



unifaema

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAEMA – UNIFAEMA

ANDERSON GUILHERME SILVA

**IMPACTOS DA LEI Nº 14.300 DE 2022 NA IMPLANTAÇÃO DE USINAS
FOTOVOLTAICAS EM UNIDADES CONSUMIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA
EM BAIXA TENSÃO NA CIDADE DE ARIQUEMES - RONDÔNIA**

**ARIQUEMES - RO
2023**

ANDERSON GUILHERME SILVA

**IMPACTOS DA LEI Nº 14.300 DE 2022 NA IMPLANTAÇÃO DE USINAS
FOTOVOLTAICAS EM UNIDADES CONSUMIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA
EM BAIXA TENSÃO NA CIDADE DE ARIQUEMES - RONDÔNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário FAEMA –
UNIFAEMA como pré-requisito para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Me. Fábio Prado de
Almeida

**ARIQUEMES – RO
2023**

FICHA CATALOGRÁFICA (APÓS A BANCA)

ANDERSON GUILHERME SILVA

**IMPACTOS DA LEI Nº 14.300 DE 2022 NA IMPLANTAÇÃO DE USINAS
FOTOVOLTAICAS EM UNIDADES CONSUMIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA
EM BAIXA TENSÃO NA CIDADE DE ARIQUEMES - RONDÔNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário FAEMA –
UNIFAEMA como pré-requisito para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Me. Fábio Prado de
Almeida

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Fábio Prado de Almeida
Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA

Prof. Me. Silênia Priscila da Silva Lemes
Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA

Prof. Me. Felipe Cordeiro de Lima
Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA

**ARIQUEMES – RO
2023**

Dedico este trabalho aos meus pais, familiares, professores, orientadores e amigos, que não só me apoiaram e incentivaram a seguir em frente com meus objetivos, mas também me transmitiram valioso conhecimento e aprendizagem ao longo do processo. Seu apoio e sabedoria foram fundamentais para o meu progresso e crescimento pessoal. Muito obrigado por estarem sempre ao meu lado.

“Deus!!!

Perdoe as pessoas ruins!!!”

- Frederico

RESUMO

A energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma alternativa sustentável e viável para suprir a crescente demanda energética em todo o mundo. No Brasil, a implantação de usinas fotovoltaicas em residências e pequenos comércios também tem sido impulsionada, entretanto, a instauração da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, pode acarretar impactos negativos nesse cenário. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar os impactos da Lei nº 14.300 na implantação de usinas fotovoltaicas em unidades consumidoras de energia elétrica em baixa tensão na cidade de Ariquemes – RO. O estudo foi realizado por meio de revisão de literatura, que envolveu a pesquisa bibliográfica de trabalhos científicos, leis, regulamentações e documentos oficiais relacionados ao tema. Os resultados obtidos indicam que a Lei 14.300 de 2022 teve um impacto significativo na implantação de usinas fotovoltaicas uma vez que aumentou o valor da tarifa de energia, entretanto, os avanços tecnológicos e redução de custo de aquisição amortizaram os efeitos no tempo de retorno do investimento (payback) relacionado à instalação do sistema. Essa redução no período de recuperação financeira estimula potenciais investidores, mas o valor da fatura pode colocar em dúvida. Além disso, essa redução no payback pode encorajar a popularização da energia solar como fonte energética alternativa, contribuindo para o avanço da transição energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Lei 14.300; Energia solar; Investimento energético; Tecnologia Fotovoltaica.

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy has stood out as a sustainable and viable alternative to meet the growing energy demand around the world. In Brazil, the implementation of photovoltaic plants in homes and small businesses has also been promoted, however, the implementation of Law No. 14,300, of January 6, 2022, could have negative impacts in this scenario. In this sense, the present work aims to analyze the impacts of Law No. 14,300 on the implementation of photovoltaic plants in low voltage electrical energy consuming units in the city of Ariquemes – RO. The study was carried out through a literature review, which involved bibliographic research of scientific works, laws, regulations and official documents related to the topic. The results obtained indicate that Law 14,300 of 2022 had a significant impact on the implementation of photovoltaic plants as it increased the value of the energy tariff, however, technological advances and reduction in acquisition cost amortized the effects on the return on investment time. (payback) related to system installation. This reduction in the financial recovery period encourages potential investors, but the value of the invoice may raise doubts. Furthermore, this reduction in payback can encourage the popularization of solar energy as an alternative energy source, contributing to the advancement of the energy transition and the reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords: Law 14,300; Solar energy; Energy investment; Photovoltaic Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participação de renováveis na matriz elétrica brasileira ao longo dos anos	21
Figura 2 – Matriz elétrica brasileira em 2021 e 2022.....	21
Figura 3 – Sistema de transmissão e distribuição de energia	22
Figura 4 – Ilustração do efeito fotoelétrico	23
Figura 5 – Esquema de camadas durante a fabricação do painel solar	24
Figura 6 – Diferença entre monocristalino e policristalino	25
Figura 7 – Usina com painéis de filme fino.....	26
Figura 8 – Usina com painéis concentradores solares.....	27
Figura 9 – Painel solar orgânico.....	27
Figura 10 – Sistema de geração por meio de painéis fotovoltaicos instalados em solo	29
Figura 11 – Projeto de instalação de sistema de painel fotovoltaico em solo	30
Figura 12 – Sistema de geração por meio de painéis fotovoltaicos instalados em cobertura	30
Figura 13 – Esquema de instalação de painel fotovoltaico para coberturas	31
Figura 14 – Inversor solar On-grid com caixa de proteção.....	33
Figura 15 – Inversor solar Off-grid.....	33
Figura 16 – Inversor solar On-grid.....	34
Figura 17 – Aplicativo de monitoramento de geração de energia de um inversor On-grid	36
Figura 18 – Diagrama trifilar de instalação de sistema Off-Grid.....	37
Figura 19 – Diagrama trifilar de instalação de sistema On-Grid.....	39
Figura 20 – Diagrama de instalação e funcionamento de sistemas híbridos	41
Figura 21 – Quadro geral de proteção de corrente contínua (CC)	42
Figura 22 – Mapa do índice solarimétrico brasileiro	46
Figura 23 – Itens da fatura de energia	49
Figura 24 – Cálculo completo da tarifa de energia	50
Figura 25 – Tabela de impostos e tributos	50
Figura 26 – Campo atenção	51
Figura 27 – Composição de consumo.....	52
Figura 28 – Histórico de consumo energético mensal na fatura de energia.....	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo de irradiação solar entre plano horizontal e inclinação 11° ao norte	47
Gráfico 2 – Histórico do valor médio do kit fotovoltaico de acordo com a geração nos anos de 2021, 2022 e 2023.....	60
Gráfico 3 – Comparativo do valor da fatura de energia antes e após a lei nº 14.300 ao longo dos anos	63
Gráfico 4 – Análise do período do impacto da lei de acordo com a demanda utilizada	64
Gráfico 5 – Fluxo de caixa para tempo de retorno pós-lei para sistemas com demanda trifásica	70
Gráfico 6 – Fluxo de caixa para tempo de retorno pós-lei para sistemas com demanda bifásica	71
Gráfico 7 – Fluxo de caixa para tempo de retorno pós-lei para sistemas com demanda monofásica	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de eficiência média entre cada modelo de painel fotovoltaico	28
Tabela 2 – Irradiação solar diária média no plano horizontal [KWh/M ² .Dia]	46
Tabela 3 – Irradiação solar diária média com maior média anual [KWh/M ² .Dia]	47
Tabela 4 – Classificação dos subgrupos da categoria tipo B	48
Tabela 5 – Cálculo de fatura de energia utilizando a taxa de disponibilidade	57
Tabela 6 – Resultados da pesquisa de custo de instalação realizada em empresas especializadas.....	61
Tabela 7 – Resultados da pesquisa de custo de manutenção realizada em empresas especializadas.....	62
Tabela 8 – Cálculo da fatura de energia elétrica aplicada mensalmente ao longo dos anos após Lei nº 14.300.....	68
Tabela 9 – Cálculo de fluxo de caixa para tempo de retorno pós-lei.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
IEC	International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NDU	Norma de Distribuição Unificada
PERS	Programa de Energia Renovável Social
REN	Resolução Normativa
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Geral	18
1.2.2 Específicos	18
2 REVISÃO TEÓRICA.....	19
2.1 CARACTERÍSTICAS DAS FONTES ENERGÉTICAS	19
2.2 MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL.....	20
2.2.1 Sistema de Transmissão e Distribuição de Energia	22
2.3 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	23
2.3.1 Funcionamentos e Características dos Painéis Fotovoltaicos	23
2.3.2 Modelos de Painéis Fotovoltaicos	24
2.3.3 Opções de Instalação de Painéis Fotovoltaicos	28
2.4 INVERSORES SOLARES	32
2.4.1 Inversores Solares Off-Grid.....	33
2.4.2 Inversores Solares On-Grid.....	34
2.4.3 Monitoramento da Geração de Energia do Inversor.....	35
2.5 SISTEMAS ON-GRID E OFF-GRID	36
2.5.1 Sistemas Off-Grid.....	36
2.5.2 Sistemas On-Grid.....	38
2.5.3 Sistemas Híbridos	40
2.5.4 Dispositivos de Proteção de Corrente Alternada e de Corrente Contínua	41
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	43
3.1 DA COLETA DE DADOS.....	43
3.2 DA ANÁLISE DOS DADOS	44
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA .	45

4.1 POTÊNCIA SOLAR E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE ARIQUEMES	45
4.2 TIPOS DE CONSUMIDORES	47
4.3 ESTRUTURA DA CONTA DE ENERGIA.....	49
4.4 DIMENSIONAMENTO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA SUPRIR A DEMANDA ENERGÉTICA RESIDENCIAL E COMERCIAL	52
4.5 CÁLCULO DA CONTA DE ENERGIA ANTES E DEPOIS DA LEI Nº 14.300.....	54
4.5.1 Introdução à Lei nº 14.300 e mudanças no cálculo da conta de energia.....	54
4.5.2 A Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e o Fio B	54
4.5.3 Taxa de disponibilidade na conta de energia elétrica.....	56
4.5.4 Cálculo da conta de energia elétrica antes da Lei nº 14.300.....	56
4.5.3 Cálculo da conta de energia elétrica após a Lei nº 14.300.....	58
4.6 AVANÇOS NAS TECNOLOGIAS DE PAINÉIS SOLARES E A REDUÇÃO DE CUSTOS NOS KITS FOTOVOLTAICOS	60
4.7 CUSTO DE INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	61
4.8 ANÁLISE DOS IMPACTOS DA LEI Nº 14.300 NAS TARIFAS DE ENERGIA DE UNIDADES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	62
4.8.1 Impacto nas Tarifas de Energia Elétrica.....	62
4.8.2 Impacto nos Custos e no payback dos painéis fotovoltaicos	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o crescimento populacional e os avanços tecnológicos têm proporcionado um acesso cada vez maior à tecnologia, informação e cultura, resultando em um aumento significativo na demanda energética da população. Essa crescente demanda energética requer um fornecimento mais eficiente de energia para atender às necessidades da população. No Brasil, as usinas hidrelétricas são responsáveis por suprir cerca de 65% da demanda de energia no país, desempenhando um papel fundamental nesse contexto.

No entanto, um desafio recorrente é o impacto dos períodos de seca contínua nas usinas hidrelétricas, que reduzem consideravelmente sua capacidade de produção. Como medida governamental, foram implementadas as bandeiras tarifárias, que variam os valores das tarifas de energia elétrica de acordo com a disponibilidade de produção, buscando desencorajar o consumo excessivo durante esses períodos críticos (BRUNO, 2018).

Diante desse cenário, muitos consumidores têm buscado alternativas para suprir suas necessidades energéticas, adotando a geração própria de energia elétrica. Pequenos consumidores têm optado pela microgeração ou minigeração de energia elétrica, impulsionados pela Resolução Normativa REN nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (BRASIL, ANEEL, 2012). Essa resolução permite que os geradores de energia possam injetar o excedente de energia na rede elétrica, gerando créditos que podem ser utilizados posteriormente.

Além disso, o custo de aquisição dos equipamentos de geração de energia solar tem apresentado uma redução significativa, tornando a geração própria uma opção mais viável economicamente. Machado (2023) aponta essa tendência de queda nos preços dos equipamentos devido ao aumento da capacidade produtiva e dos níveis de estoque.

Com o intuito de aprimorar a modalidade de geração de energia própria, a Agência Nacional de Energia Elétrica publicou a Resolução Normativa REN nº 687 (BRASIL, ANEEL, 2015), que estabelece novas regras para a conexão de sistemas de micro e minigeração à rede elétrica, além de alterar os prazos para a utilização dos créditos gerados.

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo analisar os impactos da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, que institui o marco legal da microgeração e

minigeração distribuída trazendo alterações no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e no Programa de Energia Renovável Social (PERS), na viabilidade de investimento em energia solar nas residências e pequenos comércios da cidade de Ariquemes, no estado de Rondônia (BRASIL, 2022). A metodologia adotada inclui uma revisão bibliográfica abrangente, estudos de casos representativos e análise dos dados coletados sobre a instalação de painéis fotovoltaicos antes e depois da implementação da lei. O tempo de retorno do investimento será calculado utilizando as fórmulas de payback simples e fluxo de caixa afim de obter o tempo de retorno, permitindo avaliar a viabilidade econômica dos sistemas de energia solar.

Dessa forma, esta pesquisa busca fornecer uma visão clara dos efeitos da legislação na viabilidade do investimento em energia solar, considerando os aspectos econômicos e os índices de compensação na injeção de energia na rede elétrica da concessionária. Para apresentar essa pesquisa, o trabalho foi organizado da seguinte maneira, no primeiro será abordado as características das fontes energéticas mais utilizadas.

No segundo capítulo será abordado o que compõe a matriz energética e os meios de transmissão, no terceiro capítulo serão abordados sobre os tipos de módulos fotovoltaicos mais utilizados, no quarto capítulo será abordado sobre o funcionamento de inversores de energia e no quinto capítulo serão abordados os tipos de sistemas fotovoltaico.

Os resultados obtidos com a pesquisa realizada em empresas especializadas no setor e na concessionária local, estão organizados de modo a apresentarem o potencial fotovoltaico da região, as evoluções no custo e eficiência dos kits fotovoltaicos, nas mudanças da legislação e seus impactos, serão de grande relevância para orientar decisões futuras relacionadas à adoção de energia solar como uma fonte sustentável e economicamente viável em Ariquemes, Rondônia.

1.1 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema "impactos da Lei nº 14.300 de 2022 na implantação de usinas fotovoltaicas em unidades consumidoras de energia elétrica em baixa tensão na cidade de Ariquemes - Rondônia" se deve à relevância e atualidade do assunto no contexto atual da busca por fontes de energia mais sustentáveis e econômicas.

A crescente demanda por energia elétrica, aliada aos desafios enfrentados pelas usinas hidrelétricas devido a períodos de seca, evidencia a necessidade de encontrar alternativas eficientes e acessíveis para suprir as necessidades energéticas da população. Nesse sentido, a geração própria de energia solar tem se destacado como uma solução promissora, permitindo aos consumidores produzirem sua própria eletricidade de forma sustentável e reduzir os custos associados à energia elétrica convencional.

A Lei nº 14.300, estabeleceu diretrizes e incentivos para a instalação de sistemas de energia solar em residências e pequenos comércios. Essa legislação impacta diretamente a viabilidade econômica desses investimentos, uma vez que traz mudanças nas regras de compensação na injeção de energia na rede elétrica e pode influenciar os custos e benefícios financeiros para os consumidores.

A cidade de Ariquemes, localizada no estado de Rondônia, foi escolhida como objeto de estudo devido ao seu contexto geográfico e socioeconômico, que apresenta características específicas relacionadas à demanda energética e ao potencial solar da região. Além disso, há um interesse crescente por parte dos moradores e empresários locais em adotar sistemas de energia solar, buscando reduzir custos e contribuir para a preservação do meio ambiente.

Diante desse cenário, é fundamental analisar os impactos da Lei nº 14.300 na viabilidade de investimento em energia solar em Ariquemes. A pesquisa proposta busca fornecer uma compreensão aprofundada sobre os efeitos dessa legislação no cálculo da fatura de energia elétrica, considerando aspectos econômicos, ambientais e sociais. Os resultados obtidos serão de grande importância para orientar tomadas de decisão, tanto por parte dos consumidores interessados em adotar a energia solar, quanto por parte das autoridades reguladoras e empresas do setor.

Portanto, a escolha desse tema se justifica pela necessidade de compreender e avaliar os impactos da legislação vigente sobre a viabilidade de investimento em energia solar em Ariquemes, contribuindo para a promoção de um desenvolvimento sustentável e a disseminação de práticas energéticas mais eficientes e ecologicamente responsáveis.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Analisar as mudanças ocorridas na implementação de usinas de painéis solares conectadas à rede da concessionária local após a promulgação da Lei nº 14.300.

1.2.2 Específicos

- Destacar as mudanças no processo de regularização para a injeção de energia na rede elétrica;
- Avaliar os impactos das novas leis na viabilidade da instalação de microgeração ou minigeração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos;
- Apresentar os efeitos da Lei nº 14.300 utilizando o cálculo de tempo de retorno sobre o investimento;

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DAS FONTES ENERGÉTICAS

A utilização da energia é uma necessidade fundamental para a humanidade desde os primórdios da civilização. Segundo Zou (2016), ao longo da história, diferentes formas de obtenção de energia foram exploradas para atender às demandas crescentes da sociedade. No contexto atual, surge a necessidade de repensar as fontes de energia utilizadas, buscando alternativas mais sustentáveis e renováveis. Nesse sentido, o uso de painéis solares tem ganhado destaque, tanto globalmente quanto no Brasil.

O Ministério de Minas e Energia (MME), por meio do Balanço Energético Nacional (BEN) realizado anualmente, revelou que no Brasil houve um aumento significativo na utilização de painéis solares nos últimos anos, conforme apontado pelo estudo de 2022 (BRASIL, 2022). Dados e estatísticas desse relatório revelam um crescimento expressivo no setor de energia solar, impulsionado por fatores como o incentivo governamental, avanços tecnológicos e conscientização ambiental. Essa tendência positiva evidencia a transição em direção a fontes de energia mais limpas e sustentáveis, como a solar, no contexto energético do país.

No entanto, é importante considerar a problemática financeira relacionada à implantação de sistemas fotovoltaicos. A aquisição e instalação de painéis solares exigem investimentos significativos, o que pode representar um obstáculo para muitas pessoas e empresas. Valores históricos e custos envolvidos devem ser analisados para compreender a viabilidade econômica desses sistemas e identificar possíveis soluções para torná-los mais acessíveis (PINHEIRO, 2022).

Apesar dos desafios financeiros, há aqueles que valorizam a utilização de fontes renováveis de energia, como os painéis solares. Segundo os estudos de Menkes (2004), defensores dessa abordagem destacam os benefícios ambientais, econômicos e sociais advindos da adoção de sistemas fotovoltaicos. A energia solar é limpa, abundante e renovável, o que contribui para a redução das emissões de gases do efeito estufa e para a preservação dos recursos naturais. Além disso, a implantação de sistemas fotovoltaicos pode gerar empregos e estimular o desenvolvimento local, proporcionando vantagens sociais significativas.

Ao longo da história, a humanidade tem explorado a energia do sol como uma fonte primordial de sustentação de vida. De acordo com a pesquisa de Almeida

(2021), desde tempos remotos, diversas civilizações encontraram maneiras de aproveitar a energia solar para suprir suas necessidades energéticas. Atualmente com o avanço tecnológico, a utilização de painéis solares tem se tornando cada vez mais comum e eficiente, impulsionando uma nova onda de aproveitamento dessa fonte de energia.

No Brasil, esse aumento na utilização de painéis solares pode ser atribuído a fatores como a disponibilidade abundante de luz solar, a redução do custo dos equipamentos e a conscientização sobre os benefícios ambientais. Dessa forma, a demanda por energia solar tem crescido exponencialmente, impulsionando o desenvolvimento de políticas públicas e programas de incentivo para a disseminação dessa tecnologia (GASPARIN *et al.*, 2021).

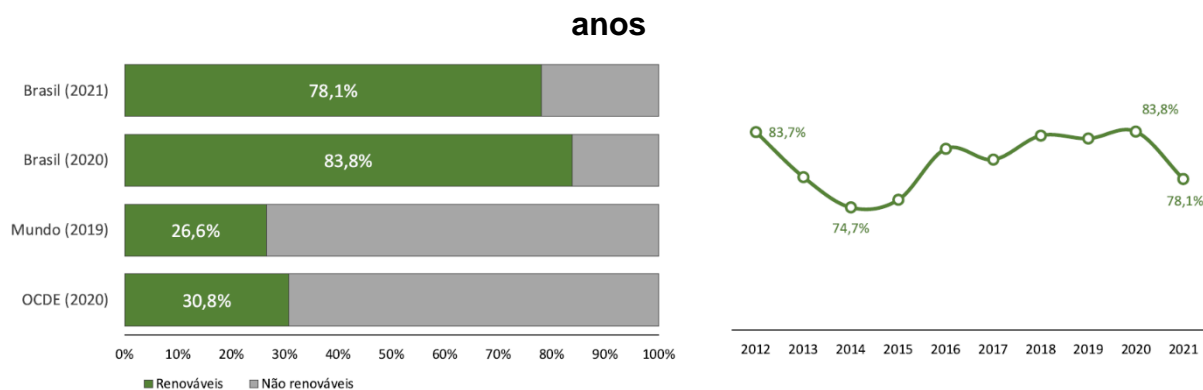
2.2 MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL

A matriz energética brasileira é composta por fontes renováveis e não renováveis. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), realizado pelo Ministério de Minas e Energia, estudo mais recente publicado com base no ano de 2021, foram observadas mudanças significativas nesse cenário, impulsionadas pela escassez hídrica que afetou as hidrelétricas do país (BRASIL, 2022). Dentre as fontes de energia não renováveis, destaca-se o aumento da participação do carvão e seus derivados, que representam 3,4% da matriz elétrica brasileira. Além disso, o gás natural também teve uma participação expressiva de 12,8%. É importante ressaltar também o aumento dos derivados do petróleo, que passaram de 2,2% em 2020 para 3,5 em 2021.

Por outro lado, de acordo com o documento, as fontes de energia renovável apresentaram um crescimento expressivo. A energia eólica registrou um aumento de 26,7% na geração, representando 10,6% da matriz elétrica. Já a energia solar fotovoltaica teve um avanço significativo, com um crescimento de 50,9% em relação ao ano anterior, alcançando uma participação de 2,5% na matriz elétrica brasileira em 2021.

É notável a partir da figura 1, extraída a partir do BEN, nos traz informações importantes acerca da participação total de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, que atingiu 74,7% devido à crise hídrica em 2014, e em 2021 atingiu a marca de 78,1% devido a outra escassez hídrica.

Figura 1 – Participação de renováveis na matriz elétrica brasileira ao longo dos anos

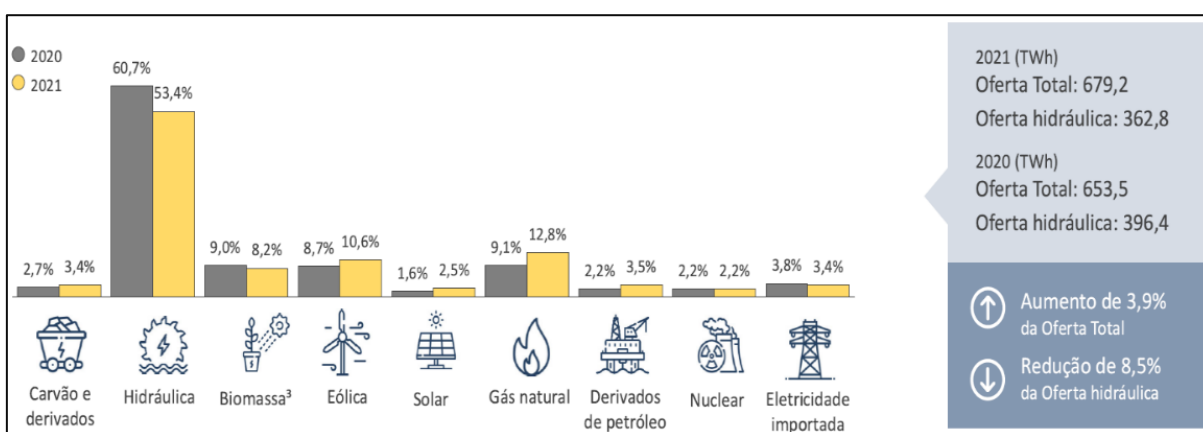


Fonte: BRASIL, Ministério de Minas e Energia, 2022.

Esse resultado reflete os esforços do país para promover uma transição energética mais sustentável, impulsionada pela diversificação das fontes de energia e o aumento da participação de fontes renováveis.

Além disso, de acordo com os dados do Balanço Energético Nacional, com informações apresentadas na figura 2, a oferta interna de energia elétrica no Brasil apresentou um crescimento em relação ao ano anterior devido ao aumento da demanda. Em 2021, a oferta interna atingiu 679,2 TWh, representando um acréscimo de 3,9% em comparação a 2020. Um destaque notável foi a geração à base de gás natural, que registrou um aumento significativo de 46,2% nesse período.

Figura 2 – Matriz elétrica brasileira em 2021 e 2022



Fonte: BRASIL, Ministério de Minas e Energia, 2022

Esses dados reforçam a importância contínua de avançar na transição para uma matriz energética mais sustentável. Ao compreender a composição da matriz energética brasileira, podemos identificar os desafios e as oportunidades para o

desenvolvimento de um sistema energético mais limpo e eficiente. A expansão das fontes renováveis, como solar e eólica, desempenha um papel fundamental nessa transição, permitindo-nos diversificar as fontes geradoras e reduzir nossa dependência de recursos hídricos suscetíveis a secas. Essa abordagem promove resiliência e a sustentabilidade do setor energético, contribuindo para a construção de um futuro mais promissor.

2.2.1 Sistema de Transmissão e Distribuição de Energia

O sistema de transmissão e distribuição de energia desempenha papéis fundamentais na entrega de eletricidade aos consumidores. Ao compreender essas definições, é possível entender o funcionamento deste sistema na energia conforme a figura 3, e analisar as implicações das mudanças regulatórias relacionadas à transmissão e distribuição de energia.

Segundo Dachery (2022), no sistema de transmissão, a energia gerada nas usinas elétricas e o transporte é realizado e custeado por meio dos chamados "fios A". Essas linhas de transmissão de alta tensão permitem o transporte eficiente de grandes quantidades de energia elétrica a longas distâncias. Além disso, o fio A tem a responsabilidade de compra de energia, transmissão até os pontos de conexão com o sistema de distribuição e encargos setoriais.

Já no sistema de distribuição, a energia é levada dos pontos de conexão com o sistema de transmissão até os consumidores finais. Nesse processo, os custos são chamados de "fio B", que consistem nas redes de distribuição de baixa tensão. O fio B é responsável por distribuir a energia para a população em geral e é dividido em diferentes categorias de consumidores.

Figura 3 – Sistema de transmissão e distribuição de energia



Fonte: BRASIL, ABRADÉE (2023).

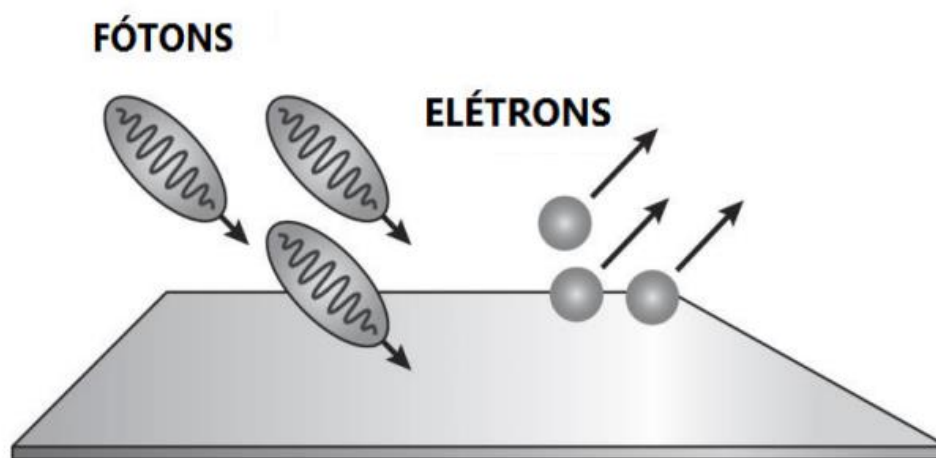
2.3 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

2.3.1 Funcionamentos e Características dos Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são dispositivos semicondutores que convertem a luz solar em eletricidade por meio do chamado efeito fotovoltaico (OLIVATI, 2000). Esses painéis são compostos por células solares, geralmente feitas de silício, que captam a energia solar e a transformam em corrente elétrica contínua.

O processo de conversão começa quando fótons, partículas mediadoras da interação e transmissão de energia, atingem a superfície do painel fotovoltaico. Esses fótons são absorvidos pelos átomos do material semicondutor, resultando na liberação de elétrons livres (Figura 4) (CALLOU, 2019). Esses elétrons são então direcionados por um campo elétrico presente no painel, criado pela diferença de potencial entre as camadas positiva e negativa, gerando assim uma corrente elétrica.

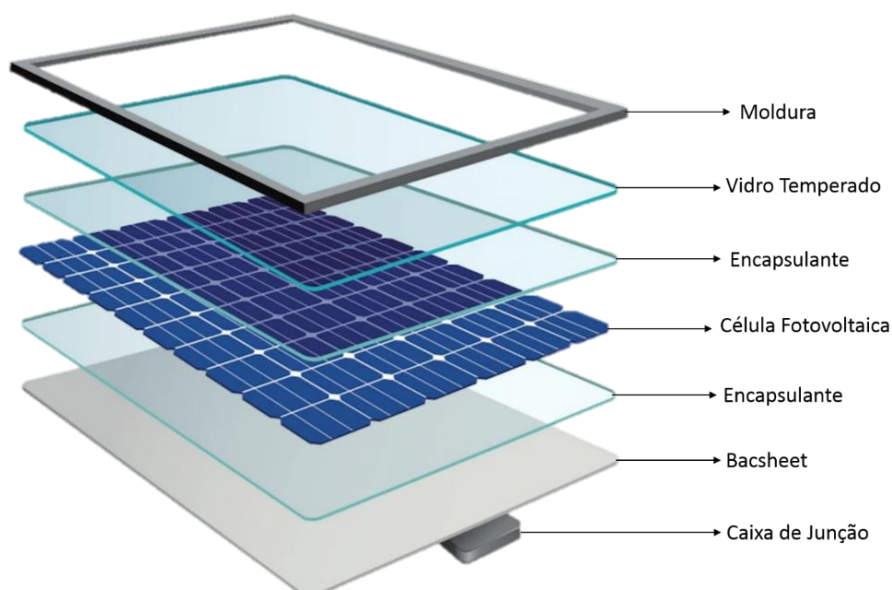
Figura 4 – Ilustração do feito fotoelétrico



Fonte: Callou (2019).

Os painéis fotovoltaicos possuem alguns componentes essenciais (Figura 5). As células solares são agrupadas em módulos e conectadas em série ou paralelo para obter a tensão e a corrente elétrica desejadas. Os módulos, por sua vez, são encapsulados em uma estrutura de vidro temperado para protegê-los contra condições ambientais adversas. Além disso, os painéis fotovoltaicos são equipamentos com um sistema de montagem que permite sua fixação em superfícies como telhados ou estruturas de suporte (PORTAL SOLAR, 2016).

Figura 5 – Esquema de camadas durante a fabricação do painel solar



Fonte: Portal Solar (2016).

A eficiência dos painéis fotovoltaicos é um fator importante a ser considerado. Ela se refere à capacidade dos painéis de converter a luz solar em eletricidade de maneira eficiente. A eficiência é influenciada por vários fatores como a qualidade das células solares, a tecnologia de fabricação, a temperatura ambiente e a incidência solar. Atualmente, os painéis fotovoltaicos comerciais possuem eficiência média que varia de 15% a 20%, sendo que alguns modelos mais avançados podem alcançar eficiências superiores a 25% (BRAGA, 2008).

2.3.2 Modelos de Painéis Fotovoltaicos

Existem diferentes modelos de painéis fotovoltaicos disponíveis no mercado, cada um com características e tecnologias específicas. A seguir, será apresentado alguns desses modelos, bem como suas vantagens e desvantagens.

2.3.2.1 Painéis de Silício Cristalino:

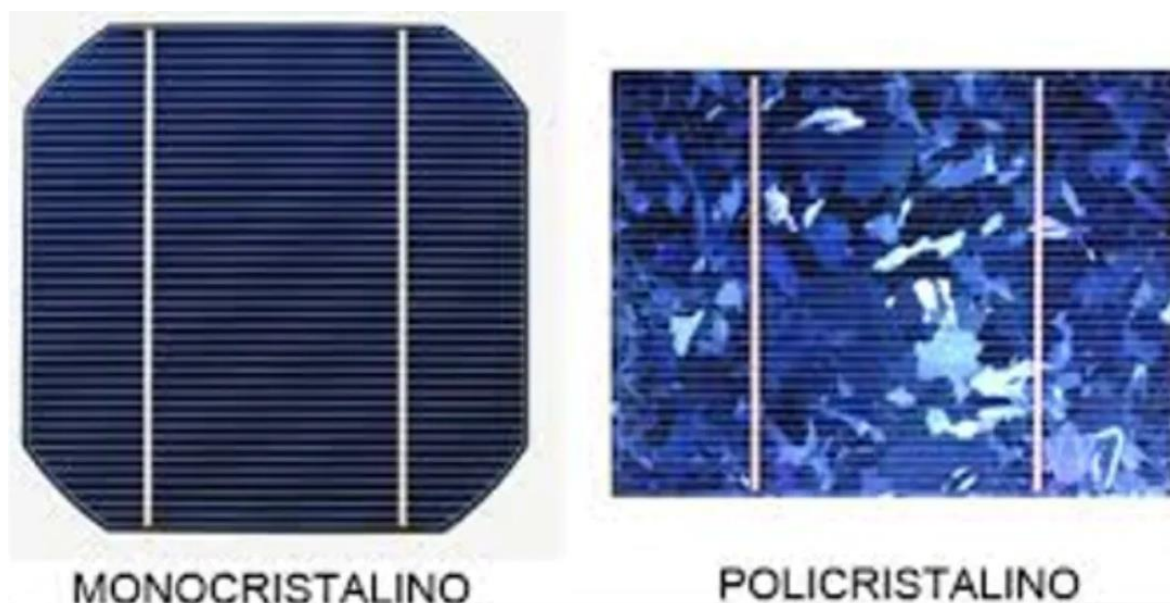
Esses painéis são os mais comuns e amplamente utilizados na indústria solar. Eles podem ser divididos em duas categorias principais: os painéis de silício cristalino monocristalino e os painéis de silício cristalino policristalino (Figura 6). Os painéis de silício monocristalino são fabricados a partir de um único cristal de silício, o que lhes confere maior eficiência e melhor desempenho em condições de baixa luminosidade. Já os painéis de silício policristalino são produzidos a partir de

múltiplos cristais de silício, o que os torna mais econômicos em termos de custo de fabricação. Ambos apresentam eficiência média entre 15% e 20% (SUNERGY SOLAR, 2019).

Vantagens: Alta eficiência em relação a outros modelos; bom desempenho em condições de baixa luminosidade.

Desvantagens: Maior custo de produção em comparação com outros modelos; menos flexibilidade em termos de design e instalação.

Figura 6 – Diferença entre monocristalino e policristalino



Fonte: Sunergy Solar, 2019.

2.3.2.2 Painéis de Filme Fino:

Esses painéis são fabricados depositando-se uma fina camada de material fotovoltaico sobre um substrato, como vidro ou plástico (Figura 7). Os principais tipos de painéis de filme fino são os de Telureto de Cádmio (CdTe), Cobre-Índio-Gálio-Selênio (CIGS) e Silício Amorfo (a-Si) (VILLALVA, 2020). Esses painéis oferecem vantagens com menor custo de produção, maior flexibilidade e melhor desempenho em condições de alta temperatura. No entanto, sua eficiência geralmente é um pouco mais baixa em comparação aos painéis de silício cristalino.

Vantagens: Menor custo de produção em relação aos painéis de silício cristalino; maior flexibilidade em termos de design e instalação.

Desvantagens: Menor eficiência em relação aos painéis de silício cristalino; degradação mais rápida ao longo do tempo.

Figura 7 – Usina com painéis de filme fino



Fonte: Portal Solar, 2022.

2.3.2.3 Painéis com concentradores solares:

Esses painéis utilizam lentes ou espelhos para concentrar a luz solar em células fotovoltaicas de alta eficiência, conforme demonstrado na figura 8. Ao concentrar a luz, é possível reduzir a quantidade de material fotovoltaico necessário, o que pode tornar esses painéis mais econômicos em áreas com alta irradiação solar (SANTOS, 2018). No entanto, eles são mais complexos devido aos sistemas de rastreamento solar e requerem uma instalação cuidadosa para garantir a precisão do foco da luz.

Vantagens: Maior eficiência em relação a outros modelos; economia de espaço devido à concentração da luz solar.

Desvantagens: Complexidade e custo adicionais devido aos sistemas de rastreamento solar; necessidade de uma instalação precisa para garantir o foco adequado da luz solar.

Figura 8 – Usina com painéis concentradores solares



Fonte: Energia Solar,2021.

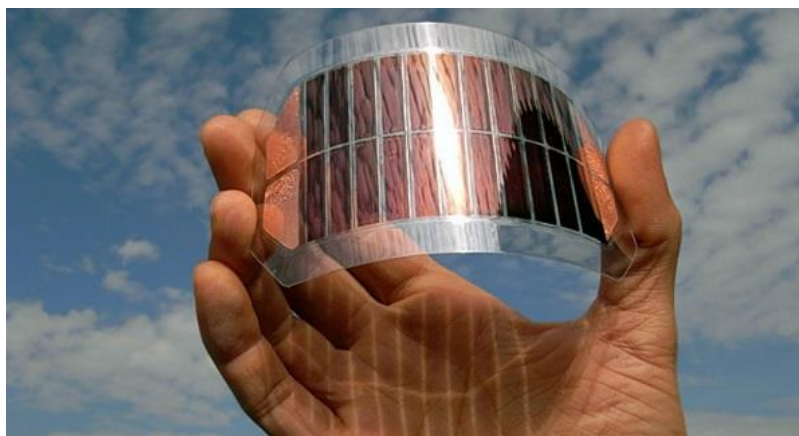
2.3.2.4 Painéis orgânicos:

Também chamados de células fotovoltaicas orgânicas ou organic photovoltaic (OPV), esses painéis são feitos de materiais orgânicos, como polímeros condutores ou moléculas orgânicas, que são capazes de converter a luz solar em eletricidade (GUIMARÃES, 2021). Embora ainda estejam em fase de desenvolvimento, eles apresentam potencial para serem fabricados em grande escala, com menor custo e maior flexibilidade em comparação com outros modelos. No entanto, sua eficiência atualmente é menor em comparação aos painéis de silício.

Vantagens: Potencial para menor custo de produção em relação a outros modelos; maior flexibilidade em termos de design e instalação conforme figura 9.

Desvantagens: Baixa eficiência em comparação aos painéis de silício; ainda em fase de desenvolvimento e aprimoramento.

Figura 9 – Painel solar orgânico



Fonte: ITSolar, 2019.

2.3.2.5 Comparativo de eficiência média entre os modelos de painéis fotovoltaicos:

A eficiência dos painéis fotovoltaicos pode variar de acordo com o modelo e método de fabricação conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Comparativo de eficiência média entre cada modelo de painel fotovoltaico

Modelo de Painel	Eficiência Média
Silício Monocristalino	15% ~ 20%
Silício Policristalino	15% ~ 20%
Filme Fino (CdTe)	10% ~ 12%
Filme Fino (CIGS)	12% ~ 14%
Filme Fino (Silício Amorfo)	6% ~ 9%
Concentradores Solares	Varia de 20% a mais de 40% (dependendo do sistema)
Painéis Orgânicos	3% ~ 8%

Fonte: Diversas Fabricantes, Adaptado pelo autor (2023).

2.3.3 Opções de Instalação de Painéis Fotovoltaicos

Ao considerar a instalação de painéis fotovoltaicos em uma cidade do interior do Brasil, como mencionado anteriormente, é importante avaliar as diferentes opções de instalação. Neste contexto, por serem amplamente utilizados, destacamos as opções de instalação em solo e em coberturas, levando em consideração a viabilidade e as características específicas da região.

A escolha do modelo de painel fotovoltaico mais adequado para essa análise recai sobre o silício policristalino e o monocristalino, devido à sua ampla utilização e desempenho comprovado, (ALMEIDA et al., 2016). Ambos os tipos de painéis possuem eficiências médias que variam de 15% a 20%, apresentando características que os tornam ideais para aplicações em sistemas fotovoltaicos residenciais, comerciais e industriais.

Neste sentido, vamos explorar as opções de instalação de painéis fotovoltaicos, começando com a instalação em solo e, em seguida, abordando a instalação em coberturas. Cada opção possui considerações específicas em relação aos materiais utilizados, estruturas, espaço ocupado e outras considerações importantes.

2.3.3.1 Opção 1: Instalação em Solo

A instalação de painéis fotovoltaicos em solo envolve a implantação dos painéis em estruturas de suporte fixadas diretamente no solo. Essa opção pode ser viável em áreas com espaço disponível, como terrenos ou campos abertos. Além disso, a instalação em solo oferece flexibilidade em termos de orientação e inclinação dos painéis, permitindo otimizar a captura da radiação solar conforme mostrado na figura 10.

Figura 10 – Sistema de geração por meio de painéis fotovoltaicos instalados em solo

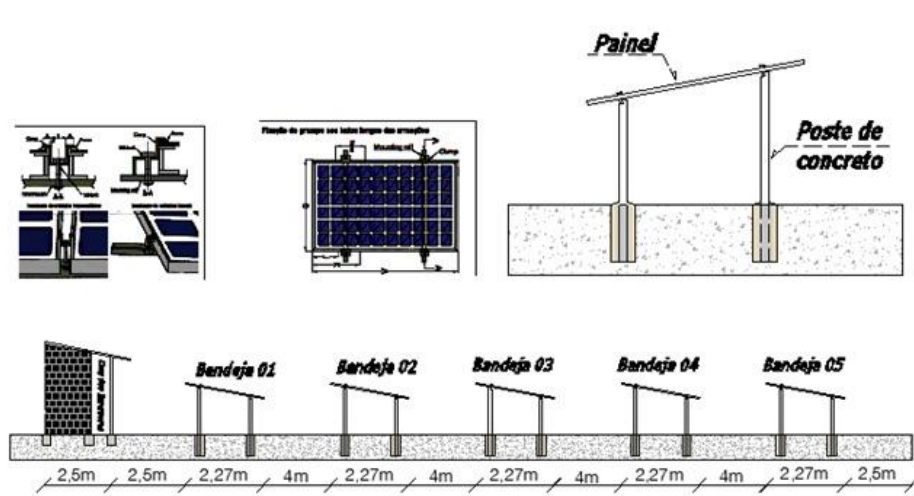


Fonte: Acervo do autor, 2023.

Materiais e estruturas: A instalação em solo requer estruturas de suporte, geralmente feitas de metal ou concreto, para fixar os painéis fotovoltaicos. Essas estruturas devem ser projetadas para suportar condições climáticas adversas e garantir a estabilidade dos painéis.

Espaço ocupado: A instalação em solo requer uma área relativamente grande, pois os painéis são dispostos horizontalmente. A quantidade de espaço ocupado depende do tamanho do sistema fotovoltaico desejado e das características do local conforme ilustrado pela figura 11.

Figura 11 – Projeto de instalação de sistema de painel fotovoltaico em solo



Fonte: Academia do Sol, 2021.

2.3.3.2 Opção 2: Instalação em Coberturas

A instalação de painéis fotovoltaicos em coberturas, como telhados de residências, edifícios comerciais ou industriais, é uma opção popular devido à utilização do espaço disponível (AMARAL, 2016). A instalação em coberturas permite aproveitar áreas que normalmente não são utilizadas (Figura 12), transformando-as em geradoras de energia solar

Figura 12 – Sistema de geração por meio de painéis fotovoltaicos instalados em cobertura



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Materiais e estruturas: A instalação em coberturas requer suportes adequados para fixar os painéis, levando em consideração o tipo de telhado e a estrutura do edifício, o que pode ser ilustrado na figura 13. É essencial garantir que a estrutura seja segura, resistente e compatível com a cobertura existente.

Figura 13 – Esquema de instalação de painel fotovoltaico para coberturas



Fonte: Academia do sol, adaptado pelo autor, 2023.

Espaço ocupado: A instalação em coberturas utiliza o espaço vertical disponível, minimizando a área ocupada no solo. A quantidade de painéis que podem ser instalados depende do tamanho da cobertura e da capacidade de carga do telhado.

2.3.3.3 Considerações Adicionais

Além das opções de instalação em solo e em coberturas, existem algumas considerações adicionais que devem ser levadas em conta ao implementar um sistema fotovoltaico. Essas considerações incluem:

Ângulo de inclinação: No hemisfério sul, como é o caso do Brasil, é recomendado que os painéis fotovoltaicos sejam instalados com um ângulo de inclinação adequado para otimizar a captura da radiação solar. O ângulo ideal de inclinação é determinado pela latitude do local e pode variar ao longo das estações do ano. Em geral, para maximizar a eficiência energética ao longo do ano, os painéis devem ser posicionados voltados para o norte, o que proporciona uma melhor exposição à radiação solar (RAMOS, 2023).

Manutenção e limpeza: A manutenção regular e a limpeza adequada dos painéis fotovoltaicos são essenciais para garantir um bom funcionamento e a eficiência do sistema ao longo do tempo. Isso inclui inspeções regulares, verificação dos cabos e conexões, limpeza das superfícies dos painéis para remover poeira e detritos, além de reparos em caso de danos, (SOUZA, 2019). Vale ressaltar que a

manutenção em coberturas exige equipamentos de segurança, devido ao trabalho em altura.

Ao avaliar as opções de instalação de painéis fotovoltaicos, é fundamental considerar as características específicas da região, o espaço disponível, as necessidades individuais e a viabilidade técnica e econômica. Essa análise detalhada permitirá a tomada de decisão informada e a maximização dos benefícios da geração de energia solar.

2.4 INVERSORES SOLARES

Conforme Carvalho (2011), os inversores solares desempenham um papel crucial nos sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, convertendo a energia captada dos painéis solares em eletricidade utilizável. Esses dispositivos são componentes essenciais das instalações solares e desempenham um papel fundamental na maximização da eficiência da conversão de energia solar em eletricidade.

No processo de retificação, os inversores solares convertem a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis fotovoltaicos em uma forma mais estável, adequada para o funcionamento de equipamentos elétricos. A filtragem subsequente suaviza a energia, eliminando picos de tensão e protegendo os aparelhos conectados. Por fim, a inversão transforma essa energia filtrada e retificada em corrente alternada (CA) de alta qualidade, pronta para alimentar residências e empresas.

A Figura 14 representa um exemplo de um inversor solar on-grid típico, que converte a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA) adequada para uso doméstico, estando conectado à rede da residência. Além dessa conversão, os inversores também desempenham funções críticas de retificação, filtragem e inversão.

Figura 14 – Inversor solar On-grid com caixa de proteção



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Existem dois tipos principais de inversores solares que são amplamente utilizados, sendo eles o Off-grid, que trabalha armazenando energia em baterias, e o on-grid, que trabalha conectado à rede de distribuição de energia da localidade.

2.4.1 Inversores Solares Off-grid

Os inversores Off-grid, conforme figura 15, são conhecidos por serem autônomos e independentes, os permitindo assim serem utilizados em sistemas isolados da rede elétrica convencional, como residências remotas ou áreas rurais que não possuem conexão com a rede pública (JENSEN, 2021). Esses inversores utilizam da energia solar durante o dia, tendo o excedente da energia gerada armazenada em baterias, e durante a noite ou em períodos de baixa geração, é realizada a conversão dessa energia armazenada.

Figura 15 – Inversor solar Off-grid



Fonte: EPEVER, 2023.

2.4.2 Inversores Solares On-grid

Os inversores On-grid, conforme figura 16, também conhecidos como inversores conectados à rede de distribuição, são componentes essenciais em sistemas fotovoltaicos que operam em conjunto com a rede elétrica local. Eles desempenham a função vital de converter a energia solar, que é gerada na forma de corrente contínua (CC), em corrente alternada (CA) para alimentar a rede elétrica da unidade consumidora (UC).

Esses inversores trabalham em sincronia com a rede da concessionária local e dependem de um sistema de anti-ilhamento para garantir que, em caso de queda de energia, o sistema seja desativado automaticamente por segurança. Quando a geração solar é superior ao consumo, o excedente de eletricidade é injetado na rede. Por outro lado, nos momentos em que a geração solar é insuficiente, a demanda é suplementada pela rede. Além disso, durante períodos sem geração, como períodos noturnos, ele se desliga automaticamente para garantir segurança do sistema e otimizar o consumo de energia.

Figura 16 – Inversor solar On-grid



Fonte: Acervo do autor, 2023.

2.4.2.1 Anti-ilhamento e Conexão à Rede

Um aspecto importante dos inversores on-grid é a função de anti-ilhamento (anti-islanding). Essa funcionalidade garante que, em caso de falha da rede elétrica, o sistema fotovoltaico seja automaticamente desligado para evitar a injeção de energia na rede, protegendo os técnicos de manutenção e evitando danos ao sistema. Quando a rede é restaurada, o inversor reconecta o sistema à rede e retoma a operação normal (BRITO et al., 2018).

A conexão à rede elétrica é realizada por meio de um processo de certificação e homologação junto a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a concessionária local (ENERGISA). É necessário seguir as normas e regulamento estabelecidos para garantir a segurança e o bom funcionamento do sistema, além de possibilitar a compensação da energia excedente na rede por meio de créditos energéticos.

2.4.3 Monitoramento da Geração de Energia do Inversor

O monitoramento da geração de energia do inversor é uma ferramenta importante para acompanhar o desempenho do sistema fotovoltaico. Os inversores modernos geralmente possuem sistemas integrados de monitoramento conforme a figura 17, que permitem aos proprietários verificarem a produção de energia em tempo real, monitorar o consumo e identificar possíveis problemas de funcionamento. Além disso, existem soluções de monitoramento remoto que permitem o acesso aos dados de geração de energia por meio de aplicativos ou plataformas online

Figura 17 – Aplicativo de monitoramento de geração de energia de um inversor On-grid



Fonte: PHB Solar (2023), Adaptado pelo autor.

2.5 SISTEMAS ON-GRID E OFF-GRID

Nesta seção, será abordado os dois principais tipos de sistemas fotovoltaicos: Off-grid (autônomos e independentes) e On-grid (conectados e dependentes da rede elétrica), bem como o funcionamento de cada tipo, suas características, vantagens e desvantagens, além dos aspectos normativos e de proteção associados.

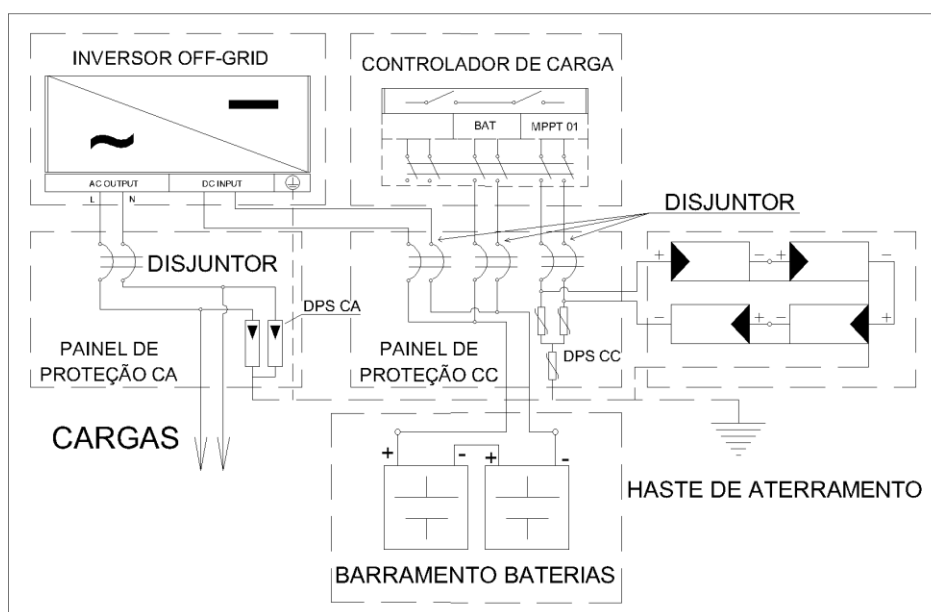
2.5.1 Sistemas Off-Grid

Sistemas off-grid são comumente adotados em locais remotos ou áreas rurais que não têm acesso à energia elétrica de forma convencional. Esses sistemas operam de maneira autônoma, dispensando a necessidade de conexão com a rede pública de distribuição de energia. Geralmente, esses sistemas incluem painéis fotovoltaicos, controladores de carga, baterias e inversores off-grid (MOURA, 2022).

Nesses sistemas, a energia solar é capturada pelos módulos fotovoltaicos na forma de corrente contínua (CC) pelos painéis e, em seguida, é direcionada para um sistema de armazenamento de energia em baterias, que é composto pelo controlador de carga e sistemas de proteção, conforme figura 18. Posteriormente, a energia é convertida pelo inversor off-grid em corrente alternada (CA), adequada para uso doméstico e comercial.

A energia gerada pelos painéis fotovoltaicos pode ser direcionada tanto para o armazenamento em baterias quanto para uso imediato por meio do inversor, possibilitando o uso contínuo, mesmo quando não há geração solar, como durante a noite ou em períodos de baixa insolação. Essa flexibilidade assegura o fornecimento constante e confiável de energia, mesmo em situações em que a geração solar é limitada, como à noite ou em períodos de baixa incidência de luz solar (BOSO, 2015).

Figura 18 – Diagrama trifilar de instalação de sistema Off-Grid



Fonte: ENERGISA, EPEVER, Adaptado pelo autor (2023).

2.5.1.1 Uso de Baterias e Custo de Instalação e Manutenção

Nos sistemas off-grid, a importância das baterias é inegável, uma vez que desempenham um papel crucial ao armazenar o excedente de energia para uso posterior. No entanto, a seleção apropriada das baterias é de suma importância para garantir a durabilidade satisfatória do sistema.

Aqui, surge um desafio essencial relacionado à vida útil limitada das baterias. Devido ao uso constante e muitas vezes profundo, as baterias em sistemas off-grid podem se degradar mais rapidamente, resultando em custos recorrentes de substituição ao longo do tempo.

Além disso, é fundamental considerar que o custo inicial de instalação e manutenção de sistemas off-grid tende a ser significativamente mais elevado, principalmente devido à necessidade de adquirir baterias e equipamentos adicionais.

Esses custos adicionais devem ser cuidadosamente ponderados pelos usuários ao planejarem e investirem em sistemas off-grid, levando em conta não apenas o preço de aquisição, mas também os gastos em manutenção e eventuais substituições de baterias.

2.5.1.2 Vantagens, Desvantagens e Recomendações dos Sistemas Off-Grid

Sistemas off-grid oferecem autonomia energética em locais afastados, como fazendas e áreas de acampamento. Eles utilizam fontes de energia renovável, contribuindo para a redução da pegada de carbono e a preservação do meio ambiente, diferente dos geradores a combustíveis fósseis.

Esses sistemas proporcionam vantagens notáveis. A independência energética é a principal delas, garantindo o acesso à eletricidade em locais onde a rede elétrica tradicional não está disponível ou apresentam muita instabilidade.

No entanto, é importante considerar as desvantagens. De acordo com os estudos de GÜNTZEL (2018), os sistemas off-grid geralmente envolvem uma eficiência menor e um custo inicial elevado devido à necessidade de adquirir equipamentos, como baterias e outros componentes essenciais. Além disso, a manutenção regular das baterias é fundamental, pois o desgaste ao longo do tempo pode afetar o desempenho do sistema. A capacidade de armazenamento de energia também é limitada, o que pode restringir o uso de energia em períodos de baixa geração.

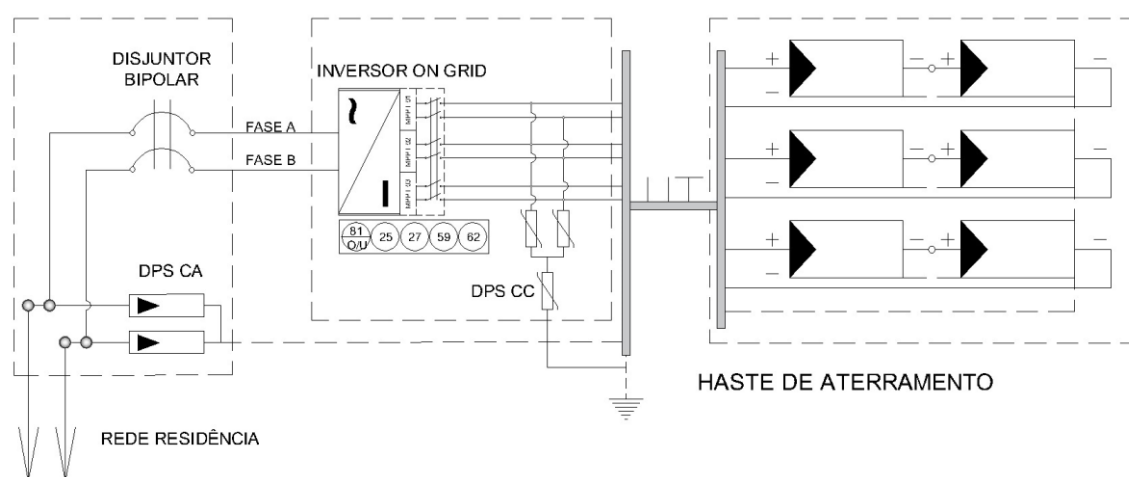
Para uma instalação adequada de sistemas off-grid, recomenda-se avaliar suas necessidades energéticas específicas, escolher tecnologias confiáveis e eficientes, planejar manutenções regulares e adotar práticas responsáveis de descarte de componentes usados, como baterias. Ao considerar essas recomendações, os sistemas off-grid podem oferecer uma solução viável para garantir um fornecimento de energia independente e sustentável em locais remotos.

2.5.2 Sistemas On-Grid

Os sistemas on-grid são conectados à rede elétrica do município. Eles operam de forma integrada à rede, permitindo a troca de energia com a concessionária local. Esses sistemas são compostos por painéis fotovoltaicos, inversores on-grid e dispositivos de proteção (MARTINS, 2018).

Além disso, a instalação dos inversores solares, como ilustrado na Figura 19, é uma parte vital do sistema fotovoltaico, garantindo que eles estejam conectados de maneira adequada para otimizar a geração de energia. Essa configuração adequada é essencial para a eficiência e confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos, contribuindo para a produção de energia limpa e sustentável, reduzindo o impacto ambiental e os custos associados à energia elétrica convencional

Figura 19 – Diagrama trifilar de instalação de sistema On-Grid



Fonte: ENERGISA, adaptado pelo autor (2023).

Nos sistemas on-grid, a energia solar captada pelos painéis fotovoltaicos é convertida em corrente alternada pelo inversor e imediatamente é utilizada diretamente no local de consumo, de forma simultânea, e o excedente é injetado na rede elétrica da concessionária, gerando créditos de energia associados a uma única conta (BOSO, 2015).

Esses créditos podem ser utilizados para suprir o consumo em momentos em que a geração solar é insuficiente, como durante a noite, ou para o consumo remoto em unidades cadastradas nessa mesma conta. Além disso, é possível aproveitar a geração de energia em um local e utilizar os créditos para consumo em outro, proporcionando maior flexibilidade e otimização do aproveitamento energético.

2.5.2.1 Anti-ilhamento e Normas de Conexão à Rede

A proteção anti-ilhamento desempenha um papel crucial nos sistemas on-grid, assegurando a segurança dos técnicos de manutenção e prevenindo danos tanto ao sistema quanto à rede elétrica. Esse recurso permite que o sistema fotovoltaico seja

desconectado automaticamente em caso de falha na rede elétrica, impedindo a injeção de energia durante períodos de manutenção.

A conexão à rede elétrica é regida por normas e regulamentos estabelecidos pelas concessionárias locais e órgãos reguladores. No caso da cidade de Ariquemes, em Rondônia, a concessionária responsável é a ENERGISA. As normas estabelecidas por essa concessionária, como a Norma de Distribuição Unificada NDU 013, destacam a importância da proteção anti-ilhamento e estabelecem diretrizes específicas para garantir a segurança e o bom funcionamento dos sistemas fotovoltaicos.

Além disso, a ENERGISA enfatiza que a proteção anti-ilhamento deve desconectar o gerador da rede imediatamente após a falta de tensão proveniente da rede de distribuição. No caso de inversores, as proteções devem estar em conformidade com a Norma Brasileira NBR IEC 62116. Além disso, o gerador não deve injetar energia na rede se esta não estiver com a tensão adequada em todas as fases. O circuito de sincronismo do gerador só deve permitir uma nova sincronização após um período mínimo de 2 minutos desde o retorno da energia.

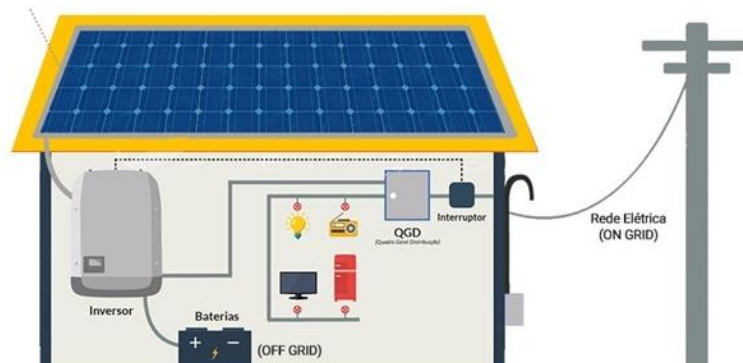
Essas diretrizes estabelecidas pela ENERGISA visam garantir a integridade do sistema e a segurança dos profissionais envolvidos, assegurando uma conexão adequada e confiável dos sistemas fotovoltaicos à rede elétrica.

2.5.3 Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos são uma combinação dos sistemas off-grid e on-grid, incorporando elementos de ambos. Eles permitem a conexão com a rede elétrica, bem como a utilização de baterias para armazenamento de energia. Essa abordagem híbrida oferece maior flexibilidade e eficiência energética (BRASIL, CRESESB, 2006).

Os sistemas híbridos são compostos por painéis fotovoltaicos, inversores híbridos e baterias conforme demonstrado pela figura 20. Durante o dia, os painéis captam a energia solar, alimentando a carga local e carregando as baterias e o excesso de energia pode ser injetado na rede elétrica. Durante a noite ou em períodos de baixa geração solar, a energia armazenada nas baterias supre a demanda local. Se a carga for maior do que a energia disponível nas baterias, o sistema híbrido utiliza a eletricidade da rede elétrica para complementar a demanda (OCA ENERGIA, 2021).

Figura 20 – Diagrama de instalação e funcionamento de sistemas híbridos



Fonte: Oca Energia, 2021.

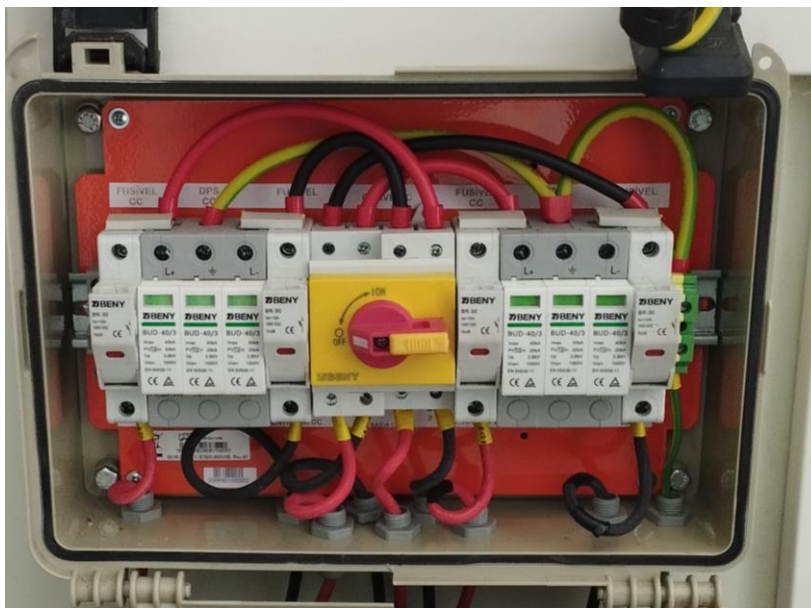
2.5.3.1 Vantagens e Aplicações de Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos oferecem diversas vantagens, combinando a independência energética dos sistemas off-grid com a possibilidade de aproveitar a energia da rede elétrica quando necessário. Isso proporciona maior estabilidade, confiabilidade e redução nos custos com energia elétrica. Esses sistemas também permitem maximizar o uso da energia solar, armazenando o excedente gerado durante o dia para uso posterior, reduzindo a dependência da rede elétrica e otimizando o uso de recursos renováveis (BRASIL, CRESESB, 2006).

2.5.4 Dispositivos de Proteção de Corrente Alternada e de Corrente Contínua

Para garantir a segurança e a integridade em ambos os sistemas, é necessário o uso de dispositivos de proteção, como o Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) e disjuntores termomagnéticos, conforme demonstrado pelo quadro de proteção de corrente contínua na figura 21, onde temos a chave geral, DPS e fusíveis. O DPS é responsável por proteger o sistema contra surtos de tensão, enquanto o disjuntor termomagnético atua como uma proteção para isolamento de rede, interrompendo o fluxo de corrente em caso de sobrecarga ou curto-circuito (LOPES, 2016).

Figura 21 – Quadro geral de proteção de corrente contínua (CC)



Fonte: Acervo do Autor, 2021.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa tem como objetivo analisar os impactos da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, que institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), na viabilidade de investimento em energia solar nas residências e pequenos comércios da cidade de Ariquemes, em Rondônia.

A metodologia adotada inclui uma revisão bibliográfica abrangente e estudos de casos que representam situações reais. Serão avaliados os índices de compensação na injeção de energia na rede elétrica da concessionária, considerando os aspectos econômicos relacionados à instalação de painéis fotovoltaicos e tecnologias disponíveis na região. Os resultados serão um comparativo entre os casos anteriores e posteriores à implementação da lei, com o objetivo de fornecer uma visão clara dos efeitos da legislação na viabilidade do investimento em energia solar.

3.1 DA COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada no período entre agosto de 2022 e abril de 2023, abrangendo diferentes etapas e fontes de informação relevantes para a análise dos impactos da Lei nº 14.300. As seguintes etapas foram adotadas:

- a) Estudo das condições climáticas e obtenção do índice solarimétrico: Foi realizado um estudo das condições climáticas da região de Ariquemes, Rondônia, com o objetivo de obter o índice solarimétrico, sendo obtidos por meio do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), uma instituição especializada no monitoramento e estudo da energia solar no Brasil.
- b) Levantamento das informações pré-lei: Foram obtidos dados por meio de registros históricos, entrevistas com proprietários de sistemas solares e consulta a dados públicos disponíveis sobre a instalação de painéis fotovoltaicos em residências e pequenos comércios de Ariquemes antes da implementação da Lei nº 14.300.
- c) Levantamento das informações pós-lei: Com base em dados atualizados, foram coletadas informações por meio de consultas a empresas especializadas, órgãos governamentais, concessionária local e

profissionais do setor, sobre a instalação de painéis fotovoltaicos após a entrada em vigor da Lei nº 14.300.

- d) Coleta dos dados de compensação de energia: Os dados de compensação na injeção de energia na rede elétrica da concessionária foram obtidos por meio da análise das contas de energia elétrica dos participantes da pesquisa. Essas informações foram fornecidas pelos consumidores que instalaram sistemas de energia solar em suas residências e pequenos comércios além de instruções disponibilizadas no site da concessionária.
- e) Dados de valores de kits de painéis solares e inversores: As informações sobre valores dos kits completos de painéis solares e inversores foram obtidas diretamente dos fabricantes e de empresas especializadas no setor, sendo considerados os preços e tecnologias disponíveis tanto antes quanto após a implementação da Lei nº 14.300.

3.2 DA ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados coletados foi realizada considerando os aspectos econômicos da instalação de painéis fotovoltaicos e os índices de compensação na injeção de energia na rede elétrica. A seguinte abordagem foi adotada na análise:

- a) Cálculo do tempo de retorno do investimento (payback): Utilizando a fórmula do payback simples e de fluxo de caixa, os dados de custos de instalação e economias geradas pelos sistemas de energia solar foram analisados para determinar o tempo de retorno do investimento. Isso permitiu avaliar a viabilidade econômica dos sistemas antes e depois da implementação da Lei nº 14.300.
- b) Comparação entre os casos pré-lei e pós-lei: Os resultados obtidos foram comparados entre os casos anteriores e posteriores à implementação da lei, buscando identificar e quantificar os impactos das mudanças legislativas na viabilidade do investimento em energia solar.

Os procedimentos metodológicos descritos acima são fundamentais para obter uma compreensão aprofundada dos impactos da Lei nº 14.300 na viabilidade do investimento em energia solar em Ariquemes, Rondônia. Os resultados obtidos fornecerão informações valiosas para orientar as decisões relacionadas à adoção de energia solar como fonte de energia sustentável e economicamente viável.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

A implementação da Lei nº 14.300 trouxe mudanças significativas no cenário energético de Ariquemes. Nesse contexto, a análise dos resultados e discussões relacionadas à viabilidade da instalação de painéis fotovoltaicos assume uma importância fundamental. A energia solar tem se mostrado uma alternativa promissora em termos de sustentabilidade e economia, e compreender os impactos dessa legislação se torna essencial.

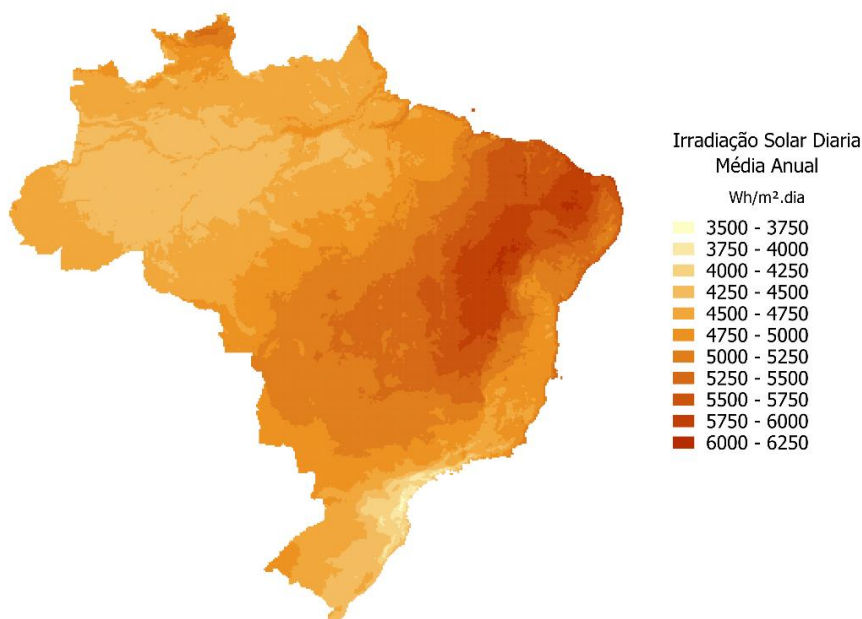
Ao analisar os resultados obtidos, será possível avaliar a viabilidade do investimento em sistemas fotovoltaicos, levando em consideração aspectos econômicos como as mudanças na tarifa de energia elétrica, os custos de instalação e manutenção desses sistemas, além do impacto no tempo de retorno do investimento (payback). Essas informações embasarão decisões informadas por parte dos consumidores interessados em adotar a energia solar, contribuindo para a promoção de políticas energéticas mais eficientes e sustentáveis no município.

4.1 POTÊNCIA SOLAR E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE ARIQUEMES

Ao avaliar a viabilidade de instalação de sistemas fotovoltaicos em Ariquemes, é essencial compreender o contexto energético da região, assim como o potencial solar local. A disponibilidade de radiação solar é um fator determinante para a eficiência e a produção de energia dos painéis fotovoltaicos na região.

No Brasil, o mapeamento do potencial solar foi realizado por meio do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017), onde temos um mapa a partir dos dados de irradiação solar representado pela figura 22, que indica o índice solarimétrico disponível em determinada área. O índice solarimétrico e o potencial energético específico para cada cidade pode ser consultado no Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito (BRASIL, CRESESB, 2006), por meio do programa SunData, que destina-se a utilização do cálculo de irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional.

Figura 22 – Mapa do índice solarimétrico brasileiro



Fonte: Pereira et al. (2006), adaptado pelo autor utilizando software QGIS

O município de Ariquemes, localizado no estado de Rondônia, encontra-se em uma região propícia para a utilização de painéis fotovoltaicos, visto que a região alta incidência de radiação solar ao longo do ano. Segundo dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017), o município apresenta uma irradiação solar média anual de 4,9 kWh/m²/dia, o que é considerado um índice bastante elevado, e realizando uma pesquisa utilizando o programa SunData, podemos observar na tabela 2 a irradiação solar diária média no plano horizontal no decorrer do ano.

Tabela 2 – Irradiação solar diária média no plano horizontal [KWh/M².Dia]

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
4,30	4,32	4,29	4,42	3,98	4,33	4,40	4,74	4,85	4,97	4,73	4,62	4,49

Fonte: SunData (BRASIL, CRESESB, 2006), adaptado pelo Autor.

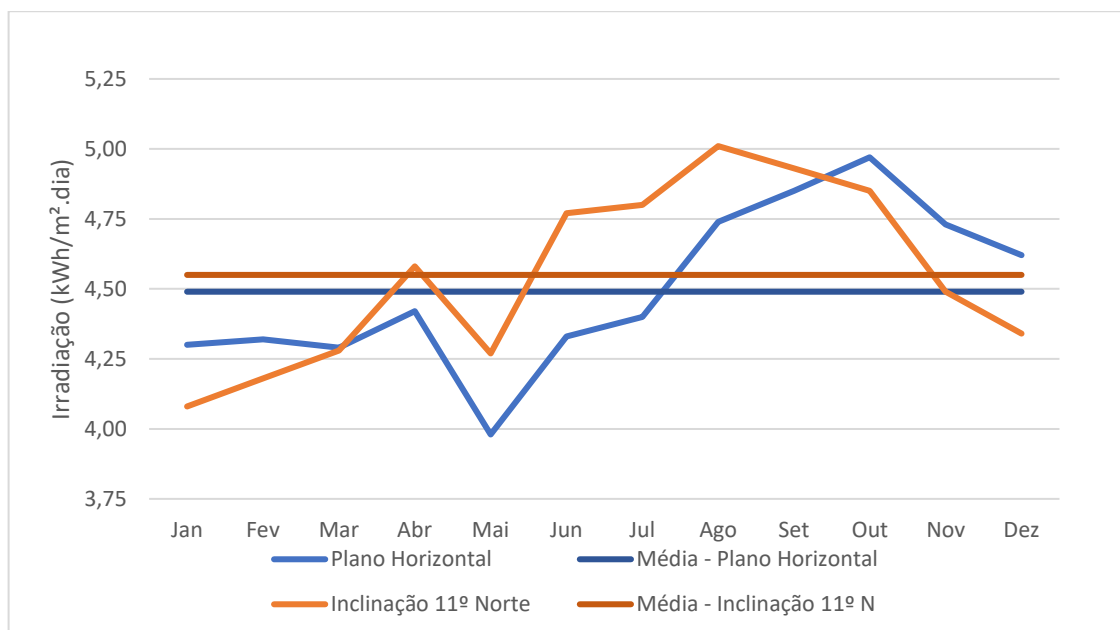
O programa SunData também calcula a inclinação para o norte que cause um índice de irradiação solar diária média maior, que uma vez estando no hemisfério sul, esse índice aumenta de acordo com que o ângulo de inclinação penda para o norte. Utilizando do ângulo de inclinação de 11° para o norte em relação ao plano horizontal, obtivemos os dados da tabela 3.

Tabela 3 – Irradiação solar diária média com maior média anual [KWh/M².Dia]

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
4,08	4,18	4,28	4,58	4,27	4,77	4,80	5,01	4,93	4,85	4,49	4,34	4,55

Fonte: SunData (BRASIL, CRESESEB, 2006), adaptado pelo Autor.

A partir desses dados, o gráfico 1 nos traz uma visualização mostrando a variação que tivemos com a mudança do ângulo, que conseqüentemente, afeta o potencial de geração de sistemas fotovoltaicos. Com base nessa informação, é possível ter uma estimativa da média de geração de energia elétrica a partir de um sistema fotovoltaico no decorrer de um ano em Ariquemes.

Gráfico 1 – Comparativo de irradiação solar entre plano horizontal e inclinação 11° ao norte

Fonte: SunData (BRASIL, CRESESEB, 2018), adaptado pelo autor.

4.2 TIPOS DE CONSUMIDORES

No sistema energético brasileiro, os consumidores são classificados em diferentes categorias, levando em consideração o seu perfil de consumo e características específicas. Essas categorias são importantes para determinar as tarifas, os direitos e as responsabilidades de cada grupo de consumidores ANEEL (2020).

Conforme C2E (2021), uma das classificações de consumidores é o Tipo A, que corresponde aos consumidores de média e alta tensão. Essa categoria engloba

indústrias, grandes estabelecimentos comerciais, hospitais, entre outros. Os consumidores do Tipo A têm demandas energéticas significativas e geralmente possuem uma ligação direta com o sistema de transmissão de energia com uma tensão de fornecimento superior a 2,3 kV e são divididos em modalidades de acordo com a tensão, com exceção do subgrupo optante AS, onde a tensão de fornecimento é inferior a 2,3kV, mas é formado por consumidores com um ramal subterrâneo ligando a central de medição da residência ao sistema de distribuição.

O segundo tipo de consumidor, sendo o foco desta pesquisa, é o Tipo B, que abrange os consumidores de baixa tensão. Essa categoria inclui a maioria das residências, pequenos comércios, escolas e outros estabelecimentos de menor porte. Os consumidores do Tipo B são atendidos pelo sistema de distribuição de energia, e são divididos em subgrupos de acordo com a tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos subgrupos da categoria tipo B

Subgrupo	Classificação
B1	Classe residencial
B2	Classe rural
B3	Demais Classes
B4	Iluminação Pública

Fonte: BRASIL, ANEEL, 2020.

Dentro do perímetro urbano, os consumidores em geral utilizam dos subgrupos B1 e B3 de acordo com suas necessidades de fornecimento de energia. O subgrupo B1 é amplamente utilizado por residências e unidades consumidoras de baixa renda, devido à sua capacidade de atender às demandas residenciais típicas. Já o subgrupo B3 é destinado a pequenos comércios e pequenas indústrias, além de incluir serviços relacionados ao saneamento.

Dentro desses subgrupos, de acordo com a Norma de Distribuição Unificada NDU – 001 (ENERGISA, 2022), os consumidores são categorizados de acordo com sua conexão elétrica, sendo classificados como monofásicos, bifásicos ou trifásicos. Essa classificação leva em consideração a quantidade de fases presentes na instalação elétrica do consumidor, o que influencia a potência disponível e a eficiência do fornecimento de energia.

4.3 ESTRUTURA DA CONTA DE ENERGIA

A estrutura da conta de energia elétrica é composta por diferentes componentes que refletem os diversos aspectos relacionados ao fornecimento de energia e aos serviços prestados pelas concessionárias. Nessa estrutura, existem quatro campos que devem ser observados, fornecendo informações detalhadas sobre os itens da fatura, permitindo uma compreensão mais abrangente.

Tarifa de energia: Nesse campo, são apresentados o consumo de energia em quilowatt-hora (kWh) e os lançamentos e serviços relacionados à fatura. Além disso, é possível verificar a contribuição de iluminação pública, caso seja aplicável. Para unidades geradoras ou participantes do sistema de compensação de energia, também será mostrado o consumo da energia excedente injetada, abatendo o consumo de energia em períodos em que não há geração.

Caso o consumo seja superior à energia injetada ou o consumidor participe de um sistema de compensação, como o autoconsumo remoto ou geração compartilhada, será mostrado o valor referente ao saque da energia injetada. Essa informação é expressa como "Energia Atv Injetada mUC mês/ano mPT" (sendo que o mês/ano corresponde ao período em que ela foi creditada no saldo), indicando a retirada da energia injetada do saldo acumulado conforme a imagem 23. Além disso, na composição da fatura conforme a figura 24, é possível identificar quanto do valor total corresponde aos tributos, como PIS, COFINS e ICMS.

Figura 23 – Itens da fatura de energia

Itens da Fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$)	Valor (R\$)
			com tributos	
Consumo em kWh	KWH	1.510,00	0,848280	1.280,91
Energia Atv Injetada	KWH	1.314,00	0,752670	-989,01
Energia Atv Injetada mUC 11/2021 mPT	KWH	96,00	0,752670	-72,25
<u>LANÇAMENTOS E SERVIÇOS</u>				
Contrib de Ilum Pub				11,34

Fonte: ENERGISA (2023), adaptado pelo autor.

Figura 24 – Cálculo completo da tarifa de energia

Itens da Fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$) com tributos	Valor (R\$)	PIS/ COFINS (R\$)	Base Calc. ICMS (R\$)	% Aliq. ICMS	ICMS (R\$)	Tarifa Unit (R\$)
Consumo em kWh	KWH	1.510,00	0,848280	1.280,91	64,25	1.280,91	17,5	224,16	0,657290
Energia Atv Injetada	KWH	1.314,00	0,752670	-989,01	-55,91	-396,73	17,5	-69,43	0,657290
Energia Atv Injetada mUC 11/2021 mPT	KWH	96,00	0,752670	-72,25	-4,08	-28,97	17,5	-5,07	0,657290
LANÇAMENTOS E SERVIÇOS									
Contrib de Ilum Pub				11,34	0,00	0,00	0	0,00	
TOTAL:				230,99	4,26	855,21		149,66	

Fonte: ENERGISA (2023), adaptado pelo autor.

Tabela de impostos e tributos: Nesse campo, conforme figura 25, são apresentados os valores referentes aos tributos incidentes na fatura, como o Programa de Integração Social (PIS), a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Esses valores podem variar de acordo com a região em que foi emitida a fatura e a legislação vigente.

Figura 25 – Tabela de impostos e tributos

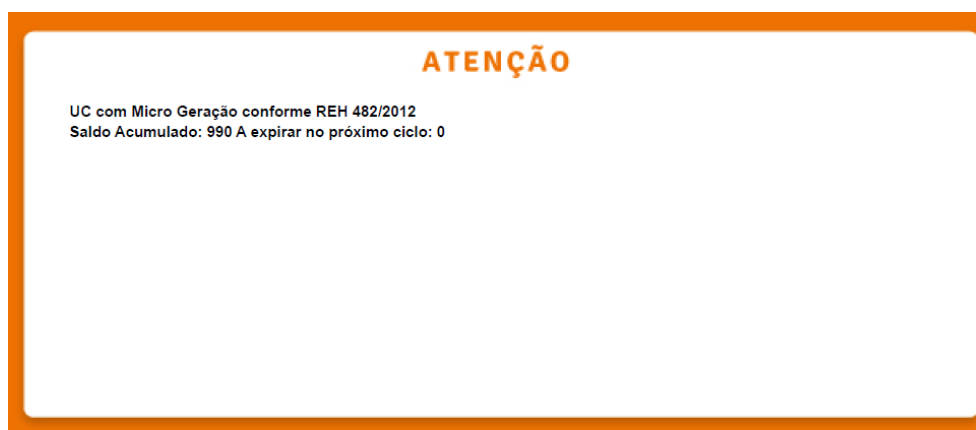
Tributo	Base de Cálc.(R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
PIS	70,00	1,0845	0,76
COFINS	70,00	4,9955	3,50
ICMS	855,21	17,50	149,66

Fonte: ENERGISA (2023), adaptado pelo autor.

Atenção: Nesse campo, conforme figura 26, caso débitos ou irregularidades na unidade consumidora, é apresentado nesse campo alertando, evitando assim possíveis cortes de fornecimento dentre outros problemas futuros.

Para unidades geradoras ou participantes do sistema de compensação de energia, é informado a legislação utilizada no cálculo da fatura, é exibido também o saldo acumulado provindos de energia excedente injetada na rede, e o saldo a expirar no próximo ciclo tarifário. É importante ressaltar que a energia injetada na rede possui um prazo de validade de 60 meses, a partir da data em que foi creditada no saldo. Após esse período, o saldo expirará e não poderá mais ser utilizado pelo consumidor.

Figura 26 – Campo atenção



Fonte: ENERGISA (2023), adaptado pelo autor.

Composição do consumo: Nesse campo, conforme a figura 27, é detalhada a composição do valor total da fatura, especificando quanto corresponde ao serviço de distribuição (TUSD), à tarifa de energia (TE), ao serviço de transmissão (TUST), aos encargos setoriais, aos impostos diretos e aos encargos e outros serviços.

Essas informações permitem ao consumidor compreender a divisão dos custos e os valores associados a cada serviço, além de proporcionar uma visão clara da influência percentual de cada componente no valor final da fatura. Dessa forma, o consumidor pode ter conhecimento de forma mais transparente sobre os principais fatores que compõem o custo total da fatura de energia elétrica, é válido ressaltar que esses valores variam de acordo com a localização da unidade consumidora e o acesso que ela tem ao mesmo.

Figura 27 – Composição de consumo

COMPOSIÇÃO DO CONSUMO		
DESCRIÇÃO	VALOR (R\$)	%
Serviço de distribuição	22,25	9,64
Compra de energia	26,33	11,40
Serviço de transmissão	3,52	1,52
Encargos setoriais	13,63	5,90
Impostos diretos e encargos	165,26	71,54
Outros serviços	0,00	0,00
Total	230,99	100,00
Encargo de Uso do Sistema de Distribuição (Ref 02/2023): R\$ 321,27		

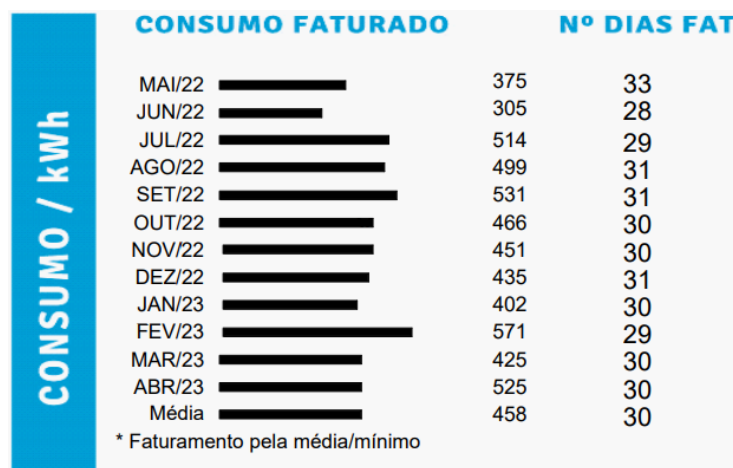
Fonte: ENERGISA (2023), adaptado pelo autor.

4.4 DIMENSIONAMENTO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA SUPRIR A DEMANDA ENERGÉTICA RESIDENCIAL E COMERCIAL

O dimensionamento adequado de painéis fotovoltaicos desempenha um papel fundamental na maximização do aproveitamento da luz solar disponível e na eficiência do sistema. Neste contexto, é crucial calcular com precisão a quantidade de energia que precisa ser gerada e, com base nesse valor, determinar a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários.

O primeiro passo no dimensionamento de um sistema de painéis fotovoltaicos é calcular a demanda energética da residência ou empresa. Esse cálculo é baseado no consumo médio da unidade consumidora (UC), que pode ser obtido a partir de dados do histórico de consumo elétrico na fatura de energia conforme figura 28, ou a partir da soma do consumo médio de todos os equipamentos instalados.

Figura 28 – Histórico de consumo energético mensal na fatura de energia



Fonte: ENERGISA (2023), adaptado pelo autor.

Vale lembrar que a média de consumo, no caso da concessionária ENERGISA, só é calculada em unidades consumidoras que não são acessantes de geração distribuída (GD), no caso de unidades geradoras com relógio bidirecional, é mostrado apenas o consumo de energia que foi faturado com a utilização da rede da concessionária em períodos de geração insuficiente ou sem geração, não apresentando uma média para esse consumo.

Com a demanda energética média mensal obtida, o próximo passo é calcular a quantidade de energia que os painéis fotovoltaicos precisam gerar para atender a essa demanda. Isso pode ser calculado considerando o potencial solar médio onde o sistema será instalado. A fórmula geral amplamente utilizada para calcular a geração fotovoltaica necessária é:

$$Pot. Gerador (kWp) = \frac{Média de consumo mensal (kWh/mês)}{n^{\circ} Dias Mês \times Irradiação solar \left(\frac{kWh}{m^2 \times dia} \right) \times Eficiência(\%)} \quad (1)$$

A “Eficiência” leva em consideração as perdas típicas de um sistema fotovoltaico, como perdas devido à inclinação e orientação dos painéis, sujeira e sombreamento. É importante obter informações detalhadas sobre a eficiência dos painéis fotovoltaicos a serem utilizados, pois ao longo dos anos, também há perda de eficiência de acordo com a utilização.

Uma vez conhecida a geração fotovoltaica necessária, é possível determinar a quantidade de painéis necessários. A potência de saída de um painel solar é especificada em watts-pico (Wp). Portanto, a quantidade de painéis pode ser calculada da seguinte maneira:

$$Quantidade de Painéis = \frac{Geração Necessária (kWp)}{Potência do Painel Solar (kWp)} \quad (2)$$

Lembre-se de que é importante no momento do dimensionamento, considerar a disponibilidade de espaço para a instalação dos painéis e as limitações do inversor solar em relação à capacidade máxima de geração, além de que o ideal para todo dimensionamento, é por meio de uma consulta em uma empresa especializada no setor, garantindo assim um dimensionamento mais confiável e preciso.

4.5 CÁLCULO DA CONTA DE ENERGIA ANTES E DEPOIS DA LEI Nº 14.300

4.5.1 Introdução à Lei nº 14.300 e mudanças no cálculo da conta de energia

Com a implementação da Lei nº 14.300, importantes mudanças foram introduzidas no cálculo da conta de energia elétrica no Brasil para acessantes com geração distribuída (GD). Anterior a lei, os consumidores que produziam sua própria energia não pagavam diretamente os custos de utilização da rede da concessionária, o cálculo levava em conta apenas uma parcela do consumo, e o restante era compensado com o uso dos créditos de geração.

Agora, conforme art. 18º da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, esses custos são calculados levando em conta a tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD Fio-B). Essa lei visa regularização da microgeração e minigeração distribuída e estabelecer regras claras para o setor energético.

4.5.2 A Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e o Fio B

A Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) é uma taxa paga por todos os consumidores não geradores à concessionária de energia elétrica pelo uso da rede. Ela ajuda a cobrir os custos de transmissão e distribuição (Fio B) de energia. A novidade após a implementação da lei é que, a partir de 2023, uma parte da TUSD Fio B também será cobrada na tarifa de acessantes com geração distribuída, essa parcela da tarifa será calculada de forma transitória utilizando os seguintes critérios conforme o art. 27º da Lei nº 14.300:

- a) Em 2023, será cobrado 15% da TUSD Fio B;
- b) Em 2024, 30% da TUSD Fio B;
- c) Em 2025, 45% da TUSD Fio B;
- d) Em 2026, 60% da TUSD Fio B;
- e) Em 2027, 75% da TUSD Fio B;
- f) Em 2028, 90% da TUSD Fio B.

A utilização dos critérios do quanto será faturado da TUSD Fio B com a nova legislação, os consumidores que instalarem sistemas de geração distribuída após 2023, o valor será calculado de acordo com a utilização da rede de distribuição da concessionária onde a concessionária de energia elétrica cobra uma taxa pelo uso

da rede, que inclui três componentes: o custo de disponibilidade, a tarifa de transmissão e a tarifa de consumo da rede. Aqui está como funciona:

Injeção de Energia na Rede: Quando você injeta energia na rede, ela fica armazenada lá. Quando você não está gerando energia, mas ainda precisa de eletricidade, você pode resgatar essa energia da sua poupança na rede.

Tarifa de Transmissão: Sempre que você retira energia da rede, a concessionária calcula uma tarifa de transmissão (TUSD Fio-B). Isso reflete o custo de usar a rede para transportar a energia da sua poupança até o seu local de consumo.

Tarifa de Consumo de Energia: Se você retirar mais energia do que tem na sua poupança, a concessionária cobrará uma tarifa de consumo de energia adicional. Isso ocorre porque você está comprando energia da rede.

Custo de Disponibilidade: Agora, com a nova lei, o custo de disponibilidade funciona da seguinte maneira: se a soma da tarifa de transmissão e da tarifa de consumo não atingir o valor do custo de disponibilidade estabelecido pela concessionária, você não será cobrado pela tarifa de transmissão e de consumo. Em vez disso, a concessionária considerará o custo de disponibilidade, em que uma parte da energia que você consumiu durante esse período será considerada como consumo da rede, essa energia não será debitada do saldo injetado e varia de acordo com a categoria de consumidor, e esse custo de disponibilidade será cobrado mesmo quando não haja consumo.

Isso significa que, em vez de pagar todas as três taxas (tarifa de transmissão, tarifa de consumo e custo de disponibilidade), você pagará apenas o custo de disponibilidade quando a soma das duas primeiras for menor do que o custo de disponibilidade. O restante da sua demanda de energia será deduzido da sua "poupança" na rede elétrica

Essas mudanças no cálculo da conta de energia têm impacto direto nos custos para os consumidores que utilizam sistemas de geração distribuída. A introdução do fio B e a cobrança progressiva da TUSD Fio B a partir de 2023 buscam estabelecer uma distribuição mais justa dos custos de distribuição de energia elétrica, levando em consideração a potência instalada do sistema e o perfil de consumo de cada consumidor.

Para consumidores que protocolaram o sistema de geração junto a concessionária antes da lei entrar em vigor no dia 7 de janeiro de 2023, conforme

previsto no art. 26º da Lei nº 14.300, obtiveram um direito adquirido de permanência na regra antiga, e não estão sujeitos a aplicação de novas regras de compensação até 31 de dezembro de 2045.

Além disso, aqueles que solicitarem conexão após 7 de julho de 2029, conforme art. 17º, está prevista a aplicação de uma nova regra e ficarão sujeitas as regras tarifárias estabelecidas pela Aneel. E após dois anos, está prevista outra alteração na regra para quem solicitar entre 7 de janeiro e 6 de julho de 2031.

4.5.3 Taxa de disponibilidade na conta de energia elétrica

Antes de adentrarmos no cálculo da conta de energia elétrica antes da implementação da Lei nº 14.300, é importante compreender o conceito de custo ou taxa de disponibilidade. Conforme previsto na Resolução Normativa REN 414 de 2010, o custo de disponibilidade é cobrado de acordo com a categoria da unidade consumidora, sendo 30 kWh para imóveis monofásicos, 50 kWh para bifásicos e 100 kWh para trifásicos.

Esse custo de disponibilidade é referente à disponibilidade mínima de energia elétrica fornecida pela concessionária, independentemente do consumo efetivo do consumidor. Em outras palavras, representa a capacidade e a disponibilidade da rede elétrica em fornecer energia ao consumidor, mesmo que ele não utilize todo o potencial contratado.

4.5.4 Cálculo da conta de energia elétrica antes da Lei nº 14.300

A conta de energia elétrica dos consumidores que protocolaram sistemas de geração distribuída, como painéis solares, era calculada com base no saldo líquido entre a energia consumida da rede elétrica e a energia injetada na rede proveniente da geração distribuída. Dessa forma, caso a quantidade de energia injetada fosse maior que a energia consumida, o consumidor acumula créditos de energia que podem ser utilizados em meses posteriores.

Nesse cenário, o custo de disponibilidade é cobrado independentemente da quantidade de energia consumida pelo cliente. Portanto, mesmo que o consumo fosse reduzido devido à geração própria de energia, o custo de disponibilidade permanece constante.

Para compreender melhor o cálculo da conta de energia antes da Lei nº 14.300 ilustrado na tabela 5, vamos considerar um exemplo com valores

representativos. Suponhamos que um consumidor em sua residência com ligação trifásica tenha consumido 500 kWh da rede elétrica e tenha injetado 500 kWh na rede através de seu sistema de geração distribuída.

Consumo de energia – 500 kWh

Energia Injetada – 500 kWh

Custo de Disponibilidade (unidade trifásica) – 100 kWh

Consumo em kWh (B1 residencial convencional) – R\$/kWh 0,848280

Energia Injetada em kWh (B1 residencial convencional) – R\$/kWh 0,752670

Iluminação Pública (valor simbólico médio) – R\$ 20,00

Consumo de energia: haverá o desconto do injetado, onde o cliente pagará apenas pelo custo de disponibilidade + iluminação pública.

Tabela 5 – Cálculo de fatura de energia utilizando a taxa de disponibilidade

Itens da Fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$) com tributos	Valor (R\$)
Consumo em kWh	kWh	500,00	0,848280	424,14
Energia Atv Injetada	kWh	400,00	0,752670	-301,07
Contrb de Ilum Pub				20,00
TOTAL:				143,07
Saldo Acumulado: 100 kWh				

Fonte: Adaptado pelo autor

No contexto mencionado, o cálculo da fatura proporciona uma perspectiva da tarifa de energia quando não há consumo simultâneo da rede elétrica, o que significa que a energia consumida no mesmo instante em que é produzida não é registrada pelo medidor. Assim, o consumidor é cobrado somente pelo custo de disponibilidade e possíveis taxas adicionais, como a iluminação pública.

É importante ressaltar que, em caso de haver um consumo maior do que a quantidade de energia injetada pelo consumidor, o excesso será debitado do saldo energético acumulado anteriormente e que, caso não haja saldo suficiente, o valor correspondente ao consumo excedente será calculado de forma convencional e adicionado à fatura normalmente. Nesse contexto, vale destacar que a energia excedente injetada na rede tem uma validade de 60 meses, ou seja, o consumidor

tem um prazo de 5 anos para utilizá-la antes que essa energia não utilizada seja perdida.

4.5.3 Cálculo da conta de energia elétrica após a Lei nº 14.300

Após a implementação da Lei nº 14.300, o cálculo da conta de energia passou a levar em conta o fio B, a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e o perfil de consumo do consumidor.

De acordo com a Base de Dados das Tarifas das Distribuidoras de Energia Elétrica (BRASIL, ANEEL, 2023), o valor da TUSD Fio B é de R\$/MWh 252.779402426787 ou R\$/kWh 0,2527794 sem contabilizar os tributos, com a contabilização dos tributos de PIS, CONFINS e ICMS, que estão disponíveis o cálculo nas faturas convencionais, tomando como a alíquota para os respectivos tributos de 1,0845%, 4,9955% e 17,50%, temos um valor para a TUSD Fio B de R\$/kWh 0,3123848.

Para ilustrar como essas mudanças afetam o cálculo da tarifa, consideremos o exemplo anterior para demonstração. Suponhamos que um consumidor em sua residência, com ligação trifásica, tenha consumido 500 kWh da rede elétrica e tenha injetado 500 kWh na rede por meio de seu sistema de geração distribuída.

Consumo de energia – 500 kWh

Energia Injetada – 500 kWh

Ano de Cálculo – 2023 logo 15%

Valor do consumo em kWh (V_C) – R\$/kWh 0,848280

Valor da energia injetada no resgate em kWh (V_I) – R\$/kWh 0,752670

TUSD Fio B com Tributos (Valor TUSD) – R\$/kWh 0,3123848

Iluminação Pública (valor simbólico médio) – R\$ 20,00

$$\text{Valor da TUSD FioB} = \text{Consumo Medido} \times \% \text{ TUSD} \times \text{Valor TUSD} \quad (3)$$

$$\text{Valor da TUSD FioB} = 500 \times 0,3123848 \times 15\%$$

$$\text{Valor da TUSD FioB} = \text{R\$ } 23,43$$

$$\text{Valor Mínimo Faturável} = (\text{Consumo} \times V_C) - (\text{Quant. Resgatada} \times V_I) \quad (4)$$

$$\text{Valor Mínimo Faturável} = (500 \times 0,848280) - (400 \times 0,752670)$$

$$\text{Valor Mínimo Faturável} = \text{R\$ } 123,07$$

Conforme o art. 16º da Lei nº 14.300, em caso da soma do consumo da rede elétrica com a parcela do fio B na compensação for menor que o consumo mínimo faturável em reais estabelecida pela concessionária, o consumidor pagará apenas o custo de disponibilidade, sendo esse o valor mínimo para a fatura, o que nos retorna para a utilização do cálculo do custo de disponibilidade conforme anterior a lei, é válido ressaltar que nessa situação, o consumidor tendo que pagar o custo de disponibilidade, ainda será cobrado a contribuição de iluminação pública do município e será creditado os 100 kWh restantes em seu saldo para uso posterior.

Porém, suponhamos que um consumidor em sua residência, com ligação trifásica, no ano de 2026, tenha consumido 2.000 kWh da rede elétrica e tenha injetado 2.500 kWh na rede da concessionária por meio do seu sistema de geração distribuída.

Consumo de energia – 2000 kWh

Energia Injetada – 2500 kWh

Custo de Disponibilidade – 100 kWh

Ano de Cálculo – 2026

Consumo em kWh (B1 residencial convencional) – R\$/kWh 0,848280

Energia Injetada em kWh (B1 residencial convencional) – R\$/kWh 0,752670

TUSD Fio B com tributos (B1 residencial convencional) – R\$/kWh 0,3123848

Iluminação Pública (valor simbólico) – R\$ 20,00

Valor TUSD FioB = $2000 \times 0,3126848 \times 60\%$

Valor TUSD FioB = R\$ 375,22

Valor Mínimo Faturável = $(2000 \times 0,848280) - (1900 \times 0,752670)$

Valor Mínimo Faturável = R\$ 266,49

Dessa forma, o valor a ser cobrado na fatura prevalece o maior, onde somado com a contribuição de iluminação pública, terá o valor de R\$ 395,55 e com a sobra de energia sendo depositada em sua poupança, resultando no saldo acumulado com a soma do saldo anterior, com a sobra da fatura atual de 500 kWh.

Essas mudanças no cálculo da conta de energia têm impacto direto nos custos para os consumidores que utilizam sistemas de geração distribuída. A

introdução do fio B e a cobrança progressiva da TUSD Fio B a partir de 2023 buscam estabelecer uma distribuição mais justa dos custos de distribuição de energia elétrica.

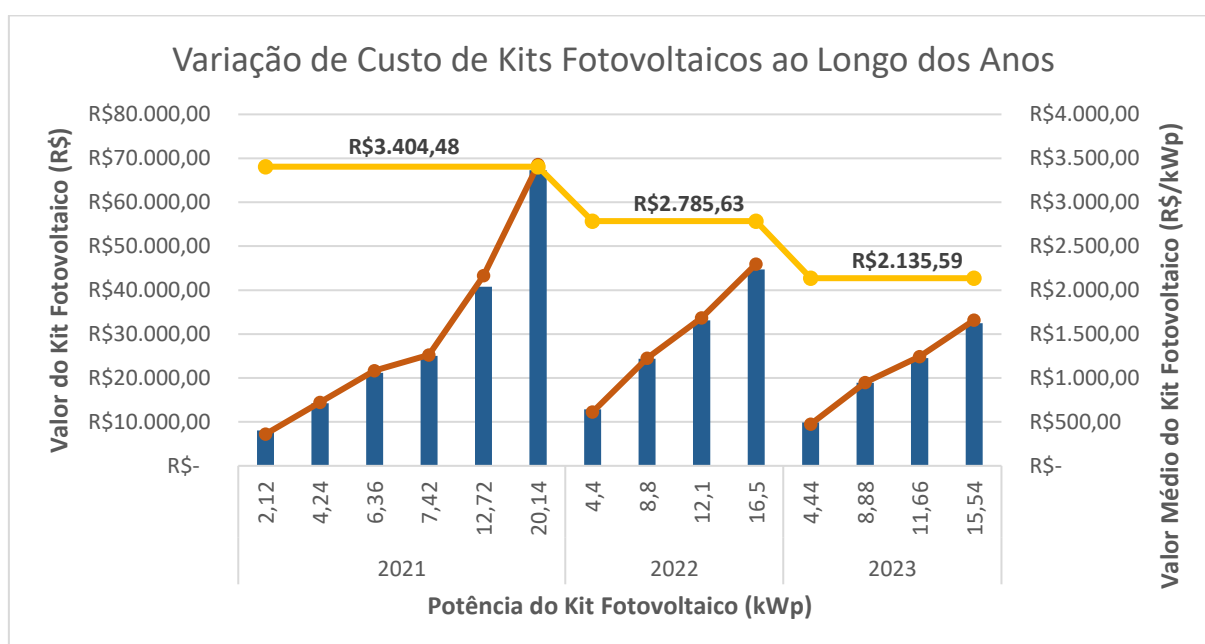
4.6 AVANÇOS NAS TECNOLOGIAS DE PAINÉIS SOLARES E A REDUÇÃO DE CUSTOS NOS KITS FOTOVOLTAICOS

Nos últimos anos, os avanços na tecnologia de painéis fotovoltaicos estão transformando a energia solar (VIANA, 2023). Essas inovações se concentram em três áreas essenciais: eficiência energética, redução de custos e garantias ampliadas.

A eficiência dos painéis solares atingiu uma média de 22% em 2023, permitindo a geração eficaz de eletricidade mesmo em condições de luz solar menos intensa.

Simultaneamente, os custos dos kits fotovoltaicos foram substancialmente reduzidos, conforme demonstrado no Gráfico 2. Em 2023, o custo médio caiu para R\$ 2.135,59 por kWp e com perspectivas de mais reduções no decorrer do ano, tornando a energia solar mais acessível a uma variedade maior de consumidores.

Gráfico 2 – Histórico do valor médio do kit fotovoltaico de acordo com a geração nos anos de 2021, 2022 e 2023



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Fabricantes de painéis fotovoltaicos têm demonstrado um compromisso notável com a confiabilidade de seus produtos. Em 2021, ofereciam garantias de 5 a 7 anos para inversores e de 10 anos para módulos fotovoltaicos. No entanto, em 2022, estenderam esses prazos para 10 anos nos inversores e 12 anos nos módulos, refletindo sua confiança na qualidade.

Avançando para 2023, o prazo de garantia médio para módulos fotovoltaicos é de 15 anos, sendo que alguns fabricantes ainda mais ousados oferecem garantias de até 20 anos para módulos. Além disso, comprometem-se a manter a potência dos painéis acima de 87% do desempenho original após 30 anos, destacando a durabilidade e desempenho notável de seus painéis solares ao longo do tempo.

4.7 CUSTO DE INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A eficiência e a longevidade de um sistema fotovoltaico dependem não apenas da instalação adequada, mas também da manutenção regular realizada por empresas especializadas no setor. Neste contexto, é fundamental compreender os custos associados à instalação, bem como os custos de manutenção ao longo do tempo.

O custo inicial de instalação de um sistema fotovoltaico é calculado com base no valor do kit fotovoltaico selecionado para o projeto. Este valor de instalação abrange uma série de componentes essenciais, incluindo o custo do projeto, as despesas com documentação e a mão de obra de instalação. O custo do kit fotovoltaico representa a maior parte desse investimento.

A Tabela 6 apresenta os resultados de uma pesquisa realizada junto a empresas especializadas no setor de projeto e instalação, dentro do município de Ariquemes, para identificar o quanto elas costumam cobrar em relação ao valor do kit fotovoltaico para realizar a instalação. Os percentuais podem variar de acordo com a empresa e podem incluir diferentes serviços adicionais, como aquisição de transformadores, além da possibilidade de necessitar um recurso adicional a depender da configuração do sistema.

Tabela 6 – Resultados da pesquisa de custo de instalação realizada em empresas especializadas

Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Média
47%	58%	60%	55%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Anualmente, manutenções são necessárias para garantir o bom funcionamento e a eficiência do sistema. A sujeira e o acúmulo de detritos nos painéis podem prejudicar o desempenho do sistema, causando uma perda de eficiência de até 25% (PORTAL SOLAR, 2023). É importante observar que a manutenção inadequada pode resultar em perdas significativas de geração.

O custo desses serviços varia de acordo com o tamanho do sistema e os serviços prestados, mas em geral, é calculado com base na quantidade de painéis fotovoltaicos no sistema e geralmente é calculado em custo por placa.

A Tabela 7 apresenta os resultados de uma pesquisa junto a empresas especializadas no setor de limpeza solar, para fornecer uma estimativa do custo anual de manutenção por placa fotovoltaica. Os valores podem variar dependendo do escopo da manutenção e da complexidade do sistema.

Tabela 7 – Resultados da pesquisa de custo de manutenção realizada em empresas especializadas

Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Média
10 R\$/Placa	15 R\$/Placa	20 R\$/Placa	15 R\$/Placa

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.8 ANÁLISE DOS IMPACTOS DA LEI Nº 14.300 NAS TARIFAS DE ENERGIA DE UNIDADES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

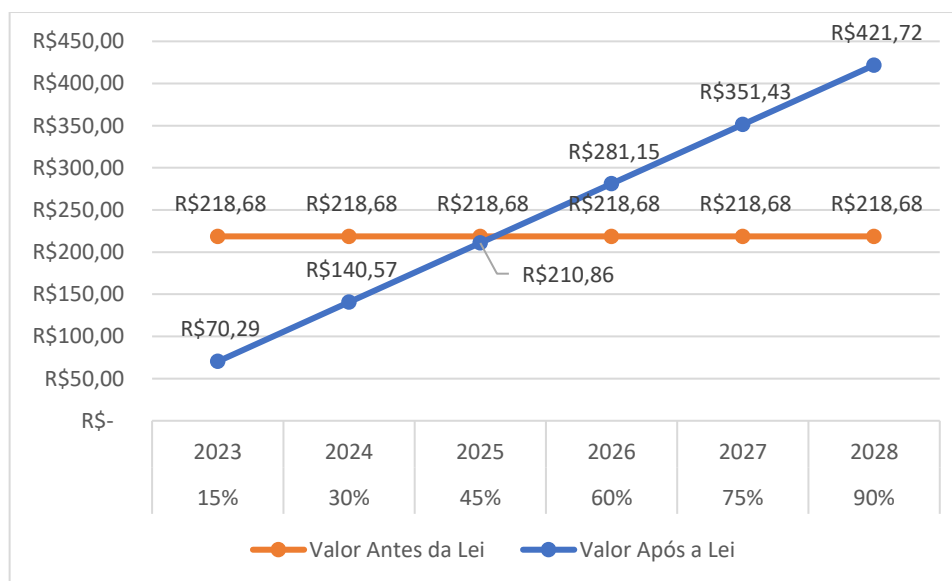
Conforme previamente discutido, esta legislação acarretou modificações substanciais na maneira como se efetua o cálculo da tarifa de energia elétrica, com implicações diretas nos custos e no tempo de retorno sobre o investimento (payback) associados a novos sistemas de energia solar.

4.8.1 Impacto nas Tarifas de Energia Elétrica

Uma das mudanças mais significativas introduzidas pela Lei nº 14.300 diz respeito ao método de cálculo da tarifa de energia elétrica para aqueles que possuem sistemas de geração distribuída, como os painéis fotovoltaicos. Antes da promulgação desta lei, a tarifa era determinada com base no custo de disponibilidade. No entanto, com a implementação da nova legislação, o cálculo da tarifa passou a levar em consideração a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), a qual é calculada com base na quantidade de energia que efetivamente fluiu pela rede elétrica da concessionária

A fim de ilustrar essa mudança, o Gráfico 3 apresenta uma comparação demonstrando os impactos da Lei nº 14.300 na tarifa média ao longo dos anos, considerando uma situação hipotética em que uma residência utiliza mensalmente 1500 kWh de energia injetando e sacando da rede da concessionária.

Gráfico 3 – Comparativo do valor da fatura de energia antes e após a lei nº 14.300 ao longo dos anos



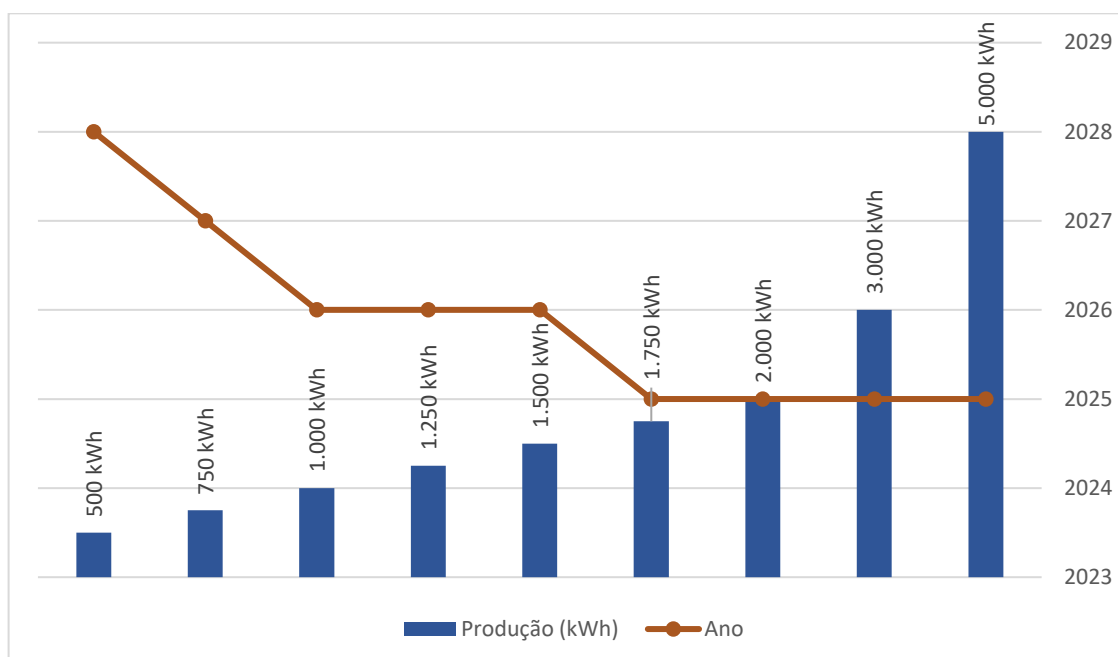
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Conforme evidenciado, a tarifa de energia elétrica para os proprietários de sistemas fotovoltaicos sofreu um aumento no quarto ano após a promulgação da Lei nº 14.300. Essa alteração teve um impacto direto nos custos operacionais desses sistemas para os novos consumidores geradores.

4.8.2 Impacto nos Custos e no payback dos painéis fotovoltaicos

O aumento na tarifa de energia elétrica, decorrente da Lei nº 14.300, influenciou diretamente os custos de operação dos sistemas fotovoltaicos, a depender do ano em que foram instaladas. Com tarifas mais elevadas, as pessoas detentoras de painéis fotovoltaicos passaram a ter despesas maiores em suas contas de eletricidade. Para ilustrar esse efeito, o gráfico 4 nos mostra o ano no eixo vertical a direita, de acordo com a potência utilizada da rede considerando a utilização da rede da concessionária para transporte, sofrerá alteração no valor da fatura de acordo com a lei.

Gráfico 4 – Análise do período do impacto da lei de acordo com a demanda utilizada



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir do gráfico, é possível observar que as centrais geradoras, que contam com uma potência instalada para consumo da rede de energia da concessionária fora do horário de produção ou produção para consumo em uma unidade separada superior a 1.750 kWh, estão sujeitas ao novo no cálculo tarifário conforme as alterações introduzidas pela nova legislação a partir de 2025.

Nesse contexto, ao realizarmos o cálculo, considerando o cenário menos favorável de geração, no qual a produção e o consumo não ocorrem simultaneamente, ou quando se trata de consumo em um local distante da central geradora de forma compartilhada, é possível determinar o período de retorno do investimento (payback) para esse tipo de situação.

Realizando um estudo de caso considerando uma demanda de 2.000 kWh por mês, é possível obter um valor médio das faturas sem um sistema de geração instalado:

Consumo de energia mensal – 2.000 kWh

Preço unit em R\$/kWh – R\$ 0,848280 (B1 residencial com tributos)

Iluminação Pública – R\$ 20,00 (valor simbólico)

$$\text{Valor da fatura} = \text{Consumo} \times \text{Preço unit} + \text{Ilum Pub} \quad (5)$$

$$\text{Valor da fatura} = 2000 \times 0,848280 + 20$$

$$\text{Valor da Fatura} = \text{R\$ } 1.716,56$$

A partir desse consumo, conseguimos dimensionar um sistema fotovoltaico necessário para suprir essa demanda

Demanda de energia mensal – 2.000 kWh

Índice solarimétrico (Plano Inclinado) – 4,55 kWh/m².dia

$$\text{Pot. Gerador (kWp)} = \frac{2000}{30 \times 4,55 \times 83\%}$$

$$\text{Pot. Gerador} = 17,653 \text{ kWp}$$

Tendo a potência de geração necessária, vamos calcular como seria o tempo de retorno caso seja instalado em 2022, anterior a lei.

Potência do painel fotovoltaico (comercializado no período) – 550 Wp

$$\text{Quantidade de painéis fotovoltaicos} = \frac{17,653 \times 1000}{550}$$

$$\text{Quantidade de painéis fotovoltaicos} = 32,11 \therefore 33 \text{ painéis fotovoltaicos}$$

Podemos calcular também o custo inicial para obter o sistema, a partir do custo médio do kit fotovoltaico e do custo de instalação médio para uma empresa especializada realizar o procedimento.

Valor médio do Kit Fotovoltaico em 2022 (R\$/kWp) – 2785,63

Custo de Instalação Médio em Ariquemes – 55 %

Potência do kit dimensionado – 33 * 550 = 18,15 kWp

$$\text{Custo do Kit + Projeto e Instalação (R\$)} = 2785,63 \times 18,15 \times (100\% + 55\%)$$

$$\text{Custo do Kit + Projeto e Instalação} = \text{R\$ } 78.366,73$$

Também podemos obter o custo médio anual para limpeza manutenção do sistema fotovoltaico.

$$\text{Custo Médio Anual Manutenção (R\$)} = n^{\circ} \text{ de Placas} \times \text{Valor Manutenção} \quad (6)$$

$$\text{Custo Médio Anual Manutenção (R\$)} = 33 \times 15$$

$$\text{Custo Médio Anual Manutenção} = \text{R\$ } 495,00$$

Considerando um cenário, onde o sistema gera exatamente a demanda, o valor das faturas após a instalação do sistema de geração distribuída (GD) será de: (considerando a contribuição de iluminação pública de R\$ 20,00)

$$\text{Tarifa de Energia Atual} = (2000 \times 0,848280) - (1900 \times 0,752670) + 20$$

$$\text{Tarifa de Energia Atual} = \text{R\$ } 286,49$$

A partir disso, podemos realizar um cálculo do quanto tempo leva para que o valor investido no sistema fotovoltaico possa retornar em troca de economias na fatura de energia. A fórmula utilizada será a do payback simples onde:

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Capital Inicial Investido}}{\text{Fluxo de Caixa Médio (F}_{CM})} \quad (7)$$

Para o fluxo de caixa médio (F_{CM}), será utilizado o valor da economia na fatura de energia levando o em conta o valor da fatura antes da instalação do sistema de geração (V_{FA}), o custo médio anual de manutenção do sistema fotovoltaico (C_M) e o valor da fatura de energia após a instalação do sistema (V_{FD}), ficando da seguinte forma:

$$F_{CM} = V_{FA} - \frac{C_M}{12} - V_{FD} \quad (8)$$

$$F_{CM} = 1716,56 - \frac{495}{12} - 286,49$$

$$F_{CM} = \text{R\$ } 1388,82$$

Agora, colocando o valor obtido no cálculo do payback simples.

$$\text{Payback simples} = \frac{78.366,73}{1388,82}$$

$$\text{Payback Simples} = 56,42 \text{ meses ou } 4 \text{ anos e } 9 \text{ meses}$$

Anterior as alterações da lei, uma geração distribuída (GD) onde o consumo não é simultâneo com a geração e depende da rede elétrica da concessionária e

com uma demanda de 2 kWh por mês, podemos obter uma estimativa tempo de retorno de 4 anos e 9 meses. Realizando um novo cálculo com o mesmo cenário, mas com um sistema instalado após a lei entrar em vigor em 2023 com a mesma potência de geração necessária, obtivemos o seguinte dimensionamento:

Potência do painel fotovoltaico (comercializado no período) – 575 Wp

$$\text{Quantidade de painéis fotovoltaicos} = \frac{17,929 \times 1000}{575}$$

$$\text{Quantidade de painéis fotovoltaicos} = 30,70 \therefore 31 \text{ painéis fotovoltaicos}$$

Podemos calcular também o custo inicial para obter o sistema, a partir do custo médio do kit fotovoltaico e do custo de instalação médio para uma empresa especializada realizar o procedimento.

Valor médio do Kit Fotovoltaico (R\$/kWp) – 2135,59

Custo de Instalação Médio em Ariquemes – 55 %

Potência do kit dimensionado – $31 * 575 = 17,85$ kWp

$$\text{Custo do Kit + Projeto e Instalação (R\$)} = 2135,59 \times 17,85 \times (100\% + 55\%)$$

$$\text{Custo do Kit + Projeto e Instalação} = \text{R\$ } 59.003,68$$

Também podemos obter o custo médio anual para manutenção do sistema fotovoltaico.

$$\text{Custo Médio Anual Manutenção (R\$)} = 31 \times 15$$

$$\text{Custo Médio Anual Manutenção} = \text{R\$ } 465,00$$

Considerando um cenário ideal, onde o sistema gera exatamente a demanda, o valor das faturas após a instalação do sistema de geração distribuída (GD) será conforme a tabela 8, levando em conta no valor aplicado na fatura a contribuição de iluminação pública de R\$ 20,00.

Tabela 8 – Cálculo da fatura de energia elétrica aplicada mensalmente ao longo dos anos após Lei nº 14.300

Ano	% TUSD	Valor Base TUSD	Valor Mínimo Faturável	Valor Aplicado
2023	15%	R\$ 93,72	R\$ 266,49	R\$ 286,49
2024	30%	R\$ 187,43	R\$ 266,49	R\$ 286,49
2025	45%	R\$ 281,15	R\$ 266,49	R\$ 301,15
2026	60%	R\$ 374,86	R\$ 266,49	R\$ 394,86
2027	75%	R\$ 468,58	R\$ 266,49	R\$ 488,58
2028	90%	R\$ 562,29	R\$ 266,49	R\$ 582,29

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir disso, podemos realizar um cálculo do quanto tempo leva para que o valor investido no sistema fotovoltaico possa retornar em troca de economias na fatura de energia. A utilizada será a do fluxo de caixa mensal, onde:

$$\text{Fluxo de Caixa} = \text{Capital Investido} - \text{Fluxo de Caixa Médio} (F_{CM}) \quad (9)$$

Para o fluxo de caixa médio (F_{CM}), será utilizado a mesma forma a fim de obter o valor da economia na fatura de energia levando em conta o valor da fatura anterior a instalação, o custo médio anual de manutenção do sistema fotovoltaico e o valor aplicado na fatura de energia. A realização do cálculo de fluxo de caixa, será expressa na tabela 9, por conta da variação do fluxo de caixa de acordo com o ano, sendo o ano 0 (zero), o ano de 2023 .

Tabela 9 – Cálculo de fluxo de caixa para tempo de retorno pós-lei

Ano	Mês	Capital	Fluxo	Ano	Mês	Capital	Fluxo
0	0	R\$ 59003,69	R\$ 1391,33	2	1	R\$ 24220,61	R\$ 1376,67
0	1	R\$ 57612,36	R\$ 1391,33	2	2	R\$ 22843,95	R\$ 1376,67
0	2	R\$ 56221,04	R\$ 1391,33	2	3	R\$ 21467,28	R\$ 1376,67
0	3	R\$ 54829,72	R\$ 1391,33	2	4	R\$ 20090,62	R\$ 1376,67
0	4	R\$ 53438,40	R\$ 1391,33	2	5	R\$ 18713,96	R\$ 1376,67
0	5	R\$ 52047,07	R\$ 1391,33	2	6	R\$ 17337,29	R\$ 1376,67
0	6	R\$ 50655,75	R\$ 1391,33	2	7	R\$ 15960,63	R\$ 1376,67
0	7	R\$ 49264,43	R\$ 1391,33	2	8	R\$ 14583,97	R\$ 1376,67
0	8	R\$ 47873,10	R\$ 1391,33	2	9	R\$ 13207,30	R\$ 1376,67
0	9	R\$ 46481,78	R\$ 1391,33	2	10	R\$ 11830,64	R\$ 1376,67
0	10	R\$ 45090,46	R\$ 1391,33	2	11	R\$ 10453,98	R\$ 1376,67
0	11	R\$ 43699,13	R\$ 1391,33	2	12	R\$ 9077,31	R\$ 1376,67
0	12	R\$ 42307,81	R\$ 1391,33	3	1	R\$ 7700,65	R\$ 1282,95
1	1	R\$ 40916,49	R\$ 1391,33	3	2	R\$ 6417,70	R\$ 1282,95
1	2	R\$ 39525,17	R\$ 1391,33	3	3	R\$ 5134,75	R\$ 1282,95
1	3	R\$ 38133,84	R\$ 1391,33	3	4	R\$ 3851,80	R\$ 1282,95
1	4	R\$ 36742,52	R\$ 1391,33	3	5	R\$ 2568,85	R\$ 1282,95
1	5	R\$ 35351,20	R\$ 1391,33	3	6	R\$ 1285,91	R\$ 1282,95
1	6	R\$ 33959,87	R\$ 1391,33	3	7	R\$ 2,96	R\$ 1282,95
1	7	R\$ 32568,55	R\$ 1391,33	3	8	R\$ -1280,00	R\$ 1282,95
1	8	R\$ 31177,23	R\$ 1391,33	3	9	R\$ -2562,95	R\$ 1282,95
1	9	R\$ 29785,90	R\$ 1391,33	3	10	R\$ -3845,9	R\$ 1282,95
1	10	R\$ 28394,58	R\$ 1391,33	3	11	R\$ -5128,84	R\$ 1282,95
1	11	R\$ 27003,26	R\$ 1391,33	3	12	R\$ -6411,79	R\$ 1282,95
1	12	R\$ 25611,94	R\$ 1391,33	3			

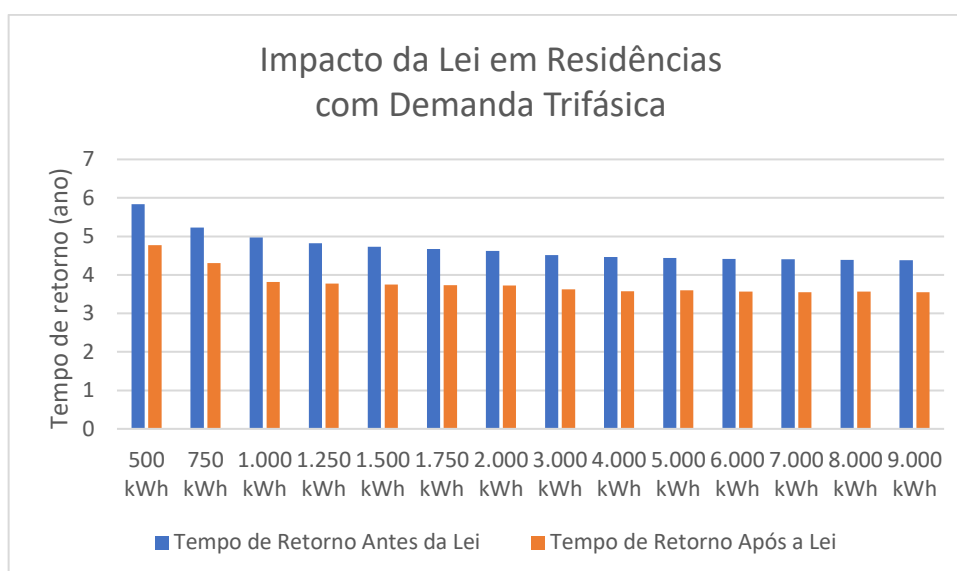
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir do comparativo de sistemas fotovoltaicos instalados antes e após a lei, é observável que embora a fatura de unidades geradoras tenha aumentado, o tempo de retorno do investimento reduziu em 1 ano e 1 mês, passando de 4 anos e 9 meses para 3 anos e 8 meses, isso se dá devido a avanços na tecnologia de

módulos fotovoltaicos e na eficiência dos inversores solares, onde tivemos uma redução direta no custo de instalação do sistema, mantendo o potencial de geração.

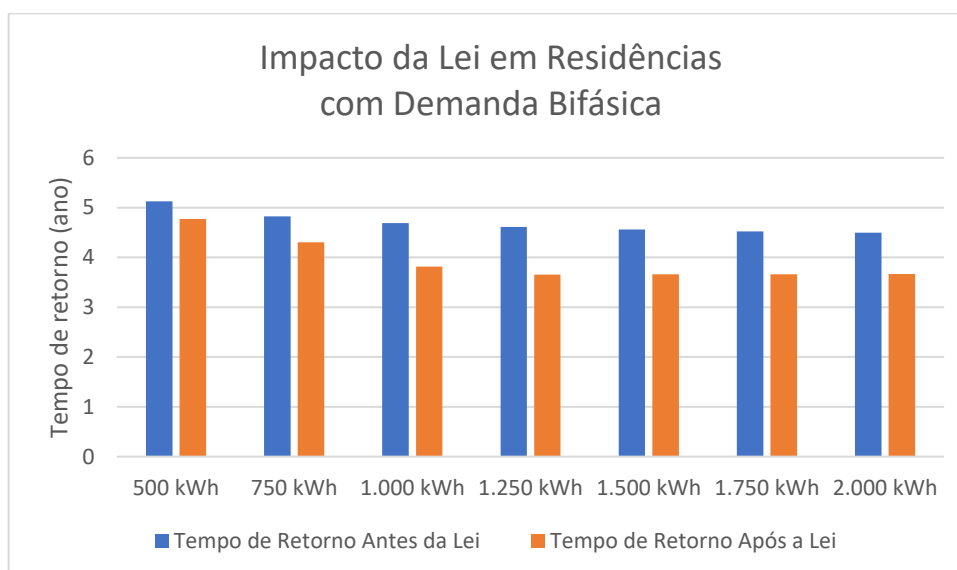
Para fins de comparação, os gráficos 5, 6 e 7 apresentam o mesmo cálculo sendo realizado para diferentes potências de geração distribuída, nos mostrando onde houve um maior impacto da legislação, sendo os gráficos respectivamente para instalação em rede trifásica, bifásica e monofásica, respeitando os limites impostos da Norma de Distribuição Unificada (NDU) – 001 ENERGISA (2021) de acordo com a demanda instalada.

Gráfico 5 – Fluxo de caixa para tempo de retorno pós-lei para sistemas com demanda trifásica



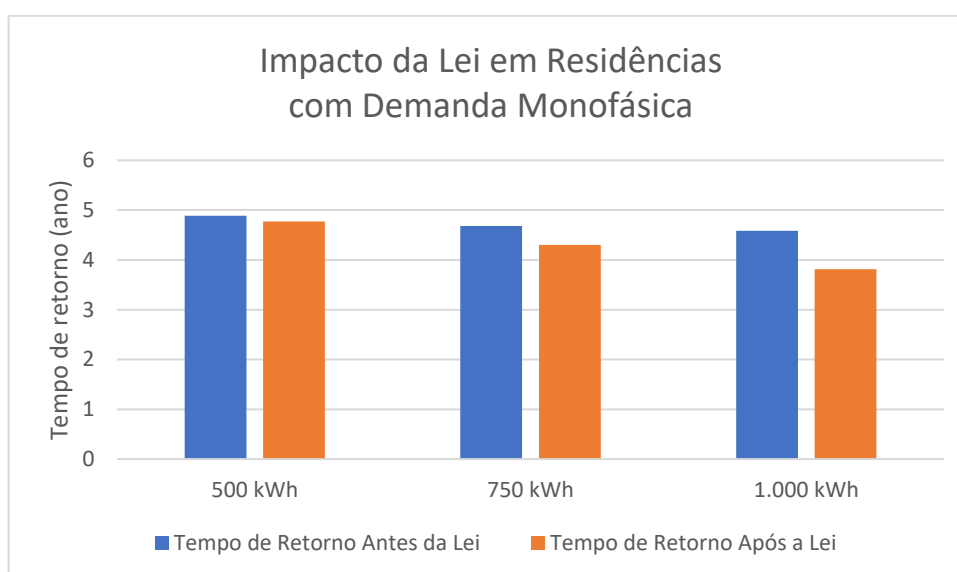
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Gráfico 6 – Fluxo de caixa para tempo de retorno pós-lei para sistemas com demanda bifásica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Gráfico 7 – Fluxo de caixa para tempo de retorno pós-lei para sistemas com demanda monofásica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As informações apresentadas pelos gráficos têm validade apenas para o exercício do ano de 2023, considerando as tecnologias disponíveis no mercado no momento do dimensionamento, o valor e a porcentagem da TUSD Fio B, que varia a cada ano, além dos impostos que podem vir a surgir alterações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste estudo, ao analisar os impactos da Lei nº 14.300 na viabilidade do investimento em energia solar nas residências e pequenos comércios da cidade de Ariquemes - Rondônia. Através da revisão bibliográfica abrangente, estudos de casos e coleta de dados, buscamos compreender as mudanças ocorridas no setor de geração distribuída e seus reflexos na conta de energia elétrica.

O potencial solar de Ariquemes, evidenciado pelo índice solarimétrico obtido por meio do CRESESB, mostrou que a região possui condições favoráveis para a instalação de sistemas de geração fotovoltaica. O clima predominante na região, com elevada incidência solar, é um fator promissor para a produção de energia limpa e renovável.

Outro ponto notável, foi o avanço das tecnologias no setor de produção de energia fotovoltaica, com o passar dos anos, temos sistemas com uma melhor eficiência e com um baixo custo de aquisição, tornando mais acessível para todos.

Uma das principais mudanças introduzidas pela Lei nº 14.300 foi o novo cálculo da conta de energia elétrica, levando em consideração a TUSD Fio B e o perfil de consumo do consumidor. Antes da implementação da lei, os consumidores que possuíam sistemas de geração distribuída compensavam o uso da rede elétrica por meio de créditos de geração, sem pagar os custos de distribuição. Com a nova legislação, esses custos passaram a ser considerados, tornando a conta de energia mais abrangente e complexa.

Além disso, a partir de 2023, com a cobrança da TUSD Fio B, mesmo havendo um aumento da tarifa de energia, a crescente redução dos custos de implementação do sistema, acabam amortizando os efeitos da mudança da legislação monetária.

Por fim, é importante ressaltar que a implementação da Lei nº 14300 busca regular e estabelecer regras claras para o setor de geração distribuída. A análise dos resultados e discussões apresentadas neste estudo fornecem uma visão inicial dos efeitos da legislação na viabilidade do investimento em energia solar em Ariquemes.

A relevância desse estudo se concentra acerca de esclarecer a evolução do setor, aonde, com o novo marco legal da microgeração e minigeração distribuída,

foram levantadas muitas questões sobre seus impactos. No entanto, recomenda-se que os consumidores interessados na instalação de sistemas fotovoltaicos busquem por empresas especializadas no setor, levando em consideração não apenas os aspectos econômicos, mas também os aspectos técnicos, jurídicos e regulatórios para uma decisão adequada ao seu contexto específico.

Diante dos dados apresentados, torna-se evidente que novos estudos e atualizações dos relatórios e cálculos sejam realizados anualmente, analisando a legislação vigente, o mercado de kits fotovoltaicos e as tecnologias disponíveis aliadas a um consumo energético sustentável e de qualidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ednaldo de Ceita Vicente de; ALMEIDA, Hermes Alves de. **Potencialidade da energia fotovoltaica no semiárido nordestino e sua relação com o desenvolvimento sustentável.** 86 p Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional - PPGDR) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2021. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/3794>. Acesso em: 11 jun. 2023.

ALMEIDA, Eliane et al. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. **Revista Engenharias On-line Universidade FUMEC**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, 17 mar 2016. Engenharia Bioenergética. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/3574>. Acesso em: 2 fev. 2023.

AMARAL, Ricardo César do; CANHA, Luciane Neves. **Impacto técnico e econômico da energia solar fotovoltaica em prédios públicos através de geração distribuída.** Santa Maria, 2016. 179 p Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8591>. Acesso em: 1 fev. 2023.

BOSO, Ana Cláudia Marassá; GABRIEL, Camila Pires Cremasco; GABRIEL FILHO, Luís Roberto Almeida. ANÁLISE DE CUSTOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID NO BRASIL. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 8, n. 12, 2015. DOI: 10.17271/1984324081220151138. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/198432408122015>. Acesso em: 2 out. 2023.

BRAGA, Renata Pereira; NASCIMENTO, Jorge Luiz do. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações.** Rio de Janeiro, 2008. 80 p Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/7372>. Acesso em: 2 out. 2023.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2022:** ano base 2021. Rio de Janeiro, f. 132, 2022. 264 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco->

energetico-nacional/anteriores/ben-2022/ben-2022-relatorio-final/view. Acesso em: 15 mai. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei n. 14300, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). **Diário Oficial da União**, 06 de janeiro de 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: 20 jun. 2023.

BRASIL. **Visão Geral do Setor**. ABRADÉE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. Brasília, 2023. Disponível em: <https://abradee.org.br/visao-geral-do-setor/>. Acesso em: 23 mar. 2023.

BRITO, Moacyr Aureliano Gomes de et al. Estratégias de anti-ilhamento aplicadas a sistemas de geração distribuída fotovoltaica. **Revista Eletrônica De Potência**, v. 23, n. 2, p. 226-234, junho 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18618/REP.2018.2.2773>. Acesso em: 24 jun. 2023.

BRUNO, Danielle Cristina Nunes; NARDI, Marcelo De. **Os reflexos do sistema de bandeiras tarifárias em face do consumidor e concessionárias de energia elétrica** Dissertação (Mestrado em Direito) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em:

<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7793>. Acesso em: 19 jun. 2023.

C2E. **Grupos Tarifários: o que são e quais são os tipos?**. C2E. 2021. Disponível em: <https://c2e.com.br/grupos-tarifarios-o-que-sao-e-quais-sao-os-tipos/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

CALLOU, Allan Pacceli Oliveira; ALMEIDA, Ana Fabíola Leite. **Análise de viabilidade econômica de implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma empresa**, f. 65 Monografia (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/45769>. Acesso em: 25 abr. 2023.

CARVALHO, Domingos Miguel Sequeira; MARTINS, António Pina. **Análise e caracterização energética de sistemas fotovoltaicos de baixa potência com ligação à rede eléctrica**. Porto, 2011. 115 p Dissertação (Mestrado Integrado. Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/61319>. Acesso em: 25 jan. 2023.

DACHERY, Joiris Manoela. **FIO A E FIO B, ENTENDA TUDO SOBRE**. Energês. 2022. Disponível em: <https://energes.com.br/fio-a-e-fio-b/>. Acesso em: 25 jun. 2023.

GASPARIN, Fernanda Bach et al. A Influência de Políticas Públicas para o Progresso da Geração Solar Fotovoltaica e Diversificação da Matriz Energética Brasileira. **Revista Virtual de Química**, Palotina, v. 14, n. 1, p. 78-81, 28 Jul 2021. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/4250>. Acesso em: 15 mai. 2023.

GUIMARÃES, Ana Clara; SATO, Flávio Hiochio. **Estudo Comparativo Entre Paineis Solares Orgânicos Fotovoltaicos (Opv) E Paineis Solares De Silício Utilizando Os Softwares Pvsyst® E Setfos®**. Rio Verde, 2021 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1906>. Acesso em: 17 jun. 2023.

GÜNTZEL, Ionatan Laércio; SOARES, Alexandre Batista de Jesus. **Análise de viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid, instalados em posto de combustível.** Pato Branco, 2018 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14937>. Acesso em: 9 mar. 2023.

ITSOLAR. **O que é OPV? Painéis Solares Fotovoltaicos Orgânicos.** ITSolar - Energia solar Natal. Natal, 2019. Disponível em: <https://itsolar.com.br/energia-solar/o-que-e-opv-paineis-solares-fotovoltaicos-organicos/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

JENSEN, Leonardo Henrique; ESSWEIN JUNIOR, Jorge Alberto Lewis. **Sistema Fotovoltáico De Fornecimento Off-Grid Metodologia Para Dimensionamento De Sistema Residencial Isolado.** Palhoça, 2021. 65 p Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/19115>. Acesso em: 30 mar. 2023.

LEONARDO RODRIGO, RAMOS; JÚNIOR, Dionízio Paschoareli. **Influência Do Ângulo De Inclinação E Da Orientação Dos Painéis Fotovoltaicos Na Geração De Energia.** Ilha Solteira, 2023 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/244326>. Acesso em: 23 jun. 2023.

LOPES, José Aderaldo; MELO FILHO, José Bione de. **Proteção De Central De Micro Ou Minigeração Solar Fotovoltaica.** In: Vi Congresso Brasileiro De Energia Solar. 2016. Anais [...] Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1911>. Acesso em: 25 abr. 2023.

MACHADO, Nayara. **Queda no preço de painéis solares empolga mercado de geração distribuída.** Agência epbr. 2023. Disponível em: <https://epbr.com.br/queda-no-preco-de-paineis-solares-empolga-mercado-de-geracao-distribuida/>. Acesso em: 30 jun. 2023.

MARTINS, Mateus Alves; MARQUETTI, Clecio. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico on-grid com energia de reserva**. Palhoça, 2018. 69 p Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4164>. Acesso em: 25 fev. 2023.

MENKES, Monica. **Eficiência Energética, Políticas Públicas E Sustentabilidade**. Brasília, 2004. 295 p Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília. Disponível em: https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/efici%EAncia%20energ%E9tica/Pesquisa/eficiencia_energetica_politicas_publicas_e_sustentabilidade.pdf. Acesso em: 25 abr. 2023.

MOURA, Dielho Mariano Dantas de; LUNA NETO, José Tavares de. **Viabilidade De Implementação De Sistema Fotovoltaico Off Grid Em Residências Sem Acesso A Rede De Distribuição De Energia Elétrica: Estudo De Caso Aos Ribeirinhos No Município De Santarém – Pa. Cajazeiras, 2022. 41 p Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/1893>. Acesso em: 14 fev. 2023.**

OCA ENERGIA. **Sistema Fotovoltaico Híbrido: Entenda o Que é e Suas Aplicações**. Oca Energia. 2021. Disponível em: <https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/>. Acesso em: 8 jun. 2023.

OLIVATI, Clarissa de Almeida; FARIA, Roberto Mendonça. **Efeito fotovoltaico e fotocondutividade em dispositivos poliméricos** Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Instituto de Física de São Carlos, São Carlos, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.76.2000.tde-02092010-083031>. Acesso em: 28 jan. 2023.

PINHEIRO, Thiago Alves; ALMEIDA, Fábio Prado de. **Potencialidade na geração de energia: estudo de caso para introdução de um sistema fotovoltaico em uma residência no município de Ariquemes/RO**. 42 p Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Faema, Ariquemes, 2022. Disponível em:

<http://repositorio.faema.edu.br:8000/jspui/handle/123456789/3225>. Acesso em: 2 mar. 2023.

PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar**. Portal Solar. 2016. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em: 4 abr. 2023.

PORTAL SOLAR. **Vantagens e desvantagens do painel solar de filme fino**. Portal Solar. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-do-painel-solar-de-filme-fino>. Acesso em: 19 mai. 2023.

SANTOS, Hugo Francisco Lisboa; COSTA, Pedro Vassalo Maia da. **Concentradores Fotovoltaicos: Uma Tecnologia em Declínio?**. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 2018, Gramado: SyraSolar, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/167/167>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SOUZA, Wilison Andson de; SOUZA, Rubem Cesar Rodrigues; MINORI, Américo Matsuo. **Boas práticas de manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 5, n. 8, p. 12779-12791, 11 Ago 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/issue/view/63>. Acesso em: 22 mai. 2023.

SUNERGY ENERGIA SOLAR LTDA-ME. **Painel solar - modelos de placas solares**. Sunergy Solar. Petrolina, 2019. Disponível em: <https://sunergysolar.com.br/blog/f/modelos-de-placa-solar>. Acesso em: 9 abr. 2023.

VILLALVA, Marcelo. **Filmes finos CIGS: uma alternativa ao silício cristalino**. Canal Solar. Campinas, 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/filmes-finos-cigs-uma-alternativa-ao-silicio-cristalino/>. Acesso em: 5 mai. 2023.

ZOU, Caineng et al. **Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era**. Natural Gas Industry B, Beijing, v. 3, n. 1, p. 1-11, fev 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352854016300109>. Acesso em: 20 jun. 2023.