

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**LEONARDO TEIXEIRA DE FREITAS DIAS
LUIGI AGRA COSTANTIN**

**FERRAMENTA DE ANÁLISE TÉCNICO/ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM CONSUMIDORES RESIDENCIAIS**

CURITIBA

2022

**LEONARDO TEIXEIRA DE FREITAS DIAS
LUIGI AGRA COSTANTIN**

**FERRAMENTA DE ANÁLISE TÉCNICO/ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM CONSUMIDORES RESIDENCIAIS**

**Technical/Economic Analysis Tool For Deployment Of Photovoltaic Systems In
Residential Consumers**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Jorge Assade Leludak.

Coorientador(a): Prof. Dr. Gerson Maximo Tiepolo.

CURITIBA

2022



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

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LEONARDO TEIXEIRA DE FREITAS DIAS
LUIGI AGRA COSTANTIN**

**FERRAMENTA DE ANÁLISE TÉCNICO/ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM CONSUMIDORES RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação
do Curso de Engenharia de Controle e Automação da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 30/novembro/2022

Jorge Assade Leludak
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba

Gerson Maximo Tiepolo
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba

Jair Urbanetz Junior
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba

Isadora Zanella Zardo
Arquiteta
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba

**CURITIBA
2022**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à instituição e a todos os profissionais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná que nos acolheram, apoiaram e ensinaram durante esses longos e difíceis anos de graduação. Também agradecemos aos colegas, amigos e familiares que se mantiveram ao nosso lado durante este importante caminho de nossas vidas.

RESUMO

A intensificação do aquecimento global e das mudanças climáticas fomentam na população mundial busca por uma vida mais sustentável. Um ponto importante nessa busca por um futuro melhor é a energia elétrica, onde apesar de todo esforço, o combustível fóssil advindo de fontes não renováveis ainda ocupa um lugar de destaque nas matrizes energéticas mundiais. O Brasil, como por exemplo, em 2020 e 2021, enfrentou problemas de crises hídricas onde afetou a maior fonte de energia do país - geração por usinas hidrelétricas - e causou um aumento considerável nas contas de energia dos brasileiros. Com todos esses problemas, se faz necessário o incentivo a geração de energia limpa, com foco maior na energia solar fotovoltaica. O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de uma plataforma web responsiva, como ferramenta de análise técnica e econômica, para implantação de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais, por meio de uma avaliação de viabilidade de aplicação da geração distribuída. O projeto tem como intuito proporcionar informação ao indivíduo que tem curiosidade e interesse em um projeto de energia solar fotovoltaica - inicialmente para usuários do Estado do Paraná - e ajudá-lo a respeito do projeto para a implantação da geração distribuída, onde de um modo fácil e sucinto proporciona conhecimento sobre o assunto. Com o simples uso do celular ou computador, o usuário poderá avaliar se este modo de geração, e uso de energia, o satisfaz, trazendo benefícios financeiros e também trazendo a prerrogativa de usufruir de um sistema limpo de energia. O propósito da ferramenta não é ser exclusiva ao usuário final de um projeto de sistema fotovoltaico conectado à rede, pela quantidade de informações levantadas, o programa pode atender empresas do ramo que fazem dimensionamento e projetos, e acadêmicos que buscam conhecimentos na área. A ferramenta realiza o dimensionamento de um SFVCR, a partir de dados próprios informados pelo usuário: localização; área do telhado; tipo de instalação; consumo mensal de energia e valor pago; taxa de desempenho do sistema e eficiência do painel fotovoltaico. Após a coleta de dados, o aplicativo informa os resultados de potência e área necessárias pelo sistema, o valor aproximado de instalação e os valores de retorno financeiro.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica; sistemas fotovoltaicos conectados à rede; energia solar; dimensionamento fotovoltaico; aplicativo energia solar.

ABSTRACT

The intensification of global warming and climate change encourage the world's population to seek a more sustainable life. An important point in this quest for a better future is electrical energy, where despite all efforts, fossil fuel from non-renewable sources still occupies a prominent place in the world's energy matrices. Brazil, for example, in 2020 and 2021, faced water crisis problems where it affected the country's largest source of energy - generation by hydroelectric plants - and caused a considerable increase in Brazilians' energy bills. With all these problems, it is necessary to encourage the generation of clean energy, with a greater focus on photovoltaic solar energy. The objective of this work is the development of a responsive web platform, as a technical and economic analysis tool, for the implementation of photovoltaic systems in residential consumers, through a feasibility assessment of the application of distributed generation. The project aims to provide information to the individual who is curious and interested in a photovoltaic solar energy project - initially for users in the State of Paraná - and to help him regarding the project for the implementation of distributed generation, where in an easy way and succinct provides knowledge on the subject. With the simple use of a cell phone or computer, the user will be able to assess whether this way of generating and using energy satisfies him, bringing financial benefits and also bringing the prerogative of enjoying a clean energy system. The purpose of the tool is not to be exclusive to the end user of a photovoltaic system project connected to the grid, due to the amount of information collected, the program can serve companies in the field that carry out sizing and projects, and academics seeking knowledge in the area. The tool performs the dimensioning of a SFVCR, based on data informed by the user: location; roof area; type of installation; monthly energy consumption and amount paid; system performance rate and photovoltaic panel efficiency. After collecting data, the application informs the results of power and area needed by the system, the approximate installation value and the financial return values.

Keywords: Photovoltaic energy; grid-connected photovoltaic systems; solar energy; photovoltaic sizing; solar energy app.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Produção global de eletricidade por fonte, e participação de fontes renováveis	19
Figura 2 – Geração global de eletricidade por fonte	19
Figura 3 – Participação na geração global de eletricidade por fonte	20
Figura 4 – Indicadores de energia renovável de 2019 a 2021	21
Figura 5 – Matriz elétrica do Brasil, 2021	22
Figura 6 – Matriz elétrica Mundial, 2019	22
Figura 7 – Balanço de produção de energia em 15 de julho de 2021	24
Figura 8 – Balanço de produção de energia em 18 de agosto de 2021	25
Figura 9 – Geração de energia (MWmed) entre 01/03/20 a 01/06/21	26
Figura 10 – Geração Distribuída de energia no Brasil	28
Figura 11 – Bandeiras tarifárias, julho de 2022 a junho de 2023	29
Figura 12 – Evolução da tarifa residencial da COPEL	31
Figura 13 – Tarifa residencial das distribuidoras do estado do Paraná	31
Figura 14 – Taxas e tarifas do grupo A, subgrupos A1, A2, A3 da COPEL	34
Figura 15 – Taxas e tarifas do grupo A, subgrupos A3a, A4, AS da COPEL	35
Figura 16 – Taxas e tarifas do grupo B, subgrupos B1, B2, B3 e B4 da COPEL	36
Figura 17 – Composição de um painel fotovoltaico	37
Figura 18 – Desenvolvimento de células fotovoltaicas	39
Figura 19 – Preço de sistemas fotovoltaicos	39
Figura 20 – Número de instalações fotovoltaicas	40
Figura 21 – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFVCR)	42
Figura 22 – Componentes da Irradiância Solar	44

Figura 23 – Geração de energia solar fotovoltaica no Brasil e na Alemanha em 2020	45
Figura 24 – Potencial anual de geração solar fotovoltaica no Brasil	46
Figura 25 – Potencial anual de geração solar fotovoltaica no Paraná	47
Figura 26 – Estrutura de uma plataforma web responsiva.....	52
Figura 27 – Valores das irradiações solares no plano inclinado no Paraná	54
Figura 28 – Preços dos sistemas fotovoltaicos de jun/2020 a jun/2022	57
Figura 29 – Tela Inicial da ferramenta de dimensionamento	59
Figura 30 – Instrução da marcação no mapa da área desejada de instalação .	60
Figura 31 – Tela de marcação no mapa da área desejada de instalação	61
Figura 32 – Tela de seleção do tipo de instalação elétrica	61
Figura 33 – Tela de seleção de como será informado o consumo	62
Figura 34 – Instrução ao usuário de como informar a média mensal	63
Figura 35 – Entrada de dados de consumo mensal dos últimos doze meses .	63
Figura 36 – Entrada dos dados de consumo mensal	64
Figura 37 – Taxa de desempenho do sistema	65
Figura 38 – Informação sobre os dados de irradiação	65
Figura 39 – Fórmula para dimensionamento do painel fotovoltaico	66
Figura 40 – Valores do dimensionamento	66
Figura 41 – Eficiência do módulo fotovoltaico	67
Figura 42 – Fórmula de estimativa da área requerida pelo painel FV	68
Figura 43 – Resultado final do dimensionamento	68
Figura 44 – Tabela do payback	70
Figura 45 – Gráfico do payback	71
Figura 46 – Interface para celular	72
Figura 47 – Interface para celular	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grupo A e seus subgrupos	32
Tabela 2 – Grupo B e seus subgrupos	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IDEAL	Instituto para o desenvolvimento de energias alternativas na américa latina
IEA	International Energy Agency
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IRENA	International Renewable Energy Agency
LABSOL	Laboratório de Energia Solar
NREL	National Renewable Energy Laboratory
MME	Ministério de Minas e Energia
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
REN21	Renawables Now 21
SFVCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Tema	14
1.1.1	Delimitação do tema	14
1.2	Problemas e premissas	14
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo geral	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
1.4	Justificativa	16
1.5	Procedimentos metodológicos	17
1.6	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Geração de energia elétrica	18
2.1.1	Fontes não renováveis	18
2.1.2	Fontes renováveis	20
2.1.3	Transição energética	21
2.1.4	Crise hídrica no Brasil	23
2.2	Geração distribuída de energia elétrica	26
2.3	Bandeiras tarifárias	28
2.4	Taxas e tarifas de energia elétrica	30
2.4.1	Modalidades tarifárias	32
2.4.2	Taxas e tarifas no estado do Paraná	34
2.5	Energia solar fotovoltaica	36
2.6	Sistemas fotovoltaicos	40
2.6.1	Sistemas fotovoltaicos isolados (SFVI)	40
2.6.2	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR)	41
2.7	Potencial solar	42
2.7.1	Irradiância solar	42
2.7.2	Potencial fotovoltaico do Brasil	44
2.7.3	Potencial fotovoltaico do Paraná	46
2.8	Programas computacionais	48
2.8.1	SunData	48
2.8.2	SOLARCAD	49
2.8.3	METEONORM	50
3	METODOLOGIA	51
3.1	Desenvolvimento da plataforma	51
3.2	Desenvolvimento do simulador fotovoltaico	53
3.2.1	Irradiação solar no plano inclinado	53
3.2.2	Instalação elétrica e consumo de energia	54

3.2.3 Taxa de desempenho do sistema.....	55
3.2.4 Eficiência do módulo.....	56
3.2.5 Resultados e valores obtidos.....	56
3.2.6 Retorno do investimento.....	58
4 RESULTADOS.....	59
5 CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui a maior quantidade de água potável no mundo, e ainda assim sofreu nos anos de 2020 e 2021 uma das piores secas de sua história, somente entre março e maio de 2021 a região central-sul do país teve uma escassez de 267 km³ de água em seus rios, lagos, solos e aquíferos, em comparação com a média dos últimos 20 anos. A situação fez com que os maiores e principais reservatórios ficassem com sua capacidade inferior a 20%, que resultaram em: aumento do preço de commodities, o café subiu 30% e a soja 67%; racionamento de água em muitas cidades, em Curitiba durante 649 dias; e um aumento considerável nas contas de energia elétrica (GETIRANA et al., 2021).

Além do aumento no preço da energia elétrica, a humanidade se propõe a utilizar formas de geração de energia que sejam limpas e causem o menor impacto negativo possível no meio ambiente e ajudem a diminuir as causas do aquecimento global, como por exemplo, a substituição do uso de usinas termelétricas para usinas eólicas e fotovoltaicas, sendo que fontes renováveis podem reduzir a poluição em até 80% (LUDERER et al., 2021).

Os brasileiros já enfrentam esse aumento na conta de energia há anos, devido a secas que impactam a geração de energia por usinas hidrelétricas e também em 2012 foi aprovada a medida provisória 579 que originou a Lei 12.783/2013, que renovou as concessões das usinas hidrelétricas e provocou um aumento de despesas de 198,4 bilhões de reais. A MP 579 causou de 2013 a 2018 um aumento nas tarifas de 20,4%, além disso o que contribuiu para esse valor de quase 200 bilhões de reais foram: risco hidrológico; empréstimos à CDE; indenizações às geradoras e transmissoras; bonificações às usinas cotistas; a não-realização de um leilão de energia nova em 2014 (ANEEL, 2015).

A partir desse aumento no preço da energia elétrica, o usuário tem a oportunidade de buscar alternativas à geração de energia convencional feita por empresas que têm influência da política nacional e outros fatores externos. O consumidor, a partir da resolução normativa ANEEL nº 482/2012, pode gerar sua

própria energia elétrica utilizando fontes renováveis, o que é chamado de geração distribuída. Esta possibilidade de geração aparece como uma alternativa vantajosa e atrativa, que futuramente representará uma economia significativa na conta de energia elétrica (ANEEL, 2015).

1.1 Tema

Desenvolvimento de uma ferramenta *web* responsiva de análise técnico/econômica para implantação de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais.

1.1.1 Delimitação do tema

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma plataforma *web* responsiva, como ferramenta de análise técnico/econômica para implantação de SFVCR em consumidores residenciais por meio de uma análise de viabilidade da geração distribuída dentro de um contexto com diferentes modalidades tarifárias disponíveis.

Assim, foram delimitados os estudos especificamente para SFVCR como forma de geração distribuída para consumidores residenciais. Apesar do foco ser no Estado do Paraná e possuir somente dados da COPEL de tarifas, o banco de dados engloba o país inteiro, sendo que no futuro com uma atualização pode ser aplicado em qualquer lugar do Brasil que esteja mapeado. A ferramenta tem como objetivo facilitar o acesso à informação sobre a geração de energia elétrica limpa por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. A aplicação será de fácil acesso e poderá ser utilizada por qualquer tipo de usuário: pessoas interessadas em um projeto de SFVCR; acadêmicos; empresas do ramo.

1.2 Problemas e premissas

O consumidor tem a possibilidade de gerar parte da energia consumida através do modelo de geração distribuída. Com o aumento das tarifas de energia elétrica, devido a diversos fatores como: aumento de impostos; aumento da inflação;

aumento de bandeiras tarifárias; a crise hídrica; entre outros; o consumidor pode optar por essa opção de geração de energia elétrica (ANEEL, 2015).

A partir de 2018 o modelo tarifário utilizado no país, na questão de energia elétrica, foi modificado para consumidores do grupo B onde foi implementada a tarifa branca. O consumidor tem a possibilidade de escolher entre duas modalidades tarifárias a partir de seu perfil de consumo: tarifa convencional ou tarifa branca. Devido a novidade deste modo de cobrança, e a falta de informação, surgiram dúvidas a respeito deste assunto onde o consumidor não tem ciência dos benefícios da mudança de bandeira e do impacto no custo na fatura de energia elétrica. Juntamente com isto, faltam informações ao usuário comum a respeito da implantação da geração distribuída através de sistemas fotovoltaicos (ANEEL, 2020).

Deste modo, o desenvolvimento de uma ferramenta responsiva *web* de fácil acesso ao usuário comum, pode ser um mecanismo interessante para tomada de decisão e informação para o consumidor residencial que tem interesse na geração de energia elétrica por painéis solares.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver uma ferramenta responsiva *web*, de análise técnico/econômica para implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), no Estado do Paraná, para consumidores do grupo B, considerando nesta análise as modalidades tarifárias disponíveis.

1.3.2 Objetivos específicos

Declaram-se como objetivos específicos:

- a) Revisão bibliográfica com foco em energia solar fotovoltaica e nas taxas e tarifas de energia elétrica no Brasil;

- b) Estudar e entender o cálculo de custo mensal com energia elétrica em residências, considerando taxas, tarifas, bandeiras e modalidades;
- c) Desenvolver uma ferramenta *web* responsiva, com layout e linguagem adequados ao público, que possibilite a análise da modalidade tarifária mais vantajosa ao perfil de consumo, auxiliando na análise da viabilidade técnica/econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos dentro deste contexto, para os consumidores residenciais estudados;
- d) Testar a plataforma para verificar as funcionalidades pretendidas;
- e) Validar a solução encontrada com base na versão da ferramenta *web*.

1.4 Justificativa

Há muitos anos o consumidor de energia elétrica não tem um conhecimento real de como funciona o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia no Brasil, onde somente utiliza a energia e realiza o pagamento, ficando à mercê das distribuidoras e permissionárias de energia. Com a oportunidade de utilizar a geração distribuída, o consumidor tem a possibilidade de reverter esse papel, e a partir disso a falta de informação acaba se transformando em um obstáculo para a divulgação e aplicação de utilizar esse sistema. Tudo isso acaba dificultando o processo e assustando o consumidor devido à complexidade de um projeto de geração distribuída por meio de SFVCR, juntamente com a falta de informação e o alto custo de um projeto que tem seu benefício a longo prazo (IDEAL, 2019).

Juntamente, há no país o emprego de bandeiras tarifárias, normalmente aplicadas de acordo com o nível hídrico de reservatórios de hidrelétricas, onde a bandeira é modificada para valores mais altos de cobrança quando há falta de água. No Brasil também é possível de fazer uso da tarifa branca, em que para consumidores residenciais de baixa tensão, o custo da energia é diferente do normal de acordo com o posto tarifário, pagando um valor inferior quando o sistema não está sendo utilizado em larga escala, e pagando um valor maior quando o sistema está em alto consumo (ANEEL, 2018).

Devido ao contexto, o projeto tem a justificativa de informar e ajudar usuários com interesse em geração distribuída e SFVCR, de um modo fácil e sucinto, oferece

conhecimento sobre o assunto. Com o simples uso do celular o usuário poderá avaliar se este modo de geração e uso de energia o satisfaz trazendo benefícios financeiros e também trazendo a prerrogativa de usufruir de um sistema limpo de energia que busca diminuir o impacto no meio ambiente.

1.5 Procedimentos metodológicos

Inicialmente será feita uma pesquisa através de referências bibliográficas, a partir de monografias, artigos, trabalhos acadêmicos, livros, notícias e análises técnicas de órgãos governamentais e empresas juntamente com especialistas da área de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, para serem feitos os entendimentos dos problemas e soluções, juntamente com o levantamento de uma base teórica para o desenvolvimento da ferramenta web. Posteriormente será desenvolvida a ferramenta de análise técnico/econômica para implantação de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais.

1.6 Estrutura do trabalho

O trabalho será realizado em cinco capítulos: o primeiro levanta uma apresentação do estudo com suas premissas, problemas, justificativas e ideia central do trabalho; o segundo capítulo é a revisão bibliográfica do trabalho, onde mostra o referencial técnico utilizado para a realização da pesquisa, desde a parte que informa o que é geração distribuída, sistema fotovoltaico, energia solar, até a análise de aplicativos complexos e simples utilizados como referência para a realização da ferramenta apresentada por esse trabalho. A terceira parte considera as premissas levantadas anteriormente e mostra o desenvolvimento do aplicativo em si, com as funcionalidades obtidas juntamente com os dados necessários para a utilização da ferramenta. O quarto capítulo informa os resultados obtidos pela pesquisa e pela ferramenta. No último capítulo é feita a conclusão do estudo apresentando se os objetivos foram alcançados e a possível extensão da ferramenta para aprimoramento e apresentação ao usuário final.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geração de energia elétrica

A eletricidade não está disponível gratuitamente na natureza, por isso deve ser "produzida", isto é, transformando outras formas de energia em eletricidade. As fontes primárias utilizadas para a geração de energia elétrica são classificadas em não renováveis e renováveis (REIS, 2017).

A produção de eletricidade no mundo enfrenta grandes transformações nos últimos anos com a criação de novas tecnologias e o gradativo aumento do aquecimento global e da poluição. O mundo busca a transição energética, que procura substituir formas de geração de energia para alternativas que tenham menor impacto ambiental e financeiro (ABSOLAR, 2019).

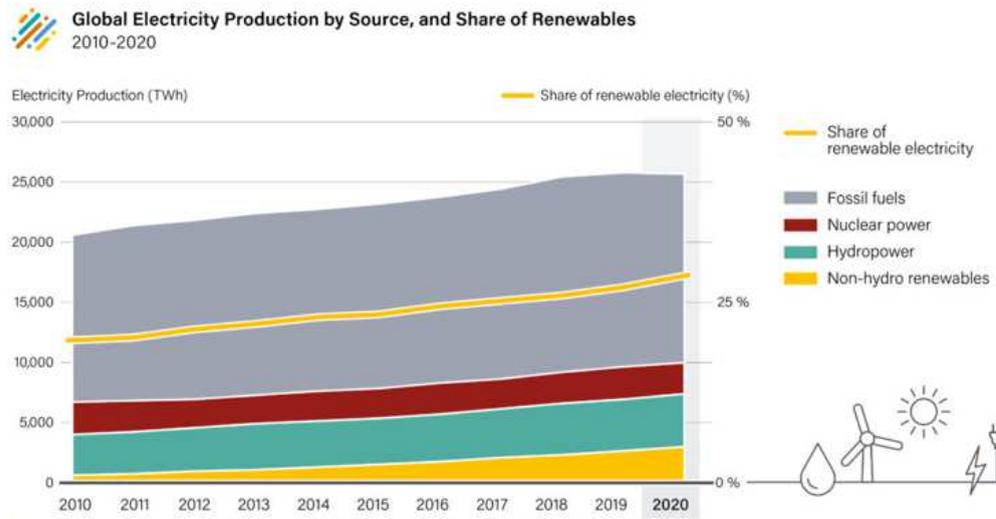
2.1.1 Fontes não renováveis

As fontes não renováveis são ditas as que são utilizadas pelo homem de forma acelerada e podem se esgotar devido a grande quantidade de tempo necessária para serem formadas. As formas mais utilizadas são: petróleo; carvão mineral; combustível radioativo; gás natural. Para serem transformadas em energia elétrica primeiramente essas fontes primárias são transformadas em energia térmica, por meio da combustão ou pelos processos nucleares de fissão e fusão do átomo, conseqüentemente gerando energia elétrica pelo processo chamado de geração termelétrica (REIS, 2017).

Apesar de seu alto rendimento energético e preço atrativo, a geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis causa grande parte da emissão de gases estufa e poluentes na atmosfera, e causando mudanças climáticas e altos índices de poluição que são nocivos à saúde dos seres vivos (EPE, 2018).

A figura 1 mostra que desde 2011 a utilização de fontes de energia renováveis está crescendo mais do que a geração por fontes não renováveis, em 2020 foi alcançada a marca de mais de 29% de eletricidade gerada por fontes renováveis no mundo (REN21, 2020).

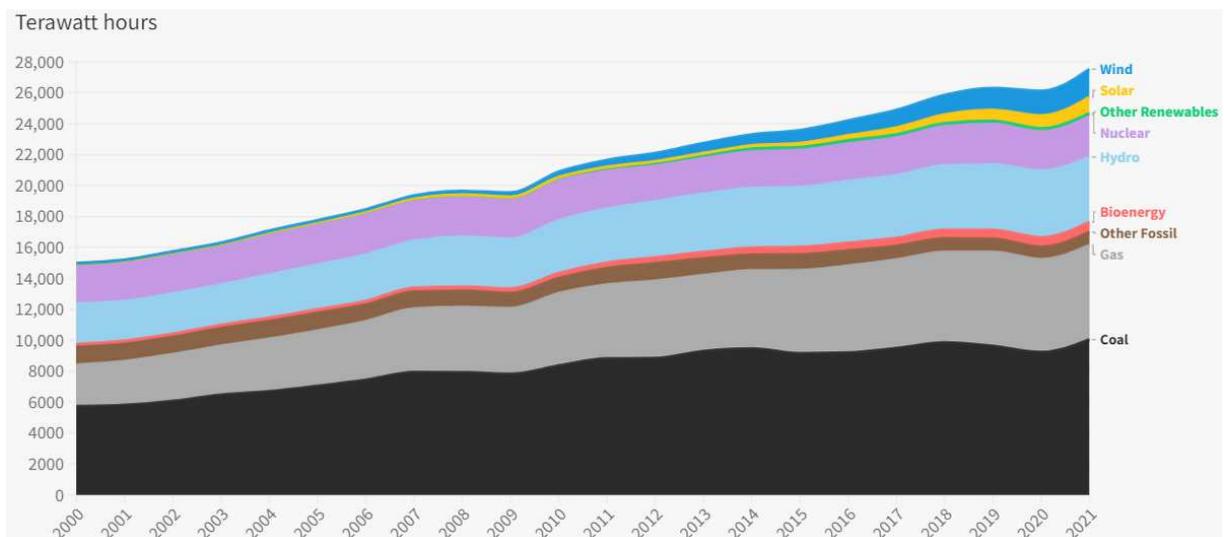
Figura 1 - Produção global de eletricidade por fonte, e participação de fontes renováveis.



Fonte: REN21 (2020).

No ano de 2021 estes valores continuaram a crescer, a geração solar global aumentou 23% em 2021. Foi a fonte de geração de eletricidade que mais cresceu pelo 17º ano consecutivo. A geração aumentou 188 TWh em relação ao ano anterior, para 1023 TWh. A energia solar gerou 3,7% da eletricidade mundial em 2021. Isso aumentou de apenas 1,1% em 2015, quando o Acordo de Paris foi assinado. Este aumento na geração de energia mundial pode ser visto na figura 2 (EMBER, 2022).

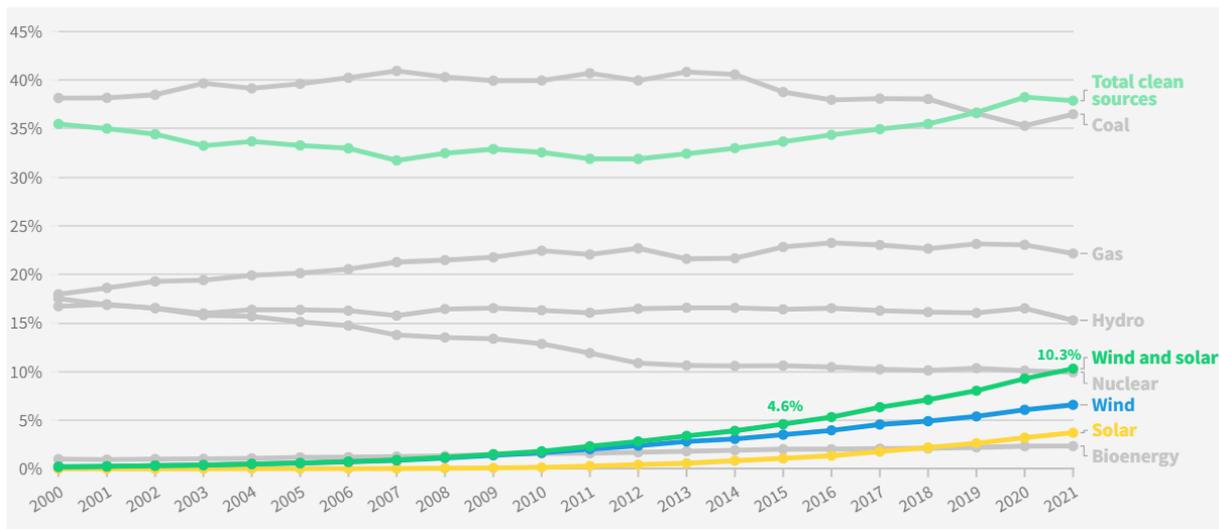
Figura 2 - Geração global de eletricidade por fonte.



Fonte: EMBER (2022).

No ano de 2021 a geração de energia renovável por meios solares e eólicos, pela primeira vez na história representaram 1/10 da geração de energia elétrica global. O que mostra o avanço constante das energias renováveis, fomentando ainda mais a geração de energia por estes meios, como pode ser observado na figura 3 (EMBER, 2022).

Figura 3 - Participação na geração global de eletricidade por fonte.



Fonte: EMBER (2022).

2.1.2 Fontes renováveis

Energia renovável é a energia derivada de recursos naturais que se reabastecem em menos de uma vida humana sem esgotar os recursos do planeta. Esses recursos, como: luz solar; vento; chuva; marés; ondas; biomassa; têm a vantagem de estar disponíveis de uma forma ou de outra em quase todos os lugares. Eles são virtualmente inesgotáveis. E, o que é ainda mais importante, causam poucos danos ao clima ou ao meio ambiente. Os combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, pelo contrário, estão disponíveis apenas em quantidades finitas. À medida que são extraídos, eles acabarão mais cedo ou mais tarde. Embora sejam produzidos em processos naturais, não se reabastecem tão rapidamente quanto são usados (REN21, 2019).

Em análise feita pelo REN21, no ano de 2020 o investimento anual mundial em energia renovável foi maior em 5 bilhões de dólares em comparação com 2019, e a capacidade mundial de geração solar fotovoltaica representou a maior crescente

entre esses anos, representando 22% de crescimento de geração em GW, o que mostra a pretensão pela transição energética. No ano seguinte o investimento em energias renováveis superou o ano anterior em 62,4 bilhões de dólares, com a energia solar fotovoltaica crescendo cerca de 24%, como pode ser visto na tabela 1 (REN21, 2022).

Figura 4 - Indicadores de energia renovável de 2019 a 2021.



Renewable Energy Indicators 2021

		2019	2020	2021
INVESTMENT				
New investment (annual) in renewable power and fuels ¹	billion USD	298.4	303.5	365.9
POWER				
Renewable power capacity (including hydropower)	GW	2,581	2,838	3,146
Renewable power capacity (not including hydropower)	GW	1,430	1,668	1,945
 Hydropower capacity ²	GW	1,150	1,170	1,195
 Solar PV capacity ³	GW	621	760	942
 Wind power capacity	GW	650	743	845
 Bio-power capacity	GW	137	145	143
 Geothermal power capacity	GW	14.0	14.1	14.5
 Concentrating solar thermal power (CSP) capacity	GW	6.1	6.2	6.0
 Ocean power capacity	GW	0.5	0.5	0.5

Fonte: REN21 (2022).

2.1.3 Transição energética

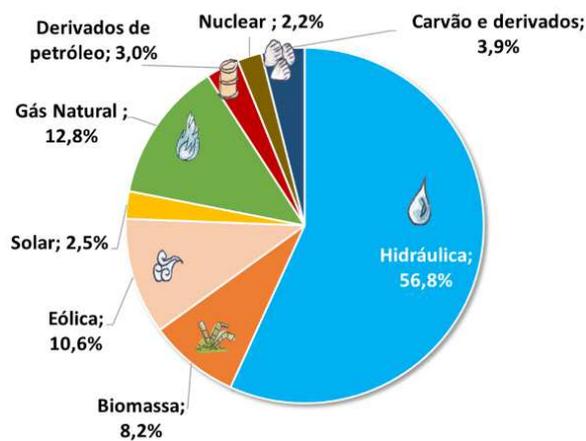
O aumento da temperatura média do planeta terra pode alterar as condições climáticas, podendo causar problemas como: secas em alguns lugares e chuvas intensas em outros; aumento do nível do mar devido ao degelo das calotas polares; enchentes em grandes metrópoles. A emissão em excesso de gases de efeito estufa causam um desequilíbrio e promovem um aquecimento evidente no planeta em um pequeno período de tempo. Uma forma de combater esse problema é a substituição de fontes de energia não renováveis que emitem gases de efeito estufa em alta quantidade, para fontes renováveis que não colaborem com as emissões de gases de efeito estufa (EPE, 2018).

Com o aumento do poder aquisitivo da população e a melhoria da qualidade de vida resultantes do aumento significativo da renda per capita previsto até 2030, o consumo de eletricidade deverá aumentar. Tendo em vista este aumento do consumo, é muito importante que a continuidade de abastecimento de energia à sociedade seja assegurada ao menor custo e ao menor risco contra o

desabastecimento, e também com os menores impactos social, econômico e ambiental (TIEPOLO et al., 2012).

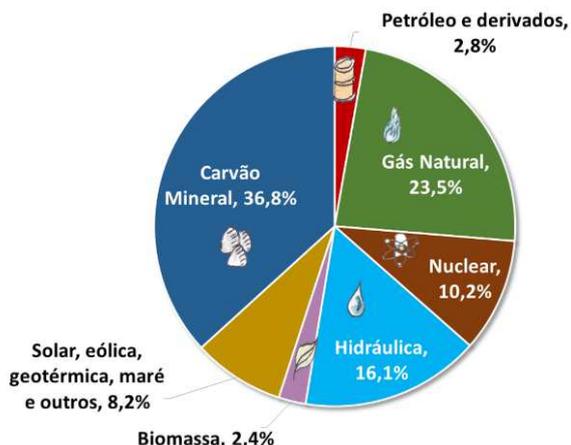
Devido aumento da temperatura média do planeta e suas consequências, os países estão propondo a diminuição da grande parcela da participação de fontes de energia não renováveis - visto na figura 6 - em suas matrizes elétricas, e simultaneamente comprometem-se em um aumento do uso das fontes renováveis e não emissoras de gases de efeito estufa, como eólica e solar, visto na figura 3. O Brasil ocupa um cenário diferente do mundo, onde possui a maior parte de sua energia gerada de forma renovável, é visto na figura 5 a grande parcela da geração por usinas hidrelétricas que são influenciadas pela redução das chuvas e tiveram em 2020 e 2021 seu funcionamento afetado, o que corrobora para o incentivo à energia solar e eólica no país. A transição energética propõe também desenvolvimento da área tecnológica, juntamente com incentivo para políticas ambientais para promover o desenvolvimento sustentável e diminuir os impactos negativos de ações humanas no meio ambiente (IRENA, 2020).

Figura 5 - Matriz elétrica do Brasil 2021.



Fonte: Balanço energético nacional, EPE (2022).

Figura 6 - Matriz elétrica mundial em 2019.



Fonte: IEA (2022).

Em 2020, o Brasil se encontrava em um cenário favorável de utilização de energias renováveis, grande parte devido a geração hidráulica, contribuindo para custos mais baixos de operação e emissões baixas de gases de efeito estufa em relação a outros países do mundo (EPE, 2020).

No ano de 2020 o Brasil foi um dos países, entre os que possuem as maiores economias mundiais, que mais teve sua matriz energética composta por fontes renováveis, chegando a 85% da energia gerada no país ser advinda desta forma. Em comparação, a média mundial foi de 28% no ano. No final de 2021 esse número caiu para 48% no Brasil, devido à crise hídrica, e a média mundial foi para 14%. O que mostra a importância do incentivo às fontes renováveis de energia como a solar e eólica, pois como visto em 2021 devido à crise hídrica, as usinas hidrelétricas sofreram grande impacto reduzindo em 37% sua energia gerada no país (DOMINGUES, 2021).

O governo Brasileiro tem uma importante participação nesse processo de transição energética. Com a criação de um marco legal e regulatório, a matriz elétrica nacional teria seu desenvolvimento incentivado, buscando um maior valor agregado ao consumidor. Essa progressão na matriz energética brasileira dependeria dessa estruturação de regras sólidas, que possibilitaria indicativos econômicos propícios para o fomento do desenvolvimento e inserção de tecnologias da área de geração de energia renovável, e também a atração de investimentos privados ao país (ABSOLAR, 2019).

2.1.4 Crise hídrica no Brasil

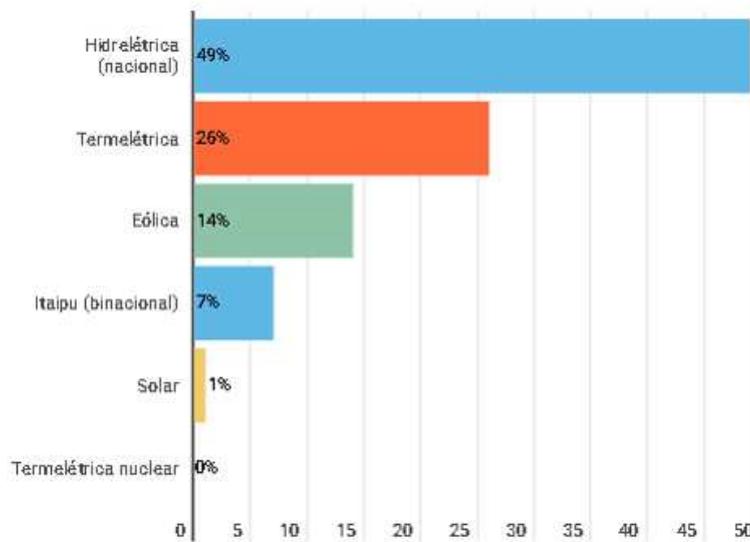
A escassez hídrica no Brasil se arrasta desde 2014 e o país enfrenta a pior crise hídrica desde 1930. Segundo a Organização Meteorológica Mundial esses anos estão sendo os mais quentes e menos chuvosos da história, o que afeta gravemente a geração de energia no país visto que praticamente 65% da energia gerada do país é proveniente de matrizes de energia hidrelétrica. (ONS, 2021).

Com a falta de água nas usinas hidrelétricas foi necessário a dependência de outros países para importação de energia por valores altos e a utilização de usinas termelétricas fósseis, muito mais caras e poluentes, para compensarem a geração de energia no país, o que resultará em um custo extra de 9 bilhões de reais, que será repassado para o consumidor no ano de 2022 aumentando a conta de luz em 5%. (MME, 2021).

De acordo com o pesquisador e economista da Unicamp, Felipe Queiroz, e com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, para o país evitar crises como esta, deve-se investir em formas de energia limpa como solar e eólica, pois é imprescindível o planejamento energético do país e a renovação da matriz elétrica brasileira (ABSOLAR, 2021).

O Brasil deve investir forças neste planejamento energético e na renovação da matriz elétrica para não depender muito das usinas hidrelétricas. O Operador Nacional do Sistema Elétrico disponibiliza diariamente o balanço da produção de energia elétrica no país, no dia 15 de julho de 2021 a porcentagem da produção por usinas hidrelétricas era de 49% e das termelétricas 26%, como é visto na figura 7 (ONS, 2021).

Figura 7 - Balanço de produção de energia em 15 de julho de 2021.



Fonte: ONS (2021).

Praticamente um mês após a informação desses dados, a produção de energia hidrelétrica caiu para 44,48%, enquanto a produção de energia termelétrica subiu para 27,34%, conforme a figura 8. Isto mostra que em tempos de crise a energia gerada por fontes não-renováveis cresce, enquanto as fontes renováveis diminuem, seguindo um caminho contrário do proposto pela sociedade mundial (ONS, 2021).

Figura 8 - Balanço de produção de energia em 18 de agosto de 2021.

Balanço de Energia Quarta-Feira, 18 Agosto de 2021

LEGENDA ■ Verificado ■ Programado

SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - SIN - MWmed			
Produção			
Hidro Nacional	29.455	30.475	44,48%
Itaipu Binacional	3.701	3.912	5,71%
Termo Nuclear	1.990	2.015	2,94%
Termo Convencional	19.220	18.735	27,34%
Eólica	12.362	12.635	18,44%
Solar	930	744	1,09%
Total SIN	67.658	68.516	100,00%
Intercâmbio Internacional (**)	-2.357	-2.326	
Carga (*)	70.015	70.842	

ONS

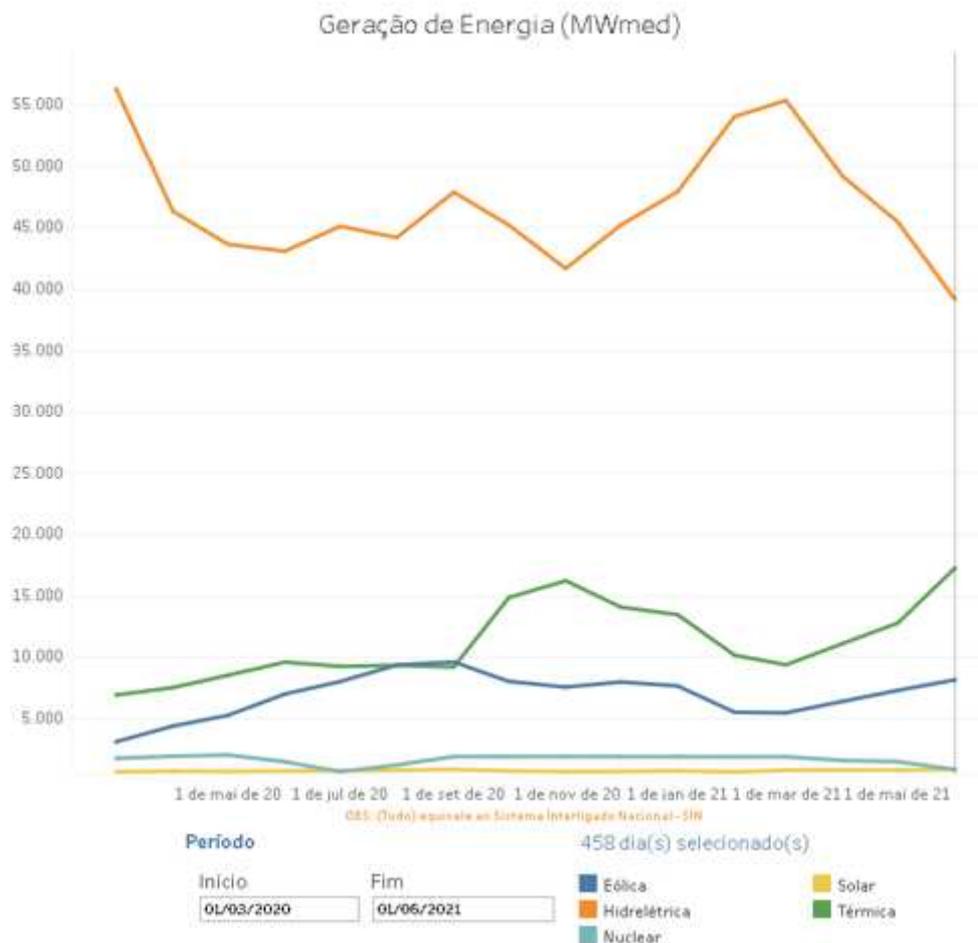
Fonte: ONS (2021).

Enquanto a produção energética por meio de usinas hidrelétricas cai, a produção por usinas termelétricas sobe, causando aumento na conta de luz do

consumidor e aumento da emissão de gases do efeito estufa, devido a utilização de combustíveis derivados do petróleo. Comprovando que se não tiver investimento suficiente em energia renovável de origem solar e eólica, o Brasil estará à mercê de sistemas que podem contribuir para a poluição e agravamento do efeito estufa, como pode ser visto na figura 9 (ONS, 2021).

Na figura 9 o Operador Nacional do Sistema Elétrico disponibiliza a geração de energia por fontes no período de 01/03/2020 a 01/06/2021, mostrando o aumento na produção termelétrica de 6879 MW para 17211 MW, e a diminuição na produção hidrelétrica de 56284 MW para 39160 MW (ONS, 2021).

Figura 9 - Geração de energia (MWmed) entre 01/03/20 à 01/06/2021.



Fonte: ONS(2021).

2.2 Geração distribuída de energia elétrica

Visto as dificuldades enfrentadas pela geração de energia como: a crise hídrica; a utilização de fontes não renováveis causadoras de poluição; e também o alto custo para transmissão e distribuição da energia para locais afastados das usinas geradoras; existe a possibilidade de utilizar um sistema de geração de energia localizada próxima ao consumidor, da qual instalação tem como propósito atendimento prioritário a este, podendo ou não gerar excedentes energéticos comercializáveis para além das instalações do consumidor final – processo chamado de geração distribuída (EPE, 2016).

Para a normatização da geração distribuída, o governo brasileiro primeiramente apresentou o decreto nº 5.163/2004 que propõe a regulamentação e comercialização de energia elétrica, juntamente com o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica. O decreto define a geração distribuída como:

Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento: I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004 (BRASIL, 2004).

Com o propósito de estimular a geração distribuída de pequeno porte, a ANEEL através da resolução normativa nº 482/2012, estabelece regras que abrangem a microgeração (até 100 KW) e a minigeração (100KW a 1MW), que traria a possibilidade do consumidor brasileiro de gerar sua própria energia elétrica com base em fontes renováveis ou em cogeração qualificada, e também prover o excedente para a rede de distribuição local. Se por acaso a energia inserida na rede seja superior à consumida, gera-se um chamado “crédito de energia” que não pode ser trocado em dinheiro, mas pode ser utilizado para reduzir o consumo da unidade consumidora nos meses seguintes ou em outras unidades de mesma titularidade. Nos anos subsequentes a ANEEL revisou a resolução normativa nº 482/2012 para: reduzir os custos e tempo para a conexão da geração distribuída; aumentar o

público alvo; e melhorar as informações na fatura, publicando a resolução normativa nº 687/2015 (ANEEL, 2018)

A utilização da geração distribuída tem vários benefícios à sociedade, como: a diminuição da fatura da energia elétrica, possibilitando um retorno do investimento em alguns anos; adiamento de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a melhoria na qualidade da energia e do nível de tensão da rede no período de carga pesada; a redução no carregamento das redes; a minimização das perdas; e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2018).

A figura 10 mostra o avanço da geração distribuída; incluindo geração eólica, central geradora termelétrica e central geradora hidrelétrica; no país de 2008 a 2019, mostrando o enfoque na geração fotovoltaica. Importante observar que a geração fotovoltaica, devido marcos regulatórios e leis, só se tornou uma realidade no país após 2012 (ANEEL, 2022).

Figura 10 - Geração distribuída de energia elétrica no Brasil.



Fonte: ANEEL(2021).

2.3 Bandeiras tarifárias

Com o avanço de políticas mundiais de racionamento e melhor uso dos recursos naturais, a energia elétrica que depende desses recursos deve ser melhor aproveitada para evitar desperdícios e abusos. As empresas responsáveis por geração e distribuição estão sempre subordinadas a supostas condições adversas que podem dificultar o seu trabalho, como por exemplo a crise hídrica, que complicam o gerenciamento de energia a curto prazo (Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, 2016).

Anteriormente à implantação do sistema de bandeiras tarifárias, o consumidor acabava por não ter ciência do por que do aumento da tarifa de energia elétrica, no passado os aumentos eram repassados no ano seguinte com o reajuste tarifário vigente, e umas das razões da implementação das bandeiras em 2015 foi para deixar mais claro para o consumidor a razão dos aumentos, visto que, como a matriz energética principal do país são as hidrelétricas, quando ocorrem estiagens a adição de energia elétrica gerada a partir de termelétricas é realizada para compensar o decréscimo de geração por parte das hidrelétricas. Os intuitos principais são mostrar para o usuário o valor real da energia gerada e buscar uma conscientização do usuário para poupar energia em tempos desfavoráveis (ANEEL, 2018).

O emprego de bandeiras tarifárias tem como propósito estabelecer tarifas com recursos variáveis de administração a respeito da demanda. E busca informar o consumidor final sobre períodos de escassez na oferta de energia elétrica, fomentando o uso racional nestes tempos complicados e também instruindo o consumidor a manter as atitudes de consumo inteligente para longo prazo após o restabelecimento da normalidade (Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, 2016).

Com isso, em 2015, foram implantadas as bandeiras tarifárias que representam as condições de geração de energia, de cor: verde, condições favoráveis; amarelo, condições menos favoráveis; vermelho 1, condições desfavoráveis; vermelho 2, condições muito desfavoráveis. As cores das bandeiras indicam se o preço da energia elétrica será maior ou menor em função do cenário

atual de geração de energia elétrica. A figura 11 mostra o valor atual das bandeiras tarifárias para o período de julho de 2022 a junho de 2023 (ANEEL, 2022).

Figura 11 - Bandeiras tarifárias, julho de 2022 a junho de 2023.



Fonte: ENEL (2022).

2.4 Taxas e tarifas de energia elétrica

O preço da energia elétrica é calculado uma vez ao ano pela ANEEL para garantir à população fornecimento de energia em qualidade e proporcionar recursos suficientes para manter as atividades das empresas do setor. Na tarifa estão incluídos os custos de aquisição e transmissão de energia, os encargos setoriais e também os custos totalmente gerenciados pela empresa para manter suas atividades. Esses valores são calculados pela ANEEL em dois tipos de processos: revisão tarifária periódica e reajuste tarifário anual, previstos nos contratos das distribuidoras com o governo federal. A revisão tarifária periódica é realizada a cada cinco anos, em média, com a participação dos consumidores e audiências públicas com o objetivo de definir o valor que cubra os custos gerenciáveis pelas distribuidoras para manter sua operação (ANEEL, 2020).

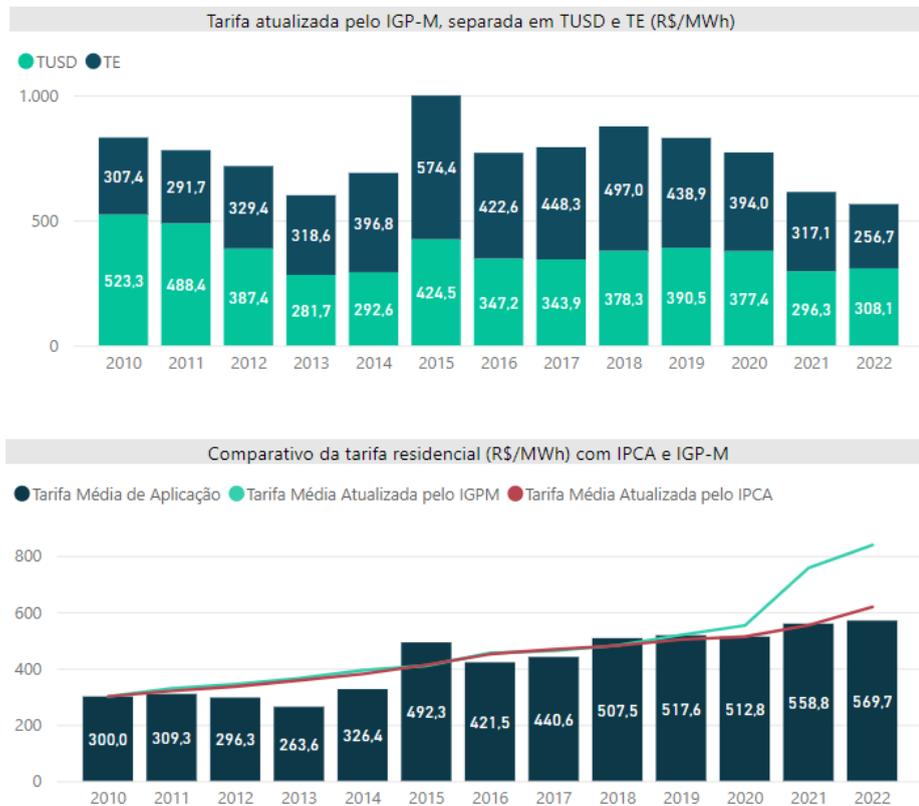
A ANEEL faz o cálculo propondo uma metodologia que incentiva à eficiência de cada distribuidora, é o chamado fator x, que é um incentivo criado pela ANEEL que converte em descontos na tarifa parte dos ganhos da distribuidora com produtividade e aumento de mercado, com isso a conta fica mais justa para o consumidor. O reajuste tarifário é calculado uma vez por ano, são atualizados os

custos de aquisição e transmissão de energia, e os encargos setoriais. Os custos das distribuidoras são atualizados pela inflação e pelo fator x (ANEEL, 2020).

A ANEEL é responsável por calcular a menor tarifa necessária para custear o funcionamento do setor elétrico, mas em alguns meses do ano a geração de energia fica mais cara e entram as bandeiras tarifárias, finalizando o custo na conta de energia elétrica. Quando a ANEEL calcular as novas tarifas por distribuidora, esse custo não entrará no cálculo e o reajuste anual ficará menor. As revisões e os reajustes das tarifas são definidos em reuniões públicas semanais abertas à população (ANEEL, 2020).

A tarifa também é composta de impostos federais, estaduais e municipais: ICMS, PIS/COFINS e contribuição para iluminação pública. As figuras 12 e 13 mostram a evolução da tarifa residencial e o valor atual para o estado do Paraná, sem considerar os impostos (ANEEL, 2022).

Figura 12 - Evolução da tarifa residencial da COPEL.



Fonte: ANEEL(2022).

Figura 13 - Tarifa residencial das distribuidoras do estado do Paraná.

Distribuidora		Tarifa Convencional	Tarifa Branca - Ponta	Tarifa Branca - Intermediária	Tarifa Branca - Fora ponta	Resolução Homologatória	Início de vigência
Ceral DIS	PR	0,649	1,202	0,864	0,527	3076/2022	30/07/22
Cocel	PR	0,635	1,747	0,699	0,461	3052/2022	29/06/22
Copel-DIS	PR	0,570	1,005	0,674	0,483	3049/2022	24/06/22
Forcel	PR	0,558	1,093	0,709	0,444	3096/2022	26/08/22
Castro - DIS	PR	0,466	0,534	0,442	0,351	3086/2022	30/07/22

Fonte: ANEEL(2022).

2.4.1 Modalidades tarifárias

No Brasil o usuário tem a possibilidade de pagar a fatura de energia elétrica com base em sua forma de consumo, deixando mais justa a cobrança, onde um consumidor residencial de baixo consumo, paga menos que uma indústria que utiliza alta ou média tensão com altos valores de consumo e carga.

Dadas as alternativas de enquadramento tarifário disponíveis para alguns consumidores, o conhecimento da formação da conta e dos hábitos de consumo permite escolher a forma de tarifação mais adequada e que resulta em menor despesa com a energia elétrica (ELETROBRÁS, 2000).

A divisão das unidades consumidoras é feita inicialmente justamente pela grandeza da tensão, sendo elas divididas por grupo A, baixa tensão, e grupo B, alta e média tensão (ANEEL, 2022).

O grupo A é dividido em subgrupos de alta tensão (A1, A2 e A3), média tensão (A3a e A4), e sistemas subterrâneos (AS), como pode ser visto na tabela 1 (ANEEL, 2021).

Tabela 1 - Grupo A e seus subgrupos.

Subgrupos	Tensão de fornecimento
A1	≥ 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Subterrâneo e $\leq 2,3$ kV

Fonte: Adaptado de ANEEL(2021).

O grupo B é dividido em unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e dividido em subgrupos, como pode ser visto na tabela 2 (ANEEL, 2021).

Tabela 2 - Grupo B e seus subgrupos.

Subgrupos	Característica
B1	Residencial
B2	Rural
B3	Demais classes
B4	Iluminação pública

Fonte: Adaptado de ANEEL(2021).

Os dois grupos podem ter a possibilidade de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica. A chamada tarifa horária azul engloba todos subgrupos do grupo A e além dos valores distintos do normal para as tarifas de consumo de energia elétrica, possui também tarifas diferentes para demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia, chamados de postos tarifários. A tarifa horária verde propõe também tarifas diferenciadas de acordo com os postos tarifários, mas tem uma única tarifa de demanda de potência, modalidade disponível para os subgrupos A3a, A4 e AS. Para as unidades consumidoras de baixa tensão que são inseridas no grupo B, as tarifas são: convencional monômnia, que é a tarifa única independente do horário de utilização; horária branca, que é uma tarifa diferenciada de acordo com os postos tarifários, está disponível para todos no grupo B com exceção ao subgrupo B4 e para a subclasse Baixa Renda do subgrupo B1 (ANEEL, 2022).

Os chamados postos tarifários são períodos de tempo, em horas, no momento em que o valor da tarifa de energia muda ao longo do dia. São divididos em: posto de ponta, período diário de 3h consecutivas, normalmente das 18 horas às 21 horas, com exceção à finais de semana e feriados; posto intermediário, período de horas próximas ao horário de ponta, aplicado somente aos consumidores que optaram pela tarifa branca, o horário pode variar de 1h a 1h30 antes e depois do horário de ponta; horário fora de ponta, seriam os horários restantes do dia fora dos horários dos postos citados anteriormente (ANEEL, 2022).

2.4.2 Taxas e tarifas no estado do Paraná.

Como citado anteriormente a tarifa de energia elétrica é composta pela análise feita pela ANEEL, mas também estão incluídos os custos de aquisição e transmissão de energia, os encargos setoriais e também os custos totalmente gerenciados pela empresa para manter suas atividades (ANEEL, 2020).

Para a empresa de maior mercado e estrutura no estado, a Companhia Paranaense de Energia (COPEL), foram estabelecidas as seguintes tarifas por parte da ANEEL na Resolução Homologatória 3.049/2022, onde foram determinadas as Tarifas de Energia (TE) e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) referentes à empresa paranaense para o ano de 2022, o reajuste anual ficou na faixa de 9,89% e teve os seguintes valores apresentados ao consumidor final nas figuras 14, 15 e 16 (COPEL, 2022).

Figura 14 - Taxas e tarifas do grupo A, subgrupos A1, A2 e A3 da COPEL.

Fora de ponta		Grupo A1			Fora de ponta		Grupo A2		
Sem imposto	6,41 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,07680 TUSD (R\$/kWh)		Sem imposto	9,75 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,08170 TUSD (R\$/kWh)	
Com imposto	8,19 TUSD (R\$/kW)	0,31590 TE (R\$/kWh)	0,09814 TUSD (R\$/kWh) Tarifa horária azul		Com imposto	12,46 TUSD (R\$/kW)	0,31590 TE (R\$/kWh)	0,10441 TUSD (R\$/kWh) Tarifa horária azul	
Ponta		Grupo A1			Ponta		Grupo A2		
Sem imposto	5,80 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	0,07680 TUSD Ponta (R\$/kWh)*		Sem imposto	18,68 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	0,08170 TUSD Ponta (R\$/kWh)*	
Com imposto	7,41 TUSD (R\$/kW)	0,49593 TE (R\$/kWh)	0,09814 TUSD (R\$/kWh) Tarifa horária azul		Com imposto	23,87 TUSD (R\$/kW)	0,49593 TE (R\$/kWh)	0,10441 TUSD (R\$/kWh) Tarifa horária azul	
Fora de ponta		Grupo A3			Fora de ponta		Grupo A3 - Poder público estadual		
Sem imposto	7,63 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,08173 TUSD (R\$/kWh)		Sem imposto	7,63 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,08173 TUSD (R\$/kWh)	
Com imposto	9,75 TUSD (R\$/kW)	0,31590 TE (R\$/kWh)	0,10444 TUSD (R\$/kWh) Tarifa horária azul		Com imposto	8,00 TUSD (R\$/kW)	0,25904 TE (R\$/kWh)	0,085... TUSD (R\$/kWh) Tarifa horária azul	
Ponta		Grupo A3			Ponta		Grupo A3 - Poder público estadual		
Sem imposto	13,03 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	0,08173 TUSD Ponta (R\$/kWh)*		Sem imposto	13,03 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	0,08173 TUSD Ponta (R\$/kWh)*	
Com imposto	16,65 TUSD (R\$/kW)	0,49593 TE (R\$/kWh)	0,10444 TUSD (R\$/kWh) Tarifa horária azul		Com imposto	13,65 TUSD (R\$/kW)	0,40666 TE (R\$/kWh)	0,08564 TUSD (R\$/kWh) Tarifa horária azul	

Fonte: COPEL(2022).

Figura 15 - Taxas e tarifas do grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS da COPEL

Fora de ponta		Grupo A3a			Fora de ponta		Grupo A3a		
Sem imposto	17,58 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,11085 TUSD (R\$/kWh)		Sem imposto	17,58 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,11085 TUSD (R\$/kWh)	
Com imposto	22,47 TUSD (R\$/kW)	0,31590 TE (R\$/kWh)	0,14166 TUSD (R\$/kWh)	Tarifa horário azul	Com imposto	22,47 TUSD (R\$/kW)	0,31590 TE (R\$/kWh)	0,14166 TUSD (R\$/kWh)	
Ponta		Grupo A3a			Ponta		Grupo A3a		
Sem imposto	37,77 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	0,11085 TUSD Ponta (R\$/kWh)*		Sem imposto	17,58 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	1,02746 TUSD Ponta (R\$/kWh)*	
Com imposto	48,27 TUSD (R\$/kW)	0,49593 TE (R\$/kWh)	0,14166 TUSD (R\$/kWh)	Tarifa horário azul	Com imposto	22,47 TUSD (R\$/kW)	0,49593 TE (R\$/kWh)	1,31300 TUSD (R\$/kWh)	
Fora de ponta		Grupo A4			Fora de ponta		Grupo A4		
Sem imposto	17,58 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,11085 TUSD (R\$/kWh)		Sem imposto	17,58 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,11085 TUSD (R\$/kWh)	
Com imposto	22,47 TUSD (R\$/kW)	0,31590 TE (R\$/kWh)	0,14166 TUSD (R\$/kWh)	Tarifa horário azul	Com imposto	22,47 TUSD (R\$/kW)	0,31590 TE (R\$/kWh)	0,14166 TUSD (R\$/kWh)	
Ponta		Grupo A4			Ponta		Grupo A4		
Sem imposto	37,77 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	0,11085 TUSD Ponta (R\$/kWh)*		Sem imposto	17,58 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	1,02746 TUSD Ponta (R\$/kWh)*	
Com imposto	48,27 TUSD (R\$/kW)	0,49593 TE (R\$/kWh)	0,14166 TUSD (R\$/kWh)	Tarifa horário azul	Com imposto	22,47 TUSD (R\$/kW)	0,49593 TE (R\$/kWh)	1,31300 TUSD (R\$/kWh)	
Fora de ponta		Grupo AS			Fora de ponta		Grupo AS		
Sem imposto	13,24 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,14286 TUSD (R\$/kWh)		Sem imposto	13,24 TUSD (R\$/kW)	0,24720 TE (R\$/kWh)	0,14286 TUSD (R\$/kWh)	
Com imposto	16,92 TUSD (R\$/kW)	0,31590 TE (R\$/kWh)	0,182... TUSD (R\$/kWh)	Tarifa horário azul	Com imposto	16,92 TUSD (R\$/kW)	0,31590 TE (R\$/kWh)	0,182... TUSD (R\$/kWh)	
Ponta		Grupo AS			Ponta		Grupo AS		
Sem imposto	60,71 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	0,14286 TUSD Ponta (R\$/kWh)*		Sem imposto	13,24 TUSD (R\$/kW)	0,38808 TE (R\$/kWh)	1,61633 TUSD Ponta (R\$/kWh)*	
Com imposto	77,58 TUSD (R\$/kW)	0,49593 TE (R\$/kWh)	0,18256 TUSD (R\$/kWh)	Tarifa horário azul	Com imposto	16,92 TUSD (R\$/kW)	0,49593 TE (R\$/kWh)	2,065... TUSD (R\$/kWh)	

Fonte: COPEL(2022).

Figura 16 - Taxas e tarifas do grupo B, subgrupos B1, B2, B3 e B4 da COPEL.

B1 - Residencial Residencial				B2 - Rural Rural			
		TE	TUSD			TE	TUSD
Convencional (R\$/kWh)	Sem imposto	R\$ 0,25894	R\$ 0,31080	Convencional (R\$/kWh)	Sem imposto	R\$ 0,24340	R\$ 0,29215
	Com imposto	R\$ 0,33090	R\$ 0,39717		Com imposto	R\$ 0,31104	R\$ 0,37334
		Fora de Ponta				Fora de Ponta	
Branca	Sem imposto	R\$ 0,24720	R\$ 0,23605	Branca	Sem imposto	R\$ 0,23237	R\$ 0,22667
	Com imposto	R\$ 0,31590	R\$ 0,30165		Com imposto	R\$ 0,29695	R\$ 0,28966
		Intermediário				Intermediário	
Branca	Sem imposto	R\$ 0,24720	R\$ 0,42633	Branca	Sem imposto	R\$ 0,23237	R\$ 0,41512
	Com imposto	R\$ 0,31590	R\$ 0,54481		Com imposto	R\$ 0,29695	R\$ 0,53049
		Ponta				Ponta	
Branca	Sem imposto	R\$ 0,38808	R\$ 0,61661	Branca	Sem imposto	R\$ 0,36480	R\$ 0,60356
	Com imposto	R\$ 0,49593	R\$ 0,78797		Com imposto	R\$ 0,46618	R\$ 0,77130
B3 - Comercial Demais Classes				B4 - Iluminação Pública Iluminação Pública – B4A			
		TE	TUSD			TE	TUSD
Convencional (R\$/kWh)	Sem imposto	R\$ 0,25894	R\$ 0,31080	Convencional (R\$/kWh)	Sem imposto	R\$ 0,14242	R\$ 0,17094
	Com imposto	R\$ 0,33090	R\$ 0,39718		Com imposto	R\$ 0,18200	R\$ 0,21845
		Fora de Ponta					
Branca	Sem imposto	R\$ 0,24720	R\$ 0,25304	B4 - Iluminação Pública Iluminação Pública – B4B			
	Com imposto	R\$ 0,31590	R\$ 0,32336				
		Intermediário					
Branca	Sem imposto	R\$ 0,24720	R\$ 0,47729	Convencional (R\$/kWh)			
	Com imposto	R\$ 0,31590	R\$ 0,60994				
		Ponta					
Branca	Sem imposto	R\$ 0,38808	R\$ 0,70155	Convencional (R\$/kWh)	Sem imposto	R\$ 0,15536	R\$ 0,18648
	Com imposto	R\$ 0,49593	R\$ 0,89652		Com imposto	R\$ 0,19854	R\$ 0,23831

Fonte: COPEL(2022).

2.5 Energia solar fotovoltaica

O início da história da energia solar remete ao século XIX, onde o físico francês Alexandre-Edmond Becquerel descobriu a energia solar enquanto fazia um experimento com o efeito fotovoltaico e dois eletrodos metálicos em uma solução condutora. O físico percebeu o aumento na geração de energia elétrica com a luz e, com base nisso, a tecnologia fotovoltaica percorreu diversas etapas até chegar ao uso em grande escala do silício. No ano de 1873 o engenheiro elétrico inglês Willoughby Smith descobriu a fotocondutividade do elemento selênio, o que possibilitou a criação da primeira célula fotovoltaica feita de selênio por W. G. Adams

e R.E. Day. Nos Estados Unidos em 1954 foi produzida a primeira célula fotovoltaica de silício, o que permitiu sua produção em maior escala para ser utilizada em aplicações espaciais e possibilitou seu estudo e aprimoramento para chegar nos equipamentos utilizados atualmente (MATHIAS, 2011).

A energia solar penetra na terra nas formas luminosa e térmica. A irradiação anual da energia solar na superfície terrestre é capaz de fornecer energia que atende todo o consumo anual do mundo (EPE, 2018).

Entretanto, essa radiação solar não alcança toda a superfície terrestre, ela depende de outros fatores como: latitude; estações do ano; condições atmosféricas; nebulosidade; umidade relativa do ar; entre outras. Ao adentrar a atmosfera, grande parte da energia solar se evidencia como luz visível de raios infravermelhos e de raios ultravioletas. Essa luz pode ser aproveitada na transformação em outra forma de energia: elétrica ou térmica. Se essa luz for captada por uma superfície escura, será transformada em calor, se for captada por painéis fotovoltaicos, será transformada em energia elétrica (ANEEL, 2008).

A obtenção da energia solar através de sistemas fotovoltaicos é por meio da conversão direta da luz em eletricidade, chamado de efeito fotovoltaico, sendo o elemento essencial desse sistema de conversão a célula fotovoltaica, um equipamento construído com material semicondutor, visto na figura 17 (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 17 - Composição de um painel solar fotovoltaico.



Fonte: Portal solar (2021).

A transformação da radiação solar em eletricidade é direta, a partir de um material semicondutor (normalmente o Silício) estimulado por essa radiação, um

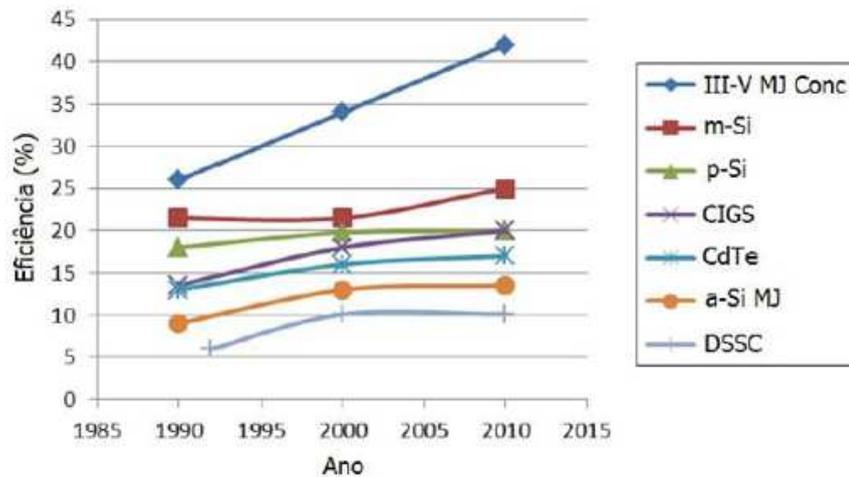
fluxo eletrônico é criado nessa região com a movimentação de partículas positivas e negativas. Todas as células fotovoltaicas possuem, ao menos, duas camadas de materiais semicondutores – uma carregada positivamente e a outra carregada negativamente – estruturando uma junção eletrônica. No instante em que a radiação solar penetra o semicondutor nessa junção, o campo elétrico da região provoca a formação de um fluxo eletrônico, que antes estava bloqueado, e permite o estabelecimento de um fluxo de energia na forma de corrente contínua (EPE, 2018).

Quanto maior for a intensidade da luz solar, maior será o fluxo de energia elétrica. O sistema solar fotovoltaico não precisa do brilho do sol para funcionar, ele também pode gerar energia elétrica em dias nublados (ANEEL, 2008).

Podem-se dividir as principais tecnologias utilizadas para fabricação de células e módulos fotovoltaicos em três gerações: a primeira é dividida em duas tecnologias, silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que refletem 85% do mercado por serem conhecidas como tecnologias consolidadas e confiáveis e possuírem alta eficiência comercial; a segunda geração é chamada de filmes finos e é composta por, silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS), índio e gálio (CIGS), telureto de cádmio (CdTe), a segunda geração possui eficiência inferior comparando-a primeira e também apresenta problemas em algumas propriedades como, vida útil, baixo rendimento das células, disponibilidade de materiais e toxicidade em equipamentos que utilizam o cádmio; a terceira geração apresenta tecnologias novas, mas apesar de seu caráter inovador os equipamentos ainda são muito caros em comparação com outras tecnologias, e são divididas em três cadeias produtivas, célula fotovoltaico multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas ou poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*) (PINHO E GALDINO, 2014).

A figura 18 mostra uma comparação entre tecnologias de células fotovoltaicas, mostrando seus avanços em eficiência ao longo de 30 anos (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 18 - Desenvolvimento de células fotovoltaicas



Fonte: Adaptada de GREEN et al., por PINHO E GALDINO (2014).

O valor do sistema, que já foi considerado uma grande adversidade para a divulgação dos sistemas fotovoltaicos em grande escala, vem reduzindo ao longo dos anos. Isso é devido a diminuição de seus custos e o aumento dos custos de outras tecnologias de geração de energia – incluindo também os impactos ambientais (PINHO E GALDINO, 2014).

De acordo com a Greener o preço de sistemas fotovoltaicos para sistemas residenciais (4 KWp) representou uma queda de 44% em 6 anos e juntamente com essa queda é possível observar que a procura e a instalação desses sistemas só aumenta no Brasil, como se observa nas figuras 19 e 20 (GREENER, 2022).

Figura 19 - Preço de sistemas fotovoltaicos para sistemas residenciais de jun/16 a jun/21 (4 KWp)



Fonte: GREENER (2022).

Figura 20 - Número de instalações fotovoltaicas no Brasil.



2.6 Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos possuem duas configurações básicas, sistemas fotovoltaicos isolados (SFVI) ou (SFI) e sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR) ou (SFCR). Nos dois casos os sistemas podem operar a partir apenas da fonte fotovoltaica ou podem ser combinados com uma ou mais fontes de energia, esses são chamados de sistemas híbridos. O emprego dessas tecnologias depende de sua aplicação e/ou da disponibilidade dos recursos energéticos (PINHO E GALDINO, 2014).

2.6.1 Sistemas fotovoltaicos isolados (SFVI)

Os SFVI ou SFI, possuem características como: não dispõem de conexão com o sistema público de abastecimento de energia, usualmente tem suas instalações feitas em espaços que não tem acesso à rede elétrica ou visando atender cargas especiais e a energia elétrica gerada pelo sistema geralmente é armazenada em baterias (URBANETZ, 2016).

2.6.2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR)

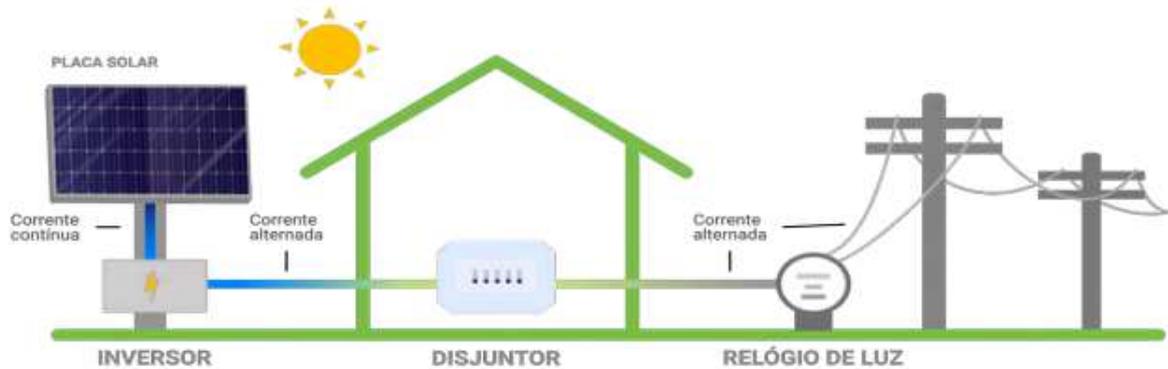
Os SFVCR ou SFCR, são caracterizados como: tem sua operação conectados à rede elétrica pública; não precisam de elementos armazenadores como baterias pois a energia gerada é injetada na rede elétrica; no caso de desligamento ou falha da rede elétrica, os SFVCR são desconectados automaticamente da rede, cessando o fornecimento de energia e evitando o fenômeno de ilha (ocorre quando parte da rede é desconectada do sistema, mas continua sendo energizada por um ou mais geradores distribuídos conectados a ela, formando um subsistema isolado.), o que representa uma segurança para os usuários e para a rede elétrica; após o restabelecimento de energia por parte da rede elétrica, os SFVCR são reconectados automaticamente e voltam a fornecer energia à rede; são utilizados atualmente em larga escala em sistemas de geração distribuída em edificações urbanas (com potências na faixa de KW) e também são usados para a geração centralizada (com grandes potências instaladas na faixa de MW); apresentam elevada produtividade (*YIELD, kWh ou kWp*). O sistema SFVCR é composto pelo painel fotovoltaico, inversor e um medidor de energia bidirecional (URBANETZ, 2016).

Para a medição e faturação são utilizados medidores bidirecionais que medem a energia em cada sentido. O medidor bidirecional divide a energia consumida e a injetada na rede de distribuição, e são registradas separadamente para serem faturadas (PINHO E GALDINO, 2014).

No Brasil atualmente é utilizado o sistema de compensação, onde o gerador fotovoltaico troca a energia que produz (recebendo créditos em kWh) para serem consumidos, entretanto há incidência de impostos no momento do consumo da energia gerada pelo sistema (ANEEL, 2018).

Na figura 21 é visto o sistema completo, demonstrando: o medidor bidirecional; o inversor; o conversor CC/CC; o painel fotovoltaico; e também o sentido que a energia percorre na rede elétrica (Veridian Ecoenergia, 2016).

Figura 21 - Sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR).



Fonte: MARIANO E URBANETZ (2022).

2.7 Potencial solar

A disposição do recurso energético solar e sua alterabilidade espacial e temporal possuem alta relação com conceitos astronômicos. Primeiramente é considerado a distância do sol à terra, cerca de 150 milhões de quilômetros, que varia de $1,47 \times 10^8$ km e $1,52 \times 10^8$ km devido ao movimento de translação ao redor do sol. Por causa desse fenômeno o fluxo de radiação solar – irradiância solar – varia entre 1.325 W/m^2 e 1.412 W/m^2 , de acordo com o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) é considerado o valor de 1.366 W/m^2 como valor médio da irradiância solar, também chamado de constante solar (PEREIRA et al., 2017).

O entendimento e compreensão dos dados da irradiação solar incidente no plano dos painéis solares fotovoltaicos é essencial para o correto dimensionamento do gerador que será utilizado na edificação (telhado ou fachada) e a correta aferição da quantidade de energia que ele pode gerar anualmente (PEREIRA et al., 2017).

2.7.1 Irradiância solar

O fluxo de radiação solar, também chamado de irradiância solar, representa o fluxo de energia radiante instantâneo que incide em uma superfície, real ou imaginária, por unidade de área e é constituído por duas componentes: direta e

difusa, como pode ser vista na figura 22. Sua unidade de medida é W/m^2 (ENERGÊS, 2020).

A irradiância solar direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol e representa a parcela que não sofreu os processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera (PEREIRA et al., 2017, p. 19).

A irradiância solar difusa envolve a radiação oriunda de todas as outras direções que são resultantes dos processos de espalhamento pelos gases e particulados que estão presentes na atmosfera (PEREIRA et al., 2017).

Irradiância extraterrestre (G_0) também conhecido como irradiância no topo da atmosfera ou GTOA, representa a taxa de energia que incide em um plano horizontal imaginário situado no topo da atmosfera por unidade de área (PEREIRA et al., 2017).

Irradiância direta normal (G_n) é a taxa de energia por unidade de área oriunda diretamente do sol que incide perpendicularmente à superfície, também chamada de DNI (PEREIRA et al., 2017).

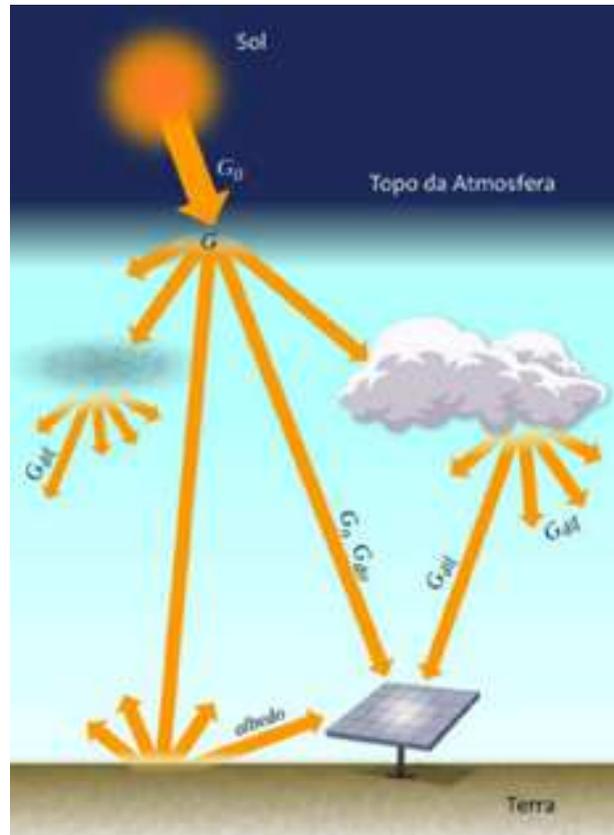
Irradiância difusa horizontal (G_{dif}) representa a taxa de energia por unidade de área que incide em uma superfície horizontal decorrente do espalhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens) (PEREIRA et al., 2017).

Irradiância direta horizontal (G_{dir}) representa a taxa de energia por unidade de área do feixe solar direto que incide em uma superfície horizontal. É possível de ser determinada pelo produto do cosseno do ângulo zenital solar e a irradiância direta normal (PEREIRA et al., 2017).

Irradiância global horizontal (G) representa a taxa de energia total por unidade de área incidente em uma superfície horizontal. É obtida pela soma simples de G_{dif} com G_{dir} ou pelo cálculo: $G = G_{dif} + G_n * \cos(\theta_z)$, sendo θ_z o ângulo zenital que representa o ângulo formado entre a vertical no ponto de observação e a direção da linha que liga o mesmo ponto da superfície da Terra ao Sol (PEREIRA et al., 2017).

Irradiância no plano inclinado (G_i) representa a taxa de energia total que incide sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da terra por unidade de área (PEREIRA et al., 2017).

Figura 22 - Componentes da irradiância solar.



Fonte: PEREIRA, et al. (2017).

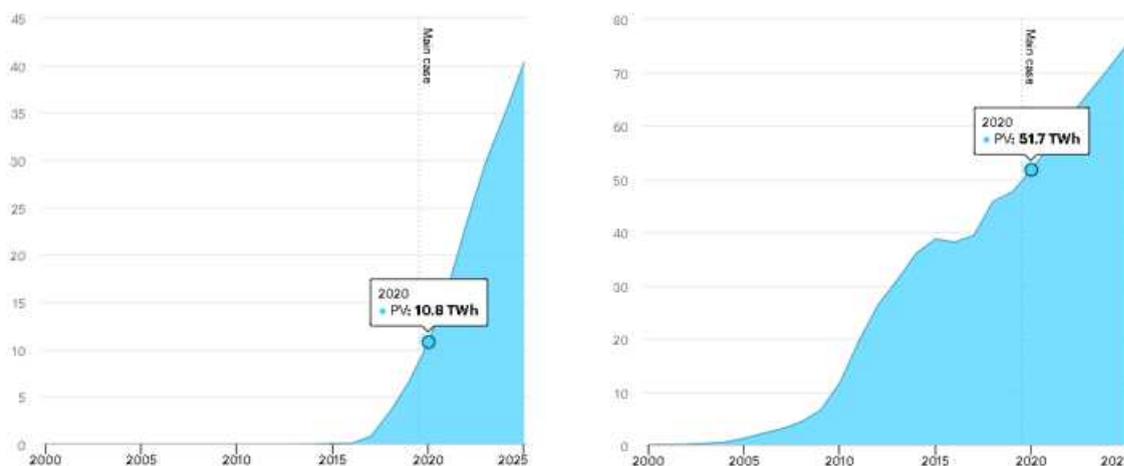
2.7.2 Potencial fotovoltaico do Brasil

A geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos possui um grande potencial para ser utilizada na maior parte do Brasil, o país possui um alto nível e uma baixa variabilidade da irradiação solar em comparação com países europeus onde a tecnologia já é utilizada em larga escala e está bem estabelecida (PEREIRA et al., 2017).

De acordo com dados do *International Energy Agency* (IEA), em comparação com a Alemanha que no ano de 2020 produziu cerca de 51,7 TWh, o Brasil produziu cerca de 10,8 TWh – quase 5 vezes menos – sendo que é possível gerar mais

energia no local menos ensolarado no Brasil do que no local mais ensolarado da Alemanha, como pode ser visto na figura 23 (IEA, 2020).

Figura 23 - Geração de energia solar fotovoltaica no Brasil e na Alemanha em 2020.



Fonte: International energy agency (2020).

A região brasileira de maior potencial solar é a região nordeste, que possui valor médio do total diário da irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m² e da componente direta normal de 5,05 kWh/m² e 5,52 kWh/m² de irradiação global média no plano inclinado. Em seguida se apresentam as regiões centro-oeste e sudeste que possuem para a irradiação global horizontal em torno de 5,07 kWh/m², a região centro-oeste ainda tem o valor de 5,20 kWh/m² de irradiação global média no plano inclinado e a sudeste 5,26 kWh/m². A região norte apresentou os valores mais baixos de irradiação solar (4,66 kWh/m² no plano inclinado e 3,26 kWh/m² da componente direta normal) devido às suas características climáticas onde a nebulosidade frequente reduz a irradiância solar que incide na superfície (PEREIRA et al., 2017).

Os estados do sul devido suas latitudes mais altas – o que representa maiores diferenças na duração do dia entre as estações do ano – apresenta em média valores menores de irradiação solar em comparação com as regiões nordeste, sudeste e centro-oeste. Mas mesmo assim apresenta valores consideráveis para a geração de energia elétrica a partir da energia solar, possuindo valores semelhantes e até melhores de irradiação solar do que países europeus onde a tecnologia já é utilizada em larga escala e está bem estabelecida. A região

sul apresenta valores de 4,53 kWh/m² para a irradiação global horizontal, 4,77 kWh/m² para a irradiação no plano inclinado, e 4,20 kWh/m² para a irradiação direta normal, como pode ser visto na figura 24 (PEREIRA et al., 2017).

Figura 24 –Níveis de irradiação solar por região no Brasil.



Fonte: PEREIRA, et al. (2017)

2.7.3 Potencial fotovoltaico do Paraná

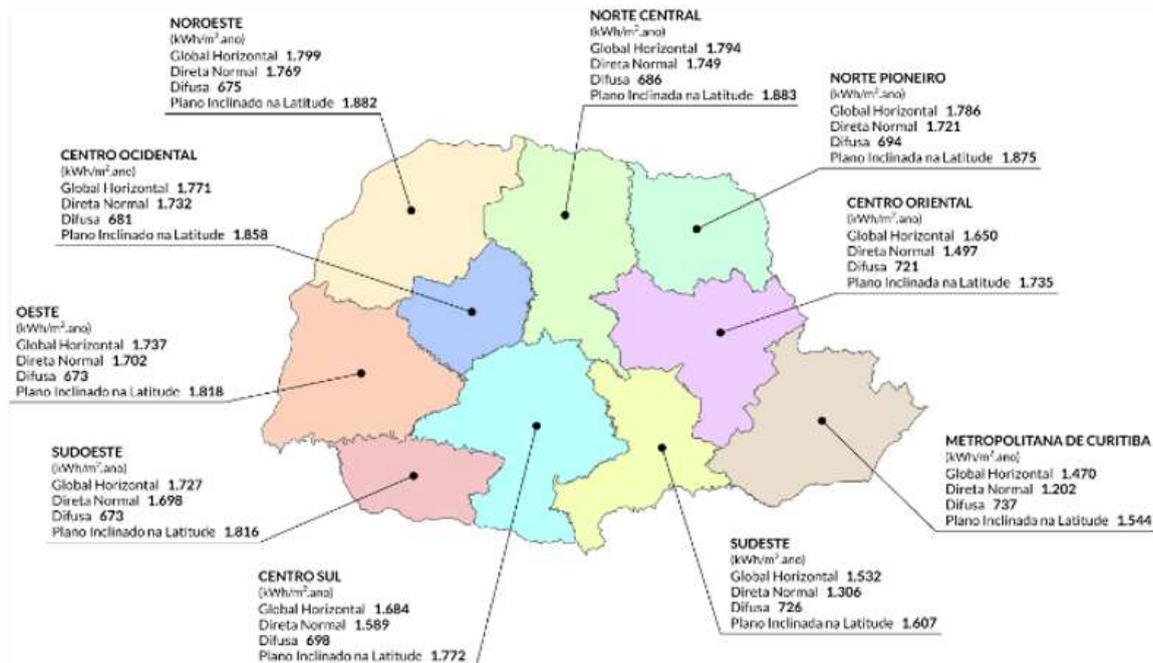
Os países europeus devido à necessidade de alterar sua matriz energética, como já foi citado, fazem altos investimentos em tecnologias de geração de energia limpa, principalmente energia solar fotovoltaica, inclusive possuem alguns dos maiores produtores europeus como Alemanha e Itália que tem cerca de 10% da sua matriz energética advinda da energia solar fotovoltaica (REN21, 2020).

O Estado do Paraná possui valores de irradiação solar satisfatórios que podem ser empregados em geração solar fotovoltaica, o estado do sul do Brasil

possui maior média de irradiação solar no plano inclinado na latitude em comparação com a Alemanha e a Itália, a média obtida no estado é 42,88% superior à Alemanha e 2,13% superior à Itália (TIEPOLO et al., 2017).

Com a difusão da geração de energia a partir de sistemas solares fotovoltaicos o estado do Paraná poderá se tornar um grande produtor dessa forma de geração, trazendo inúmeros benefícios à sociedade como: valores mais baixos na conta de luz; mais empregos; maior renda para população; novas oportunidades de negócios; maior arrecadação para o governo estadual; redução nos impactos ambientais juntamente com a preservação do meio ambiente. Em termos de Estado do Paraná, a irradiação média do total anual obtida foi: global horizontal: 1.703kWh/m².ano; direta normal: 1.608kWh/m².ano; difusa: 697kWh/m².ano; plano inclinado na latitude: 1.787kWh/m².ano, como pode também ser visto na figura 25 (TIEPOLO et al., 2017).

Figura 25 – Potencial anual de geração solar fotovoltaica no Paraná.



Fonte: Adaptado de Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, 2017, pelos autores.

2.8 Programas computacionais

Com o crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo, é extremamente importante e necessária a divulgação da informação sobre o sistema, que se tornará cada vez mais acessível. Atualmente é possível ver no mercado alguns aplicativos e programas que procuram informar o usuário sobre a tecnologia, sendo os aplicativos nacionais mais focados no meio acadêmico, mas atendendo também empresas e vendedores dos serviços. Esses programas podem auxiliar na obtenção e consulta de dados sobre a incidência de radiação solar em determinados locais, e também por meio de algoritmos, sintetizam computacionalmente dados meteorológicos para a entrada de dados de programas de simulação e sistemas em operação (PINHO E GALDINO, 2014).

Além dos programas utilizados diretamente para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, para serem realizados esses projetos é necessário a utilização de programas e bibliografias que informem a irradiação solar do local onde o projeto será instalado, como por exemplo: Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, 2017; Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017; Global Solar Atlas, 2019; System Advisor Model, 2017; RADIASOL2, 2019.

2.8.1 SunData

O SunData é um programa desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) que tem como objetivo ajudar no dimensionamento de um sistema fotovoltaico. O programa contém dados de irradiação diária média mensal no plano horizontal para aproximadamente 350 pontos no Brasil e em países próximos. Para obtenção desses dados somente são necessárias as coordenadas geográficas, que serão utilizadas para serem apresentados os resultados mensais para planos inclinados em três ângulos de inclinação, orientados para o Equador (PINHO E GALDINO, 2014).

2.8.2 SOLARCAD

O SOLARCAD é um projeto feito pelo Laboratório de Energia Solar da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSOL UFRGS), como forma de disseminar e facilitar o acesso aos módulos que compõem o programa. Por meio de ferramentas para computador com interfaces amigáveis e intuitivas, os cientistas propõem aos estudiosos da área e comunidade em geral a transferência do conhecimento e experiência acumulados pelo Laboratório ao longo de seus anos de existência. (LABSOL UFRGS, 2020).

RDIASOL2 é um dos módulos do *software* e tem como ferramenta principal o cálculo da intensidade da radiação solar em superfícies inclinadas, que são difíceis de se calcular devido ao elevado número de operações aritméticas envolvidas e modelos de distribuição temporal e espacial da radiação solar. Na interface do programa o usuário pode selecionar o modelo de distribuição da radiação e obter na tela um conjunto de dados adicionais na forma de tabelas ou gráficos. No programa os cálculos são realizados através de rotinas que determinam o efeito da inclinação da superfície receptora e da anisotropia da radiação solar em suas componentes direta e difusa. (LABSOL UFRGS, 2020).

ESPECTRO é um módulo que é capaz de reproduzir a curva de distribuição espectral da radiação solar, em dias de céu limpo, a partir de parâmetros atmosféricos e geográficos conhecidos ou de fácil obtenção. Após a obtenção do espectro pode-se calcular a absorvância e a refletância de qualquer material, por integração no espectro solar, bastando para isso inserir os dados das propriedades ópticas dos mesmos. (LABSOL UFRGS, 2020).

TERMODIM e TERMOSIM são módulos de simulação de sistemas de aquecimento de água com energia solar. O usuário ingressa com os dados de consumo de água e detalhes da fabricação do coletor solar e os programas sugerem um dimensionamento. (LABSOL UFRGS, 2020).

PVSIZE é um módulo responsável por dimensionar a instalação e os componentes de sistemas fotovoltaicos. Colocando na entrada de dados informações de consumo e características dos equipamentos disponíveis para a

geração de energia elétrica, o programa retorna informações como a quantidade de módulos, baterias e bitola mínima de condutores necessários e também a análise dos efeitos que modificações nas hipóteses de consumo produzem sobre o dimensionamento de sistemas. (LABSOL UFRGS, 2020).

CREARRAY prepara toda a informação do painel gerador fotovoltaico para o programa PVSIM, e é uma poderosa ferramenta didática e de análise do comportamento de arranjos de módulos fotovoltaicos sofrendo diferentes estímulos ou combinações. (LABSOL UFRGS, 2020).

PVSIM é o simulador detalhado do comportamento de cada componente dos sistemas fotovoltaicos. Reunindo as informações geradas nos programas PVSIZE, CREARRAY e RADIASOL, promoverá uma simulação do sistema especificado e permitirá ao usuário analisar as consequências de modificações nos componentes do sistema. (LABSOL UFRGS, 2020).

2.8.3 METEONORM

O software comercial METEONORM é desenvolvido por uma empresa de origem Suíça, que tem uma base de dados climatológicos para diversas localidades no mundo que tenham aplicações focadas na área de aproveitamento energético. O programa apresenta facilidades como cálculo de radiação incidente em planos inclinados e a incorporação de um mecanismo de sintetização de séries de dados. (PINHO E GALDINO, 2014).

3 METODOLOGIA

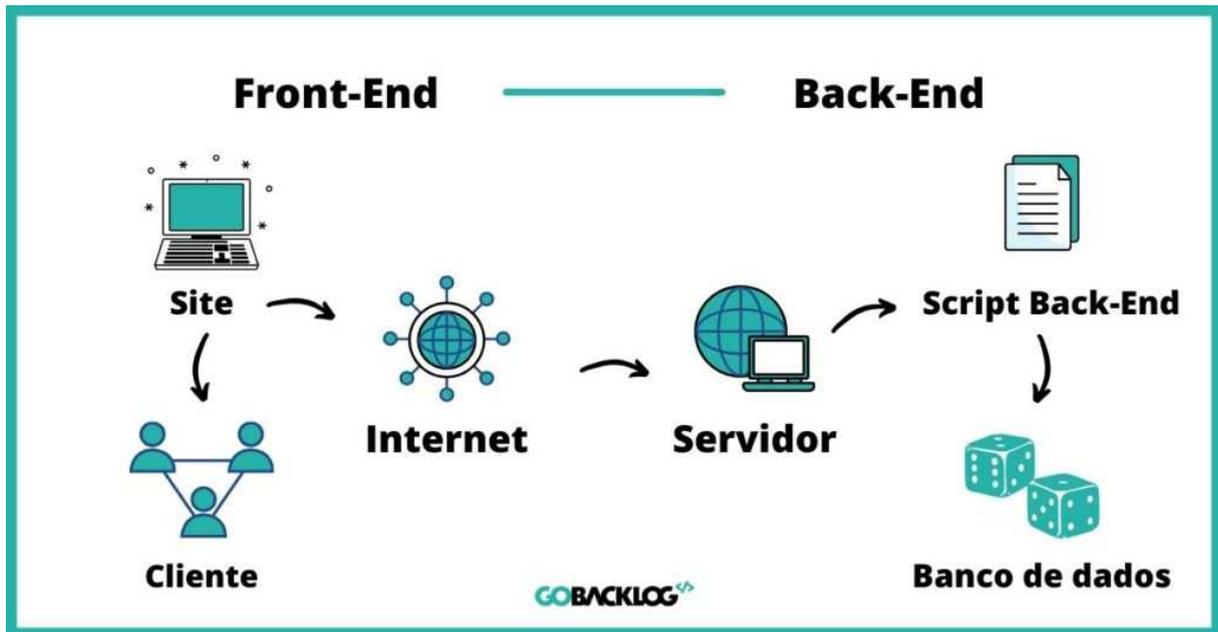
A premissa do trabalho é desenvolver uma plataforma, com layout e linguagem adequados ao público leigo, que possibilite a análise da modalidade tarifária mais vantajosa ao perfil de consumo e auxilie na análise da viabilidade técnica/econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos para os consumidores residenciais. A aplicação tem como objetivo facilitar o acesso à informação sobre a geração de energia elétrica limpa por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. A ferramenta será de fácil acesso e poderá ser utilizada por qualquer tipo de usuário: pessoas interessadas em instalar o sistema; acadêmicos; empresas do ramo.

Um dos importantes diferenciais da plataforma é a interface direta com o Google Maps para que o usuário possa selecionar e realizar uma medição fidedigna do seu telhado que será utilizada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Além disso a ferramenta possui interface com o consumo de energia real (em KWh e em reais), a taxa de desempenho do sistema, valores do projeto, a potência necessária para suprir o uso, o quanto será gerado pelo sistema, a eficiência do módulo, área necessária para o projeto juntamente com a área total selecionada no mapa, e o payback.

3.1 Desenvolvimento da plataforma

Partindo da premissa que a aplicação deveria estar disponível tanto para plataformas desktop, quanto para *mobile*, o *framework* escolhido para o desenvolvimento foi o *Next Js*, o qual possibilita a criação de aplicações *web* responsivas, ou seja, que podem ser executadas em computadores e celulares com grande performance, e possuem sua estrutura como pode ser visto na figura 26. O *Next Js* é um *framework React* extremamente moderno, que utiliza *Javascript*, *HTML* e *CSS* para construir aplicativos de página única, como pode ser visto na figura 28.

Figura 26 – Estrutura de uma plataforma web responsiva.



Fonte: GOBACKLOG (2022)

A biblioteca *recharts* foi utilizada para possibilitar a criação de gráficos. Essa ferramenta contém diversos tipos e variações dos mesmos, os quais são fáceis de serem utilizados e tem um design moderno que atende bem o desenvolvimento da plataforma.

Para a parte de componentes e estilização da aplicação, foram utilizadas as bibliotecas *Tailwind CSS* e *DaisyUI*, as quais facilitam a utilização do CSS para o desenvolvimento de componentes gráficos que sejam agradáveis ao usuário final, caso fosse optado por não utilizá-las, o desenvolvimento seria muito mais lento e dificultoso.

Para a parte do *back-end* da aplicação foi escolhido o *framework ASP.NET*, que utiliza a linguagem *C#* para possibilitar a criação de *APIs* que comunicam o banco de dados do projeto, com a aplicação *front-end*.

O banco de dados utilizado foi um *SQL Server da Microsoft*, o qual é um banco de dados relacional que possibilita o armazenamento dos dados do usuário da aplicação e dos dados que são utilizados pelo lado do usuário. Esse banco de dados está hospedado no *Azure*, o qual fornece uma grande infraestrutura *cloud* para que os dados estejam sempre disponíveis, em qualquer lugar do mundo.

3.2 Desenvolvimento do simulador fotovoltaico

Para a realização de um projeto de um sistema fotovoltaico conectado à rede são necessárias algumas informações a serem levantadas sobre: a orientação dos painéis; a disponibilidade do recurso solar e da área que será utilizada; a demanda de energia elétrica a ser utilizada e outros fatores (PINHO E GALDINO, 2014).

Levando em consideração algumas das informações que são necessárias para o desenvolvimento de um projeto de um sistema fotovoltaico conectado à rede, inicialmente no aplicativo são pedidas algumas características ao usuário para que seja calculado corretamente os parâmetros.

3.2.1 Irradiação solar no plano inclinado

Um sistema fotovoltaico conectado à rede apresenta uma produção melhor de energia quando o sistema é direcionado para o norte geográfico e com a inclinação dos painéis solares coincidindo com a latitude do local em que o sistema foi instalado (MONTEIRO JUNIOR et al., 2017).

O valor da irradiação solar incidente em um plano orientado na direção do Equador e com uma inclinação igual à latitude local permite calcular a energia elétrica que pode ser convertida por um sistema fotovoltaico fixo instalado nessas condições (PINHO E GALDINO, 2014).

Para a realização da plataforma foram utilizados os dados de irradiação solar no plano inclinado do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná - 1ª Edição - 2017, que pode ser observado na figura 27 o banco de dados utilizado para a programação da ferramenta.

Figura 27 – Valores das irradiações solares no plano inclinado no Paraná

Médias do Total Diário da Irradiação no Plano Inclinado para o Estado do PARANÁ
(Wh/m².dia)

Mostrar registros Procurar:

ID	Lon	Lat	Anual	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3439	-51,449	-26,7005	4581	4986	4978	5003	4536	3856	3597	3883	4732	4376	4644	5204	5181
3440	-51,349	-26,7005	4495	4891	4896	4918	4439	3804	3529	3816	4670	4270	4508	5104	5089
3441	-51,249	-26,7005	4469	4829	4928	4911	4450	3770	3467	3781	4647	4248	4502	5032	5067
3485	-52,049	-26,6005	4834	5278	5257	5284	4919	4149	3790	4080	4915	4541	4959	5453	5388
3486	-51,949	-26,6005	4828	5265	5253	5295	4892	4112	3791	4087	4911	4547	4954	5454	5379
3487	-51,849	-26,6005	4799	5217	5172	5248	4859	4088	3776	4030	4907	4532	4931	5465	5368
3488	-51,749	-26,6005	4772	5196	5172	5213	4794	4041	3748	4021	4894	4515	4881	5438	5350
3489	-51,649	-26,6005	4729	5164	5131	5155	4697	3990	3704	4014	4884	4498	4805	5388	5321
3490	-51,549	-26,6005	4626	5034	5031	5039	4589	3896	3614	3922	4816	4412	4694	5259	5208
3491	-51,449	-26,6005	4498	4891	4930	4907	4422	3806	3517	3784	4707	4295	4546	5091	5082

Mostrando registros 1 a 10 de um total de 1908

Anterior 2 3 4 5 ... 191 Próxima

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / DIIAV - Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES

Página atualizada em 22 / Jun / 2021

Fonte: PEREIRA, et al. (2017)

3.2.2 Instalação elétrica e consumo de energia

Para o dimensionamento é preciso saber o tipo de instalação elétrica vigente na residência. Na ferramenta, para o dimensionamento do inversor, o usuário tem a opção de escolher sua forma de instalação elétrica: monofásica; bifásica ou trifásica.

A instalação elétrica será de acordo com a carga que será necessária para atender à demanda da residência, conforme análise que será feita pelo engenheiro eletricista juntamente com a distribuidora. Atualmente é entregue da seguinte forma: monofásico (dois condutores, fase e neutro, 127V, carga até 8 KW, valor mínimo de pagamento de 30 KWh); bifásico (três condutores, duas fases e neutro, 220V entre fases, carga entre 12 e 25 KW, valor mínimo de pagamento de 50 KWh); trifásico (quatro condutores, três fases e neutro, 220V entre fases, carga entre 25 e 75 KW, valor mínimo de pagamento de 100 KWh) (CPFL Energia, 2022).

No Brasil atualmente as unidades consumidoras são divididas em 2 grupos e 10 subgrupos, tendo cada uma sua aplicação e especificação, juntamente com isso cada região do país tem suas taxas e tarifas. Para uma melhor obtenção de dados do usuário da ferramenta e um melhor cálculo da tarifa, ao invés de englobar no código todas as tarifas do país de cada distribuidora e de cada grupo e subgrupo, foi feita uma interface para que o usuário possa digitar seu consumo energético médio (KWh) juntamente com o valor médio pago mensalmente (reais) ou ele tem a possibilidade de digitar os últimos doze valores de sua fatura de energia elétrica, informando o consumo energético mensal (KWh) e o valor pago mensalmente (reais).

3.2.3 Taxa de desempenho do sistema

Um sistema de geração de energia pode ser avaliado pelo seu rendimento e pelo seu desempenho, informações que são extremamente importantes e válidas para todos envolvidos na cadeia, desde fabricantes e pesquisadores, até os usuários finais. Pode-se dizer que o desempenho do sistema está atrelado com a referência de qualidade atual dos produtos no mercado, sua visão de qualidade e demanda para produtos futuros (ALMEIDA, 2012).

Um sistema fotovoltaico tem perdas, assim como qualquer outro sistema de geração de energia, e elas causam a diminuição da eficiência do sistema, comprometendo justamente a produção de energia. Essas perdas possuem diversas causas, desde a qualidade dos componentes, temperatura, queda de tensão, condições meteorológicas, eficiência do inversor, sujeira, configuração escolhida, correta instalação e posicionamento dos módulos, sombra, manutenção, condições da rede elétrica, etc (ALMEIDA, 2012).

A taxa de desempenho é a razão entre a energia dada pelo sistema e a energia que estaria disponível no plano medido. Sendo que a energia dada pelo sistema seria a energia elétrica em corrente alternada, recebida pelo mesmo dividida pela potência nominal instalada do sistema fotovoltaico. A energia que estaria disponibilizada no local medido seria a irradiação solar no plano dividida pela

irradiância de referência, este valor de referência é utilizado para poder se comparar sistemas diferentes, normalmente de 1000 W/m^2 (KROTH E ROMPINELLI, 2020).

Na ferramenta é possível escolher o valor da taxa de desempenho do sistema, mas também informa que o valor padrão do mercado é 75%. Isso fornece ao usuário uma plataforma mais completa, que tem a possibilidade de análise de sistemas com valores de taxa de desempenho diferentes do valor padrão.

3.2.4 Eficiência do módulo

Na revisão bibliográfica foi visto que os materiais de um módulo fotovoltaico influenciam diretamente na sua qualidade de geração de energia juntamente com seu tempo de utilização, tendo no mercado diversas opções para serem escolhidas a partir de parâmetros como o preço ou sua eficiência.

A eficiência é calculada a partir do valor de sua capacidade de conversão da luz solar em energia elétrica por metro quadrado. Além dos materiais, existem diversas características que também influenciam na eficiência do módulo: a irradiação solar; temperatura; posição do painel; inclinação; sombreamento; etc. O cálculo pode ser realizado com o valor da potência do painel solar dividida pela sua área (Portal Solar, 2020).

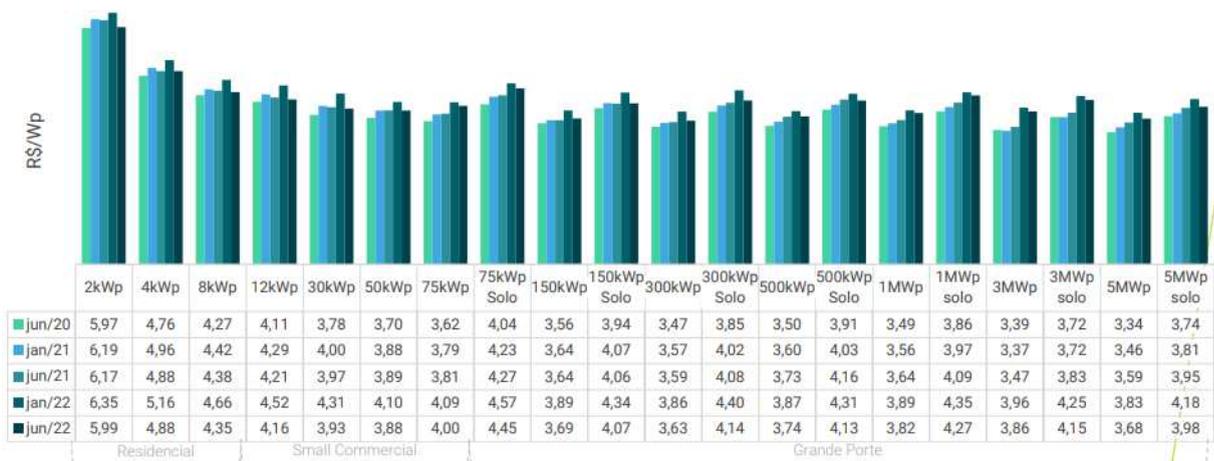
3.2.5 Resultados e valores obtidos

Após o levantamento dessas informações citadas, o sistema realiza o cálculo do dimensionamento e informa ao usuário: qual a potência instalada demandada pelo sistema, em kWp; o valor que o sistema poderá gerar de energia, em MWh/ano; e o valor aproximado de instalação do sistema, em reais.

Esse valor aproximado foi obtido a partir do estudo da Greener, uma empresa de pesquisa e consultoria especializada em energia solar fotovoltaica, desde 2007 no mercado. A companhia tem como objetivo acelerar o processo de desenvolvimento de empresas e empreendimentos, contribuindo para um mercado sustentável e eficiente no ramo de energia solar fotovoltaica. Tem como foco inovação, estratégia de mercado, otimização financeira, avaliação técnica e

validação de projetos. A empresa desenvolve e divulga pesquisas semestrais com diversas informações valiosas sobre o mercado de energia solar, pesquisas realizadas com base em levantamentos com empresas envolvidas no desenvolvimento, estruturação, operação e gestão de grandes usinas de geração distribuída, a figura 30 detalha os valores de sistemas fotovoltaicos no Brasil de junho de 2020 à junho de 2022, levando em conta a potência do sistema, o seu tamanho e onde será instalado (GREENER, 2022).

Figura 28 – Pesquisa de preços de sistemas fotovoltaicos no Brasil.



Fonte: GREENER (2022).

Na ferramenta, tem-se a possibilidade, assim como foi feito com a taxa de desempenho, de ser informada a eficiência do módulo fotovoltaico para que seja calculado se a área selecionada no mapa é suficiente para a potência necessária. Como anteriormente, é informado o valor padrão do mercado (20%), mas fornece ao usuário a oportunidade de realizar o dimensionamento com módulos de diferentes eficiências.

Após a obtenção desses dados, a ferramenta informa os valores de: área necessária para a instalação; valor da área selecionada no mapa pelo usuário; e potência instalada necessária para o sistema gerar a quantidade suficiente de energia.

3.2.6 Retorno do investimento

A ferramenta após a realização do dimensionamento do sistema fotovoltaico, informa para o usuário o tempo de retorno do investimento, também chamado de payback, do sistema.

Para a plataforma é utilizado o payback descontado, também chamado de payback ajustado ou de Período de Retorno do Investimento Descontado (PRID), onde o tempo de retorno do investimento considera o valor do dinheiro no tempo, ou seja, é calculado quanto tempo demoraria para retornar o capital considerando que poderia estar ganhando juros em cima desse investimento. O payback descontado também considera a valorização ou desvalorização da moeda, que pode ser baseado na adição de taxas ou índices, no caso do cálculo da ferramenta foi utilizada a média do título tesouro IPCA.

4 RESULTADOS

Após a análise e estudo das referências bibliográficas foi possível a implantação da ferramenta. Inicialmente o usuário deve inserir seus dados pessoais como: nome; telefone de contato; e-mail; e o motivo do dimensionamento. A finalidade da primeira página, vista na figura 31, é poder salvar as informações do dimensionamento e enviar para o usuário. Com a pergunta sobre o motivo do dimensionamento pode-se levantar uma base de dados para saber qual o público da plataforma: acadêmico; com o intuito de realizar o dimensionamento; e curiosidade.

Figura 29 – Tela inicial da ferramenta de dimensionamento.



A imagem mostra a tela inicial da ferramenta de dimensionamento. O título da tela é "Informe seus dados para fazer o dimensionamento". Abaixo do título, há quatro campos de entrada de texto: "Nome", "e-mail", "celular" e "Motivo do dimensionamento". O campo "Motivo do dimensionamento" é um menu suspenso. Abaixo dos campos, há um botão "CONTINUAR". O fundo da tela é amarelo claro com ícones de sol desbotados.

Fonte: Autoria própria (2022).

A tela seguinte, vista na figura 32, indica como será feita a obtenção da área do telhado da localidade desejada. Para instruir o usuário é informado que seja marcado no mapa os vértices da área clicando na tela sobre os mesmos.

Figura 30 – Instrução da marcação no mapa da área desejada de instalação.



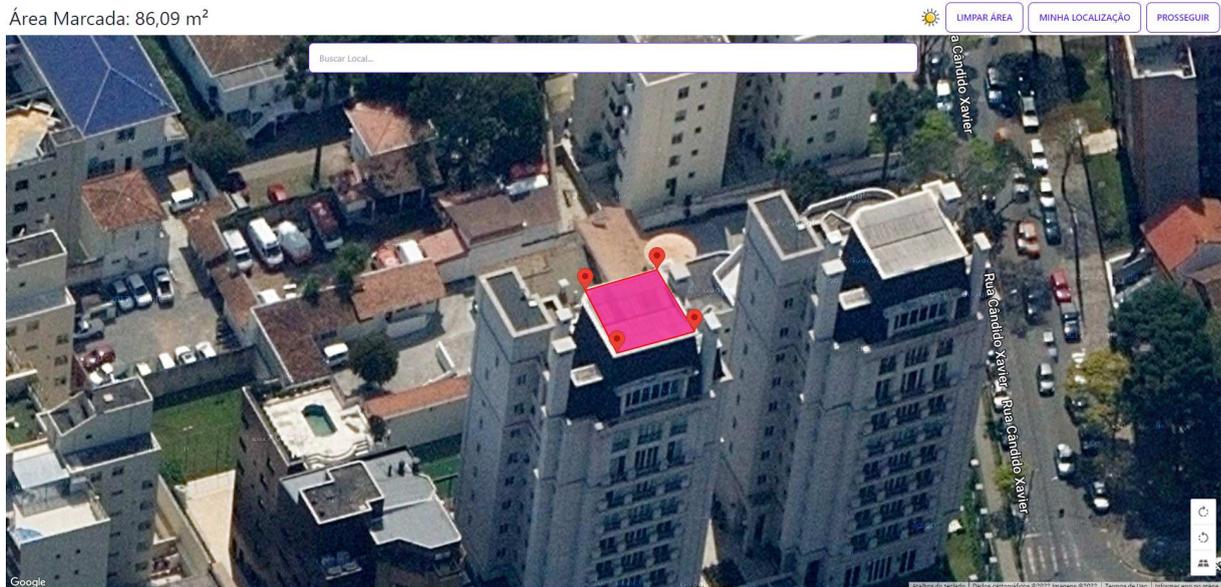
Fonte: Autoria própria (2022).

A próxima etapa, vista na figura 33, mostra o mapa do Brasil na base de dados do Google Earth, e o usuário pode navegar no mapa e escolher a região onde tem-se o interesse de realizar um projeto de SFVCR. A localização final da moradia pode ser encontrada por meio de interação com o próprio mouse, digitando-se o endereço na barra superior, ou até clicando no botão “Minha localização” e o sistema do Google levará o usuário automaticamente para onde ele se encontra.

Após a identificação da localização o usuário deve clicar nos vértices do telhado de onde se tem o interesse de realizar o projeto. Após a seleção o aplicativo informará no canto superior esquerdo a área do telhado. Também nessa tela tem-se

a possibilidade de limpar a área selecionada e recomeçar a marcação do telhado, e após a marcação certa basta clicar no botão “Prosseguir” no canto superior direito.

Figura 31 – Tela de marcação no mapa da área desejada de instalação.



Fonte: Autoria própria (2022).

Após essa etapa, é apresentada para o usuário uma tela, vista na figura 34, que pede a ele qual o tipo de instalação elétrica: monofásica; bifásica; trifásica. A tela também informa como o usuário pode localizar essa informação na conta de luz da COPEL.

Figura 32 – Tela de seleção do tipo de instalação elétrica.

PASSO 2: Selecione qual é o tipo da sua instalação

Monofásico Bifásico Trifásico



COPEL
Copel Distribuição S.A.
José Izidoro Bizazetto, 158 bl.C - Missungui - Curitiba PR - CEP 81200-240
CNPJ: 04.368.898/0001-06 - IE 90.233.073-99 - IM 423.392-4



www.copel.com
0800 51 00 116

JOÃO DA SILVA
R. VINTE E CINCO DE MARÇO, 345
ABRANCHES - CURITIBA - PR - CEP: 88888-888
CPF: 123.456.789-10

Mês de referência
Março/2020

Vencimento
16/04/2020

Unidade Consumidora
12345678

VALOR A PAGAR
R\$ 156,41

FAT-01-20208996547617-8

Responsabilidade da Manutenção de Ilumina Pública: Município 156

DENUNCIE FURTO DE FIOS! LIGUE 181.

Informações Técnicas							
Reside/Residencial		N° Medidor: MD 0262732138 - BIFASICO					
Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Constante de Multiplicação	Total Faturado	Consumo Médio Diário	Data de Emissão	Próxima Leitura Previsita
22/02/2020 20640	25/03/2020 20824	32 dias 184 kWh	1	184 kWh	5,75 kWh	26/03/2020	24/04/2020

[CONTINUAR](#)

Fonte: Autoria própria (2022).

No próximo passo o usuário deverá informar o seu histórico de consumo e pagamento da fatura de energia elétrica.

Figura 33 – Tela de seleção de como será informado o consumo.

PASSO 3: Como deseja informar o seu consumo?

Consumo mês a mês Média mensal

Histórico de Consumo e Pagamento				
	Mês	kWh	Dt.Pgto.	Valor
Mês 1	02/2020	175	16/03/2020	150,46
-	01/2020	184	17/02/2020	160,52
-	12/2019	164	16/01/2020	143,85
-	11/2019	192	16/12/2019	172,14
-	10/2019	172	18/11/2019	151,93
Mês 6	09/2019	194	16/10/2019	176,01
-	08/2019	186	16/09/2019	167,05
-	07/2019	180	16/08/2019	154,45
-	06/2019	211	16/07/2019	181,16
-	05/2019	184	17/06/2019	156,90
-	04/2019	182	16/05/2019	153,07
Mês 12	03/2019	192	16/04/2019	161,18

Fonte: Autoria própria (2022).

O usuário tem a possibilidade de escolher como será informado o seu consumo, como visto na figura 35: digitando o consumo mês a mês em kWh dos últimos doze meses, juntamente com o valor em reais, visto nas figuras 36 e 37; digitando diretamente e previamente calculada a média mensal de consumo em kWh dos últimos doze meses, juntamente com o valor em reais.

Uma razão para a diferenciação nesta página é para o usuário que está utilizando o aplicativo somente para curiosidade ou intuito que não é necessário uma análise precisa, ele teria a possibilidade de informar somente dois valores rapidamente, como visto na figura 38.

Figura 34 – Instrução ao usuário de como informar a média mensal.

PASSO 3: Como deseja informar o seu consumo?

Consumo mês a mês Média mensal

Some todos os 12 meses e divida o resultado por 12. Essa é a sua média mensal.

$$\frac{M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M6 + M7 + M8 + M9 + M10 + M11 + M12}{12}$$

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 35 – Entrada dos dados de consumo mensal dos últimos doze meses.

PASSO 3: Informe seus dados de consumo mensal

CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL		VALOR PAGO MENSAL	
<input type="text" value="Mês 1"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 1"/>
<input type="text" value="Mês 2"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 2"/>
<input type="text" value="Mês 3"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 3"/>
<input type="text" value="Mês 4"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 4"/>
<input type="text" value="Mês 5"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 5"/>
<input type="text" value="Mês 6"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 6"/>
<input type="text" value="Mês 7"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 7"/>
<input type="text" value="Mês 8"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 8"/>
<input type="text" value="Mês 9"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 9"/>
<input type="text" value="Mês 10"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 10"/>
<input type="text" value="Mês 11"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 11"/>
<input type="text" value="Mês 12"/>	kWh	R\$	<input type="text" value="Mês 12"/>

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 36 – Entrada dos dados de consumo mensal.

PASSO 3: Informe seus dados de consumo mensal

CONSUMO ENERGÉTICO MÉDIO VALOR PAGO MENSAL MÉDIO

Média kWh R\$ Média

CONTINUAR

Fonte: Autoria própria (2022).

Como informado anteriormente, a ferramenta apresenta a possibilidade do usuário informar a taxa de desempenho do sistema, vista na figura 39, para que ele tenha como dimensionar sistemas com desempenhos diferentes e possa escolher qual é mais viável e interessante para sua aplicação. O aplicativo utiliza o valor padrão do mercado como valor base, que seria a taxa de desempenho de 75% do sistema instalado.

Após a seleção da taxa de desempenho do sistema, a ferramenta informará que o dimensionamento realizado foi feito com base nos dados da irradiação solar do plano inclinado na latitude do local marcado no mapa, vista na figura 40, como já citado nas referências bibliográficas e na metodologia. Foram utilizados os dados da irradiação solar do plano inclinado na latitude levantados pelos autores do Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição - 2017.

Figura 37 – Taxa de desempenho do sistema.

PASSO 4: Qual a taxa de desempenho do seu sistema?

O padrão de mercado é 75%, caso o seu seja diferente, você pode alterá-lo agora.

75%

ALTERAR

CONTINUAR

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 38 – Informação sobre os dados de irradiação.

ATENÇÃO!

O dimensionamento foi feito com os dados da irradiação solar do plano inclinado na latitude do seu local

ENTENDI

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a realização do cálculo da potência instalada foi utilizada a seguinte fórmula, representada na figura 39. Sendo a energia média diária a ser gerada (E) dada pelo usuário, H_{TOT} foi obtida no Atlas Brasileiro de Energia Solar, e a taxa de desempenho usada é de 75%, com possibilidade de ser alterada pelo usuário se necessário.

A tela seguinte, vista na figura 40, informa ao usuário o dimensionamento realizado pela plataforma, onde são informados a potência instalada necessária para o sistema em kWp, o valor que será gerado de energia em MWh/ano, o valor aproximado de instalação em reais.

Figura 39 – Fórmula para dimensionamento do painel fotovoltaico.

$$P_{FV} = \frac{E.G}{H_{TOT}.PR}$$

P_{FV}: é a potência instalada (Wp);
E: é a energia média diária a ser gerada (Wh);
G: é a irradiância na condição STC (1000W/m²);
H_{TOT}: é a irradiação média diária (Wh/m²);
PR: é a *performance ratio* do SFVCR (0,7 a 0,8).

Fonte: Tiepolo (2021).

Figura 40 – Valores do dimensionamento.

The screenshot displays a yellow background with the following information:

- SEU DIMENSIONAMENTO:** (Section header)
- Você precisa de uma **potência** instalada para o seu sistema de: **6,38 kWp**
- Esse sistema gerará de **energia**: **7,7 MWh/ano**
- O **valor** aproximado de instalação, atualizado em Janeiro de 2022 está em: **R\$ 32.920,80**
- A button labeled **CONTINUAR** is located at the bottom.

Fonte: Autoria própria (2022).

Assim como a tela que indica ao usuário a seleção da taxa de desempenho do sistema, nessa etapa é apresentada uma tela semelhante que permite ao usuário que seja informada a eficiência do módulo fotovoltaico, vista na figura 43. É utilizado como valor base 20% de eficiência mas permite ao usuário realizar o dimensionamento com módulos de diferentes eficiências. Essa opção é levantada para ser analisada se a área delimitada na etapa inicial atende a potência necessária.

Figura 41 – Eficiência do módulo fotovoltaico.

A imagem mostra uma interface de usuário com um fundo amarelo claro e uma borda amarela vibrante. No topo, o título "Informe a eficiência do seu módulo fotovoltaico" está em azul. Abaixo dele, há um texto explicativo: "Assim poderemos calcular se a área que você selecionou para a instalação é suficiente para a potência necessária." Segue a instrução "Se não informar, consideraremos 20%." Há um campo de entrada com o valor "20%" e um botão "CALCULAR" em azul.

Fonte: Autoria própria (2022).

A penúltima tela, vista na figura 45, da ferramenta informa o resultado final do dimensionamento, e se a área selecionada inicialmente é suficiente para o projeto. Nessa etapa será mostrado para o usuário o valor da área necessária para seu dimensionamento, o valor da área selecionada no mapa por ele, e novamente a potência instalada necessária do sistema para realizar que o projeto atenda as demandas.

Para o cálculo da área necessária para o dimensionamento, foi utilizada a seguinte fórmula, vista na figura 44. Onde a potência de pico foi obtida com a fórmula da figura 41 e para a eficiência da tecnologia utilizou-se como valor base 20%, permitindo ao usuário realizar o dimensionamento com módulos de diferentes eficiências.

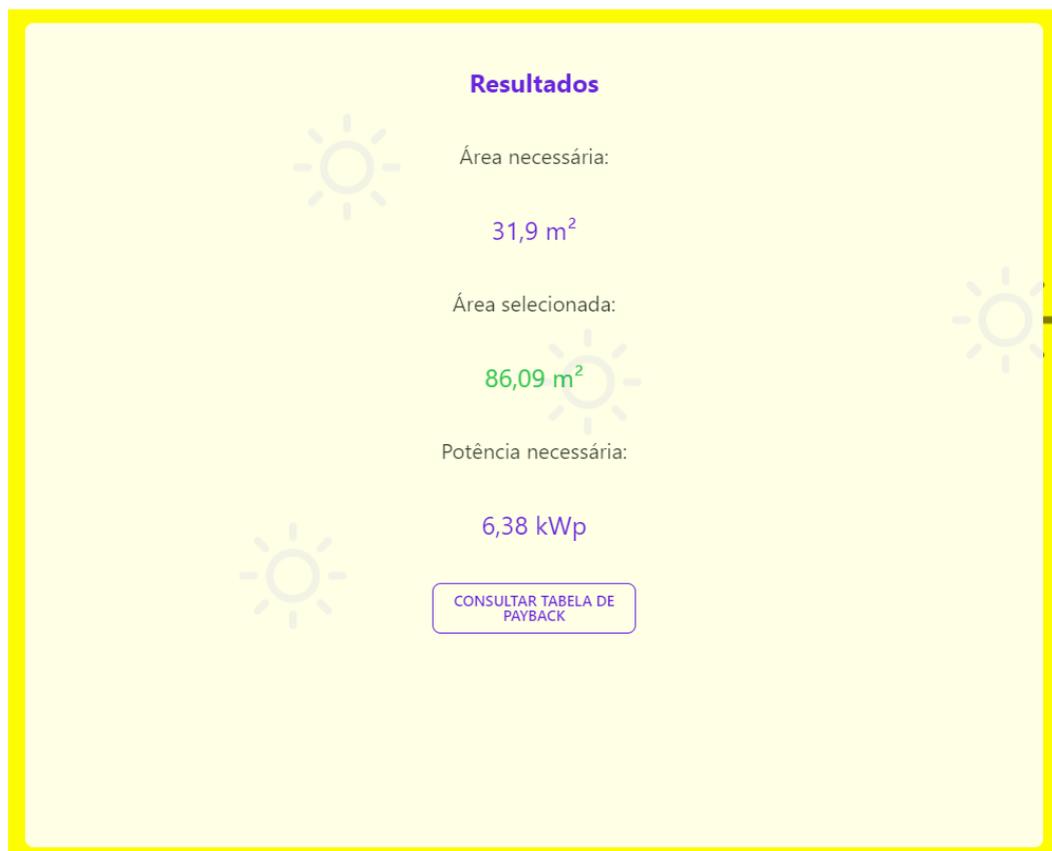
Figura 42 – Fórmula de estimativa da área requerida pelo painel FV.

$$A = \left(\frac{P_{FV}}{E_{FF}} \right) \times 100$$

A: é a área (m²);
P_{FV}: Potência de pico (kWp)
E_{FF}: é a eficiência da tecnologia (%)

Fonte: Tiepolo (2021).

Figura 43 – Resultado final do dimensionamento.



Fonte: Autoria própria (2022).

A parte final do projeto apresenta ao usuário o payback do seu projeto de dimensionamento, onde é mostrada a economia financeira. Por meio do payback ajustado, mostra-se ao longo dos anos quanto tempo leva para que o sistema se pague e resulte em uma economia financeira para o usuário final. Juntamente com a tabela do payback descontado, o usuário tem a possibilidade de consultar o gráfico de payback que informa mais facilmente em que ponto ao longo dos anos o sistema será pago e começará a resultar em economia.

A figura 46 mostra a tabela do payback para o dimensionamento feito como exemplo, e informa o usuário que o retorno financeiro seria alcançado entre 5 e 6 anos. É observado também que no décimo ano são adicionados valores referentes a manutenção e troca de partes do sistema.

Figura 44 – Tabela do payback.

PASSO 3: Informe seus dados de consumo mensal

Considerações em relação a **TABELA DE PAYBACK**
 O cálculo de payback adotado foi o do **payback ajustado**, considerando o custo de oportunidade do montante investido.
 O payback foi calculado considerando o dimensionamento anterior e os dados econômicos referentes ao ano de **2022**.
 No 15º ano foi somado o valor referente a troca do **inversor**.
 Os valores em **verde** indicam os anos em que o investimento no sistema já se pagou e está resultando em economia.
 Os valores em **vermelho** indicam os anos em que o investimento no sistema ainda não se pagou.

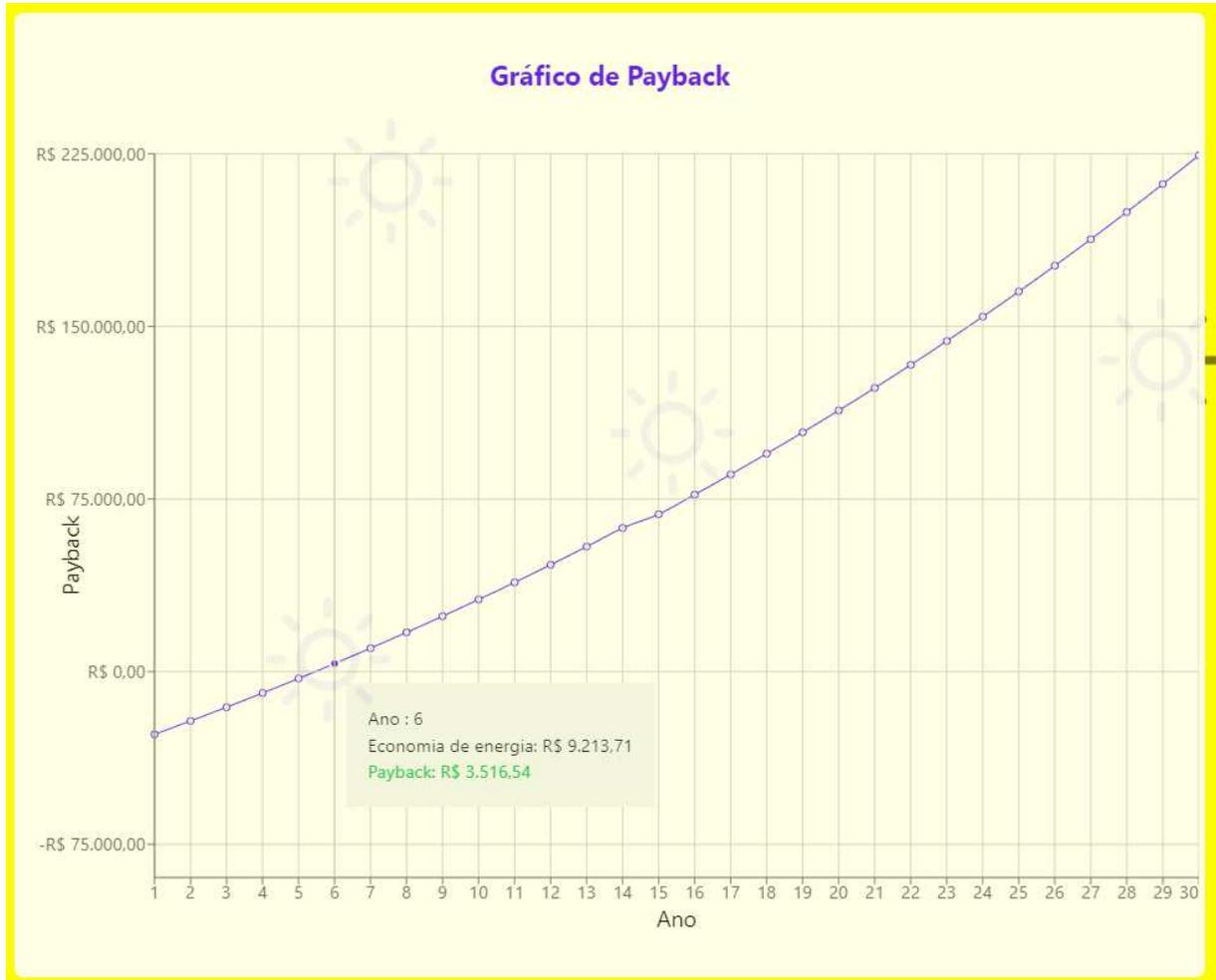
[VER GRÁFICO](#)

Ano	Economia	Payback
1	R\$ 6.005,41	-R\$ 27.255,32
2	R\$ 6.542,23	-R\$ 21.432,76
3	R\$ 7.127,00	-R\$ 15.448,79
4	R\$ 7.763,99	-R\$ 9.298,98
5	R\$ 8.457,87	-R\$ 2.978,77
6	R\$ 9.213,71	R\$ 3.516,54
7	R\$ 10.037,05	R\$ 10.191,75
8	R\$ 10.933,89	R\$ 17.051,80
9	R\$ 11.910,79	R\$ 24.101,78
10	R\$ 12.974,90	R\$ 31.346,90
11	R\$ 14.134,00	R\$ 38.792,52
12	R\$ 15.396,55	R\$ 46.444,13
13	R\$ 16.771,78	R\$ 54.307,40
14	R\$ 18.269,74	R\$ 62.388,12
15	R\$ 14.414,56	R\$ 68.402,81
16	R\$ 21.678,56	R\$ 76.936,50
17	R\$ 23.614,32	R\$ 85.706,02
18	R\$ 25.722,76	R\$ 94.717,83
19	R\$ 28.019,28	R\$ 103.978,56
20	R\$ 30.520,63	R\$ 113.495,04
21	R\$ 33.245,07	R\$ 123.274,26
22	R\$ 36.212,47	R\$ 133.323,40
23	R\$ 39.444,46	R\$ 143.649,85
24	R\$ 42.964,62	R\$ 154.261,19
25	R\$ 46.798,61	R\$ 165.165,20
26	R\$ 50.974,38	R\$ 176.369,88
27	R\$ 55.522,35	R\$ 187.883,44
28	R\$ 60.475,67	R\$ 199.714,30
29	R\$ 65.870,42	R\$ 211.871,13
30	R\$ 71.745,89	R\$ 224.362,82

Fonte: Autoria própria (2022).

A figura 47 mostra o gráfico do payback para o dimensionamento feito como exemplo

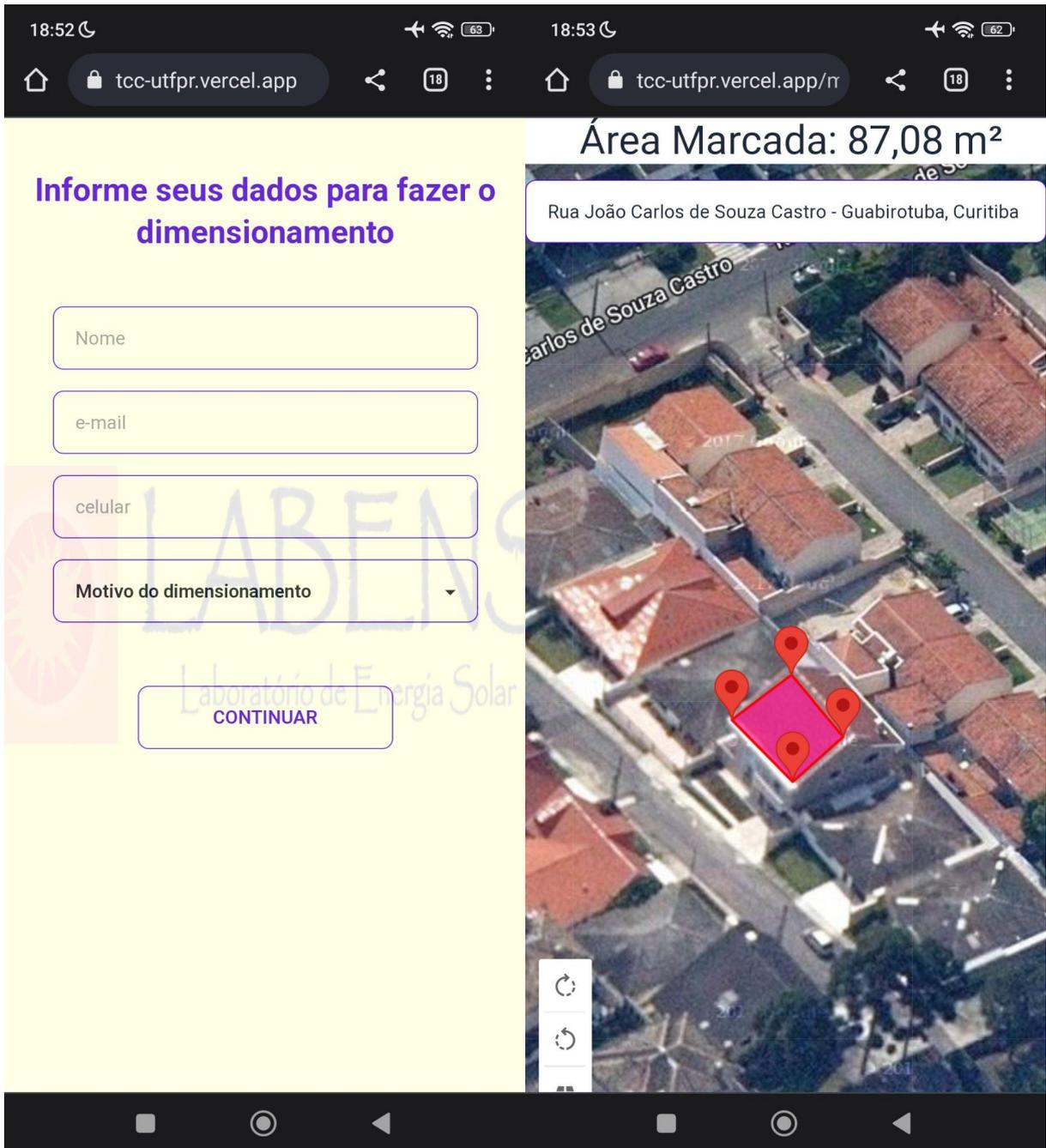
Figura 45 – Gráfico do payback.



Assim como observado na tabela de payback, o gráfico também mostra que o retorno financeiro para este caso será obtido entre o quinto e o sexto ano, juntamente com o valor que o usuário do sistema deixaria de gastar com sua conta de energia elétrica.

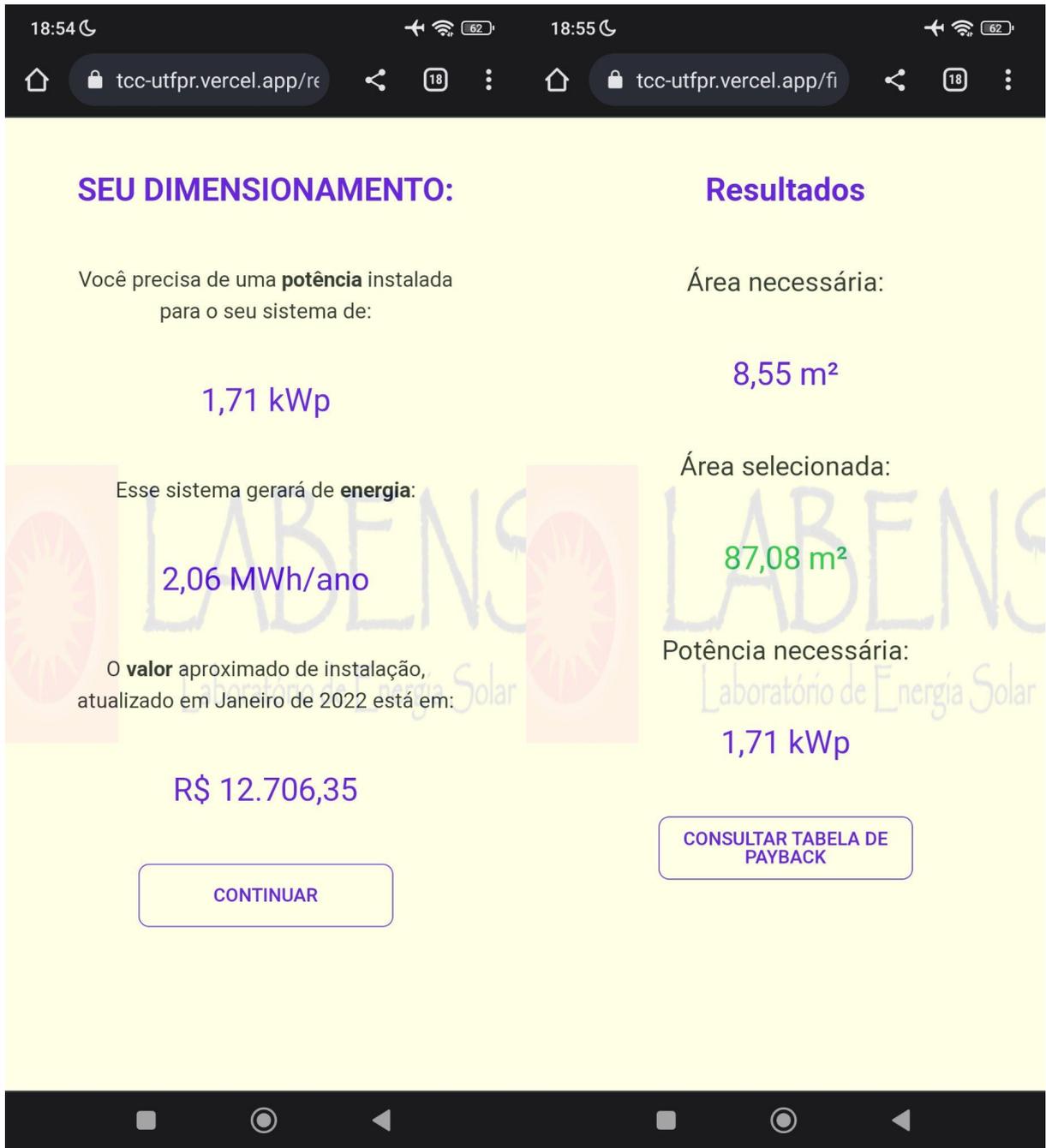
As figuras de 31 a 47 mostram a ferramenta para computador, como sendo uma plataforma responsiva também para celular, as interfaces para smartphones acabam sendo as mesmas, como pode ser observado nas figuras 48 a 51.

Figura 46 – Interface para celular.



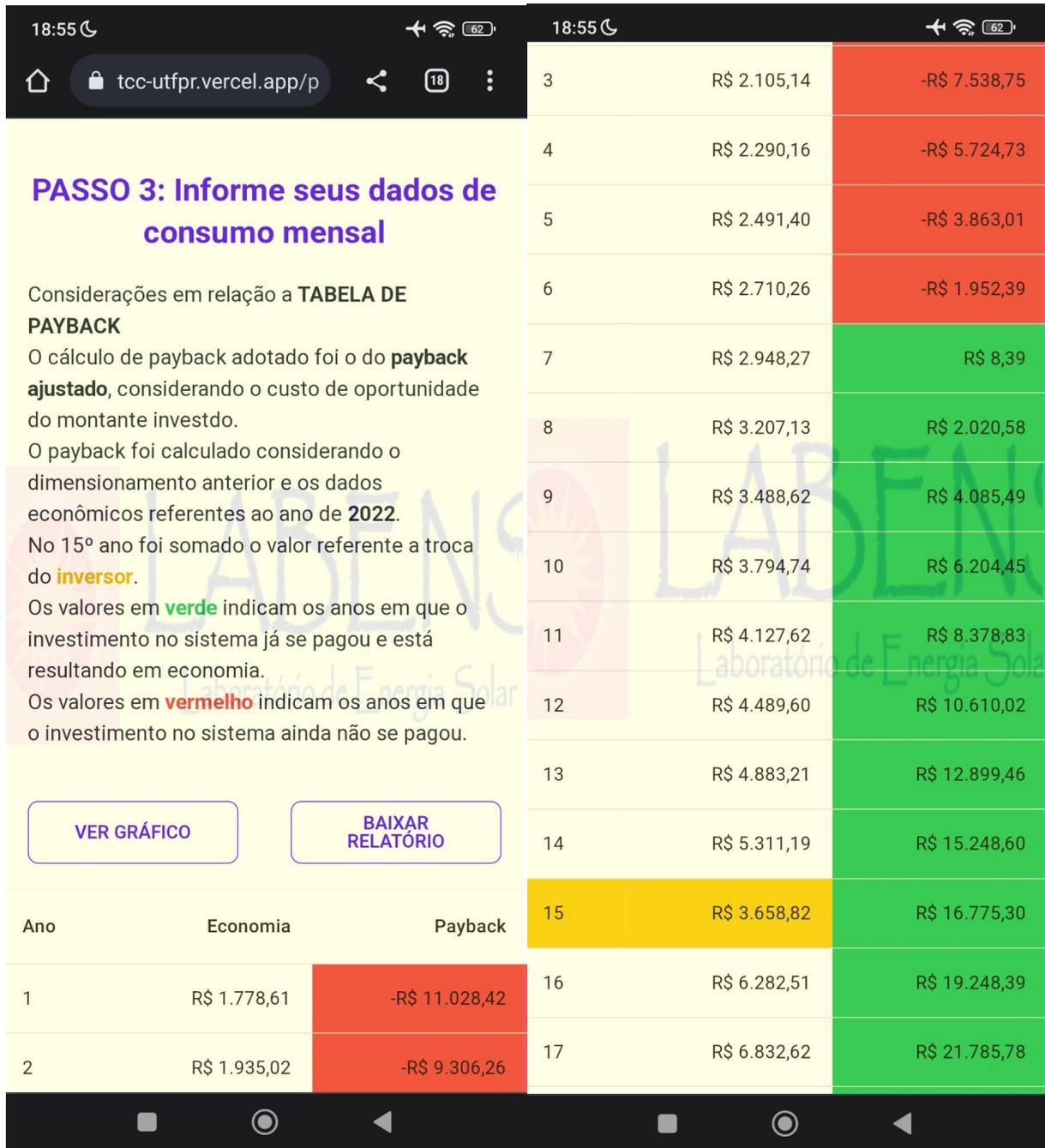
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 47 – Interface para celular.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 48 – Interface para celular.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 49 – Interface para celular.



Fonte: Autoria própria (2022).

5 CONCLUSÃO

O referencial teórico de monografias, artigos, trabalhos acadêmicos, livros, notícias e análises técnicas de órgãos governamentais e empresas juntamente com especialistas da área de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, proporcionou o conhecimento que foi aplicado com um prévio conhecimento de programação para o estudo e a realização concreta da ferramenta de análise técnico/econômica para implantação de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais.

Foi possível entender como, no Brasil, é calculado o valor em reais da energia elétrica, a partir de taxas e tarifas, bandeiras, impostos e postos tarifários. Isso mostrou que o brasileiro pode ser afetado por fatores externos não controláveis, como por exemplo, secas e desastres. Com isto, foi observado que o papel da geração de energia solar fotovoltaica é importantíssimo em nossa realidade atual e mais ainda no futuro.

A ferramenta se mostra prestativa e de fácil utilização pelo usuário. Com telas descomplicadas e intuitivas, o usuário tem acessibilidade a informações sobre o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Com emprego de dados reais informados por quem está utilizando a plataforma, como a área real do telhado diretamente pelo Google Maps, o consumo energético mensal juntamente com o valor gasto, e também dados de performance do sistema, o usuário obtém valores atuais de custo em reais do sistema, a potência que deve ser instalada em KWp, o quanto será gerado por ano de energia em MWh, a área necessária para o projeto juntamente com o valor da área selecionada no mapa inicialmente, o retorno do investimento juntamente com a quantidade de dinheiro economizada por ano com energia elétrica.

O aplicativo, logicamente, também informa para o usuário se o dimensionamento é atrativo financeiramente, ou não, já que em casos de pouco consumo de energia o projeto de um sistema fotovoltaico conectado à rede acaba sendo inviável, onde o usuário não conseguiria recuperar seu dinheiro devido ao baixo consumo de energia elétrica e a baixa geração de energia pelo painel dimensionado para o local. O que proporciona para o usuário da ferramenta, uma

possibilidade de escolha, já que o dimensionamento apesar de todos atrativos, pode acabar sendo inviável financeiramente para o usuário atualmente, visto que novas tecnologias podem mudar o cenário no futuro.

À medida que o mercado de energia continua a evoluir, a ferramenta proposta se tornará cada vez mais útil para os consumidores. Os usuários perderão a postura inativa de apenas pagar sua conta de energia à medida que o mercado convém com um número cada vez maior de opções. O aplicativo mostra ao usuário o benefício da geração distribuída por sistemas fotovoltaicos conectados à rede, onde além de diminuir a dependência das distribuidoras, o investimento financeiro se mostra atraente financeiramente, que normalmente, em alguns anos se pagará possibilitando também benefícios monetários.

Os objetivos do projeto foram concluídos, pois a ferramenta consegue realizar um dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede e também mostrar os valores de retorno financeiro que o usuário pode ter. O trabalho também propõe a divulgação de informações sobre a energia solar fotovoltaica, aproximando a população de um projeto de dimensionamento. Para estudos futuros pode-se aproximar a comunidade do aplicativo, fazendo a conexão entre o usuário que tem interesse em um projeto a uma empresa do ramo.

REFERÊNCIAS

- ABRADEE. **Bandeiras tarifárias, 2014**. Disponível em:
<https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/>
- ABSOLAR. **A transição energética avança**. São Paulo, p. 1, 20 set. 2019.
Disponível em: <https://www.absolar.org.br/artigos/a-transicao-energetica-avanca/>.
Acesso em: julho 2021.
- ABSOLAR. **Energia solar: por que não aproveitar?** São Paulo, p. 1, 12 ago. 2021.
Disponível em:
<https://www.absolar.org.br/artigos/energia-solar-por-que-nao-aproveitar/>. Acesso em:
agosto 2021.
- ABSOLAR. **Energia solar: uma vacina para a bandeira vermelha e para o risco do racionamento**, São Paulo, p. 1, 8 ago. 2021. Disponível em:
<https://www.absolar.org.br/artigos/energia-solar-uma-vacina-para-a-bandeira-vermelha-e-para-o-risco-do-rationamento-2/>. Acesso em: agosto 2021.
- ALMEIDA, M. P. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. 171 f.: il.: 30 cm.
- AMATO, F. **G1**. Menor nível de chuvas em 91 anos obriga governo a preparar plano para evitar falta de energia. 2021. Disponível em:
<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/05/14/menor-nivel-de-chuvas-em-91-anos-obriga-governo-a-preparar-plano-para-evitar-falta-de-energia.ghtml>. Acesso em:
maio 2021.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: [s.n.], 2003. 236 p.
- ANEEL. **Bandeiras Tarifárias**. 2015. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: maio 2021.
- ANEEL. **Entendendo a Tarifa**. 2015. Disponível em:
<https://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa>. Acesso em: maio 2021.
- ANEEL. **Geração Distribuída**. 2015. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: maio 2021.
- ANEEL. **Iluminação Pública, 2022**. Disponível em:
<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/iluminacao-publica>
- ANEEL. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2. ed. Brasília: [s.n.], 2016. 31 p.
- ANEEL. **Modalidades Tarifárias, 2022**. Disponível em:
<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>
- ANEEL. **Postos Tarifários, 2022**. Disponível em:
<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/postos-tarifarios>

ANEEL. **Resolução homologatória nº 3.049, de 21 de junho de 2022.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20223049ti.pdf>

ANEEL. **Resolução normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>

ANEEL. **Tarifa branca é opção para consumidores em 2020.** 2020. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/tarifa-branca-e-opcao-para-consumidores-em-2020/656877?inheritRedirect=false. Acesso em: maio 2021.

ANEEL. **Tarifa Branca.** 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>. Acesso em: maio 2021.

ANEEL. **Tarifas e Informações Econômico-Financeiras, 2022.** Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras>

BECKMANN, C; **Elaboração de processo de diagnóstico da viabilidade para implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede do estado do Paraná.** 2016. 100 f. Monografia de especialização em energias renováveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

COIMBRA, L. **INFRA.** Divisor de águas no setor elétrico, MP 579 trouxe impactos de R\$ 200 bi às tarifas. 2019. Disponível em: <https://www.agenciainfra.com/blog/divisor-de-aguas-no-setor-eletrico-mp-579-trouxe-impactos-de-r-200-bi-as-tarifas/>. Acesso em: maio 2021.

COPEL. **NTC 901100: Normas técnicas COPEL, fornecimento em tensão secundária de distribuição, 2016.** Disponível em: http://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa_files/ntc%20901100%20fornecimento%20em%20tensao%20secundaria.pdf

COPEL. **Tarifas de energia elétrica, 2022.** Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>

CPFL. **Guia para ligação nova. Dimensionando o seu padrão.** Disponível em: https://www.cpfl.com.br/sites/cpfl/files/2022-08/Guia_tecnico_ligacao_CPFL.pdf.

CURITIBA. **Lei complementar nº 129, de 13 de setembro de 2021.** Altera e acrescenta dispositivos à Lei Complementar Municipal nº 46, de 26 de dezembro de 2002, que institui a Contribuição para Custeio dos Serviços de Iluminação Pública. Curitiba: Câmara Municipal, [2022]. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pr/c/curitiba/lei-complementar/2021/13/129/lei-complementar-n-129-2021-altera-e-acrescenta-dispositivos-a-lei-complementar-municipal-n-46-de-26-de-dezembro-de-2002-que-institui-a-contribuicao-para-custeio-dos-servicos-de-iluminacao-publica?r=c>

DOMINGUES, P. Brasil é referência no campo da energia limpa e renovável. [Entrevista]. **Gov.br.** Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/10/brasil-e-referencia-no-campo-da-energia-limpa-e-renovavel>.

DUFFIE, J; BECKMAN, W. **Solar engineering of thermal process**. 4 ed. Wisconsin-Madison: John Wiley & Sons, Inc. 2013. 928 p.

EMBER. **Global electricity review 2022**. 2022. Disponível em: <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2022/>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2020**: Ano base 2019. Rio de Janeiro: [s.n.], 2020. 292 p.

EPE. **Nota técnica DEA 12/16 avaliação da eficiência energética e geração distribuída para os próximos 10 anos (2015-2024)**. [S. l.], abr. 2016. Brasília. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-264/DEA%2012-16%20-%20Ef%20energetica%2015-2024\[1\].pdf#search=distribuida](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-264/DEA%2012-16%20-%20Ef%20energetica%2015-2024[1].pdf#search=distribuida). Acesso em: julho 2021.

FOGGIATO, F. **Câmara Municipal de Curitiba**. Crise hídrica I: afinal, estamos enfrentando a pior seca da história? 2020. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.leg.br/informacao/noticias/crise-hidrica-i-afinal-estamos-enfrentando-a-pior-seca-da-historia>. Acesso em: maio 2021.

GETIRANA, A; LIBONATI, R; CATALDI, M, Brazil is in water crisis — it needs a drought plan; **Nature**, v. 600, n. 7888, p. 218–220, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-03625-w>.

GREENER. **Estudo estratégico, Geração distribuída remota 2022, panorama de mercado**. 2022. Disponível em: https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2022/10/Estudo-GD-Remota-n.pdf?utm_campaign=estudo_gd_remota_2022_fluxo_oficial&utm_medium=email&utm_source=RD+Station

GREENER. **Estudo estratégico, geração distribuída**. 2022. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-1-semester/>

IDEAL. **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída FV – Edição 2019**. 2019. Disponível em: <https://institutoideal.org/o-mercado-brasileiro-de-geracao-distribuida-fv-edicao-2019/>. Acesso em: maio 2021.

IEA. **Renewables 2019**, [S. l.], p. 1, 1 out. 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>. Acesso em: julho 2021.

IEA. **Renewables 2020**, [S. l.], p. 1, 1 nov. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>. Acesso em: julho 2021.

JACOMINI, G. **CBN Curitiba**. Níveis dos reservatórios de hidrelétricas estão abaixo do normal. 2020. Disponível em: <https://cbncuritiba.com/niveis-dos-reservatorios-de-hidreletricas-estao-abaixo-do-normal/>. Acesso em: maio 2021.

MONTEIRO JUNIOR, A.; SANTANA, K. G. S. ; MACEDO, A. C. ; SILVA, S. B. ; NASCIMENTO, O. C. S. . Desempenho de Sistemas FV de Acordo com a Inclinação e Azimute. **FotoVolt** - Eletricidade Moderna, v. 8, p. 18-21, 2017.

KROTH, G; RAMPINELLI, G. A. Análise de indicadores de desempenho de um sistema fotovoltaico com distintos fatores de dimensionamento de inversor e diferentes ângulos azimutais. *In*: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2020, Fortaleza. **Anais [...]**. Araranguá: UFSC, 2020.

LUDERER, G; *et al.* Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies. **Nature**, v. 10,n. 5229. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13067-8>.

MACÁRIO, CAROL. Crise energética no Brasil: o que mudou nos últimos 20 anos. **Lupa**, [S. l.], p. 1, 19 jul. 2021. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br/lupa/2021/07/19/crise-energetica-no-brasil/>. Acesso em: 28 jul. 2021.

MARIANO, J; URBANETZ, J. **Energia solar fotovoltaica: Princípios fundamentais**. 1. ed. Atena, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.752221803>

MEDEIROS, I; ÍCARO, P; TAVAREZ, J. Entenda a crise hídrica que ameaça o fornecimento de energia no Brasil. **Correio Braziliense**, [S. l.], p. 1, 15 jun. 2021. Disponível em: <https://www.correio braziliense.com.br/brasil/2021/06/4931467-entenda-a-crise-hidrica-a-que-ameaca-o-fornecimento-de-energia.html>. Acesso em: julho 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia**. [S. l.], 2 jul. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis>. Acesso em: julho 2021.

ONS. **Escassez hídrica**. [S. l.], 4 jun. 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20210707-escassez-hidrica-2021.aspx#>. Acesso em: junho 2021.

ONS. **Geração de energia**. [S. l.], 2021. Disponível em: http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx. Acesso em: junho 2021.

ONS. **Informativo preliminar diário da operação**. [S. l.], 15 jul. 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/IPDO-15-07-2021.pdf>. Acesso em: julho 2021.

ONS. **Informativo preliminar diário da operação**. [S. l.], 18 ago. 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/IPDO-18-08-2021.pdf>. Acesso em: agosto 2021.

PEREIRA, E. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p.

PINHO, J; GALDINO, M. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 1. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, Março 2014. 530 p.

PORTAL SOLAR. **Geração Distribuída de Energia – GD**. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>. Acesso em: maio 2021.

PORTAL SOLAR. **Tudo sobre a eficiência do painel solar**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>.

PROCEL; ELETROBRAS. **Manual de tarifação da energia elétrica, 2001**. Disponível em: http://www.sef.sc.gov.br/arquivos_portal/assuntos/9/manual_de_tarifacao.pdf

RAMOS, A; ANDRADE, V. Análise de desempenho de sistema fotovoltaico conectado - um estudo de caso em uma instituição de ensino pública de Governador Valadares. *In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL*, São Bernardo do Campo. **Anais [...]**. Governador Valadares: IFMG, 2018.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 2017. 3. ed. rev., ampl. e atual. – Barueri: Manole.

REN21. **Renewables 2021 global status report**, [S. l.], p. 1, 1 jan. 2021. Disponível em: <https://www.ren21.net/gsr-2021/>. Acesso em: agosto 2021.

REN21. **Renewables 2022 global status report**, [S. l.], p. 1, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://www.ren21.net/gsr-2022/>.

REN21. **Why is renewable energy important?**, [S. l.], p. 1, 28 maio 2019. Disponível em: <https://www.ren21.net/why-is-renewable-energy-important/>. Acesso em: julho 2021.

ROKEMBACH, H; PAGNONCELLI, P; ZAGO, R. **Ferramenta de análise técnico/econômica para implantação de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais de acordo com o modelo tarifário**. 2018. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SANTIAGO, A. **CNN**. Conta de luz no Brasil deve subir 14,5%, em média, em 2021, calcula estudo. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/2021/02/08/conta-de-luz-no-brasil-deve-subir-ate-14-5-em-media-em-2021-calcula-estudo>. Acesso em: maio 2021.

SANTOS, F. **Estudo comparativo da energia fotovoltaica aplicada na agricultura**. 2021. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021.

SCOLAR, J; MARTINS, D; ESCOBEDO, J. Estimativa da irradiação total sobre uma superfície inclinada a partir da irradiação global na horizontal. **Revista brasileira de geofísica**. v. 21(3). 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2003000300004>.

SOUSA, R. "Efeito estufa"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/efeito-estufa.htm>. Acesso em maio 2021.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1ª Edição. Curitiba: INPE, 2017.

TIEPOLO, G. **Introdução à Energia Solar Fotovoltaica**. [Notas de Aula]. Curso de Bacharelado de Engenharia de Controle e Automação, UTFPR, 2021.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Portal da UTFPR/Sistema de Bibliotecas. **Orientações para elaboração de trabalhos acadêmicos produzidos no âmbito da UTFPR**. [Campo Mourão]: UTFPR, 2021. Disponível em: <http://portal.utfpr.edu.br/biblioteca/trabalhos-academicos>.