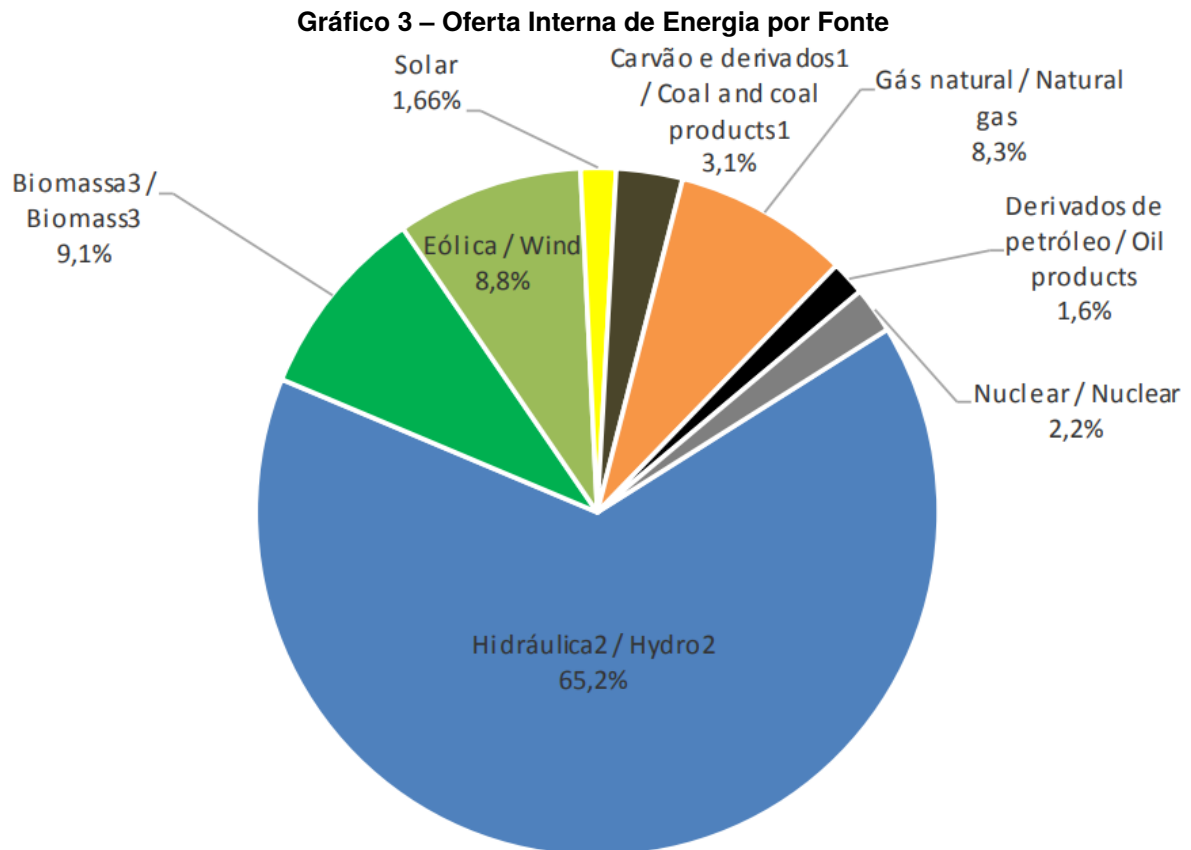
Segundo BEN a geração de energia elétrica no Brasil 621,2 TWh em 2020, resultado 0,8% inferior ao de 2019. As centrais elétricas de serviço público, participaram com 82,9% da geração total. A autoprodução, quando o consumidor gera sua própria energia, em 2020 contribuiu com 17,1% do total. Ao todo a autoprodução gerou 106,5 TWh, dois quais 60,7 TWh não foram injetados na rede, ou seja, produzidos e consumidos pelo próprio consumidor. (EPE, 2021a).

Quanto a geração elétrica a partir de fontes não renováveis representou 15,8% do total nacional, um declínio de 1,9% em relação ao ano anterior, sendo o gás natural um dos grandes influenciadores dessa queda. O Gráf. 3 apresenta a composição da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2020. (EPE, 2021a).

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica, complementada por gás natural, biomassa, derivados do petróleo e carvão e energia eólica. As fontes renováveis representam 84,8% da oferta interna de eletricidade no país. (BORGES NETO, 2012).

2.3.1 Geração Hidroelétrica

Uma central hidroelétrica é composta essencialmente por uma turbina hidráulica acoplada a um gerador elétrico, mas em usinas mais elaboradas, e próprias para geração e distribuição, conforme normas do SEP, outros elementos como a barragem, tubulação, quadros de comando, subestação, linhas de transmissão entre outros também podem compor o sistema de geração hidrelétrica. (BORGES NETO, 2012).



Fonte: (EPE, 2021a) p28.

A geração hidroelétrica funciona por meio destas turbinas que são impulsionadas pela força da água, fazendo-as rotacionar. A turbina acoplada ao gerador, que converte a energia mecânica, do movimento das pás da turbina, em energia elétrica.

De acordo com (COLFERAI, 2017), 2017, no Brasil qualquer pessoa pode gerar energia hidroelétrica, desde que em quantidades menores a 1 MW e que os critérios, documentações e afins estejam de acordo com as normativas em questão. A produção pode ser feita na modalidade Produtor Independente, destinada à comercialização de toda ou de apenas parte da produção, ou na de Autoprodutor, destinada à produzir energia exclusivamente para uso próprio.

2.3.2 Geração Eólica

Conforme Moreira, H., 2016, um gerador eólico é um sistema que, por meio de um rotor aerodinâmico, converte a energia cinética do vento em potência mecânica. Por fim, transforma esta em energia elétrica por meio de um gerador elétrico. No Brasil, o custo dos componentes para geração eólica ainda é elevado. Moreira, H., também

expõe nos seus estudos que para que a instalação de sistema eólico se torne viável a geração deverá ser equivalente a 165 kWh/mês.

Desde o início do desenvolvimento das turbinas eólicas, diversas configurações foram propostas e construídas, a maioria das turbinas eólicas modernas possui o rotor aerodinâmico composto por três pás, conforme Fig. 1. A quantidade de pás em um rotor eólico influencia nas características de desempenho da turbina e construtivas da torre. (VIAN *et al.*, 2021a).

Figura 1 – Aerogerador com três pás



Fonte: (MOREIRA, H., 2016).

Ao final de 2017, o Brasil atingiu a capacidade instalada de aproximadamente 13 MW, sendo, na época a oitava posição dos mercados de energia eólica do mundo. Nessa época a produção de energia das eólicas também representava 7,4% do total da energia gerada no país. (MOREIRA, H., 2016).

Além disso o EPE apresenta dados da produção de eletricidade a partir da fonte eólica, que alcançaram aproximadamente 57 GWh em 2020, um aumento de 1,9% em comparação à 2019. Em 2020, a potência instalada para geração eólica no país cresceu 11,4%.

2.3.3 Biomassa

O emprego da biomassa energética pode-se dar na forma de sólido, líquido ou gasoso, com os seguintes processos de transformação em energia útil, Queima direta, Carbonização, Gaseificação e Hidrólise. (SANTOS, 2013).

Um caso especial de utilização de biomassa na geração de energia, no Brasil, é o do bagaço da cana-de-açúcar, no qual esse insumo é aproveitado em sistema de cogeração, produzindo vapor e eletricidade, para consumo próprio das usinas e/ou para venda de energia elétrica para a rede. (REIS, 2011).

Projetos associados à geração de energia elétrica a partir da utilização de resíduos urbanos também estão em fase de crescimento no Brasil. De acordo com a ANEEL, a potência instalada desse tipo de geração chegava a quase 84 MW em 2016. (REIS, 2011).

2.3.4 Termoelétrica

Conforme Reis a geração termelétrica é composta pelas centrais nucleares, centrais a gás, centrais a vapor e centrais a motor, na sua maioria movidas a diesel. A energia nuclear no Brasil provém das centrais de Angra dos Reis I, II e, III com previsão de início de em operação no fim de 2026, estimula-se cerca de 10 MWh de capacidade de geração para a terceira.

Na perspectiva brasileira, as tecnologias de geração termelétrica baseadas no ciclo a vapor e/ou turbinas a gás, os principais combustíveis fósseis em uso têm sido principalmente o gás natural, o óleo combustível e o carvão mineral. A geração a diesel tem sido aplicada, na região Norte do país. O combustível não renovável com maiores perspectivas de aplicação em curto e médio prazos, é o gás natural, embora ainda existam barreiras relacionados ao preço do gás e sua capilaridade. (REIS, 2011).

De acordo com Oliveira, 26,5% de todo o potencial elétrico produzido no Brasil em 2019 é gerado a partir de termoelétricas, esse valor é composto pelo gás natural na liderança com 36,5%, pela biomassa com 33,1%, o carvão e derivados representando 12,9%, nuclear - 9,7%, por fim os derivados de petróleo - 7,8%.

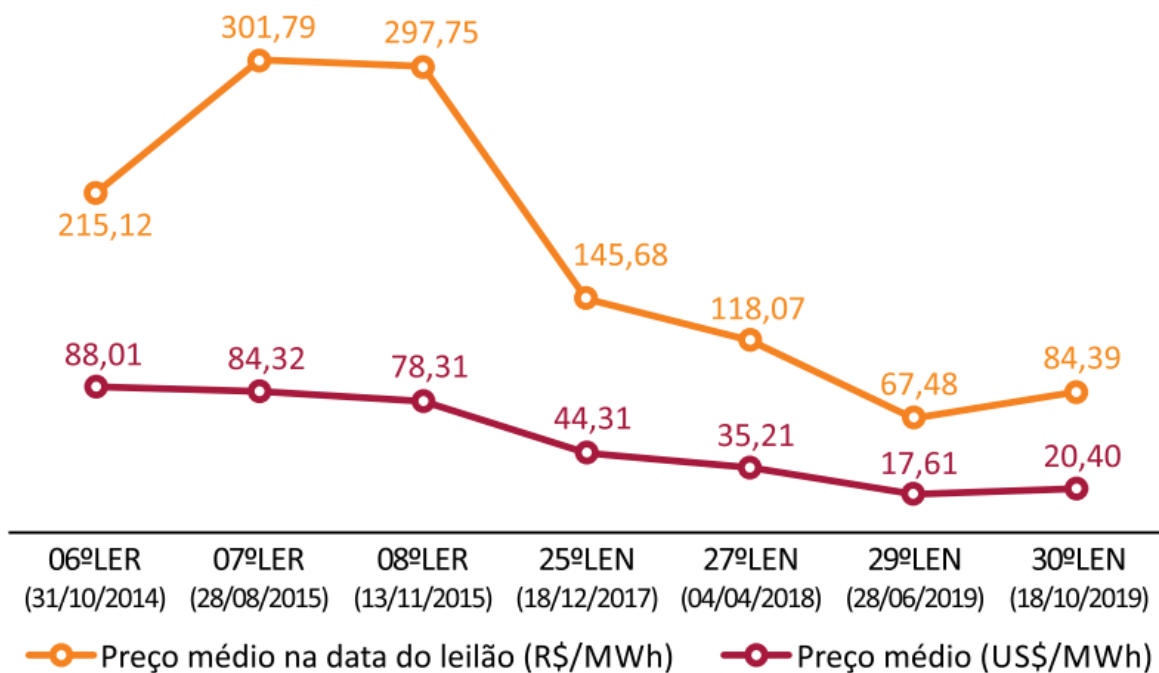
2.3.5 Geração Solar

De acordo com Vian *et al.*, 2021, a energia solar é a energia irradiada pelo sol, tal que essa possa ser aproveitada de outras maneiras, usualmente com finalidade arquitetônicas, fotossíntese das plantas, aquecimento de água e produção de energia elétrica.

Sistemas fotovoltaicos podem ser instalados próximos aos grandes centros de consumo de energia, de forma centralizada ou descentralizada, conectada ou desconectada da rede elétrica. Eles podem prover energia para pequenas ou grandes aplicações.

Nos últimos anos a energia solar tem se mostrado mais atraente financeiramente. O custo médio divulgado nos leilões como o Leilão de Energia de Reserva (LER) e o Leilão de Energia Nova (LEN) mostram que o preço da energia solar é inferior que o preço de outras fontes convencionais de energia, por exemplo o gás natural e os derivados de petróleo, conforme mostrado no Gráfico 4, conforme Empresa Transmissora de Energia do Nordeste (ETENE) .(VIAN *et al.*, 2021b).

Gráfico 4 – Preço médio da energia fotovoltaica comercializada nos leilões (US\$/MWh)



Fonte: (ETENE, 2021), p10.

Segundo o ETENE, em 2020 a capacidade instalada de geração distribuída no Brasil correspondia a 4,4 GW. Sendo que 97,0% do provinha da energia solar. O

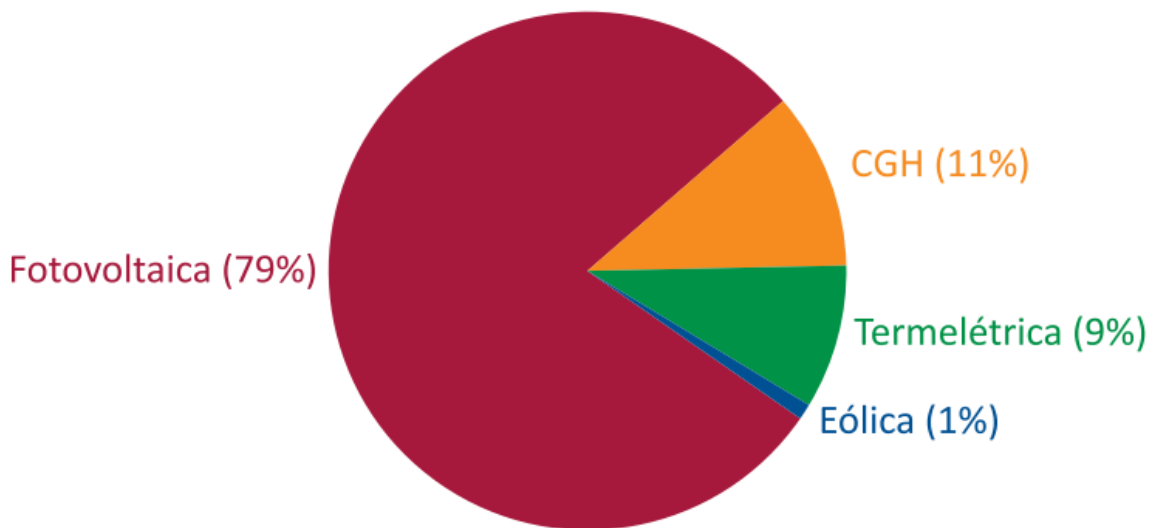
Nordeste, destacando-se os Estados do Ceará, da Bahia e de Pernambuco, participa com aproximadamente 18% da potência instalada no país nesse modelo de geração.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CENÁRIO DA MATRIZ SOLAR

3.1 FUNDAMENTOS DE GERAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A grande vantagem dos sistemas fotovoltaicos é que podem ser instalados nos locais de consumo, e geralmente atendem a demanda dos mesmos, dispensando infraestruturas elétrica e civil distantes dos centros de consumo e de todas as instalações associadas ao SEP, por isso é a fonte mais utilizada, como demonstrado no Gráfico 5. No geral, um sistema fotovoltaico podem ser off-grid ou on-grid. (VIAN *et al.*, 2021b)

Gráfico 5 – Projeção da energia gerada de micro e minigeração distribuída por fonte em 2030 (%)



Fonte: (ETENE, 2021), p8.

Segundo Vian *et al.*, os sistemas fotovoltaicos off-grid são aqueles que não estão conectados à rede elétrica de distribuição e são empregados na alimentação de cargas em áreas remotas ou cargas situadas em áreas urbanas. As configurações desses sistemas dependem do tipo da carga (Corrente contínua - CC ou Corrente alternada - CA) e do armazenamento de energia.

Os sistemas isolados (off-grid) necessitam do armazenamento de energia através de baterias, que é acoplada à um controlador de carga, implicando na conservação da bateria e protegendo o sistema de sobrecargas. Devido ao custo da bateria, os sistemas off-grid são mais vantajosos em regiões isoladas, pois dessa maneira economiza-se em infraestrutura elétrica para o transporte de energia (linhas de transmissão). Neste tipo de sistema, a bateria é carregada durante o dia para ser utilizada a noite. (MORITA,

2018).

Carga CC sem ou com armazenamento, a energia elétrica produzida é utilizada para alimentar equipamentos que operam em CC. Em casos de armazenamento, a energia elétrica excedente é armazenada em baterias. Carga CA sem ou com armazenamento, é semelhante à carga CC sem armazenamento, porém é necessário um inversor para alimentação das cargas que funcionam em CA, com armazenagem em baterias, caso necessário.

Existe uma categoria de sistemas híbridos, que são isolados da rede elétrica, mas existe mais de uma fonte de geração de energia elétrica, como o gerador à diesel por exemplo. Necessitam de um controle capaz de integrar os geradores, de modo a garantir o melhor funcionamento e performance.

Oposto aos sistemas on-grid, os conectados à rede, representam uma fonte complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado. Além de não utilizarem armazenamento de energia, devido à todo o excedente gerado ser entregue à rede. Apresenta alta versatilidade de geração, potências instaladas vão desde kWp, em aplicações residenciais e comerciais, até MWp, em indústrias. Se diferem quanto à forma de conexão à rede e podem ser descentralizados ou centralizados. Nos sistemas descentralizados, os sistemas fotovoltaicos se enquadram entre as alternativas da Geração Distribuída, forma de produção de energia elétrica.(REIS, 2011).

Os sistemas on-grid passaram ser utilizados no Brasil em 2012 através da resolução 482/2012, a energia excedente produzida é injetada na rede e permanece em forma de créditos, quando o consumo de energia for superior à gerada, será pago a diferença entre a energia consumida e a gerada, contudo, mesmo que a produção de energia seja superior à de consumo, não é possível abater totalmente o valor da conta de luz, pois, existe uma tarifa mínima a ser paga correspondente à alimentação, sendo 30 kWh para monofásica, 50 kWh para bifásica e 100 kWh para trifásica. Porém, mesmo com essas tarifas. (MORITA, 2018).

Segundo Alves, estima-se que os sistemas conectados à rede sejam mais utilizados em países desenvolvidos, enquanto a prioridade é dada para os sistemas off-grid em países em desenvolvimento e não desenvolvidos. (ALVES, 2018).

Atualmente a tecnologia que domina o mercado é a do silício com cerca de 95% da potência total instalada, com participação de 62,36% do silício policristalino, e do silício monocristalino ocupando 33,03%. Os sistemas são compostos de painéis, que

são conjuntos de células de silício cristalino ou de filme fino, onde acontece a conversão da energia provinda do Sol em energia elétrica e de um sistema adjacente que realiza a transferência dessa energia ao consumidor. (VIAN *et al.*, 2021b).

Segundo Vian *et al.*, a conversão da energia solar em elétrica ocorre nos painéis solares, em corrente contínua, cuja potência fornecida varia, usualmente, de 300 a 400 W em cada painel, os painéis são compostos da associação em paralelo de tiras de células ligadas em série. Um painel ou um conjunto de painéis é associado a um inversor, que converte a corrente contínua em alternada e em geral também possuem funções de otimização de conversão.

Infraestrutura elétrica como cabeamento e disjuntores também fazem parte da composição do sistema fotovoltaico. Podem ainda, estar presentes nesses sistemas os transformadores, em situações as quais são necessárias a compatibilização das tensões elétricas do inversor da rede.

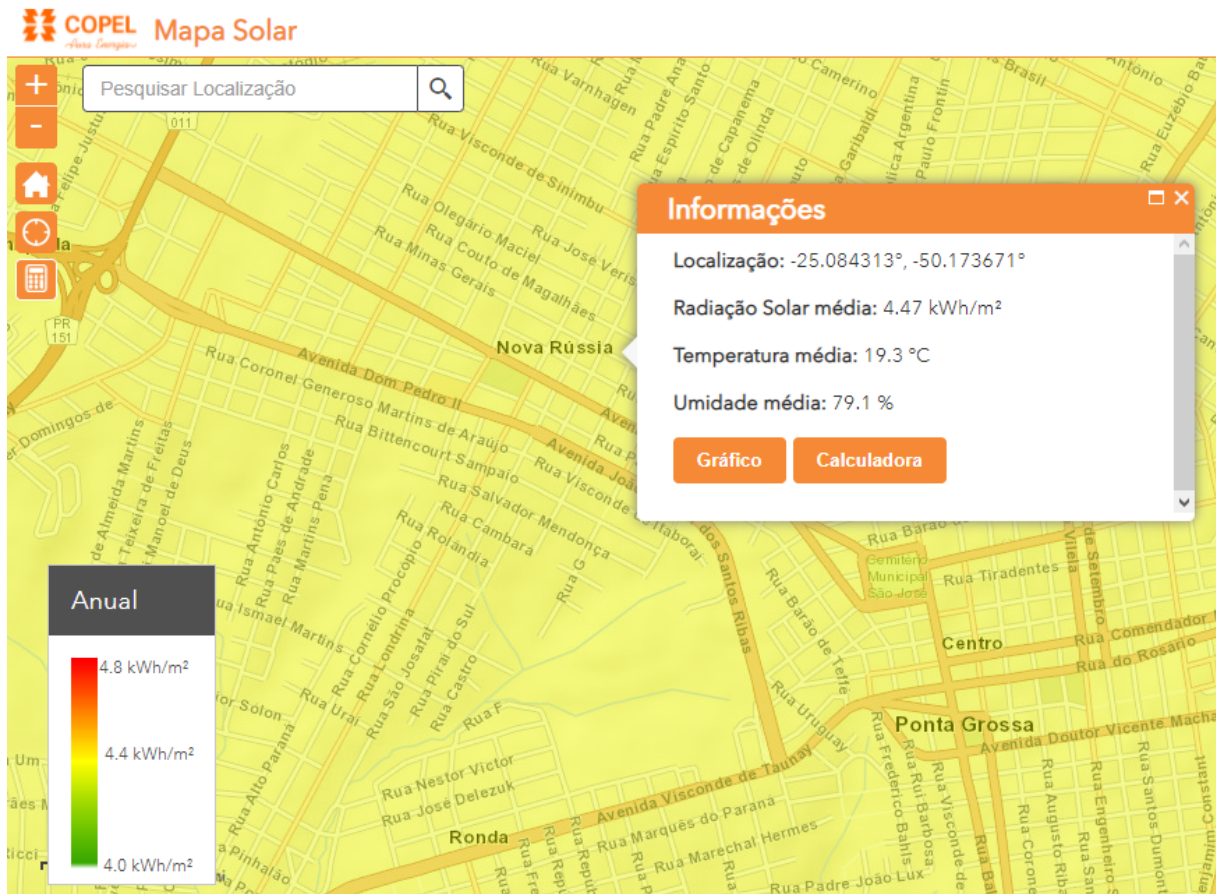
Para estimar o fator de capacidade (FC) dos sistemas fotovoltaicos é utilizada a seguinte fórmula: (EPE, 2021a), pg222.

$$FC = \frac{PR \times GTI_m}{24 \times I_{STC}} \quad (1)$$

Sendo, PR o Performance Ratio. Fator que incorpora as perdas. Assumindo 80% para sistemas remotos instalados em Alta Tensão e 75% para os demais sistemas. Isso se justifica pelo fato de sistemas em solo possuírem melhor orientação dos módulos e limpeza mais frequente, o que garante menores perdas de produção. GTI(m) é a irradiação diária global média no plano inclinado para o município m, pode ser consultado utilizando o Google Earth. Por fim, I_{STC} é a irradiância (ou capacidade de irradiação) nas condições padrões de testes de fabricantes, como a Risen® é equivalente à 1 kW por m². O fator de degradação diário da tecnologia fotovoltaica é baseado na degradação anual igual a 0,5% ao ano. (EPE, 2021a).

A Fig. 2, é um exemplo claro das informações e de como funciona a metodologia adotada para obter esses dados importantes para o cálculo de fator de capacidade de sistemas solares.

Figura 2 – Radiação Solar média no bairro Nova Rússia - Ponta Grossa

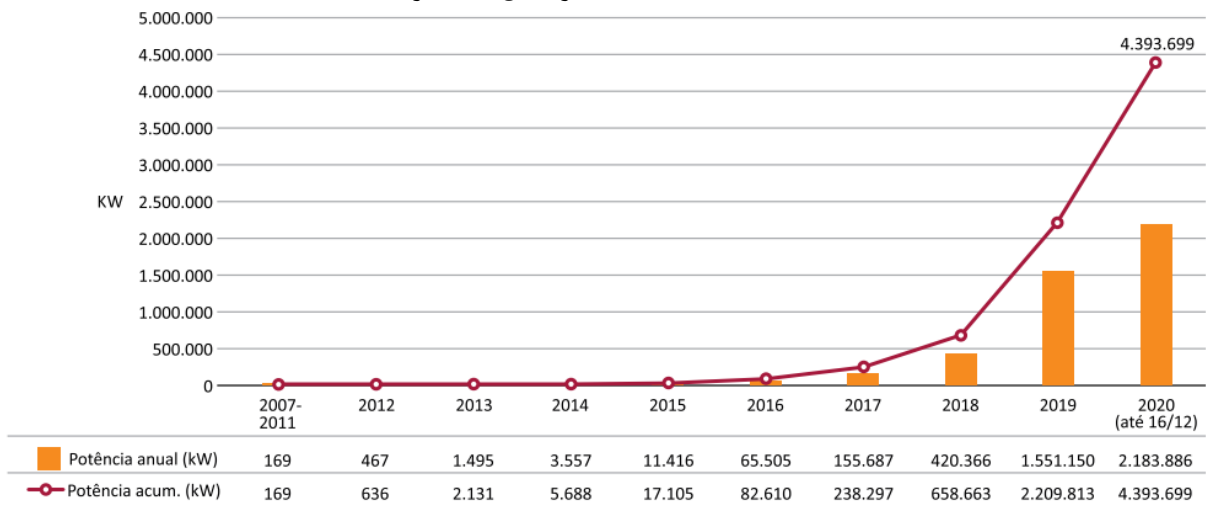


Fonte: (COPEL, 2021).

3.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Segundo dados ANEEL, a modalidade de geração própria de energia solar, atingiu a marca de 8GW e está presente em mais de 97,3% dos municípios brasileiros. No Brasil, o mercado de geração distribuída teve impulso a partir da Resolução Normativa (REN) 482/2012 e revisões posteriores, como a REN 687/2015, da ANEEL. Nos últimos anos, o crescimento desse segmento tem sido acentuado, conforme Gráfico 6.

Geração distribuída é o processo que permite instalar em uma unidade consumidora pequenos geradores de fontes renováveis que também podem funcionar como cogeração qualificada, ou seja produção de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. A energia gerada no mês é descontada da energia consumida, proporcionando uma redução no valor da conta de energia do cliente. A implementação desse sistema necessita da aprovação e vistoria dos órgãos regulamentadores e concessionária da região de aplicação. Existem dois tipos, microgeração e minigeração e a diferença entre elas está na potência da geração. (REIS, 2011).

Gráfico 6 – Evolução da geração distribuída no Brasil 2007 – 2020

Fonte: (ETENE, 2021), p6.

A geração distribuída ainda pode ser dividida em isolada, a qual será operada de forma isolada ao sistema elétrico. Interconectada, referente à geração distribuída que será interconectada ao sistema elétrico, operando em paralelo com ele, nesse caso tanto o consumidor/investidor quanto a concessionária podem possuir e operar o sistema.

Conforme a ANEEL, a definição de micro e minigeração está apresentada na Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica nº 687 de 24 de Novembro de 2015, que modifica o art. 2º da Resolução Normativa nº 482 de 17 de Abril de 2012 que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

De acordo com o Ministério de Minas de Energia, entre os diversos benefícios da micro e minigeração distribuída, podem ser destacados: (ETENE, 2021).

- Redução de perdas técnicas, em razão da localização junto ao consumo;
- Atenuação de investimentos em transmissão;
- de fontes renováveis;
- Adiamento de investimentos em geração centralizada;
- Aumento da segurança do fornecimento pela redução da dependência da rede de transmissão;
- Otimização da operação da rede de distribuição e aumento da qualidade do fornecimento;

- Rápida implantação e baixos custos de operação e manutenção;
- Atração de investimentos privados e pulverizados para o setor;
- Complementariedade da geração no horário da ponta física do sistema;
- Diversificação da matriz energética; e
- Geração de empregos e desenvolvimento econômico.

3.2.1 Normativa 482/2012

A REN 482 estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. (ANEEL, 2012).

Em outras palavras, toda a energia que sistemas de micro e minigeração gerarem e não for utilizada, será registrada pelo medidor de energia e injetada na rede pública de energia elétrica, convertendo-se o valor medido em créditos energéticos (em kWh), que amenizarão (desconto) o valor da fatura elétrica da unidade consumidora. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 36 meses.

Existem também a possibilidade de utilização dos créditos gerados em um determinado ponto de consumo em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão. Para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). De forma análoga, para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A) será devida apenas a parcela da fatura correspondente à demanda contratada. (ETENE, 2021).

Além disso, a REN 482 define:

- Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (ANEEL, 2012)
- Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de

energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (ANEEL, 2012).

3.2.2 Normativa 687/2015

A REN Nº 482, representou um importante marco na incentivação à geração distribuída no Brasil, contudo, visando o aperfeiçoamento dessa norma, a REN 687/2015 de 24 de novembro de 2015 foi elaborada. Com a entrada em vigor da REN 687 em 01 de março de 2016, a REN 482 da ANEEL teve mudanças, que impactam diretamente sobre o mercado de energia elétrica para micro e minigeradores distribuídas.

Além de incentivar e criar novos nichos de consumidores e possibilidades de comercialização, também diminui o processo burocrático para a inserção das centrais geradoras junto às concessionárias de energia elétrica, influenciando também na qualificação da mão de obra dos setores relacionados.

Das principais alterações, têm-se o aumento no prazo para uso dos créditos energéticos, que saltou de 36 para 60 meses, o período para a aprovação do sistema fotovoltaico junto à concessionária também mudou, de 82 para 34 dias. Conforme (ANEEL, 2015), Art. 1º Alterar o art. 2º da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, que passa a vigorar com a seguinte redação:

- Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.
- Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

3.2.3 Normativa 786/2017

A REN nº 786, de 17 de outubro de 2017 altera a REN nº 482, de 17 de abril de 2012. Resumidamente fica vedado o enquadramento como microgeração ou minigeração distribuída das centrais geradoras que já tenham sido objeto de registro, concessão, permissão ou autorização, ou tenham entrado em operação comercial ou tenham tido sua energia elétrica contabilizada no âmbito da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica ou comprometida diretamente com concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, devendo a distribuidora identificar esses casos.

E conforme (ANEEL, 2017), o art nº 2 passa a vigorar o seguinte descritivo:

- Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

3.2.4 Normas ABNT

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou as seguintes normas relacionadas aos dispositivos fotovoltaicos, visando à maior segurança e padronização das instalações. (ETENE, 2021):

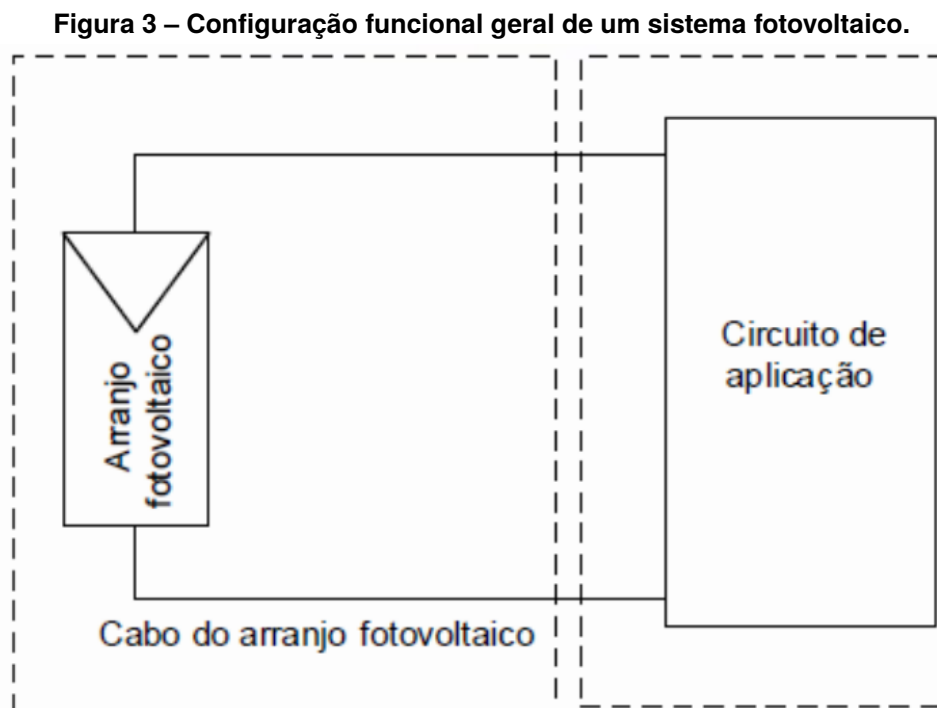
- ABNT NBR IEC 62116/2012: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;
- ABNT NBR 16149/2013: Sistemas fotovoltaicos: Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- ABNT NBR 16150/2013: Sistemas fotovoltaicos: Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade;
- ABNT NBR 16274/2014: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho.
- ABNT NBR 16690/2019: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, conduto-

res, dispositivos de proteção, de manobra, aterramento e equipotencialização do sistema fotovoltaico.

3.2.4.1 ABNT NBR 16690/2019

Esta Norma estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico. O escopo desta Norma inclui todas as partes do arranjo fotovoltaico até, mas não incluindo, os dispositivos de armazenamento de energia, as unidades de condicionamento de potência ou as cargas. (ABNT, 2019).

A NBR 16690 baseada na IEC/TS 62548:2013, complementa NBR 5410 e devem ser aplicadas em conjunto. (ABNT, 2019). Primeiramente, as instalações fotovoltaicas conforme a NBR 16690, devem satisfazer as condições e características gerais que uma instalação elétrica em baixa tensão deve possuir, A NBR 16690 define uma configuração funcional geral de um sistema fotovoltaico, com base na Fig. 3.



Fonte: (ABNT, 2019).

Os SEP por si só já apresentam uma série de riscos à vida humana e as estruturas em volta, para arranjos fotovoltaicos e sistemas em corrente contínua, não

é diferente, essas disposições trazem riscos além daqueles originados do SEP convencional convencionais em corrente alternada, até mesmo a capacidade de gerar arcos elétricos com correntes que não sejam maiores do que as correntes de operação normais.

Portanto, essa norma tem por objetivo especificar os requisitos de segurança que esses arranjos podem gerar. Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, os requisitos de segurança descritos nesta Norma são, contudo, criticamente dependentes da conformidade dos inversores associados ao arranjo fotovoltaico com os requisitos da IEC 62109-1 e da IEC 62109-2. (ABNT, 2019)

Conforme o escopo da norma, (ABNT, 2019), ela não se aplica aos arranjos fotovoltaicos com potências menores que 100 Wp ou com tensão de circuito aberto menor que 35 Vcc ou maior que 1.500 Vcc. Contudo, exigências complementares podem ser necessárias para instalações mais especializadas, como, por exemplo, sistemas com concentrador, de rastreamento solar ou integrados à edificação. Essas exigências podem ser consultadas com o fabricante dos equipamentos em questão.

Ramos e Moreira, J. P. J., 2021, sugere que após instalado, o sistema fotovoltaico deve ser inspecionado visualmente e com ensaios que assegurem que as exigências de segurança do do arranjo fotovoltaico estejam alinhados conforme seção 7 da NBR 5410. Os arranjos podem ser divididos em subarranjos. Segundo a NBR 10899 um subarranjo é a parte de um arranjo fotovoltaico que pode ser considerada como uma unidade. Um subarranjo pode ser entendido como um conjunto formado por séries fotovoltaicas que estão dispostas em paralelo.

3.2.5 Lei nº 14.300/2022

O Marco Legal da Geração Distribuída no BRASIL: a Lei nº 14.300/2022, publicada em 6 de janeiro de 2022, traz mudanças à modalidade de geração própria de sistemas fotovoltaicos. Com essa lei, a regra de compensação teve prazo delimitado, que estará em vigência até o ano de 2045 para os consumidores-geradores atuais e aqueles que solicitarem acesso à rede de distribuição por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica em até 12 meses da publicação da nova Lei. (MEYER, 2022).

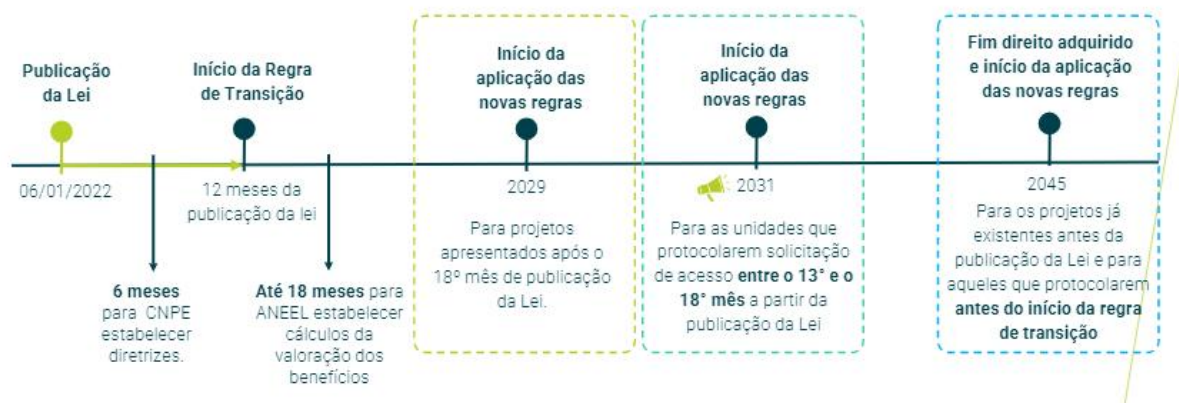
Conforme expõe em seu artigo Meyer, as principais mudanças na Geração

Distribuída no Brasil, foram resumidamente, microgeração distribuída com potência de até 75 KW. Minigeração até 3 MW para fontes não-despacháveis e 5 MW para fontes despacháveis (fontes que podem ser acionadas a qualquer momento para atender a demanda). Ainda há o Benefício do "Direito Adquirido", que mantém as regras para os projetos já existentes ou com "Solicitação de Acesso" protocolada em até 12 meses da publicação da Lei da Geração Distribuída.

Para exercer os Direitos Adquirido, durante o período de vacância, equivalente há 12 meses, aqueles que acabaram de adentrar na categoria de geração distribuída, devem injetar energia na rede até: 120 dias para os microgeradores. 12 meses para os minigeradores de fonte solar. 30 meses para os minigeradores das demais fontes.

A lei 14.300 não revoga a REN 482, contudo, leis são hierarquicamente superior à REN, sendo assim, a 14.300 revoga implicitamente todos os artigos e descrições das REN que sejam opostos aos da lei. Vale destacar que a lei fornece à ANEEL 180 dias para a regulamentação da lei, e mais 180 dias de adequação para as concessionárias de energias. Apesar desses prazos, pode-se interpretar que sistemas que não dependam dessas regulamentações e adequações, necessitam ser adequados de maneira imediata. (GOVERNO FEDERAL, 2022). A Fig. 4 detalha mais sobre os prazos da nova lei.

Figura 4 – Aplicação das Novas Regras da Lei 14.300



Fonte: (GREENER, 2022).

Conforme Lei 14.300, os consumidores já existentes e aquelas que fizeram que protocolarem sistemas de geração até 2022, continuarão nas normativas atuais, contemplando todos as vantagens e benefícios ofertados pela ANEEL por mais 25 anos.

No novo sistema, as unidades consumidoras com micro ou minigeração, poderão injetar na rede da distribuidora a energia que é gerada, mas não consumida. Gerando, os créditos deverão ser utilizados em um prazo de 60 meses, conforme exposto na Seção 3.2.2, que abaterão o valor utilizado pela distribuidora, reduzindo assim, conta de luz. Para utilizar os sistemas de distribuição, passará a ser cobrada uma tarifa, denominada Fio B.

Conforme SOLSTAR, esta tarifa relacionada com os custos de manutenção e operação das linhas de transmissão. O valor dessa taxa é calculado pela ANEEL e tem um valor médio de 28% da tarifação da conta de energia, dependendo de região para região.

Portanto, quem iniciar o processo de homologação a partir de janeiro de 2023, fará parte da regra de não compensação do Fio B, passando a pagar o valor de forma escalonada. O valor total do Fio B será cobrado a partir de 2029, antes disso, ainda serão utilizadas as porcentagens definidas no período de transição. (SOLSTAR, 2022).

3.2.6 Mercado Livre de Energia

Tradicionalmente, o sistema de consumo de energia é chamado de cativo, também conhecido como Ambiente de Contratação Regulada (ACR), tal que a concessionária local (por exemplo a Copel no Paraná) é a única responsável pela distribuição, tarifação e SEP da energia.

Além da ACR existe também o chamado Ambiente de Contratação Livre (ACL), formado pelos consumidores livres. É um ambiente de negócios onde vendedores e compradores podem negociar energia elétrica voluntariamente, permitindo que os consumidores encontrem diversos fornecedores de energia elétrica, sendo por empresas geradores ou comercializantes.

Segundo a Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (ABRACEEL), a vantagem desse sistema é que o consumidor pode escolher o fornecedor e condições de pagamento, através de contratos, descontos, compras futuras e outros. Além disso, devido a grande variedade de fornecedores, os preços tendem a diminuir e não oscilarem tanto devido as bandeiras tarifárias podendo gerar uma economia média de até 27% ((ABRACEEL, 2022a)) no valor da fatura, funcionando como uma forma de blindagem a aumentos repentinos ou condições adversas. Contudo alguns custos

ainda não estão isentos, como por exemplo as taxas cobradas pela concessionária local sobre a iluminação pública. (ABRACEEL, 2020).

O ACL possui dois tipos de consumidores, livres e especiais. Os livres são aqueles que possuem no mínimo, 2.000 kW de demanda contratada de energia proveniente de qualquer fonte de geração de energia. Os especiais, o consumo deverá ser igual ou maior que 500 kW e menor que 2.500 kW, sendo que a energia proveniente deverá ser de fontes renováveis como a eólica, solar, biomassa pequenas centrais hidrelétricas ou hidráulica de empreendimentos com potência inferior ou igual a 50.000 kW. A COPEL mostra as etapas que devem ser concluídas para um consumidor cativo entrar no mercado livre, conforme Fig. 5. (ABRACEEL, 2020).

Figura 5 – Etapas necessárias para participar do Mercado Livre de Energia



Fonte: (COPEL, 2022).

Conforme (MERCADO LIVRE DE ENERGIA, 2019), de acordo com a REN nº 247/06 todo Consumidor Especial pertence ao Grupo A, para os consumidores especiais, os limites foram alterados conforme:

- A partir de 01/01/2021, os consumidores com carga igual ou superior a 1.500kW e qualquer nível de tensão;
- A partir de 01/01/2022, os consumidores com carga igual ou superior a 1.000kW e qualquer nível de tensão.
- partir de 01/01/2023, os consumidores com carga igual ou superior a 500kW e qualquer nível de tensão.

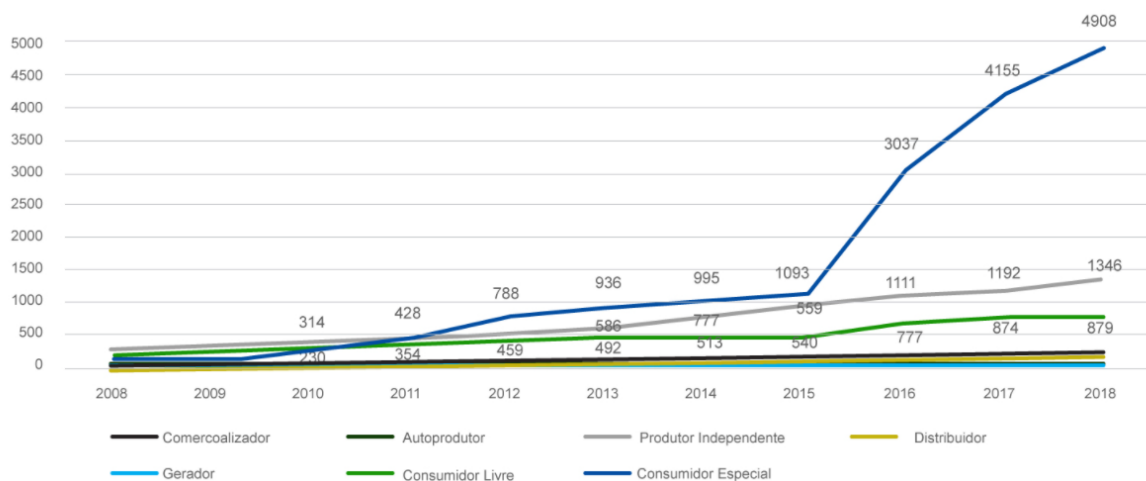
Conforme o artigo escrito pela ABRACEEL, o consumidor de energia do mercado livre adquire energia por meio de contratos de compra e venda diretamente com

as empresas geradoras de energia ou com as comercializadoras. Somente os agentes autorizados pela ANEEL e registrados na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) - entidade responsável por operar o Mercado Livre de Energia - podem orientar corretamente os consumidores a migrarem para o mercado livre. Uma vez dentro do mercado livre, o consumidor terá duas opções, tornar-se um consumidor atacadista ou ser representado por um comercializador varejista.

Na modalidade atacadista há mais burocracia e procedimentos mensais, mas o consumidor poderá comprar energia de diferentes fornecedores, ajustando à sua demanda e especificações financeiras. Na modalidade varejista, por norma, o comercializador ao representar seus consumidores, deve registrar os contratos firmados junto à CCEE, porém não é necessário que o consumidor faça adesão à CCEE. (ABRACEEL, 2020).

O mercado livre encerrou o primeiro semestre de 2020 com cerca de 7.222 consumidores, dos quais 938 são livres e 6.284 são especiais. No período dos seis primeiros meses foram realizadas 165 novas migrações, um crescimento de 10,2%, o Gráf. 7 exibe o número de agentes por classe, registrados até 2018. Desde 2007, o Mercado Europeu é totalmente acessível, sendo que até consumidores residenciais podem escolher de quem comprar energia. (MERCADO LIVRE DE ENERGIA, 2019)

Gráfico 7 – Número de agentes por classe



Fonte: (MERCADO LIVRE DE ENERGIA, 2019).

Vale ressaltar que no mercado livre, o consumidor continua a receber energia transportada pela distribuidora, que exerce em uma determinada região, pois é inviável fisicamente e economicamente a implementação de um sistema exclusivo de transmissão (postes, cabos, e similares).

3.2.6.1 Grupos Tarifários

Para entender melhor sobre os grupos tarifários a Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021 define o Grupo A como sendo o grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3 kV, e subdividido nos seguintes subgrupos. (ANEEL, 2021):

- subgrupo A1: tensão de conexão maior ou igual a 230 kV;
- subgrupo A2: tensão de conexão maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV;
- subgrupo A3: tensão de conexão igual a 69 kV;
- subgrupo A3a: tensão de conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV;
- subgrupo A4: tensão de conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV; e
- subgrupo AS: tensão de conexão menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição;

E o grupo B como o grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e subdividido nos seguintes subgrupos (ANEEL, 2021):

- subgrupo B1: residencial;
- subgrupo B2: rural;
- subgrupo B3: demais classes; e
- subgrupo B4: Iluminação Pública;

3.2.6.2 Projeto de Lei 414/2021

No dia 25 de fevereiro de 2021 foi divulgado o relatório preliminar do projeto de lei 414/2021, elaborado pelo deputado federal Fernando Coelho Filho, que tem o intuito de ampliar o acesso ao mercado livre de energia à totalidade dos consumidores em um prazo razoável. A principal medida é a redução dos limites de carga e tensão para todos os consumidores em 42 meses, o Poder Executivo deverá apresentar plano para abertura total do mercado de baixa tensão contendo ações de comunicação para

conscientizar os consumidores, regulamentação de ações para aprimorar a infraestrutura de medição e faturamento, e a regulamentação para o suprimento de última instância, entre outros. (ABRACEEL, 2022b).

4 DADOS DO PROJETO E ESTUDO DE VIABILIDADE

4.1 RELAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DOS EQUIPAMENTOS ESTIMADOS PARA MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O sistema proposto que será abordado ao decorrer desse trabalho, terá capacidade de geração de 683.409 kWh/mês, instalado em uma zona rural da cidade de Ponta Grossa - PR, com radiação Solar Média de 4,96 kWh/m².dia. Capacidade de irradiação de referência quando colocado o painel em plano inclinado de 1 kW/m² e Performance Ratio de 80%.

Para esse valor de geração, estima-se uma potência instalada de 5.741 kWp, para possibilitar esse valor, a Tabela 1 expõe os materiais necessários de acordo com as simulações e estimativas do fornecedor em questão. Os métodos utilizados para calcular esses valores não foram informados pelo projetista, esse tipo de situação é corriqueira nesse mercado, pois cada projetista pode adotar critérios diferentes, já que essa capacidade é uma estimativa, que pode não se cumprir no decorrer da instalação, devido à fatores naturais.

Tabela 1 – Relação dos Materiais

Material	Quantidade
Módulo de silício Monocristalino 445 Wp	12.900 (un)
Inversor trifásico SIW500H ST200HV	24 (un)
Conectores MC4 (macho-fêmea)	476 (un)
Cabo CC preto 6 mm ² 1kV	178.000 (m)
Cabo CC vermelho 6 mm ² 1 kV	178.000 (un)
Chave seccionadora CA 3P 800 V XLP1	24 (un)
Fusível retardado CA 800 Vca NH gG 100 A	72 (un)
Subestações na classe de tensão 34,5 kV potência de 2500 kVA	02 (un)

Fonte: Autoria própria (2022).

Cabos, chaves seccionadoras, conectores, fusíveis e as subestações, fazem parte da infraestrutura elétrica do sistema e são essenciais para a adequação às normas de segurança e funcionamento do gerador solar.

Para o enquadramento desse sistema na REN, leva-se em conta a potência do Inversor SIW500H ST200HV, que é equivalente à 200 kW, os 24 equipamentos totalizam 4,8 MW, se enquadrando nas características de minigeração distribuída. Essa informação é válida até que a lei 14.300 passe a vigorar.

4.1.1 Inversor trifásico SIW500H ST200 HV

Usualmente os inversores para a conexão à rede elétrica são construídos para receber conjuntos com vários módulos conectados em série, formando os chamados strings (fileiras de módulos) com tensão de saída elevada.

Esse modelo de inversor é da fabricante WEG, e conforme folha de dados, as principais informações que pode-se citar são: (WEG, 2022b).

- Potência Ativa Nominal: 200 kW
- Tensão de Entrada Máxima: 1.500 V
- Corrente Nominal de Saída: 144,4 A
- Grau de Proteção: IP66

Além disso, sua topologia não contém transformador e apresenta uma eficiência máxima de 99%. Outros dados podem ser consultados na ficha técnica fornecida pelo fabricante, a Fig. 6 mostra como o equipamento é. (WEG, 2022b).

Figura 6 – Inversor trifásico SIW500H ST200 HV



Fonte: (WEG, 2022a).

A tensão máxima suportado pelo inversor está relacionada com a tensão de circuito aberto dos módulos fotovoltaicos. A tensão de circuito aberto está presente nos módulos quando estes não fornecem corrente elétrica. Mesmo quando não estão em funcionamento. Além disso, os inversores podem ser equipados com um ou mais sistemas de rastreamento do ponto de máxima potência para maximizar a potência fornecida pelos módulos fotovoltaicos. (INSTITUTO BRASIL FOTOVOLTAICO, 2021).

4.1.2 Módulo de silício Monocristalino

Esse tipo de módulo, quando comparado à outras tecnologias se sobressai em quesitos de eficiência e espaço, contudo possuem custo maior e geram mais sobras de material na sua produção.

São compostos de blocos de silício extremamente puros, aquecidos em altas temperaturas e submetidos a um processo de formação de cristal. São uniformes e normalmente azulado escuro ou preto. Conforme Fig. 7. (INSTITUTO BRASIL FOTOVOLTAICO, 2021).

Figura 7 – Módulo de silício Monocristalino



Fonte: (INSTITUTO BRASIL FOTOVOLTAICO, 2021).

Os dados técnicos podem ser adquiridos através da folha de dados do fabricante Risen[®], para este caso. A célula em questão têm peso equivalente à 25,5 kg e possui capacidade de geração de energia de 445 Wp, valor medido em laboratório sob condições artificiais, tal valor pode variar dependendo das condições de operação (Gráf. 8 e Gráf. 9). No total as 12.900 células, em arranjo misto, somam um total de 5740.5 kWp. A Tabela 2 expõe outros dados técnicos fornecidos pelo fabricante:

Segundo Gnoatto *et al.*, 2005, as características elétricas dos módulos fotovoltaicos são estimadas de acordo com sua potência máxima de saída, sob condições

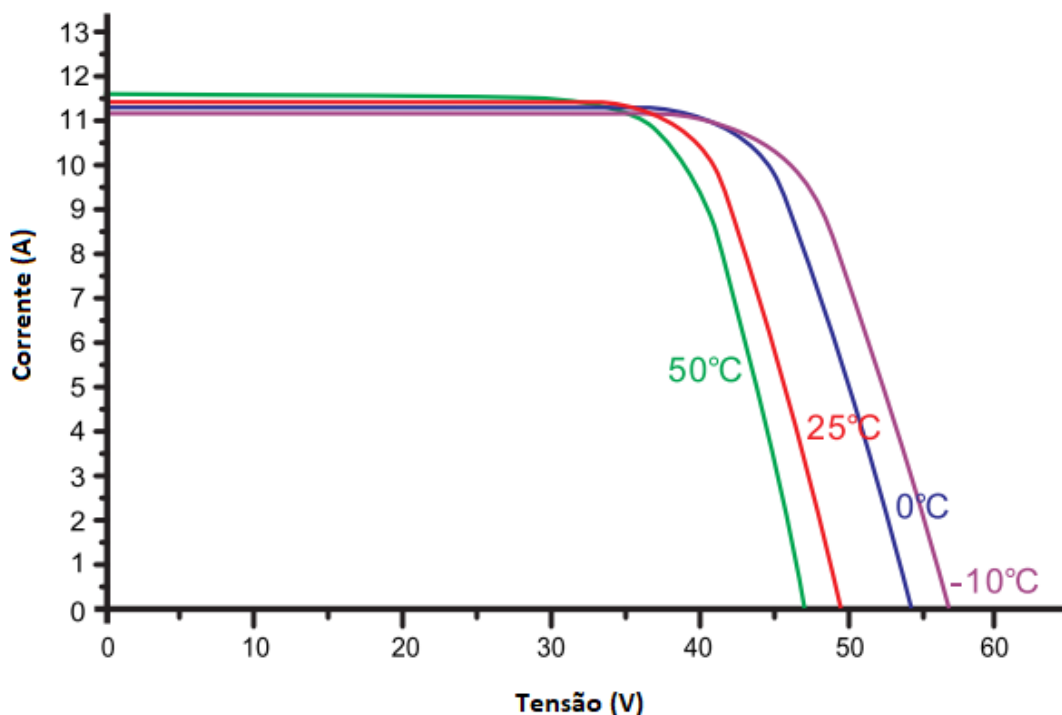
Tabela 2 – Dados Placa Solar de Silício Monocristalino

Característica	Valor
Potência Nominal Máxima	445 W
Tensão de Operação	43,9 V
Corrente de Operação	10,15 A
Tensão de Circuito Aberto	52,7 V
Corrente de Curto Circuito	10,77 A
Eficiência do Módulo	20,5 %
Temperatura de Operação	-40°C +85°C
Tensão Máxima do Sistema	1500 V
Tolerância de Potência	0 +5 W
Coeficiente de Temperatura (Pmax)	-0,37%/°C
Coeficiente de Temperatura (Voc)	-0,29%/°C
Coeficiente de Temperatura (Isc)	+0,05%/°C
Dimensões	2178 x 996 x 40 mm

Fonte: Autoria própria (2022).

de teste padrão (*Standard Test Conditions* - STC), irradiação solar 1000 Wm^2 , temperatura da célula de 25°C e distribuição espectral $AM=1,5$. Para complementar as informações do desempenho elétrico em STC, alguns fabricantes informam também suas características à temperatura nominal de operação da célula (*Nominal Operation Cell Temperature* - NOTC). O Gráf. 8 expõe a curva característica tensão x corrente (V-I) à diferentes variações de temperatura dos módulos adotados no projeto, modelo RSM144 Risen®.

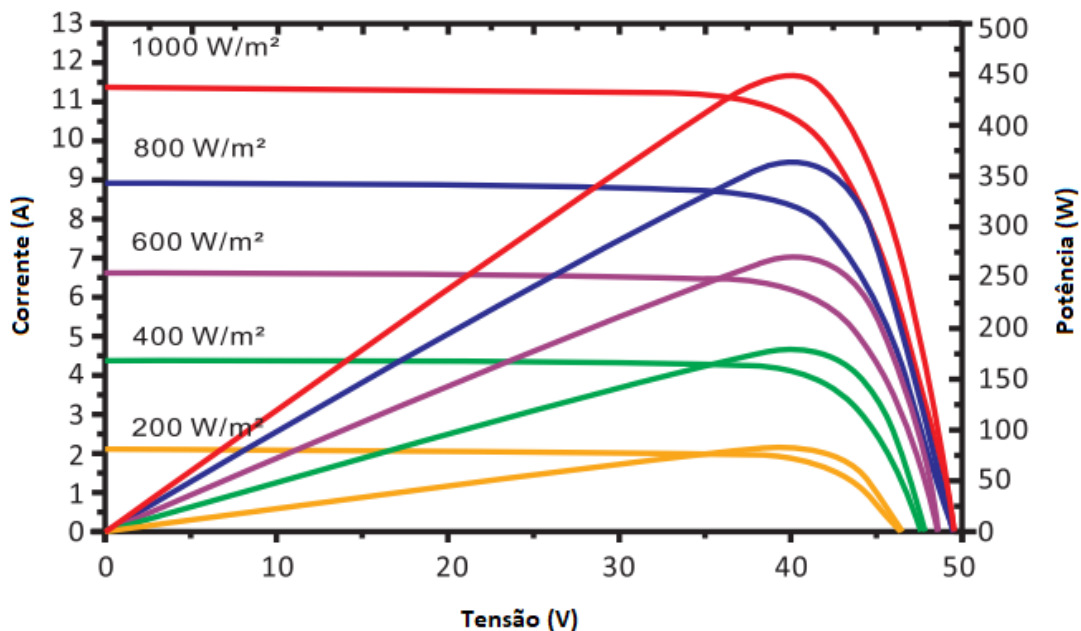
Gráfico 8 – Curva característica V-I à diferentes temperaturas



Fonte: (RISEN®, 2022).

A incidência de irradiação solar sobre o módulo proporciona tensão de circuito aberto, que se comporta como uma função logarítmica em relação à intensidade luminosa, quanto a corrente de curto circuito, ela varia linearmente com a intensidade luminosa. Quando conecta-se um acessório medidor, pode-se gerar um gráfico corrente por tensão. O ponto de potência máxima corresponde ao produto da tensão de potência máxima e corrente de potência máxima. O Gráf. 9 expõe a curva característica à diferentes variações de irradiação dos módulos adotados no projeto, modelo RSM144 Risen®. (GNOATTO *et al.*, 2005).

Gráfico 9 – Curva característica V-I à diferentes irradiações



Fonte: (RISEN®, 2022).

Gnoatto *et al.* ainda afirma que quanto maior o investimento e a qualidade na fabricação do módulo, mais próxima da forma retangular será sua curva característica. A curva característica de painéis fotovoltaicos pode ser obtida sob condições naturais de luz solar ou através de *softwares*. O procedimento padrão internacional é baseado na norma IEC 904-1. Para uma célula ou conjunto de células. As condições de irradância devem ser estáveis com uma variação menor que 1%

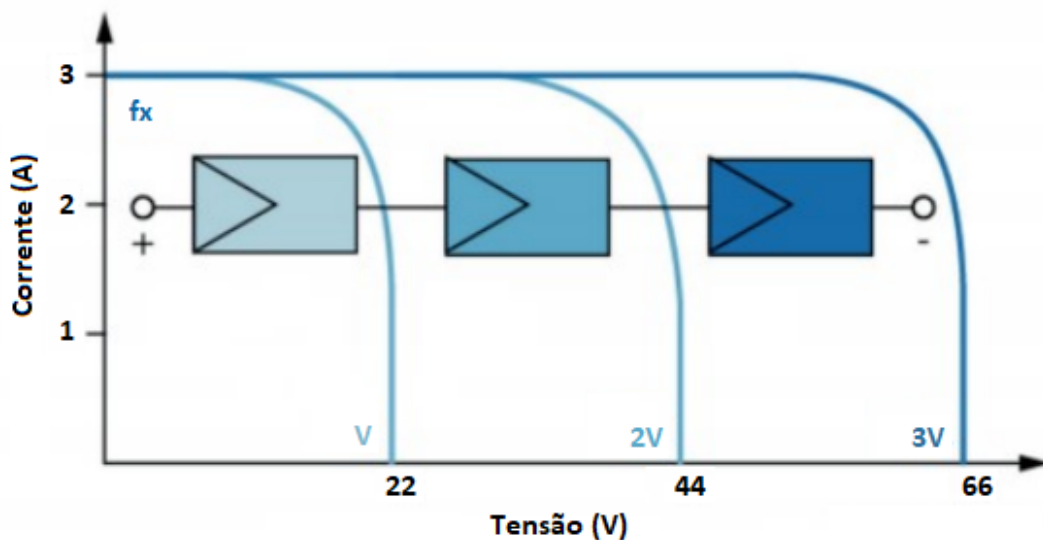
4.1.2.1 Associações de células e módulos fotovoltaicos

Dispositivos fotovoltaicos podem ser associados em série e/ou paralelo, de forma a se obter os níveis de corrente e tensão desejados. Tais dispositivos podem

ser células, módulos, ou arranjos fotovoltaicos. Os arranjos são constituídos por um conjunto de módulos associados eletricamente em série e/ou paralelo, de forma a fornecer uma saída única de tensão e corrente. (PINHO; GALDINO, 2014).

Na associação em série, o terminal positivo do módulo solar é conectado em no terminal negativo de outro módulo, e assim sucessivamente para "n" módulos, no último módulo do arranjo, conecta-se o terminal negativo. Para dispositivos iguais e submetidos as mesmas condições de irradiância e temperatura, quando a ligação é em série, as tensões elétricas são somadas e a corrente elétrica não se altera, conforme comportamento da curva característica V-I do Gráf. 10. (PINHO; GALDINO, 2014).

Gráfico 10 – Relação V-I do arranjo em série

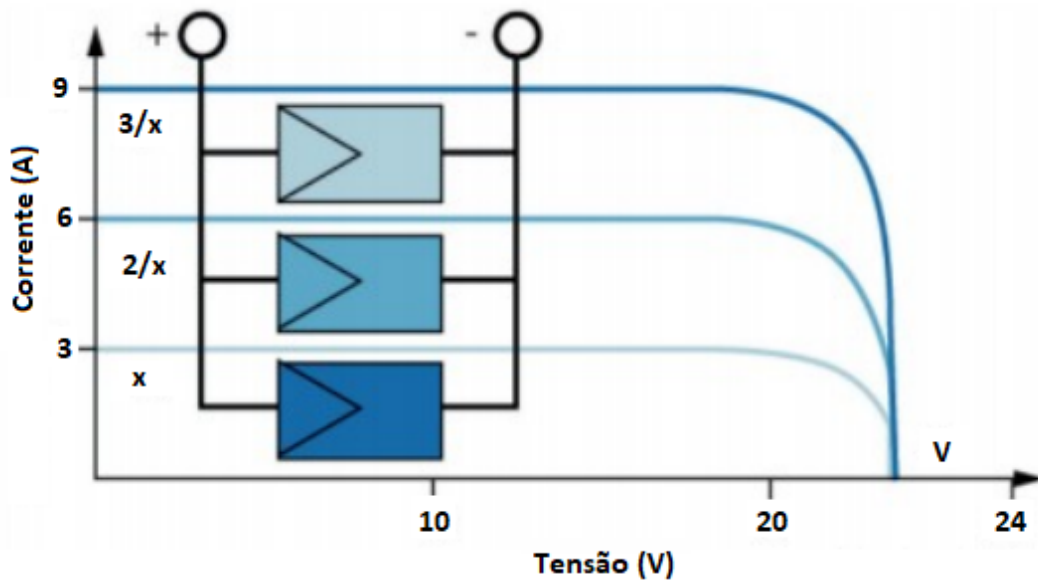


Fonte: (INSTITUTO BRASIL FOTOVOLTAICO, 2021).

Conforme Pinho e Galdino, para a associação em série de dispositivos com características diferentes, por exemplo, diferentes correntes de curto circuito, a corrente elétrica da associação é limitada pela menor corrente especificada nos módulos do sistema, contudo, esse tipo de arranjo não é recomendado na prática, devido ao risco de superaquecimento.

Na associação em paralelo os terminais positivos dos dispositivos são interligados entre si, idem aos negativos. Para dispositivos iguais e submetidos as mesmas condições de irradiância e temperatura, quando a ligação é em paralelo, as tensões elétricas são iguais e as correntes elétricas são somadas, conforme comportamento da curva característica V-I do Gráf. 11. (PINHO; GALDINO, 2014).

Gráfico 11 – Relação V-I do arranjo em paralelo



Fonte: (INSTITUTO BRASIL FOTOVOLTAICO, 2021).

4.1.3 Metodologia alternativa para cálculo de potência da usina

Usualmente os fabricantes de módulos e equipamentos fotovoltaicos disponibilizam à seus representantes softwares, equipamentos e toda a assistência necessária para o correto dimensionamento da usina, esses métodos são considerados sigilosos, e nem sempre é possível se ter acesso à eles.

Algumas instituições oferecem treinamento na área de energia solar, contudo o teor do ensino é técnico, e pouco prático, mas é possível construir uma base para entender melhor como dimensionar sistemas fotovoltaicos, utilizando conceitos em comum.

De acordo com (INSTITUTO BRASIL FOTOVOLTAICO, 2021), para dimensionar uma usina solar, o primeiro passo é especificar a quantidade de energia a ser gerada, em seguida calcular a geração individual por módulo fotovoltaico, depois a quantidade total de módulos para atender a demanda, dimensionar os inversores e equipamentos adjacentes. O autor também ressalva a importância de realizar um cálculo de retorno de investimento, tendo em pauta que o sistema fotovoltaico é uma alternativa para redução de custos de energia elétrica.

A Eq. (2), demonstra a relação entre a Energia Produzida em Wh (EP), a insolação diária em Wh/m²/dia (Es), a área do módulo em m² (Am) e o rendimento do módulo em % (Nm).

$$EP = E_s \times A_m \times N_m \quad (2)$$

Para o projeto em questão, utilizando os mesmos dados fornecidos pelo projetista:

$$EP = 4960 \times 2,17 \times 20,5\% = 2206,46 \text{ kWh/dia} \quad (3)$$

Esse valor de potência não é comercial, e segundo empresas do segmento da região de Ponta Grossa, atualmente os módulos de 445 Wp e 600 Wp são os mais comuns, gradualmente os módulos de 700 Wp estão chegando no Brasil, e por questões de prazo de entrega do fabricante, a opção mais viável é adotar uma potência de 445 Wp por módulo.

O intuito da usina em questão é gerar cerca de 5740,5 kWp, dispondo de uma área de 20 hectares, o próximo passo é determinar a quantidade de módulos. Segundo a literatura de Instituto Brasil Fotovoltaico, para dimensionar a quantidade de módulos utiliza-se a Eq. (4), tal que N_m é a quantidade de módulos necessários, P_s a Energia produzida pelo sistema (kWh) no intervalo de tempo considerado e EP Energia produzida por um módulo (kWh) no mesmo intervalo de tempo:

$$N_m = \frac{P_s}{EP} \quad (4)$$

Resultando em:

$$N_m = \frac{5740,5 \times 1000}{445} = 12900 \quad (5)$$

Os 12900 módulos com área aproximada de 2,17 m² totalizam 27993 m² de espaço ocupado, e serão distribuídos no terreno de 20 hectares (200000 m²), de maneira uniforme, respeitando uma distância mínima (ainda à definir no projeto executivo) entre eles, e contemplando um espaço entre as filas de módulos para sua manutenção e limpeza. A higienização dos módulos será realizada através de caminhões pipa, devido ao tamanho da área ocupada pela usina. Como o terreno do local de instalação é amplo, esse fator não apresenta criticidade, mesmo levando em conta a área que também será ocupada pelas duas subestações previstas no projeto.

4.1.4 Fator de Capacidade

O Fator de Capacidade é o indicador que define o quanto uma usina gera em relação ao máximo que ela poderia gerar, já que nem sempre a usina estará atuando na sua potência pico, nos sistemas fotovoltaicos, por exemplo, existe a dependência da irradiação solar e da temperatura, em dias ensolarados a geração de energia é maior. Além de ser um parâmetro de produtividade de sistemas de geração de energia, também identifica possíveis problemas e locais mais produtivos para cada tipo de geração. No casos de sistemas solar a média do Brasil é de solar 21,55%, sendo que o Estado da Bahia possui Fator de Capacidade Médio de 24,66% e o de São Paulo de 20,01%. Para o projeto em estudo proposto, o Fator de Capacidade é de aproximadamente 16,5%. (ENERGÊS, 2020).

4.2 INVESTIMENTO

O investimento referente ao projeto proposto é de R\$ 33.112.219,32, esse valor já contempla toda a infraestrutura elétrica, mecânica, construção civil, mão de obra qualificada de instalação e projeto.

4.3 PAYBACK E VIABILIDADE DO PROJETO

O *Payback* (retorno de pagamento), é um indicador extremamente utilizado atualmente para calculo de prazo de retorno de um investimento, pode ser entendido como o tempo de retorno do investimento inicial até o momento no qual o ganho acumulado se iguala ao valor deste investimento, o *Payback* pode ser classificado como simples ou descontado, conforme explica MORAES.

Para o estudo de *Payback* desse projeto, considerou-se o o investimento de R\$ 33.112.219,32 e um custo mensal de R\$ 10.000,00 (R\$ 120.000,00 anuais) para manutenção preventiva dos módulos, como a limpeza por exemplo. As Tabela 3 e Tabela 4 foram construídas no software da Microsoft, o Excel, utilizado funções, fórmulas e conceitos de economia

4.3.1 Capacidade de geração da usina

Conforme dito na Seção 3.2.6, o mercado livre de energia tende a gerar uma economia de até 27% no valor da fatura. Para o estudo de payback deste projeto, considerou-se uma tarifa da copel de R\$ 0,83 (cotação de maio de 2022), então o valor de comercialização no mercado livre da usina em questão é de aproximadamente R\$ 0,61 por kwh considerando a redução que a adesão ao mercado livre pode gerar.

Considerando a potência de 683.409 kwh, estipulado pelo software do projetista, o valor máximo mensal que essa usina poderia gerar é de R\$ 416.571,96. Como a usina ainda não foi implementada, algumas simulações foram realizadas no excel, considerando uma oscilação máxima de 10% do valor que a usina poderia gerar, ou seja, cada mês pode gerar um valor entre R\$ 374.914,76 e R\$ 416.571,96, sendo distribuídos aleatoriamente entre os períodos fictícios.

4.3.2 Payback Simples

Alguns autores como Instituto Brasil Fotovoltaico enfatizam que para o cálculo de retorno de investimento de sistemas solares, basta seguir a relação da Eq. (6), contudo esse método aponta um resultado de *Payback* simples e não leva em consideração os custos mensais envolvidos no sistema.

$$\text{Payback(meses)} = \frac{\text{Valor do investimento}}{\text{Capacidade de Geração} \times \text{Valor da Tarifa}} \quad (6)$$

O *Payback* simples é um bom indicador para sistemas simples, com tempos curtos de retornos, pois não leva em conta a valorização ou desvalorização da moeda em relação ao tempo.

Na Tabela 3 o período é estudado em meses, e o fluxo de caixa, é o valor gerado pela usina fornecendo os 683.409 kwh. Sendo o período zero o mês onde o investimento foi realizado, e nos demais meses considerado a manutenção mensal de R\$ 10.000,00.

Para esse projeto, levando em consideração o custo do investimento e o de manutenção mensal, o payback simples é de 8 anos, conforme Tabela 3. O período 25, representa um valor importante, pois, conforme visto em Seção 4.4, a vida útil média

Tabela 3 – Payback Simples

Período	Fluxo de caixa	Fluxo de caixa acumulado
0	-R\$ 33.112.219,32	-R\$ 33.112.219,32
1	R\$ 4.559.076,00	-R\$ 28.553.143,32
2	R\$ 4.417.068,00	-R\$ 24.136.075,32
3	R\$ 4.490.244,00	-R\$ 19.645.831,32
4	R\$ 4.776.972,00	-R\$ 14.868.859,32
5	R\$ 4.607.736,00	-R\$ 10.261.123,32
6	R\$ 4.685.232,00	-R\$ 5.575.891,32
7	R\$ 4.616.952,00	-R\$ 958.939,32
8	R\$ 4.764.936,00	R\$ 3.805.996,68
9	R\$ 4.797.828,00	R\$ 8.603.824,68
10	R\$ 4.591.764,00	R\$ 13.195.588,68
15	R\$ 4.573.212,00	R\$ 35.945.584,68
20	R\$ 4.727.316,00	R\$ 59.029.528,68
25	R\$ 4.450.560,00	R\$ 82.228.828,68

Fonte: Aatoria própria (2022).

desses sistemas é de 25 anos, ou seja, no final desse período, considerando um tempo de retorno simples, o valor acumulado é de R\$ 82.228.828,68.

4.3.3 Payback Descontado

A outra categoria de *Payback* é o descontado, indicador mais complexo, que estuda o retorno do investimento levando em conta a valorização da moeda e do próprio investimento em relação ao tempo, por meio de uma taxa de juros.

Para a aplicação desse método, também é importante entender o conceito de valor presente, que significa o quanto um montante vale atualmente, a função Valor Presente do Excel desconta do valor a ser pago ou recebido o valor de juros, para fins de cálculos, a taxa de juros em questão é de 6,18% ao ano, a mesma aplicada à contas poupança. Considerando as mesmas premissas de geração do Seção 4.3.2, a Tabela 4 demonstra uma estimativa de retorno em categoria descontada do investimento estudado.

Para esse projeto, levando em consideração o custo do investimento e o de manutenção mensal, o payback descontado à um juros de 6,18%, é de 10 anos, conforme demonstrado em Tabela 4 e no final desse período, o valor acumulado é de R\$ 24.837.881,10.

Tabela 4 – Payback Descontado

Período	Fluxo de caixa	Valor Presente	Fluxo de caixa acumulado
0	-R\$ 33.112.219,32	-R\$ 33.112.219,32	-R\$ 33.112.219,32
1	R\$ 4.559.076,00	R\$ 4.294.128,28	-R\$ 28.818.091,04
2	R\$ 4.417.068,00	R\$ 3.918.595,64	-R\$ 24.899.495,40
3	R\$ 4.490.244,00	R\$ 3.752.014,34	-R\$ 21.147.481,06
4	R\$ 4.776.972,00	R\$ 3.759.632,77	-R\$ 17.387.848,29
5	R\$ 4.607.736,00	R\$ 3.415.690,42	-R\$ 13.972.157,88
6	R\$ 4.685.232,00	R\$ 3.271.298,67	-R\$ 10.700.859,21
7	R\$ 4.616.952,00	R\$ 3.036.285,73	-R\$ 7.664.573,48
8	R\$ 4.764.936,00	R\$ 2.951.498,27	-R\$ 4.713.075,21
9	R\$ 4.797.828,00	R\$ 2.799.163,83	-R\$ 1.913.911,38
10	R\$ 4.591.764,00	R\$ 2.523.256,41	R\$ 609.345,03
11	R\$ 4.401.084,00	R\$ 2.277.926,29	R\$ 2.887.271,32
15	R\$ 4.573.212,00	R\$ 1.862.919,44	R\$ 11.073.389,32
20	R\$ 4.727.316,00	R\$ 1.427.507,13	R\$ 18.959.089,03
25	R\$ 4.450.560,00	R\$ 996.252,05	R\$ 24.837.881,10

Fonte: Autoria própria (2022).

4.3.4 Viabilidade do projeto

O Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) são valores utilizados como indicativos financeiros e tipos métodos eficientes para a avaliação de projetos de investimentos. A atratividade de um investimento é a sua capacidade de gerar retorno econômico, mesmo levando em conta os riscos que o investimento pode apresentar. Ainda existe uma terceira nomenclatura, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) utilizada para a comparação e ou análise deste retorno e que como a nomenclatura sugere, significa a taxa de juros que representa o mínimo que uma aplicação deve lucrar para que seja atrativa para o investidor. (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

Para a coerência do estudo, os períodos de comparação devem ser o mesmo, neste caso utiliza-se a vida útil dos módulos fotovoltaicos de 25 anos, pois para o pior cenário, a usina não estaria mais em funcionamento, e pararia de gerar rendimentos. A Tabela 5 traz o fluxo de caixa simulado no período de 25 anos, utilizando as mesmas premissas citadas em Seção 4.3.1, Seção 4.3.2 e Seção 4.3.3.

4.3.4.1 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR representa a rentabilidade interna de um projeto, obtida pelo desconto do fluxo de caixa observado nos períodos de estudo, é também a taxa de juros que se

Tabela 5 – Fluxo do caixa simulado no período de 25 anos

Período	Fluxo de caixa
0	-R\$ 33.112.219,32
1	R\$ 4.559.076,00
2	R\$ 4.417.068,00
3	R\$ 4.490.244,00
4	R\$ 4.776.972,00
5	R\$ 4.607.736,00
6	R\$ 4.685.232,00
7	R\$ 4.616.952,00
8	R\$ 4.764.936,00
9	R\$ 4.797.828,00
10	R\$ 4.591.764,00
11	R\$ 4.401.084,00
12	R\$ 4.454.112,00
13	R\$ 4.509.036,00
14	R\$ 4.812.552,00
15	R\$ 4.573.212,00
16	R\$ 4.557.540,00
17	R\$ 4.734.216,00
18	R\$ 4.674.504,00
19	R\$ 4.390.368,00
20	R\$ 4.727.316,00
21	R\$ 4.569.156,00
22	R\$ 4.711.932,00
23	R\$ 4.814.784,00
24	R\$ 4.652.868,00
25	R\$ 4.450.560,00

Fonte: Autoria própria (2022).

igual a ao valor do investimento inicial atualizando uma série de entradas e saídas no decorrer de um projeto. (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

O critério de análise desse método, pode ser classificado como "sim ou não" ou "viável ou não viável", se a TIR for maior que a TMA, o investimento é viável, se for menor, não é viável, apesar de raras as ocasiões, ainda é possível que essas taxas sejam iguais, e caso isso aconteça, significa que o investimento é economicamente indiferente caso realizado ou não.

Dentre as principais vantagens encontradas no método da TIR, o Sviech e Mantovan cita: É um método decisório na escolha de alternativas de investimentos e no julgamento da viabilidade econômica de alternativas isoladas, frente à TMA. É muito utilizado pela facilidade e compreensão do cálculo. O resultado é uma taxa de juros, de fácil entendimento e comparação. Para fins de comparação, entre duas alternativas com TIR diferentes, a que apresentar maior taxa representa o investimento que proporciona o maior retorno.

No estudo desse projeto as taxas foram consideradas ao ano, devido ao longo tempo em meses da vida útil dos módulos (360 meses), para a TMA, com base na situação política-econômica do Brasil, considerou-se a taxa Selic (taxa básica de juros da economia no Brasil), ou seja a taxa mínima de retorno que fará esse projeto viável é um valor acima da Selic. Utilizando a função TIR de maneira adequada no software Excel na Tabela 5, o valor da TIR desse projeto é de 13,27%, que conclui que a viabilidade desse projeto pelo método TIR.

Deve-se levar em conta que a taxa Selic se encontra em um valor peculiar, essa taxa sobe com o intuito de diminuir o consumo na tentativa de estabilizar a inflação. A variação e anúncio do valor dessa taxa é realizado pelo Banco Central do Brasil, conforme Tabela 6. Em períodos com menores taxas de inflação, são maiores a viabilidade desse projeto pelo método TIR.

Tabela 6 – Histórico Taxa Selic

Período de vigência	Meta Selic (% ao ano)
05/05/2022 - Atualmente	12,75
17/03/2022 - 04/05/2022	11,75
09/12/2021 - 02/02/2022	9,25
05/08/2021 - 22/09/2021	5,25
21/01/2021 - 17/03/2021	2,00
06/08/2020 - 16/09/2020	2,00
12/12/2019 - 05/02/2020	4,50

Fonte: (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022).

4.3.4.2 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Sviech e Mantovan, 2013, o VPL é a soma algébrica de fluxos de caixa descontados para o instante presente, a uma taxa de juros. É também um método de orçamento, em que o seu valor é determinado pela subtração do valor inicial de um investimento, do valor presente dos fluxos de entrada de caixa, descontados de uma taxa, geralmente a TMA. A TIR é a taxa de desconto que torna o VPL das entradas de caixa igual ao VPL das saídas de caixa.

O critério de decisão, quando esse método é utilizado para avaliar os investimentos, segue um raciocínio semelhante ao método TIR, descrito em Seção 4.3.4.1, do gênero "viável ou não viável", sendo que se o VPL for positivo, ou seja, a somatória dos fluxos futuros descontados à TMA é maior que o investimento inicial, o investimento

é viável. Se for negativo, ou seja, a somatória dos fluxos futuros descontados à TMA é menor que o investimento inicial, o investimento não é viável. Esse critério garante que o investidor esteja pelo menos recuperando o capital inicial investido. (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

O Software Excel também contempla funções matemáticas-financeiras para o cálculo do VPL, na função em questão, o software calcula o valor líquido atual de um investimento utilizando a taxa de desconto e uma série de futuros pagamentos (valores negativos) e receita (valores positivos), esses valores são os descritos em Tabela 5, ressaltando uma TMA de 12,75% (Taxa Selic), com isso o VPL desse projeto é de R\$ 1.156.660,63, validando a hipótese, e comprovando que o investimento é viável.

4.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: PERSPECTIVA NO BRASIL

O custo de sistemas fotovoltaicos é composto principalmente pelo custo das células fotovoltaicas, segundo ETENE, 2021, o valor desses equipamentos tiveram queda substancial nos últimos anos, cerca de 76% entre 2012 e 2020, por consequência, os geradores solares tiveram uma baixa no custo geral de implementação e aumento na competitividade em relação à outros sistemas de geração de energia no Brasil. Este fato também contribuiu para elevar substancialmente a importação desses produtos.

O valor das importações teve por base os produtos NCM 85414032 (células solares em módulos ou painéis) e NCM 85414039 (outras células fotovoltaicas em módulos ou painéis) para módulos fotovoltaicos, e NCM 85044030 (conversores elétricos de corrente contínua) para inversores. A Greener Consultoria, informa que os módulos fotovoltaicos importados representaram 96,2% da potência instalada de energia solar em projetos centralizados e de micro e minigeração distribuída no Brasil, no ano de 2020. (ETENE, 2021).

Dentre os fatores que ainda podem melhorar para consolidar de vez a tecnologia fotovoltaica como fonte de energia, o preço dos sistemas é um dos principais, apesar de já ter apresentado uma queda de mais de 60% nos últimos 4 anos. O tempo de retorno do investimento, por sua vez, reduziu de 14 para cerca de 7 anos. Quando comparado com a vida útil desses sistemas, que é acima de 25 anos, esse payback é muito atraente. (LUCAS, 2015).

A abertura do mercado de energia elétrica no Brasil, tem potencial de gerar, até

2035, R\$ 210 bilhões de redução nos gastos com energia elétrica, 642 mil empregos e, um desconto médio de 27% na compra de energia. Essa redução de custo, um dos componentes da tarifa, que podem contribuir para desacelerar o índice oficial de inflação brasileiro. (ABRACEEL, 2022a).

A ABRACEEL realizou um estudo sobre migração potencial de consumidores para o mercado livre de energia, a conclusão é que em 2029 o índice que em 2022 corresponde a 35% do mercado nacional de energia elétrica chegue na casa dos 70%.

5 CONCLUSÕES

Com base no apresentado, a aplicação do investimento na minigeração de energia pela usina solar descrita, é viável, pelos os métodos VPL e TIR, que são duas metodologias diferentes, e podem ser utilizados juntos para comprovar a viabilidade de um projeto. Em um cenário de estudo de viabilidade entre dois ou mais projetos, aquele que apresentar maior VPL ou maior TIR será o mais viável, contudo nem sempre os métodos vão convergir entre si, cada método pode apontar um projeto diferente como o mais viável (ou até mesmo aponta a inviabilidade do mesmo projeto), dessa maneira, cada investimento deve ser avaliado de maneira exclusiva, avaliando qual projeto trará maior benefício.

Contudo, deve-se atentar aos detalhes do novo marco legal, pois para manter os benefícios atuais oferecidos pela ANEEL, deve-se protocolar até o final de 2022 os documentos referentes à usina em questão, para isentar-se da nova taxa, Fio B.

Dentro do cenário brasileiro, o mercado livre de energia corresponde por 30% da energia consumida no país, sendo considerado uma forma consolidada de potencial de economia, devido à segurança e confiabilidade ofertada para adquirir energia elétrica por um valor negociável. Dentro de uma cadeia produtiva, todos os insumos devem ser objeto de negociação, e a energia elétrica não deve ser diferente.

O Brasil é um dos países com maior irradiação solar do mundo, facilitando a viabilidade de projetos do gênero, apesar da média de retorno de investimento de sistemas pequenos ser entre 3 e 5 anos, não significa que 10 anos de tempo de retorno é um fator negativo, pois devido à dimensão do projeto, é natural o payback se estender, estima-se que com a realização desse projeto seja gerada uma grande fonte de renda, blindagem contra os aumentos tarifários e esporádicos, geração de trabalho, sustentabilidade e o aproveitamento de terreno não utilizado atualmente.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto.** [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.solarize.com.br/downloads/manual-energia-solar/NBR-16690-2019-consulta-publica.pdf>.

ABRACEEL. **Abertura total do mercado livre trará economia de 27% na compra de energia e 642 mil novos empregos.** [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: mercadolivredeenergia.com.br/noticias/mercado-livre-de-energia-pode-gerar-23-de-economia-para-a-populacao/. Acesso em: 22 mar. 2022.

ABRACEEL. **Em relatório preliminar do PL 414/21, mercado livre vira opção para todos em 42 meses.** [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://abraceel.com.br/destaques/2022/03/em-relatorio-preliminar-do-pl-414-21-mercado-livre-vira-opcao-para-todos-em-42-meses/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

ABRACEEL. **Você sabe como funciona o mercado livre de energia?** [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://abraceel.com.br/clipping/2020/09/voce-sabe-como-funciona-o-mercado-livre-de-energia/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

ABRADEE. **DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA.** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia/>. Acesso em: 12 mai. 2021.

ALVES, K. V. **VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES NA INDÚSTRIA QUÍMICA EM SISTEMA ONGRID.** [S. l.: s. n.], 2018.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021.** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>. Acesso em: 22 mar. 2022.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012.** [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015.** [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 786, DE 17 DE OUTUBRO DE 2017.** [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.

ASSESSORIA DE IMPRENSA ANEEL. **Brasil ultrapassa 5 mil conexões de micro e minigeração.** [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVLZ6/content/brasil-ultrapassa-5-mil-conexoes-de-micro-e-minig

eracao/656877/pop_up?_101_INSTANCE_zXQREz8EVlZ6_viewMode=print&_101_INSTANCE_zXQREz8EVlZ6_languageId=pt_BR.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas – Histórico.** [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em:

<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>.

BARROS, B. F. d. **Geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica.** [S. l.]: Erica, 2019. (Eixos). ISBN 9788536508207. Disponível em:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000015179&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>.

BORGES NETO, M. R. **Geração de energia elétrica: fundamentos.** [S. l.]: Erica, 2012. ISBN 9788536504223. Disponível em:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000009297&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>.

CARVALHO, J. F. d. **Energia e Sociedade.** [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000021291&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>.

COLFERAI, G. G. **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE REPOTENCIAÇÃO DE CENTRAL GERADORA HIDROELÉTRICA.** [S. l.: s. n.], 2017.

COPEL. **Como aproveitar os benefícios do Mercado Livre com a força e segurança da Copel.** [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em:

<https://copelmercadolivre.com>. Acesso em: 22 mar. 2022.

COPEL. **MAPA SOLAR.** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em:

<https://solar.copel.com/solar/#>. Acesso em: 22 dez. 2021.

EINSTEIN, A. **Geometry and Experience.** Berlin, Heidelberg, Germany, jan. 1921. Lecture at the Prussian Academy of Science.

ENERGÊS. **ENTENDA TUDO SOBRE O FATOR DE CAPACIDADE.** [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/fator-de-capacidade/>.

EPE, E. d. M. E. **Balanco Energético Nacional 2021.** [S. l.: s. n.], 2021. P. 268.

EPE, E. d. M. E. **Relatório Síntese 2021.** [S. l.: s. n.], 2021. P. 73.

ETENE. **Caderno Setorial ETENE: Micro e Minigeração Distribuída.** [S. l.: s. n.], 2021.

GNOATTO, E. *et al.* **Determinação da curva característica de um painel fotovoltaico em condições reais de trabalho.** [S. l.: s. n.], 2005.

GOVERNO FEDERAL. **LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022.** [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm.

GREENER. **Análise do Marco Legal da Geração Distribuída.** [S. l.: s. n.], 2022.

Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/analise-do-marco-legal-da-geracao-distribuida-lei-14-300-2022/>.

INSTITUTO BRASIL FOTOVOLTAICO. **Apostila Instalador de sistema fotovoltaico - MD.** [S. l.: s. n.], 2021.

LUCAS, S. **Resolução 482 da ANEEL: 3 Principais Pontos Comentados.** [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em:

<https://blog.bluesol.com.br/resolucao-482-da-aneel-guia-completo/>.

MERCADO LIVRE DE ENERGIA. **Mercado Livre de Energia.** [S. l.: s. n.], 2019.

Disponível em:

<https://www.mercadolivredeenergia.com.br/mercado-livre-de-energia/>.

Acesso em: 22 mar. 2022.

MEYER, M. **Novo Marco Legal da Geração Distribuída no Brasil.** [S. l.: s. n.], 2022.

Disponível em: <https://canalsolar.com.br/novo-marco-legal-da-geracao-distribuida-no-brasil/>.

MORAES, I. D. **O que é e como Calcular o Payback?** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.contabeis.com.br/noticias/30249/o-que-e-e-como-calcular-o-payback/>. Acesso em: 8 ago. 2021.

MOREIRA, H. **VIABILIDADE ECONÔMICA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM O USO DE MICROAEROGERAADORES.** [S. l.: s. n.], 2016.

MORITA, I. O. **DESEMPENHO DE PAINÉIS SOLARES DE MÚLTIPLAS TECNOLOGIAS FRENTE À RADIAÇÃO SOLAR DA REGIÃO DE CURITIBA.**

[S. l.: s. n.], 2018.

NETO, M. R. B. **AVALIAÇÃO DO PRIMEIRO CURSO TÉCNICO EM SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL DO BRASIL.** [S. l.: s. n.], 2019.

OLIVEIRA, R. d. R. **ANÁLISE EXERGOCONÔMICA DE UM SISTEMA TERMOELÉTRICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA.** [S. l.: s. n.], 2020.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** [S. l.]: CEPEL - CRESESB, 2014. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>.

PORTAL SOLAR. **Dados do mercado de energia solar no Brasil.** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>.

RAMOS, A. G.; MOREIRA, J. P. J. **SEGURANÇA EM USINAS FOTOVOLTAICAS CONFORME A NBR 16690:2019**. [S. l.: s. n.], 2021.

REIS, L. B. d. **Geração de energia elétrica**. [S. l.]: Manole, 2011. ISBN 9788520430392. Disponível em:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000007074&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>.

RISEN. **RSM144-7-435M-455M HIGH PERFORMANCE MONOCRYSTALLINE PERC MODULE**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em:
<https://s3-ap-southeast-2.amazonaws.com/solarbrain/uploads/attachment/file/749/391d9149d795a3d7f0b705ac78e7154d.pdf>.

SANTOS, M. A. d. **Fontes de energia nova e renovável**. [S. l.]: LTC, 2013. ISBN 978-85-216-2474-5. Disponível em:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000004723&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>.

SILVA, L. P. **ANÁLISE E DEMONSTRAÇÃO TEÓRICA DOS LEILÕES DE COMPRA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**. [S. l.: s. n.], 2019.

SOLSTAR. **Nova lei deixou a energia mais cara?** [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em:
<https://solstar.com.br/2022/04/15/entenda-a-nova-lei-da-energia-solar/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

SVIECH, V.; MANTOVAN, E. A. **ANÁLISE DE INVESTIMENTOS: CONTROVÉRSIAS NA UTILIZAÇÃO DA TIR E VPL NA COMPARAÇÃO DE PROJETOS**. [S. l.: s. n.], 2013.

VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C. **meio século de história fotovoltaica**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>. Acesso em: 12 set. 2021.

VIAN, Â. *et al.* **Energia eólica : fundamentos, tecnologia e aplicações**. [S. l.]: Blucher, 2021. ISBN 9786555500721. Disponível em:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000021291&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>.

VIAN, Â. *et al.* **Energia solar : fundamentos, tecnologia e aplicações**. [S. l.]: Blucher, 2021. ISBN 978-65-555-0060-8. Disponível em:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000021281&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>.

WEG. **Inversor String SIW500H**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em:
https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Inversores-Solares-Fotovoltaicos/Inversor-String-SIW500H/Inversor-String-SIW500H/p/MKT_WDC_BRAZIL_INVERTERSTRING_SIW500H.

WEG. SIW - SOLAR INVERTER WEG. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em:
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h09/h17/WEG-SIW-inversores-string-50105878-pt.pdf>.

ÍNDICE REMISSIVO

ABNT, 34
ABRACEEL, 38
ABRADEE, 20
ACL, 38, 39
ACR, 38
ANEEL, 20, 24, 37, 38, 40, 59

BEN, 20, 21

CA, 27, 28
CC, 27, 28
CCEE, 40

EPE, 20
ETENE, 25

LEN, 25
LER, 25

NOTC, 46

REN, 30

SEP, 17, 20, 21, 38
STC, 46

TEP, 18
TIR, 54–56, 59
TMA, 54–57

UTFPR, i

VPL, 54, 56, 57, 59