



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia Elétrica



Trabalho de Conclusão de Curso

Estudo da alteração da Resolução Normativa nº 482/2012 e seus impactos no mercado de geração fotovoltaica

Dictmar Hans Schriefer

João Monlevade, MG
2022

Dictmar Hans Schriefer

**Estudo da alteração da Resolução Normativa nº
482/2012 e seus impactos no mercado de
geração fotovoltaica**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof. Welbert Alves Rodrigues

**Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade
2022**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S377e Schriefer, Dictmar Hans.

Estudo da alteração da Resolução Normativa nº 482/2012 e seus impactos no mercado de geração fotovoltaica. [manuscrito] / Dictmar Hans Schriefer. - 2022.

53 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Welbert Alves Rodrigues.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia Elétrica .

1. Energia - Fontes alternativas. 2. Energia solar. 3. Geração distribuída de energia elétrica. 4. Sistemas de energia fotovoltaica - Mercados. I. Rodrigues, Welbert Alves. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621.31

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Dictmar Hans Schriefer

**Estudo da alteração da resolução normativa nº 482/2012 e seus
impactos no mercado de geração fotovoltaica**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Aprovada em 13 de Abril de 2022

Membros da banca

Dr - Welbert Alves Rodrigues - Orientador - UFOP
Dr - Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho - UFOP
Dr - Wilington Guerra Zvietcovich - UFOP

Welbert Alves Rodrigues, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 28/04/2022

Documento assinado eletronicamente por **Welbert Alves Rodrigues, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/05/2022, às 09:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art.



6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0321301** e o código CRC **0EDB61C4**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.005750/2022-89

SEI nº 0321301

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3808-0818 - www.ufop.br

Agradecimentos

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe, ao meu pai e aos meus irmãos por me darem todo o suporte para chegar até aqui.

A todos amigos que fiz durante a faculdade e aos que trouxe comigo e sempre permaneceram ao meu lado.

A Universidade Federal de Ouro Preto por todo auxílio e pelo ensino público e de qualidade.

Agradeço aos meus professores que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional em especial ao meu professor e orientador Welbert Rodrigues por toda ajuda na realização desse trabalho.

A todos que foram importantes durante minha graduação, muito obrigado.

*"Nós só podemos ver um pouco do futuro, mas o suficiente para perceber que há muito a
fazer. "*

- Alan Turing

Resumo

A aprovação da Resolução Normativa nº482/2012 pela ANEEL fez com que o mercado brasileiro de energia fotovoltaica tivesse um exponencial crescimento desde sua implementação até os dias de hoje. Além de garantir uma segurança no investimento, a resolução reconheceu novas formas de geração o que permitiu a entrada de pequenos e médios produtores no mercado. A medida que o mercado de geração distribuída cresceu alterações no texto da primeira resolução se tornaram fundamentais para atender as necessidades do mercado. Nesse trabalho foi realizado um estudo da resolução normativa nº 482/2012 e suas modificações até o presente momento. Posteriormente uma análise da modificação que está em andamento, seus principais pontos e seus possíveis impactos no mercado brasileiro. Ao fim simulou-se o orçamento e cálculo de *payback* de uma instalação residencial comparando os valores com e sem as mudanças propostas no Projeto de Lei nº 5829/2019.

Palavras-chave: Geração distribuída, Geração compartilhada, Mercado fotovoltaico brasileiro, Resolução normativa nº 482/2012, Projeto de Lei nº 5829/2019.

Abstract

The approval of Normative Resolution n°482/2012 by ANEEL made the market Brazilian photovoltaic power plant had an exponential growth. In addition to ensuring investment security, the resolution recognized new forms of generation which allowed the entry of small and medium producers into the market. As the distributed generation market grew, changes to the text of the first resolution have become fundamental to meet market needs. In this work, a study of normative resolution n° 482/2012 and its modifications was carried out. Subsequently, an analysis of the modification that is in progress, its main points and its possible impacts on the Brazilian market. At the end, the budget and payback calculation of a comparable residential installation was simulated. The values with and without the changes proposed in Bill No. 5829/2019

Keywords: Distributed generation, Shared generation, Photovoltaic market Brazilian, Normative Resolution n° 482/2012, Bill No. 5829/2019.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Instalações Fotovoltaicas conectadas a rede	11
Figura 2 – Evolução do preço de produção da célula fotovoltaica de silício.	14
Figura 3 – Esquema básico de um sistema de geração <i>Off Grid</i>	15
Figura 4 – Esquema básico de um sistema de geração On grid	16
Figura 5 – Matriz elétrica brasileira.	17
Figura 6 – Participação dos setores no consumo de energia elétrica.	18
Figura 7 – Comparação da irradiação solar Brasil e Alemanha	19
Figura 8 – Volume acumulado conectado à rede [MW]	20
Figura 9 – Revisões da REN 482/2012	23
Figura 10 – Composição da Tarifa de Energia Elétrica	27
Figura 11 – Linha do tempo tramitação da Revisão 482/2012	31
Figura 12 – Linha do tempo tramitação do marco legal	32
Figura 13 – Modalidade de geração	39
Figura 14 – Consumo médio anual e valor médio anual	41
Figura 15 – Localização geográfica Barão de Cocais	42
Figura 16 – Irradiação Solar - Barão de Cocais	42
Figura 17 – Ângulo de inclinação painéis	43
Figura 18 – Simulador de payback	45
Figura 19 – Transição do PL 5829/2019: pagamento gradual da TUSD Fio B	46

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparativo Potência instalada	33
Tabela 2 – Comparativo Compensação	34
Tabela 3 – Comparativo Custo de Disponibilidade	34
Tabela 4 – Comparativo Demanda Contratada	35
Tabela 5 – Orçamento de materiais para instalação fotovoltaica	44
Tabela 6 – Orçamento de serviços e materiais para instalação fotovoltaica	44
Tabela 7 – Cenários propostos - comparativo	47

Lista de abreviaturas e siglas

AIR	Análise de impacto regulatório
ANEEL	Agencia Nacional de Energia elétrica
BEN	Balanco energético Nacional
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa energética
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
MMGD	Mercado de micro e mini Geração distribuída
P&D	Taxa de pesquisa e desenvolvimento
PL	Projeto de Lei
PRODIST	Procedimentos de distribuição
REN	Resolução normativa
SCEE	Sistema de compensação de energia elétrica
SFCR	Sistema fotovoltaico conectado a rede
TE	Tarifa de Energia
TFSEE	Taxa de fiscalização de Serviço de energia elétrica
TUSD	Tarifa por uso do sistema de distribuição

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Contextualização e Motivação	10
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos	12
1.3	Estrutura do Trabalho	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Sistema de geração fotovoltaica	14
2.2	Matriz elétrica brasileira	16
2.3	Energia fotovoltaica no Brasil	18
2.4	Geração distribuída	20
2.5	Resolução Normativa N° 482/2012	21
3	METODOLOGIA	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Necessidade da revisão da REN N° 482/2012	27
4.2	A proposta da ANEEL	29
4.3	O Projeto de Lei N° 5.829/2019	31
4.4	Comparativo de cenários	32
4.5	Impactos econômicos no mercado fotovoltaico	35
4.5.1	O caso da Alemanha	35
4.5.2	Possíveis modelos de negócios brasileiros	37
4.5.3	Impactos econômicos	39
4.5.4	Comparativo cenários	40
4.5.4.1	Consumo anual da residência	40
4.5.4.2	Coordenadas de irradiação anual	41
4.5.4.3	Ângulo de inclinação dos painéis	43
4.5.4.4	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	43
4.5.4.5	Orçamento	44
4.5.4.6	Investimento e retorno	44
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50

1 Introdução

1.1 Contextualização e Motivação

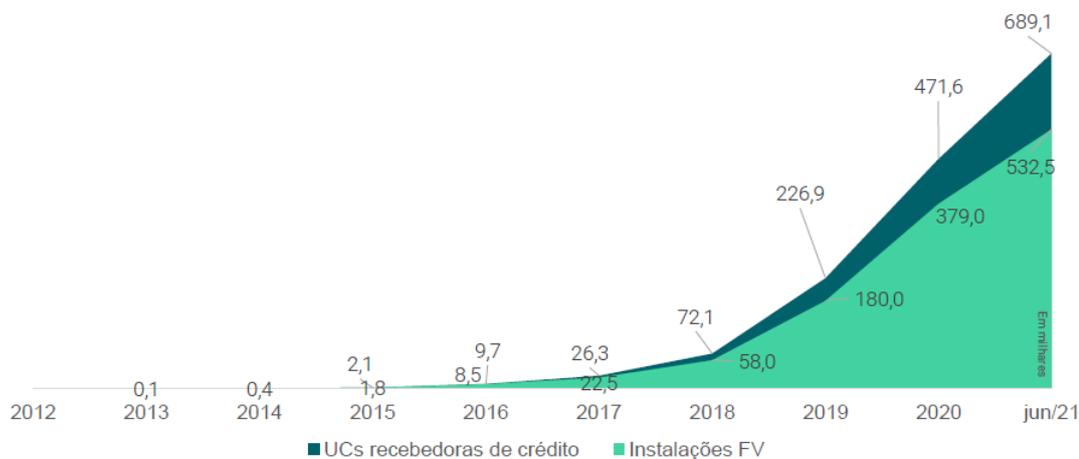
A energia elétrica é um recurso de extrema importância para o desenvolvimento da sociedade em que vivemos. Da produção de alimentos até chegar aos mais avançados polos de pesquisa tudo é possível graças ao uso da energia elétrica em suas mais amplas aplicações.

Nos primórdios o homem buscava através da criação de novas tecnologias reduzir o esforço em atividades fundamentais para sua existência e, grande parte dessa busca se deu através da utilização de novas fontes de energia. Ao dominar o fogo o ser humano conseguiu melhorar qualidade de vida e, em seguida descobriu outras fontes como a tração animal, força dos ventos, das águas e, até que depois de milhares de anos foram inventadas as máquina a vapor e as máquinas elétricas. A partir de então houve um crescimento exponencial na busca de fontes de energia para manter essas máquinas. No final século XX temas como aquecimento global, desmatamento florestal, emissões de dióxido carbono para a atmosfera, começaram a fazer parte do cotidiano da população contribuindo também para o interesse em projetos de geração de energia renovável (PRETO E. V.; MORTOZA, 2011).

Uma das formas de energia renovável mais promissoras é a energia fotovoltaica (FV), pois utiliza uma fonte inesgotável e abundante que é a luz solar. Sua geração se dá através de células fotovoltaicas que ao receberem luz solar produzem uma diferença de potencial que será utilizada na produção de energia. Países como Alemanha, Estados Unidos e alguns do Oriente Médio são pioneiros na exploração do potencial solar para geração de energia.

No Brasil energia solar vem crescendo cada vez mais, essa evolução é mostrada na Figura 1. Em 2013 quando os dados começaram a ser coletados o número de instalações fotovoltaicas conectadas à rede era pouco mais de 100, hoje esse número fica em torno de 532 mil instalações .

Figura 1 – Instalações Fotovoltaicas conectadas a rede



Fonte: Adaptado de Greener, 2021.

A geração FV tem como principal característica a possibilidade do consumidor gerar a energia que irá consumir - dá-se o nome de prossumidor - permitindo a distribuição das unidades geradoras e modificando como um todo o modelo de mercado ao qual estamos acostumados: ao invés de grandes usinas gerando grandes quantidades de energia para uma maior parcela da população agora têm-se pequenas usinas muitas vezes individuais gerando energia para um número pequeno de consumidores, daí surgem conceitos como geração distribuída, micro geração, mini geração, entre outros que serão explorados nesse trabalho .

Por causar grandes mudanças que afetam todo o país tornou-se necessária a criação de regras ou normas que sistematizassem questões como o acesso a rede elétrica, a compensação da energia gerada, limites de geração entre outras questões técnicas e econômicas. Em abril de 2012 entrou em vigor no Brasil a primeira Resolução Normativa que tratava da questão de micro e mini geração de energia (REN nº 482/2012), foi um marco muito importante para o mercado GD pois gerou mais confiança e segurança para investidores e concessionárias. Com o passar do tempo essa resolução tornou-se obsoleta e, como consequência algumas modificações foram realizadas no texto original.

O Brasil está consolidando leis e normas que incentivam a geração própria de energia e a pesquisa nessas áreas. Com a criação da REN nº 482/2012 pela ANEEL foram regulamentados limites para micro e mini geração, definiu-se modalidades de geração específicas além de normatizar e padronizar a relação consumidor e concessionária.

Com essas modalidades surgem vários cenários como empresas interessadas em construir fazendas solares, cooperativas de associados para compartilharem energia e vários outros modelos que visam a inserção do consumidor no mercado fotovoltaico. Esses conceitos de geração distribuída, geração compartilhada, cooperativas solares e demais assuntos nessa área ainda são novos no Brasil e por isso referências e pesquisas ainda são

escassos. Sabendo disso esse trabalho busca caracterizar o mercado de geração fotovoltaica no Brasil explorar esses modelos de mercado e principalmente estudar as normas vigentes e possíveis modificações propostas.

Com o crescimento do mercado fotovoltaico brasileiro a RN 482/2012 vem se tornando obsoleta uma vez que foi planejada em 2012 e por isso uma revisão da norma foi definida para 2019. Após vários atrasos essa revisão tramita na ANEEL atualmente, ao passo que o congresso brasileiro discute um Projeto de Lei que visa estabelecer as regras de micro e mini geração, com o intuito de substituir a resolução vigente. A possível aprovação do Projeto de Lei nº 5829/2019 irá impactar diretamente nos modelos de negócios fotovoltaicos: alterando, eliminando ou até mesmo criando novos modelos com propostas que se ajustem a nova lei. Nesse trabalho será feita a análise dos impactos do PL num grupo específico de consumidor considerando os pontos positivos e negativos do texto do projeto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo realizar uma análise da Resolução Normativa N° 482/2012, suas revisões e a alteração que está sendo proposta pela ANEEL. Também tem como objetivo analisar o Projeto de Lei N° 5.829/2019 quem tramita no congresso e o impacto de ambas as propostas no mercado fotovoltaico brasileiro.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do seguinte trabalho são:

- Breve estudo da matriz elétrica brasileira, geração fotovoltaica e geração distribuída.
- Revisão de alguns modelos de negócios fotovoltaicos existentes no mercado brasileiro.
- Estudo da Resolução Normativa N° 482/2012 e suas alterações.
- Análise do Projeto de Lei N° 5.829/2019.
- Comparação da Resolução Normativa N° 482/2012 com o Projeto de Lei N° 5.829/2019.
- Análise dos possíveis impactos das propostas no mercado fotovoltaico brasileiro.
- Simulação do impacto da aprovação do Projeto de Lei N° 5829/2019 em um consumidor residencial.

1.3 Estrutura do Trabalho

O desenvolvimento desse trabalho foi dividido em Revisão Bibliográfica e Resultados e Discussão.

No capítulo 1 foram introduzidas a contextualização e motivação do trabalho, a justificativa, o objetivo geral e os objetivos específicos.

O capítulo 2 trata da revisão bibliográfica necessária para realização deste trabalho. São apresentados tópicos sobre o funcionamento de um sistema de geração fotovoltaica, a divisão da matriz elétrica brasileira, o potencial solar brasileiro, um estudo sobre geração distribuída e são introduzidos os conceitos de modelos de negócios com ênfase na geração fotovoltaica exemplificando alguns modelos existentes no Brasil.

No capítulo 3 tem-se a metodologia utilizada para a realização desse trabalho, os meios pelo qual foram realizadas as pesquisas e as ferramentas utilizadas.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos aplicando a metodologia proposta.

O capítulo 6 apresenta a conclusão e análise dos resultados obtidos e são apresentadas possibilidades de trabalhos futuros.

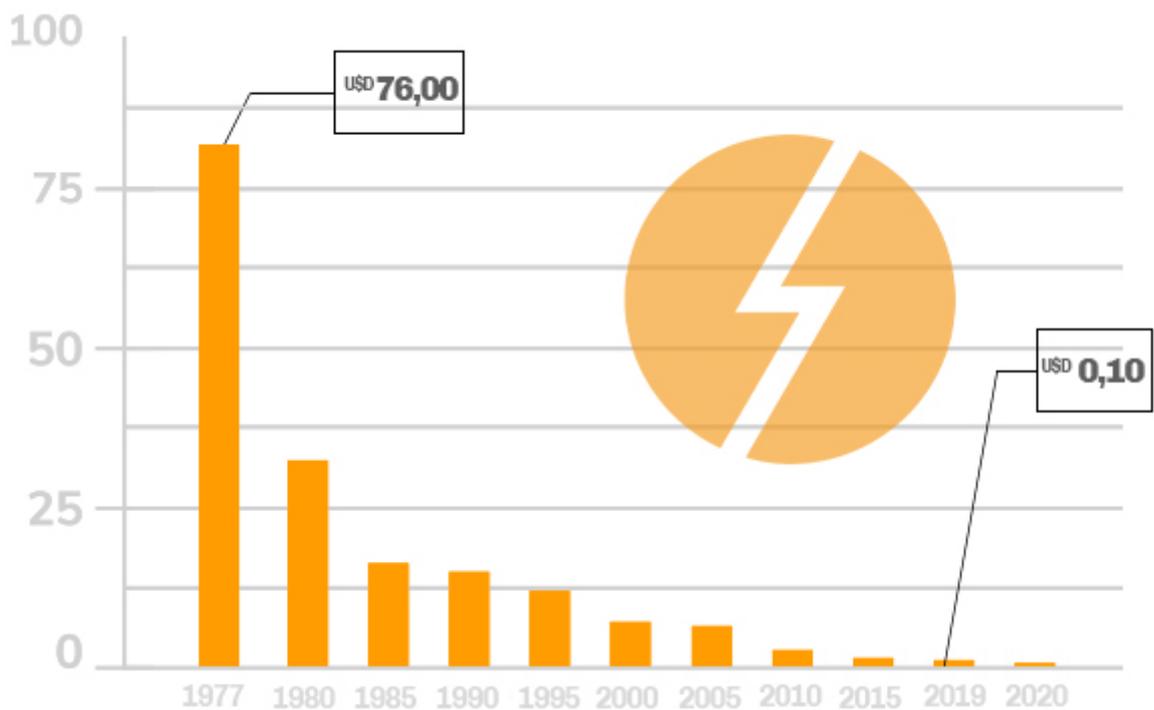
2 Revisão Bibliográfica

2.1 Sistema de geração fotovoltaica

Um sistema de geração fotovoltaica é um conjunto de equipamentos que tem como função gerar energia a partir da irradiação solar (SOLAR, 2021a).

A unidade básica para a geração fotovoltaica é a célula fotovoltaica, essas células podem ser fabricadas com diversos elementos sendo o mais comum o silício. Nas últimas quatro décadas devido ao desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação, incentivos governamentais e aumento da demanda, as células FV sofreram uma grande redução de preço como mostrado na Figura 2, essa queda no preço foi fator crucial para o aquecimento do mercado de geração solar.

Figura 2 – Evolução do preço de produção da célula fotovoltaica de silício.



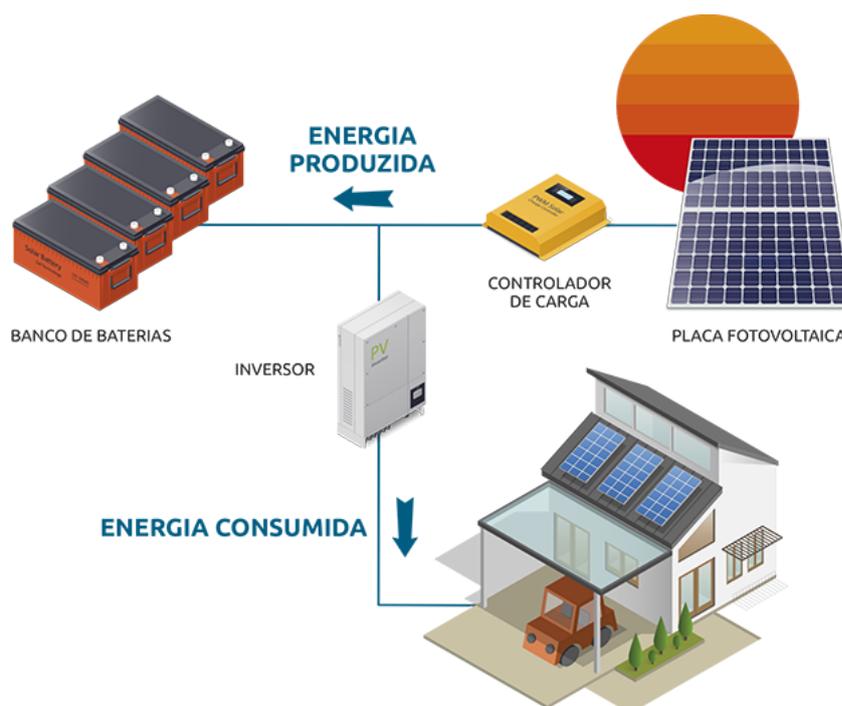
Fonte:Portal Solar, 2021

Os componentes de um sistema de geração fotovoltaica podem variar de acordo com a sua capacidade de geração, aplicação, localidade a ser instalada dentre outros fatores, entretanto existem componentes e equipamento que são comuns a todas as instalações são eles os módulos fotovoltaicos e os conversores. Os sistemas podem ser implantados em qualquer localidade que sofra ação da radiação solar frequentemente. Um sistema

fotovoltaico é classificado de acordo com a forma de geração ou de entrega de energia elétrica. Podem ser classificados em sistemas isolados *Off Grid* ou sistemas conectados a redes *On Grid*.

Os sistemas isolados *Off Grid* são os sistemas que não são conectados a rede elétrica de distribuição, esses sistemas são subdivididos em sistemas híbridos, sistemas autônomos puros e sistemas autônomos com armazenamento. Um sistema fotovoltaico híbrido trabalha em conjunto com outro sistema de geração elétrica, que pode ser um aerogerador (no caso de um sistema híbrido solar-eólico), um moto-gerador a combustível líquido (ex.: diesel), ou qualquer outro sistema de geração elétrica (BLUESOL, 2017). Nos sistemas autônomos puros a energia gerada é armazenada em baterias para serem posteriormente utilizados quando não há presença de irradiação solar como em dias chuvosos e durante a noite. Em sistemas autônomos sem armazenamento a energia gerada é utilizada por um consumidor específico no momento da sua geração, portanto não há armazenamento de energia elétrica. Um esquema básico de sistema de geração *Off Grid* é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema básico de um sistema de geração *Off Grid*

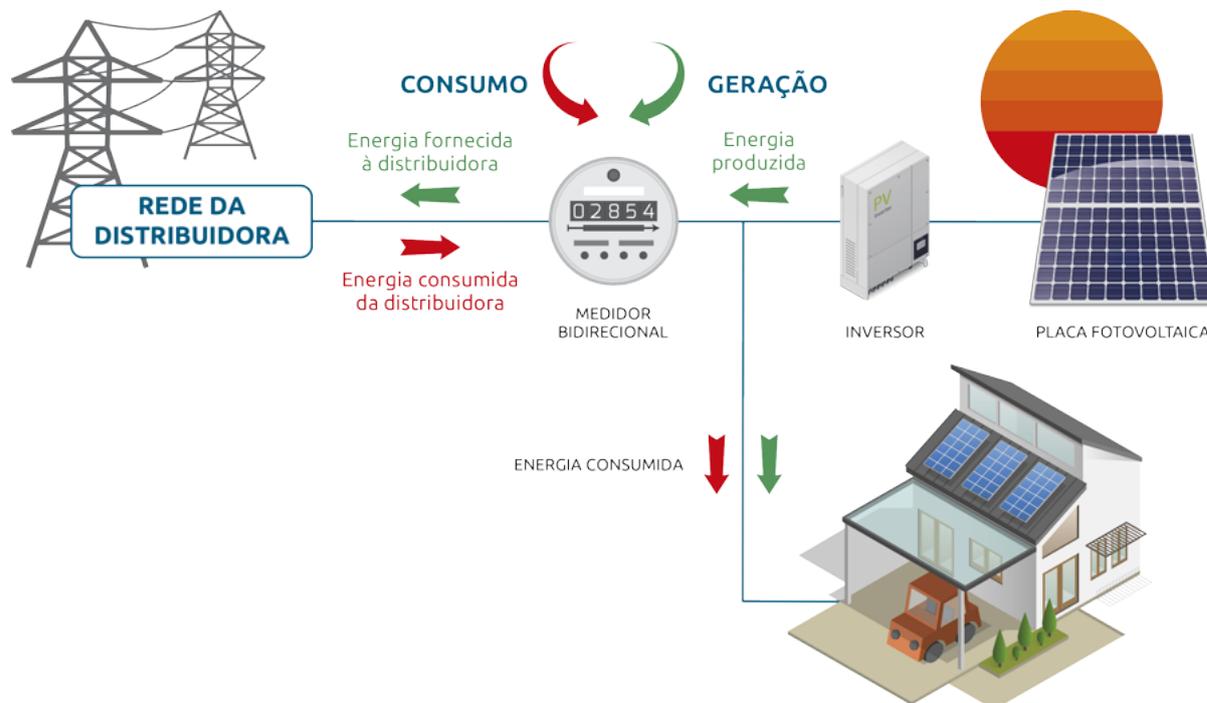


Fonte: Inovacare Solar, 2019

Mesmo sendo os primeiros a surgirem na geração fotovoltaica os sistemas isolados não oferecem grandes vantagens aos consumidores, pois são mais caros devido ao uso de baterias além de pouco eficientes visto que quando o consumidor não está utilizando ou a bateria já está carregada a energia gerada é desperdiçada. Esses fatores contribuem para que os sistemas fotovoltaicos mais utilizados sejam os sistemas *On Grid*.

Sistemas *On Grid* são aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. Como é mostrado na Figura 4, de forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização de um conversor CC/CA que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica (PEREIRA F.; OLIVEIRA, 2011).

Figura 4 – Esquema básico de um sistema de geração On grid



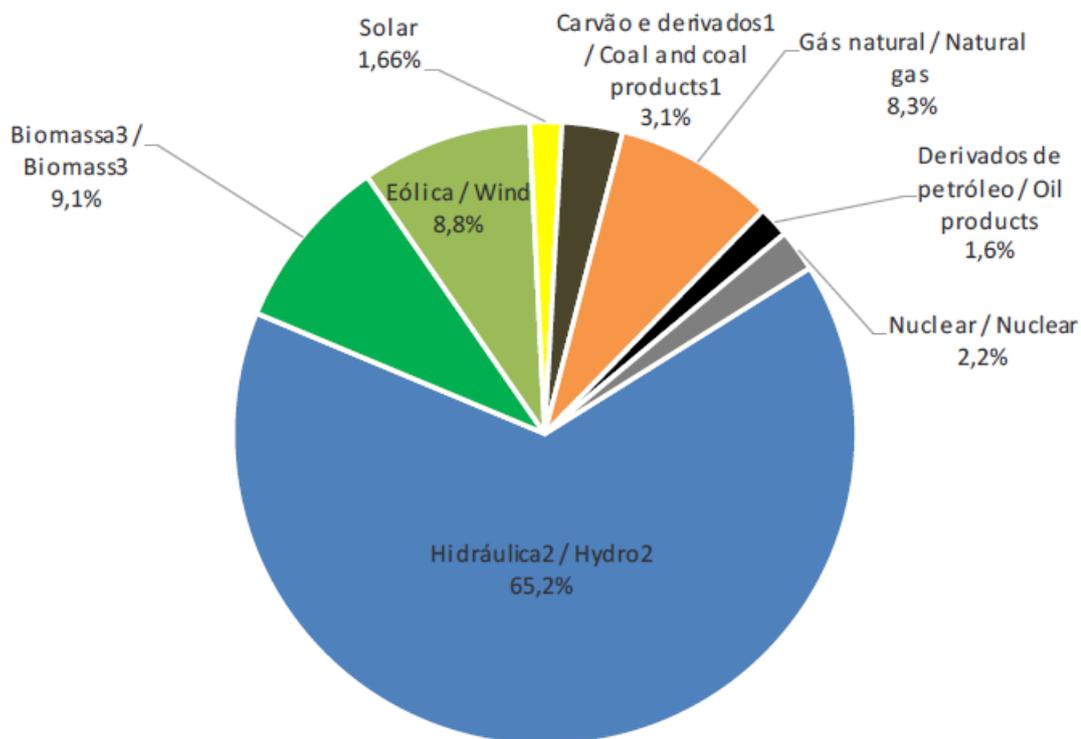
Fonte: Inovacare Solar, 2019

Para esses casos de geração há legislações específicas sobre a forma que essa energia é aplicada na rede e como ela é valorada para o usuário e esses assuntos serão o tema desse trabalho.

2.2 Matriz elétrica brasileira

A matriz elétrica é o conjunto de todas as fontes utilizadas para produzir energia elétrica em determinada área. Como mostra a Figura 5 de acordo com dados do Balanço Energético Nacional publicado em 2021 tendo como ano de referência 2020, no Brasil a matriz elétrica era composta pela energia hidráulica (65,2%), gás natural (8,3%), biomassa (9,1%), eólica (8,8%), carvão e derivados (3,1%), nuclear (2,2%), solar (1,66%) e derivados do petróleo (1,6%).

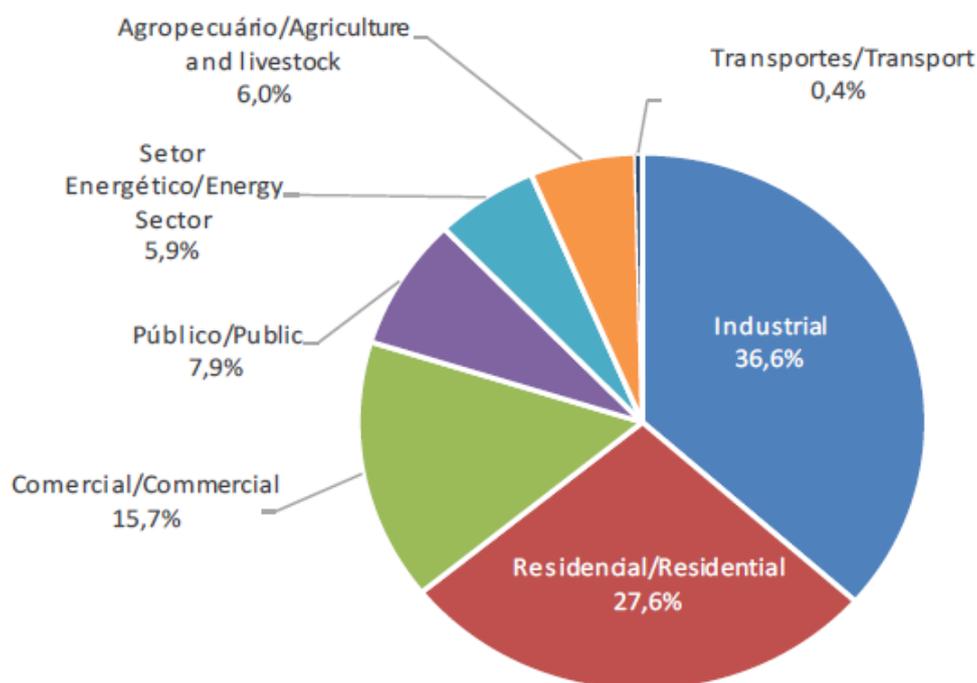
Figura 5 – Matriz elétrica brasileira.



Fonte: BEN 2021.

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 84,76% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável (EPE, 2021). Um ponto importante a destacar no balanço é a classificação da participação dos setores no consumo de energia elétrica. Como mostra a Figura 6 o setor industrial juntamente com o residencial e o comercial respondem a aproximadamente 80% da energia elétrica consumida no país em 2020.

Figura 6 – Participação dos setores no consumo de energia elétrica.



Fonte: BEN 2021.

Um detalhe a ser notado é o consumo do próprio setor energético que corresponde a 5,9% do total, uma parcela significativa se considerar todo o consumo anual. Esse consumo se refere a parcela de energia que é consumida para a produção da energia elétrica como a utilizada para o funcionamento de geradores, equipamentos inversores, entre outros.

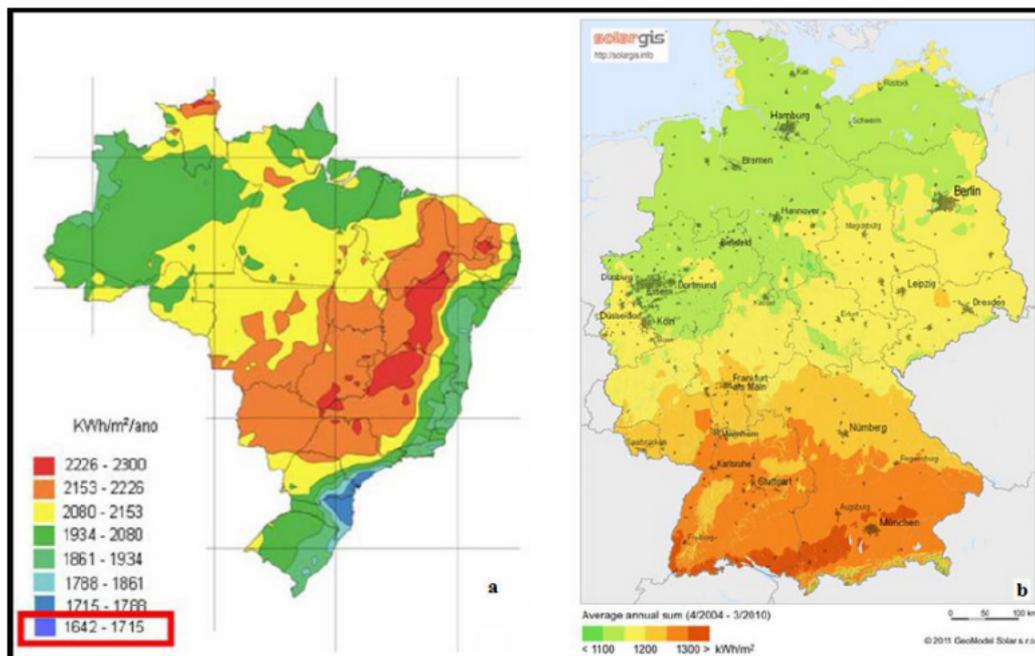
2.3 Energia fotovoltaica no Brasil

O Brasil tem como fonte elétrica predominante a energia hidráulica (EPE, 2021) energia essa que é considerada renovável. Isso não quer dizer que essa energia não tenha seus malefícios - se considerar o impacto ambiental que a construção de uma usina hidrelétrica causa observa-se inúmeros prejuízos para todo o ecossistema de uma região além de consideráveis impactos sociais na região que é construída. Por essa razão investimento na área das demais energias renováveis tem aumentado nos últimos anos. A utilização da energia solar é, depois da eólica, a área a receber mais investimentos, visto que o potencial brasileiro para o aproveitamento desse tipo de energia é bem extenso (SOBRINHO ; OLIVEIRA, 2016).

Segundo dados da ANEEL o Brasil ainda não aparece no ranking mundial solar fotovoltaico (FV) que classifica os países por capacidade de geração instalada, embora seja um dos países com maior potencial fotovoltaico do mundo. É possível perceber no mapa de irradiação solar da Figura 7 que a região menos ensolarada do Brasil apresenta

índices solares em torno de 1642 kWh/m^2 , que estão acima dos valores apresentados na área de maior incidência solar da Alemanha, a qual recebe cerca de 1300 kWh/m^2 (SILVA, 2007). No entanto, apesar de apresentar melhores condições climatológicas, na comparação mercadológica, o Brasil está a atrás do país europeu.

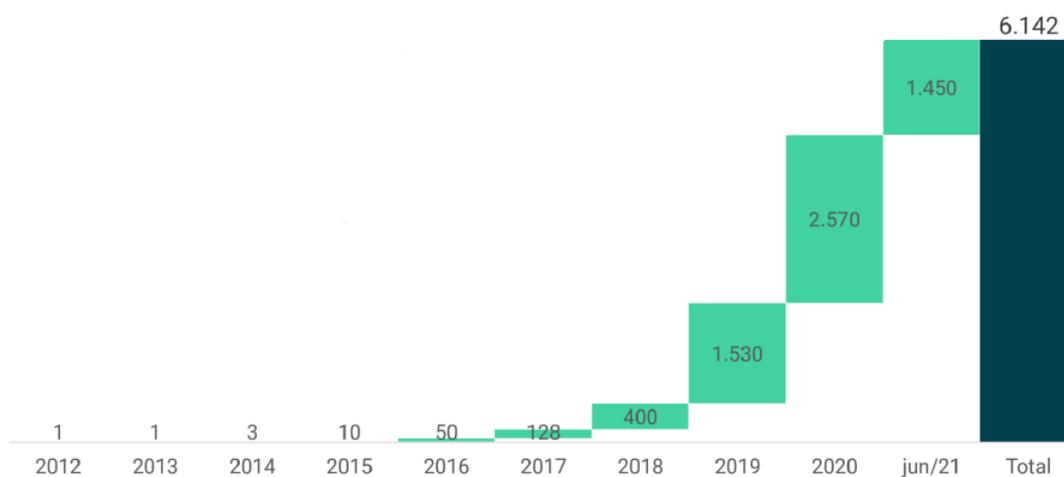
Figura 7 – Comparação da irradiação solar Brasil e Alemanha



Fonte: SALAMONI 2007

No Brasil a potência solar instalada de geração distribuída conectada à rede cresce significativamente a cada ano. Como mostra a Figura 8, de 2012 quando foi aprovada a REN nº 482/2012 até junho de 2021 obteve-se um valor acumulado de 6142 MW de potência instalada, tendo um recorde em 2020 de 2570 MW de geração FV conectada à rede, isso corresponde a aproximadamente 1,6% da energia gerada no país.

Figura 8 – Volume acumulado conectado à rede [MW]



Fonte: Adaptado de Greener, 2021

2.4 Geração distribuída

Considera-se geração distribuída (GD) toda produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de: hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75% (FGV, 2016). Segundo o Caderno Temático Micro e Minigeração Distribuída (ANEEL, 2016) a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética. Por outro lado, existem algumas desvantagens na geração distribuída como uma maior complexidade do sistema elétrico, conflitos entre as grandes empresas geradoras e os pequenos produtores em relação a tributos e cobranças além de uma necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes.

A geração distribuída é dividida em duas modalidades: microgeração e minigeração distribuída ambas utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. A REN nº 482/2012 normatiza que diferença entre as modalidades é que a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto que a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5

megawatt (MW). O sistema de geração distribuída vem sendo foco de estudos devido às vantagens que oferece. Algumas delas são: a possibilidade de redução de custos do setor elétrico; a redução das perdas de transmissão e distribuição; possibilidade de utilização em áreas onde a distribuição central é restrita; possibilidade de menores custos em relação à compra de energia de concessionárias; aumento do mix de geração de energia no país; promoção do desenvolvimento local e minimização de impactos ambientais (RODRÍGUEZ, 2002).

2.5 Resolução Normativa N° 482/2012

A GD é um conceito relativamente novo no Brasil. No que diz respeito a legislação a GD foi descrita pela primeira vez pelo decreto de Lei n° 5.163/2004 que regulamenta - *considera-se geração distribuída toda produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador*. A partir daí algumas resoluções abordaram aspectos da geração distribuída em seu conteúdo e, então houve a necessidade da criação de uma resolução normativa que estabelecesse condições para o acesso a geração distribuída, foi então que em 2012 foi aprovada a Resolução Normativa n° 482/2012.

No dia 17 de abril de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica aprova a resolução normativa número 482 que “Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências”(BRASIL .; ANEEL, 2012). Essa norma elaborada pela ANEEL tem como objetivo padronizar conceitos da GD para que assim fique mais claro a sua função e características. Um dos principais pontos da norma foi definir o que são sistemas de microgeração e minigeração: I- microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

O documento também normatiza o sistema de compensação de energia elétrica no qual é definido parâmetros para injeção e consumo de potência ativa na rede elétrica e, através de cálculos estabelece um sistema de créditos para compensação.

A REN n° 482/2012 foi um grande avanço no mercado de GD brasileiro, entretanto algumas correções precisavam ser feitas e foi então que em 24 de novembro de 2015 o governo federal sancionou a REN n° 687/2015 que “Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de

abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.” (BRASIL.; ANEEL, 2015). As principais alterações na norma foram a alteração de alguns prazos e classes estabelecidos anteriormente e a inclusão de algumas modalidades de geração. Na nova norma o prazo para utilização dos créditos adquiridos pelo consumidor passou de 36 meses para 60 meses, uma melhora significativa dado que muitas das vezes o tempo era muito curto para que o consumidor utilizasse todos os créditos gerados. Outro prazo alterado foi o tempo para que as distribuidoras analisem e aprovem a solicitação de acesso a conexão do sistema, esse prazo passou de 82 dias para 34 dias, grande incentivo para os consumidores, pois muitas vezes o tempo de análise das distribuidoras eram um empecilho para a instalação de um projeto. Um ponto que merece ser destacado na nova norma são os novos valores de potência para micro e minigeração distribuída: I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Além dessas mudanças que mostram significativa evolução na GD destaca-se três novas modalidades de geração:

- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras.

Exemplo: Moradores de prédios residenciais ou comerciais (empreendimentos verticais com múltiplas unidades consumidoras) instalam um sistema gerador no telhado da cobertura e possuem o estacionamento gerando energia para os apartamentos ou salas comerciais e área comum).

- Autoconsumo remoto.

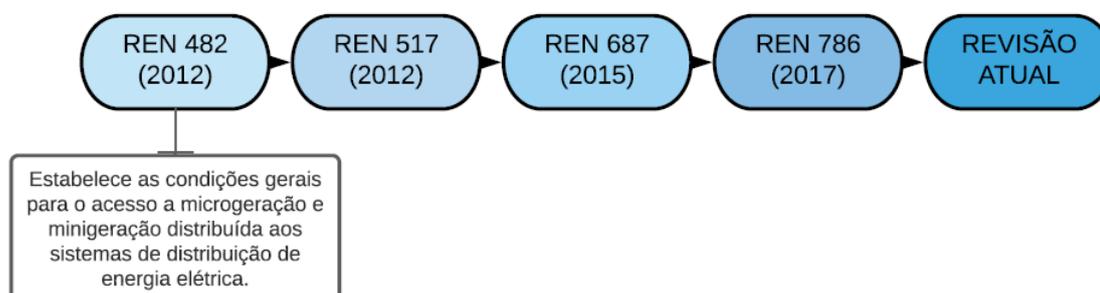
Exemplo: instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência com capacidade de gerar excedente – que irá compensar em outro imóvel no seu nome, como um sítio ou casa na praia.

- Geração compartilhada.

Exemplo: Moradores de um prédio residencial, comercial ou grupo de lojistas, os quais não tem área disponível no local de consumo para instalar um sistema fotovoltaico, se unem para instalá-lo em um terreno em local distinto (como um sítio na zona rural, por exemplo) e a energia gerada será compensada nas devidas unidades consumidoras dos participantes.

Em 17 de outubro de 2017 uma pequena alteração foi feita novamente a resolução 482/2012 no que diz respeito à minigeração distribuída. Foi aprovada a Resolução Normativa 786/2017 que altera a minigeração distribuída de central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3MW para 75 kW e menor ou igual a 5MW (BRASIL .; ANEEL, 2017). A Figura 9 ilustra o histórico de alterações na REN n° 482/2012 desde sua aprovação até o presente momento.

Figura 9 – Revisões da REN 482/2012



Fonte: Autor.

As revisões da RN 482/2012 se deram na seguinte cronologia:

- REN 482/2012

Primeira norma responsável por regulamentar o acesso a microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição

- REN 517/2012

Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

- REN 687/2015

1. Novos limites para microgeração e minigeração;
2. Prazo de resposta da distribuidora;
3. Padronização da solicitação de acesso;
4. Ampliação da validade dos créditos;
5. Detalhamento da fatura;
6. Novas modalidades de geração distribuída.

- REN 786/2017

Altera a potência instalada de centrais geradoras de fontes renováveis e veda o enquadramento como microgeração ou como minigeração distribuída das centrais geradoras para alguns casos.

- REVISÃO ATUAL

Em resumo a Resolução normativa vigente é a RN n° 482/2012 criada em 17 abril de 2012. Em 11 de dezembro do mesmo ano a RN n° 517/2012 altera a Resolução Normativa n° 482 e o Módulo 3 do PRODIST. Em 2015 uma nova resolução a RN n° 687/2015 altera vários pontos da RN n° 482/2012 e por último em 2017 a RN n° 786 modifica a resolução vigente.

3 Metodologia

Esse trabalho de conclusão de curso é bibliográfico, ou seja a metodologia consiste em uma ampla revisão e comparação da resolução normativa nº 482/2012 e do Projeto de Lei nº 5.829/2019 com estudos e artigos publicados até o momento. As principais fontes para realização desse estudo foram dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), portal do governo federal além de sites de empresas e profissionais especializados na área de energia solar fotovoltaica.

Inicialmente realizou-se a leitura detalhada de todo o texto da REN N°482/2012 e em seguida analisou-se as modificações propostas por resoluções posteriores.

Com as principais alterações normativas propostas elaborou-se um levantamento de estudos, artigos e materiais que abordam o impacto dessas mudanças no setor elétrico e quais pontos poderiam ser melhorados em uma nova atualização. Ao final dessa primeira parte analisou-se a proposta de modificação feita pela ANEEL e seus principais pontos a serem alterados.

Na segunda parte desse trabalho estudou-se o texto do Projeto de Lei N° 5.829/2012 no qual tem por objetivo criar um marco legal para regulamentar o mercado de micro e mini geração distribuída no Brasil. Realizou-se um comparativo através de uma tabela simples dos pontos principais a serem modificados pelas duas propostas.

Em seguida fez-se um levantamento dos impactos das possíveis alterações da REN proposta pela ANEEL e do Projeto de Lei através de leitura de matérias, estudos e artigos disponíveis online, pois são a maior fonte de informação desse trabalho. Estudou-se o caso da Alemanha, um dos líderes mundiais em energia fotovoltaica sendo pioneiro na consolidação de leis e incentivos a geração renovável. Um breve histórico é abordado levantando os principais pontos que fizeram a Alemanha chegar a liderança do seguimento FV comparando e associando a realidade brasileira.

Ao final desse trabalho utilizou-se da construção de um modelo hipotético de instalação de sistema fotovoltaico *on-grid*, considerando valores de consumo e capacidade geradora para instalação residencial de classe baixa na cidade de Barão de Cocais; onde dois cenários financeiros são considerados: o primeiro é o cenário atual onde o PL nº 5829/2019 ainda não foi aprovado e um segundo cenário após a aprovação do projeto de lei. Para a construção dos cenários foram necessários

- Consumo anual da residência: O consumo anual da residência foi calculado com base no histórico de contas de energia adquiridos no aplicativo da distribuidora de energia (CEMIG) de novembro de 2020 a novembro de 2021.
- Coordenadas de irradiação anual: Com base no site Google Earth foi possível obter as coordenadas geográficas da residência analisada e com esses dados no site do

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2021) é possível obter os valores de irradiação mensal.

- Ângulo de inclinação: Também no site do CRESESB é fornecido o cálculo do ângulo de inclinação para maximizar a média anual de irradiação no local selecionado.
- Dimensionamento do sistema fotovoltaico: para dimensionar o sistema FV, ou seja, encontrar o número de painéis necessários é preciso estimar a potência demandada pela instalação, valor de potência de cada painel e área a ser instalado.

O primeiro passo é saber o valor médio de horas diárias de irradiação solar útil que pode ser obtido no site CRESESB, em seguida o valor de perdas a ser considerado, nesse trabalho utilizou-se 80% que é o valor DGS e finalmente aplicar esses valores nas equações 3.1 e 3.2 obtidas em (LR et al.,)

$$Potência\ painéis = \frac{consumo\ diário}{Tempo\ exposição\ solar \times Rendimento} \quad (3.1)$$

$$Quantidade\ de\ painéis = \frac{Potência\ necessária\ dos\ painéis}{Potência\ do\ painel} \quad (3.2)$$

Com a quantidade de painéis calculada, foi levantada a lista de materiais necessários pra uma instalação fotovoltaica *on-grid* com base no trabalho de (LR et al.,).

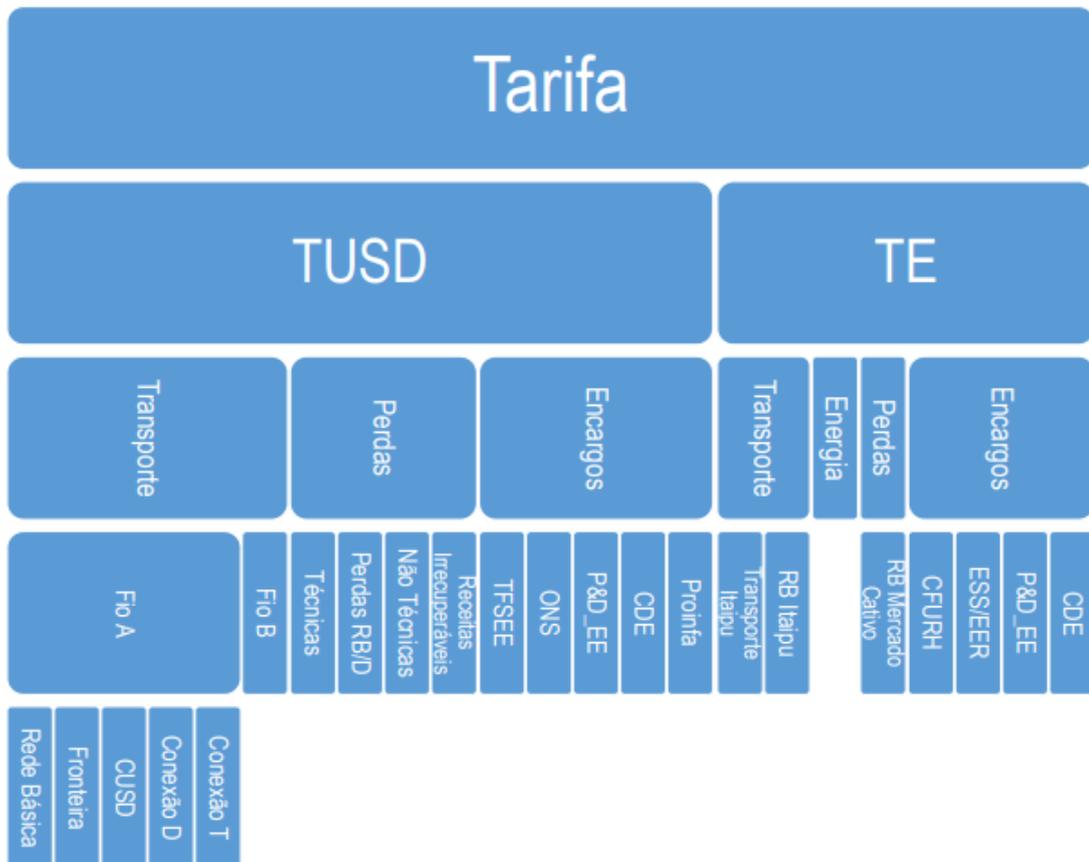
- Orçamento: Com a lista de materiais pronta foi realizado alguns orçamentos em sites especializados em materiais de instalações FV e a partir daí foram escolhidos valores médios para elaborar a planilha de orçamento. Também foi listado os valores do serviço de integração disponíveis no *Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída 1º Semestre de 2021* da Greener.
- Investimento e retorno: Ao final desse trabalho realizou-se um comparativo dos dois cenários: a norma vigente REN nº 482/2012 e uma possível aprovação do PL nº 5829/2019. Com os valores de investimento da instalação fotovoltaica estimou-se a forma de compensação em ambos os cenários para encontrar o *payback* e também o valor de taxa de disponibilidade para assim comparar os dois cenários.

4 Resultados e Discussão

4.1 Necessidade da revisão da REN N° 482/2012

Antes de explicar a necessidade da ANEEL em revisar a REN n°482/2012, é necessário entender como é tarifada a conta de energia para o consumidor de baixa tensão. A tarifa de energia elétrica é constituída por duas componentes básicas que se subdividem em várias outras como é mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Composição da Tarifa de Energia Elétrica



Fonte: Energês, 2020

As duas componentes principais são a TUSD - Tarifa por Uso do Sistema de Distribuição e a TE - Tarifa de Energia. A TUSD é a responsável pelos serviços atrelados a disponibilidade de energia (disponibilização, manutenção e operação da infraestrutura do setor elétrico) e a TE em grande medida, corresponde ao produto (energia) utilizada pelo consumidor final (DACHERY, 2020).

No cálculo da TUSD é levado em conta os custos de transporte da energia na

transmissão - Fio A responsável por remunerar as transmissoras de energia, na distribuição - Fio B que remunera as distribuidoras, os encargos vinculados ao serviço de distribuição de energia elétrica e as perdas técnicas e não técnicas.

Na parte da tarifa TE são considerados o valor de energia efetivamente consumido pelo cliente e também encargos.

Atualmente o valor de energia gerado pelo consumidor e injetado na rede é abatido integralmente na conta de energia elétrica, isso quer dizer que um consumidor que produz cem por cento da energia gasta no final do mês terá sua conta zerada. De acordo com (SILVA, 2013) esse sistema de remuneração pode não ser tão eficiente, uma vez que ao abater integralmente o valor de energia do consumidor gerador não leva em consideração recursos suficientes para cobrir as despesas eficientes incorridas pelo prestador do serviço.

A revisão da REN nº 482/2012 que está em curso tem como principal objetivo redefinir os parâmetros de compensação de energia injetada no sistema. No texto da (BRASIL ; ANEEL, 2012) não é apresentado desconto do prosumidor com gastos das concessionárias com o fornecimento e disponibilidade de energia, ou seja, se um consumidor injetar a mesma quantidade de energia consumida no sistema ele não terá nenhum valor a pagar ao final do mês. Isso quer dizer que quanto mais consumidores produzirem sua própria energia, menos arrecadação a concessionária terá e como essas concessionárias possuem gastos fixos de geração, transmissão e distribuição esse valor tende a ser repassado aos outros consumidores na forma de taxa de disponibilidade. Do outro lado alega-se que o desenvolvimento da geração distribuída vem gerando inúmeros benefícios econômicos e sociais – dentre os quais se destacam: (i) grandes investimentos durante a grave recessão econômica vivida pelo país; (ii) geração de empregos; e, (iii) a redução do impacto ambiental para a produção de energia, o que é particularmente verdade no caso da geração fotovoltaica, matriz energética que mais se beneficiou dos incentivos concedidos para geração distribuída (GODOI, 2019).

Foi então que no primeiro semestre de 2018 a ANEEL lançou uma consulta pública que teve como objetivo criar um documento chamado Relatório de Avaliação de Impacto Regulatório AIR - nº 04/2018 nesse documento são propostas mudanças na REN nº 482/2012 para se adaptar ao novo modelo de consumo. Em resumo a AIR propõe que os consumidores que se conectarem com a rede de distribuição até o final do ano de 2019 tanto em geração remota como em geração local entrariam nos benefícios da regulação atual por um período de 25 anos a partir do momento da conexão. No caso da geração distribuída local, os consumidores que se conectarem à rede de distribuição entre o início de 2020 e o momento em que se atinja um gatilho no país de um total de 3,365 GW instalados de geração distribuída local, estarão sujeitos à regulação atual pelo período de 10 anos contados de sua conexão à rede (GOMES, 2019). Após o acionamento dos gatilhos a energia injetada no sistema terá um desconto dos valores referentes à Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição TUSD Fio B. No caso da geração remota foram propostos dois

gatilhos: um quando se atingir 1,25GW instalados no país e o outro quando se chegar a 2,13 GW instalados.

A ANEEL espera que até 2035 estejam instalados 39 GW de geração distribuída (22 GW de remota e 17 GW de local), com uma redução do valor total do subsídio cruzado estimado da ordem de 72 bilhões de reais até 2035.

O AIR nº 04/2018 sugere por fim a necessidade de inclusão na revisão regulatória de cinco pontos: i) a melhor distribuição dos custos associados à conexão da geração distribuída remota; ii) a revisão do conceito de cogeração qualificada para a geração distribuída a partir da matriz térmica; iii) possibilidade de comercialização do excedente de geração pelo sistema de *net metering* ao mercado livre; iv) estabelecimento de critérios mais rígidos para identificação de divisão de plantas para sua qualificação dentro dos limites de geração distribuída; e, v) possibilidade de alocação de créditos de um mesmo consumidor em redes distribuidoras diversas daquelas em que a geração distribuída está conectada (GOMES, 2019).

Juntamente com a AIR, está em análise o modelo tarifário aplicado aos consumidores do grupo B (unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV). Atualmente nesse grupo a tarifa aplicada é denominada tarifa monômnia volumétrica, isso significa que o valor monetário de energia cobrado do consumidor dependerá exclusivamente da quantidade de energia elétrica consumida. A concessionária possui gastos com geração, transmissão e distribuição da energia e por isso além do valor de energia consumida é cobrada também uma taxa mínima denominada taxa de disponibilidade.

Com os incentivos ao uso consciente de energia, hábitos de eficiência energética e inserção da geração própria o consumo de energia elétrica da rede tende a diminuir enquanto os custos de disponibilidade para a concessionária permanecem os mesmos, isso faz com que seja necessário um novo modelo de tarifação para que sejam atendidas as necessidades das concessionárias com o menor impacto ao consumidor final. O relatório realizado pela ANEEL visa especificar e caracterizar a chamada Tarifa Binômnia que é composta por uma parcela fixa e outra proporcional ao consumo de energia. A parcela fixa tem como característica uma menor variação com o consumo de energia ao longo do tempo, resultando em uma receita fixa.

4.2 A proposta da ANEEL

Em 22 de janeiro de 2019 a ANEEL abriu uma consulta pública CP 25/2020 para colher contribuições de todos impactados pela geração distribuída e pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). O objetivo foi obter informações para que assim pudesse realizar a Análise de Impacto Regulatório (AIR) causada pela REN nº 482/2012.

A partir da AIR criou-se um documento que teria como objetivo: "*Apresentar a*

análise das contribuições da Consulta Pública CP nº 25/2020 e a proposta de revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída, estabelecidas pela Resolução Normativa REN nº 482/2012 e pela Seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição PRODIST. Trata-se da Atividade nº 1 da Agenda Regulatória da ANEEL para o biênio 2021-2022, aprovada pela Portaria 6.606, de 8/12/2020."

O principal ponto desse documento foi a proposta de um novo modelo tarifário baseado em 6 cenários onde se adicionam progressivamente as tarifas de energia uma a uma.

- Alternativa 0 – Cenário atual: a compensação da energia injetada na rede se dá por todas as componentes da TUSD e da TE;
- Alternativa 1 – Incide Fio B: a componente Transporte Fio B incidiria sobre toda a energia consumida da rede. As demais componentes tarifárias continuariam incidindo sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede.
- Alternativa 2 – Incide Fio A e Fio B: as componentes referentes ao Transporte (Fio A e Fio B) incidiriam sobre toda a energia consumida da rede. As demais parcelas da tarifa continuariam incidindo sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede.
- Alternativa 3 – Incide Fio A, Fio B e Encargos: equivalente à alternativa anterior, mas incluindo a parcela de Encargos da TUSD entre as componentes que seriam aplicáveis a todo o consumo de energia registrado na unidade.
- Alternativa 4 – Incide toda a TUSD: com esta alternativa, as componentes da TE incidiriam sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede, de maneira que a TUSD continuaria incidindo sobre toda a energia consumida da rede.
- Alternativa 5 – Incide toda a TUSD e os Encargos e demais componentes da TE: neste caso, apenas a componente de Energia da TE incidiria sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede. As demais componentes tarifárias incidiriam sobre toda a energia consumida da rede.

Para que ocorra a revisão de uma norma regulamentadora alguns procedimentos são necessários. A Figura 11 ilustra a linha do tempo de uma revisão de norma regulamentadora. Inicialmente realizou-se uma consulta pública onde pontos considerados relevantes foram colocados em questão e o resultado dessa conquista foi analisado por setores internos da ANEEL para então ser elaborada uma minuta da revisão que aguarda pra ser aprovada pela diretoria da ANEEL.

Figura 11 – Linha do tempo tramitação da Revisão 482/2012



Fonte: Grenner, 2021

4.3 O Projeto de Lei Nº 5.829/2019

Devido a revisão da REN nº 482/2012 entre os anos de 2018 e 2019 por meio de pesquisas e consultas públicas vários debates foram realizados sobre a norma vigente. Como resultado dessas discussões viu-se a necessidade da criação de uma Lei Federal para o mercado de micro e mini geração distribuída (MMGD), ou seja, a criação de um marco legal para a MMGD no Brasil. Essa movimentação se dá concomitante com a revisão da resolução normativa pela ANEEL de modo que construíram-se dois caminhos: a revisão da REN pela ANEEL e o desenvolvimento de um marco legal para a MMGD.

Como já citado o marco legal tem como objetivo criar uma lei federal na qual serão estabelecidas regras de compensação para o mercado. É muito significativa a criação de uma Lei Federal uma vez que fortalece e eleva o mercado MMGD para uma posição mais estratégica na política nacional além de colocar o Brasil um passo a frente no processo de transição energética de carbono fóssil para carbono zero. O marco legal representará uma garantia legal trazendo para os consumidores e concessionárias segurança jurídica, estabilidade e previsibilidade.

O Projeto de Lei Nº 5.829 de 2019 que trata do marco legal para GD e para que seja aprovado é necessário que o projeto tramite pelas casas legislativas do congresso nacional, Câmara dos Deputados e Senado Federal e finalmente passa pela avaliação da Presidência da República. O Projeto de Lei foi apresentado em novembro de 2019, mas só um ano depois após receber prioridade foi analisada pela Comissão de Minas e Energia na Câmara dos Deputados. No momento o projeto aguarda para votação e, após ser votado começa a tramitação no senado para que se aprovado irá para sanção presidencial. Importante pontuar que caso haja alguma modificação no Senado a proposta volta a câmara dos deputados para que as mudanças sejam aprovadas ou não. Na Figura 12 é possível analisar um resumo da tramitação da proposta.

Figura 12 – Linha do tempo tramitação do marco legal



Fonte: Grenner, 2021

4.4 Comparativo de cenários

Nessa sessão realizou-se um comparativo dos principais pontos modificados na revisão da REN nº 482/2012 e como ficarão no PL 5829/2012.

- Potência instalada

Os limites de potência instalada para classificação das instalações como microgeração ou minigeração são muito importantes, pois é a partir dessa classificação que são aplicadas as regras vigentes em cada modalidade.

Na norma atual a microgeração compreende instalações com potência igual ou menor que 75kW e a minigeração instalações com potência maior que 75kW e menor que 5MW. A minuta da REN 482/2012 não modifica esses limites. No caso do Projeto de Lei 5829/2019 a microgeração distribuída permanece para valores menores que 75kW e no caso da minigeração existe uma condição onde para fontes despacháveis (onde existe um controle de geração e injeção de energia na rede) o limite fica entre 75kW e 5MW e fontes não despacháveis (onde não se controla o momento de injeção na rede) o limite mudaria entre 75kW e 3MW. No caso de uma instalação fotovoltaica *on-grid* classificaria-se como minigeração até 3MW. O resumo é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparativo Potência instalada

Potência Instalada		
Regra Atual	Modificação ANEEL	Projeto de Lei
Microgeração Distribuída: menor ou igual a 75 kW Minigeração Distribuída: maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW	Microgeração Distribuída: menor ou igual a 75 kW Minigeração Distribuída: maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW	Microgeração Distribuída: menor ou igual a 75 kW Minigeração Distribuída: maior que 75 kW e menor ou igual a 5MW para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3MW para as fontes não despacháveis.

- **Compensação**

Uma das principais motivações para as revisões da REN 482/2012 tem a ver com o sistema de compensação, pois como cita anteriormente ele se torna ineficiente em cenários de maior aumento de instalações ligadas a rede. Na resolução atual todo o valor de energia gerado é compensado em forma de créditos para o consumidor. Na alteração proposta pela ANEEL a compensação considera apenas a componente Tarifa de Energia TE gerada pela instalação equivalente a 42% do valor total da tarifa de energia. No PL 5829/2019 a compensação considera todas componentes exceto a TUSD fio B (30,8%). No caso de microgeração de pessoas jurídicas ou produtor rural compensa-se todas as componentes exceto 50% da TUSD do fio B. E ainda na modalidade de autoconsumo remoto com potência maior que 500kW ou geração compartilhada a compensação considera todas componentes exceto a TUSD fio B, 40% das TUSD fio A, TFSEE e P&D. A Tabela 2 mostra o comparativo das duas modificações.

Tabela 2 – Comparativo Compensação

Compensação		
Regra Atual	Modificação ANEEL	Projeto de Lei
100%	Compensação considerando APENAS a componente TE energia	Compensa todas componentes exceto TUSD fio B. Para micro GD de unidade consumidora de pessoa jurídica e produtor rural, compensa todas componentes menos 50% da TUSD fio B. No auto-consumo remoto com potência menor que 500kW ou geração compartilhada compensa todas componentes EXCETO TUSD fio B, 40% TUSD fio A, TFSEE e P&D

- Custo de disponibilidade

O custo de disponibilidade tem a ver com um valor que o cliente deve pagar a concessionária caso não alcance um valor mínimo de consumo energia. A Tabela 3 mostra que no cenário proposto pela modificação da ANEEL essa tarifa mínima é extinta, diferente do projeto de Lei onde deve-se ter um consumo maior que a disponibilidade para zerar esse valor.

Tabela 3 – Comparativo Custo de Disponibilidade

Custo de disponibilidade		
Regra Atual	Modificação ANEEL	Projeto de Lei
Monofásico: 30kW/h Bifásico: 50kW/h Trifásico: 100kW/h	Acaba com a tarifa mínima	Se a potência consumida for maior que potência mínima de disponibilidade o valor é zero. Caso o consumo seja menor, paga-se a diferença entre as duas.

- Demanda contratada

Demanda contratada é o valor mínimo que o consumidor do grupo A deve pagar na conta de luz. A Tabela 4 mostra que, para ambos os casos a TUSDD é substituída pela TUSDg. Sendo a TUSDD a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição aplicada à Demanda Contratada e o TUSDg é a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição aplicada à Geração.

Tabela 4 – Comparativo Demanda Contratada

Demanda Contratada (Consumidores do Grupo A)		
Regra Atual	Modificação ANEEL	Projeto de Lei
Demanda contratada x TUSDd (R\$/kW)	Demanda contratada x TUSDg (R\$/kW)	Demanda contratada x TUSDg (R\$/kW)

4.5 Impactos econômicos no mercado fotovoltaico

Se comparado com a Alemanha, um dos líderes em geração FV, o lugar menos ensolarado do Brasil recebe 40% a mais de radiação que o país europeu mas apesar disso a Alemanha encontra-se em estágio muito mais avançado tanto de pesquisa quanto de instalações (MOREIRA; SOUZA, 2020). O Brasil possui grande potencial fotovoltaico e o questionamento que fica é porque esse potencial não é utilizado de forma ampla?

4.5.1 O caso da Alemanha

O mercado fotovoltaico alemão teve início na década de 1970 quando se deu uma crise de petróleo, segundo (SOUZA, 2009) essa crise provocou cobranças da população entorno de investimentos em outras fontes de energia e então através de subsídios governamentais aos poucos foram se desenvolvendo pesquisas nas áreas fotovoltaica e eólica.

Com o objetivo de servir como vitrine para incentivo, investimento e formação de mercado, em 1988 o governo alemão lançou dois programas que foram muito importantes para a consolidação do mercado. O primeiro foi direcionado a energia eólica e tinha como meta instalar 100 MW dessa energia no país. O segundo programa foi o programa 1000 telhados fotovoltaicos que, como o nome diz, previa a instalação de painéis solares em 1000 telhados alemães. Esses programas foram de grande importância para o aquecimento do mercado além disso ocasionaram na criação de uma estrutura legal para a tarifação diferenciada da energia gerada por fontes renováveis o que talvez seja o principal impacto desses programas.

Em 1990 o parlamento alemão aprovou outra grande medida para o mercado de energias renováveis que foi a *Electricity Feed-in Law* que é uma Lei que trata da injeção de energia gerada por consumidores na rede elétrica. Essa lei obrigou as concessionárias de energia a conectarem geradores que utilizassem fontes renováveis além de comprarem energia eólica e solar gerada por consumidores a uma tarifa-prêmio superior ao valor de tarifa normal. A *Feed-in Law* também deu diversos incentivos financeiros a investidores

apesar de menores para energia FV visto que seus custos ainda eram muito altos se comparados a tarifas prêmio.

Segundo (SOUZA, 2009) esses incentivos tiveram alguns principais efeitos: um deles foi uma enorme expansão do mercado de fontes elétricas renováveis de 20 MW em 1989 para 490 MW em 1995. Houve também a formação de uma rede de conhecimento entre fornecedores de turbinas eólicas e componentes para adaptar os componentes das turbinas as necessidades particulares de cada fabricante. E por último o efeito que mais impactou no mercado FV foi o programa 1000 telhados que instalou mais de 2200 instalações fotovoltaicas interligadas a rede e integradas na cobertura de edifícios resultando numa potência total de 5,3 MWp em 1993.

Após esse *boom* inicial no mercado de energias renováveis várias iniciativas foram tomadas para manter os investimentos nessa área e adequar as leis a esse novo mercado, dentre elas pode-se citar a modificação do código federal que regulamentava a tarifação de energia elétrica permitindo que concessionárias fizessem contratos com cobertura de custo com fornecedores de eletricidade gerada por fontes renováveis mesmo que os custos totais excedessem o total de custo evitados a longo prazo dessas concessionárias. Além disso vários estados deram incentivos próprios para a fomentação do mercado de energia solar e como consequência o mercado solar foi crescendo exponencialmente no país, pois a partir dessas iniciativas novas empresas de pequeno porte foram induzidas a entrarem no mercado e proporcionou a várias cidades criarem leis locais de *feed in* revelando um grande interesse do público por energias FV (SOUZA, 2009)

Como está acontecendo agora no Brasil, em 1999 na Alemanha ocorreu a reforma da *Feed-in Law* que ocasionou no Código das Fontes Renováveis de Energia (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) que foi aprovada em 2000. Alguns pontos de destaque da EEG foram:

- O valor total nacional a ser pago pela geração de energia renovável seria distribuído por todas as concessionárias evitando a sobrecarga de alguma delas;
- Foram criadas tarifas específicas para cada tipo de geração baseado nos custos para a geração da energia;
- Para a energia solar as tarifas foram garantidas a investidores por 20 anos até que a potência de 350MWp fosse atingida;
- Tarifas decrescentes a cada ano para novas instalações FV.

A aprovação da EEG fez com que no ano de 2000 a Alemanha se tornasse líder mundial em geração FV sendo o país referência em produção de células e módulos fotovoltaicos. Também ficaram previstas revisões na EEG a cada 4 anos para adaptações e revisões de tarifas.

4.5.2 Possíveis modelos de negócios brasileiros

Em meio a um novo nicho de mercado surgiram diversos modelos de negócios específicos para a geração fotovoltaica. É possível identificar uma evolução nestes modelos, que caminham em concomitância com o crescimento da indústria fotovoltaica e do mercado. Como a geração fotovoltaica já está desenvolvida há mais tempo nos Estados Unidos e em países da Europa nesses locais já existem modelos de negócios mais consolidados para análise. Segundo (FRANTZIS et al., 2009) nos Estados Unidos esse modelo possui três gerações: a Geração Zero, a Primeira e a Segunda. A Geração Zero marca o início da implantação de sistemas fotovoltaicos onde o consumidor final era o principal responsável pelos custos de materiais e instalação do sistema, devido a isso apenas um pequeno grupo com capital e geralmente interessado em economia financeira e questões ambientais adquiriram esses sistemas. Nessa geração a concessionária de energia (distribuidora) é passiva, fornece apenas o serviço de *net metering*, e padrão de conexão simplificado (VILELA, 2014). A Primeira Geração engloba um mercado maior, pois os investimentos de instalação e manutenção dos sistemas FV realizados por terceiros e isso atrai um público maior, pois uma grande barreira para a adoção desses sistemas é a necessidade de um investimento inicial. A segunda geração de modelos de negócios fotovoltaicos é a que os Estados Unidos está vivendo atualmente onde existem investimentos e leis consolidadas facilitando assim uma maior integração da rede elétrica com os sistemas fotovoltaicos. A concessionária se envolve, cada vez mais, com a geração FV, tornando os modelos de negócios de Segunda Geração, os modelos do futuro (FRANTZIS et al., 2009).

É possível encontrar vários modelos de negócios na literatura uma vez que os mesmos são criados para atender as condições e usufruir dos benefícios existentes em cada país e região. No Brasil esses modelos ainda estão em desenvolvimento e por isso é necessário um estudo mais aprofundado.

A seguir serão citados três dos modelos mais tradicionais e com maior adaptabilidade para o mercado brasileiro.

Geração compartilhada: A geração compartilhada também conhecida como *Community Solar ou Shared Solar* é um modelo inovador capaz de conectar as partes interessadas em energia renovável em um único grupo. Desse modo, ter-se-ão diferentes maneiras de instalar, financiar e vender a energia dos sistemas (FELDMAN D.; BROCKWAY M.; ULRICH E.; MARGOLIS, 2015). Esse modelo consiste em múltiplos usuários, que não possuem local ou recurso adequado para instalar um sistema fotovoltaico, podendo adquirir uma parcela da energia gerada de um sistema instalado em outro local com condições adequadas para a geração (SILVA, 2007). Esse modelo mostra-se muito promissor devido aos custos serem divididos entre associados de uma cooperativa ou condomínio além de serem ideais para consumidores que não possuem espaço ou recurso para instalação de painéis fotovoltaicos. O nicho de mercado desse modelo é composto por locatários, proprietários de condomínios, empresas comerciais que alugam os edifícios, telhados com

sombreamento, telhados que necessitam de modificações estruturais para receber um sistema fotovoltaico e consumidores que planejam mudar de residência (VILELA, 2014).

Essa modalidade é possível e possui embasamento regulatório, mas não há informações adicionais que ampliem o conhecimento sobre o assunto. Faz-se necessário definir o modo pelo qual o consumidor acessa a geração compartilhada, seja comprando painéis, alugando-os ou investindo em um sistema do tipo. Falta também a operação regular e comprovada de alguns desses sistemas (casos de sucesso), de forma a proporcionar confiança a novos usuários, que não desejam correr riscos em seus investimentos (SILVA, 2007).

Modelo Terceiros: No modelo de Terceiros ou *Third-Party*, empresas adquirem o sistema fotovoltaico e instalam em edificações de outros proprietários, essas empresas são as responsáveis pela operação e instalação dos sistemas FV e a energia gerada no sistema pertencerá elas. Essa energia pode ser vendida para os ocupantes do imóvel ou a empresa pode optar por alugar o sistema aos ocupantes o que garante uma renda fixa mensal/anual.

Os donos do imóvel não precisam de um capital inicial para a compra e instalação do sistema e também não precisam se preocupar com o retorno do investimento, e essas são grandes vantagens desse modelo.

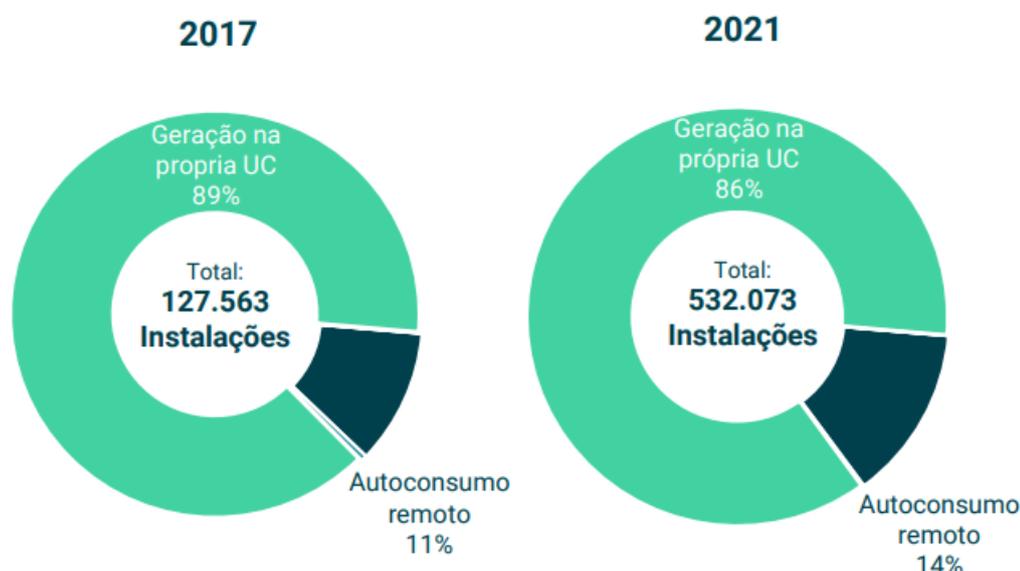
A empresa norte-americana Sun Run utiliza desse modelo de negócios, a empresa instala painéis solares em casas e condomínios de graça ou por um preço simbólico — em torno de 1000 dólares por residência. Em troca, os clientes comprometem-se a comprar a energia gerada em seus telhados por um determinado período de tempo. (EXAME, 2019).

Modelo das Distribuidoras de Energia: As distribuidoras de energia não devem ver a geração distribuída como uma ameaça ao seu mercado e sim como um aliado, pois é possível desenvolver modelos de negócios que beneficiem ambos os envolvidos. As concessionárias têm papel fundamental na expansão do sistema fotovoltaico, seja através de subsídios para clientes que injetam a energia gerada no sistema ou mesmo na integração do sistema fotovoltaico para a expansão da rede. Nos Estados Unidos já existem empresas especializadas em desenvolver modelos de negócios para concessionárias de energia auxiliando-as na inovação e na criação de valor a partir da geração distribuída fotovoltaica (VILELA, 2014).

O modelo das distribuidoras ou *Utilities* é um modelo onde são oferecidos duas opções as concessionárias: atuar do lado do consumidor ou do lado da concessionária. Ao optar por atuar do lado do consumidor o sistema FV em si é propriedade do consumidor e a concessionária oferecerá serviços como manutenção, consultoria, financiamento e operação dos ativos. O modelo do lado do consumidor, representa uma chance para a concessionária, de transformar uma possível erosão de receita, em oportunidade (RICHTER, 2013). Oferecer novos serviços, é uma maneira de criar e capturar valor (VILELA, 2014). No segundo modelo a ideia é que as concessionárias sejam proprietárias de grandes usinas fotovoltaicas e a energia gerada é vendida ao consumidor, esse modelo se assemelha ao que temos hoje no Brasil com a diferença que a grande maioria das usinas são hidrelétricas.

Segundo (MIRANDA, 2019) no Brasil os modelos de propriedade individual tem sido mais populares basta analisar os números de unidades de geração junto à carga e do autoconsumo remoto, entretanto modelos de compartilhamento mostraram-se mais favoráveis quando o objetivo é reduzir o investimento inicial ou mesmo em casos do consumidor não possuir imóvel próprio ou algum empecilho em instalar módulos em sua residência. No Brasil o autoconsumo remoto aos poucos vem crescendo como é mostrado na Figura 13 de 2017 a 2021 teve um crescimento de 11% para 14% do total de geração.

Figura 13 – Modalidade de geração



Fonte: Greener,2021

Os principais entraves brasileiros para o mercado de compartilhamento vem da a burocracia para se estabelecerem cooperativas ou consórcios e menos incentivos fiscais do que os concedidos aos projetos de propriedade individual. Diferente do *Feed-in Law* da Alemanha, no Brasil a regulamentação não estabelece que a concessionária compre a energia excedente gerada pela unidade consumidora, apenas gera créditos para o prosumidor. Sendo assim, não há incentivos para que os consumidores que geram junto à carga produzam mais energia do que o necessário para abater seu consumo dentro do período em que os créditos gerados são válidos.

4.5.3 Impactos econômicos

A forma que a concessionária de energia fatura pela energia gerada por sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) pode fazer uma grande diferença na viabilidade econômica desses sistemas. (RODRÍGUEZ; JANNUZZI, 2002).

Um dos tipos de faturamento é através do sistema *Net Metering*, nele a energia produzida pelo consumidor é utilizada para abater o consumo energético da unidade do proprietário. Se houver saldo positivo de energia, ou seja, produzir mais do que consumir, é descontado na próxima conta de energia ou esses créditos vão se acumulando caso haja excesso.

Do ponto de vista do consumidor o sistema tarifário de *Net Metering* é eficiente, porém pouco estimulante. Isso porque esse sistema zera a conta de energia mas como depende da tarifa de energia da concessionária traz um retorno mais lento que para efeito de cálculo pode chegar até 45 anos mais que o dobro do tempo de vida média do sistema (20 anos). Jannuzzi cita que quando se avalia a concessionária percebe-se que esse retorno é bem pequeno causando pouco impacto no montante total.

Outro tipo de faturamento é o *Feed in Tariff* onde as tarifas são determinadas por contratos de longo prazo. O objetivo desses contratos é estabelecer um tempo para que as concessionárias possam investir em fontes alternativas, sem elevar seus custos. Neste sistema é estabelecida uma quota de energia que é, obrigatoriamente, comprada pelas centrais energéticas. Esse valor é repassado aos consumidores por elas atendidas e dividido igualmente entre eles. Dessa forma, o aumento da taxa de energia fica menor do que as contas tradicionais de energia elétrica (ENERGIA, 2021).

No modelo *Feed In* Jannuzzi observa que existe uma um leque maior para adequação das tarifas para cada cenário permitindo seguir as tendências do mercado, esse modelo teve grande sucesso na Europa devido a adaptabilidade dos cenários de mercado.

O sucesso do mercado de energia fotovoltaica no Brasil depende de mecanismos de incentivo como concessão de subsídios, novas formas de tarifação que levem os consumidores a investir em SFCR e novas ideias que contemplem a realidade do país. Tarifações de forma que o consumidor possa revender a energia produzida a outras residências tem se mostrado bem promissoras em outros países pois motiva investidores a entrar nesse mercado.

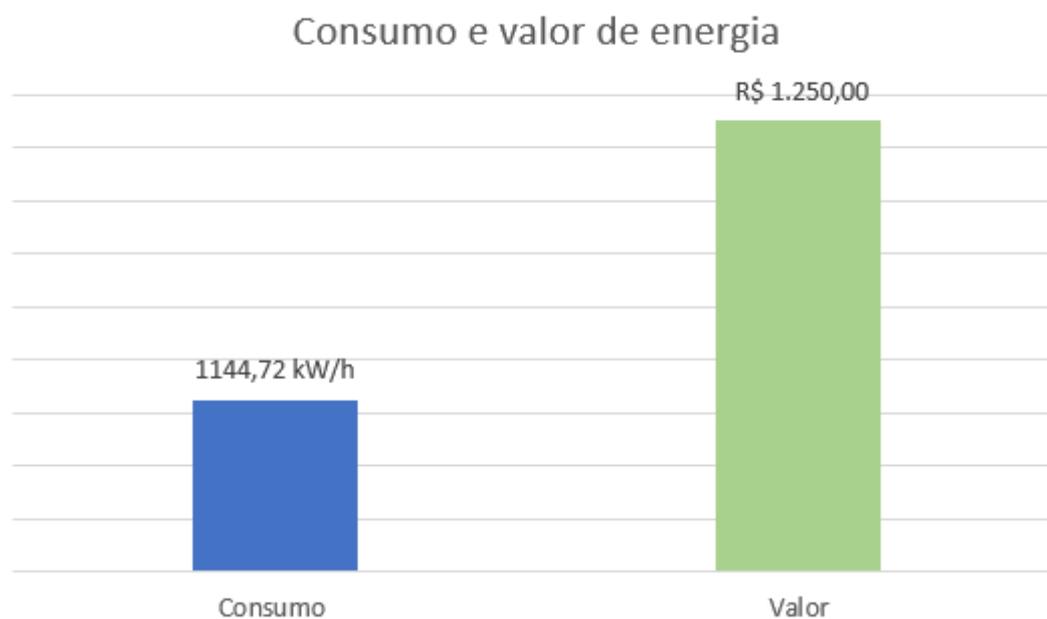
4.5.4 Comparativo cenários

Nesse tópico foi realizado um comparativo de um mesmo cenário hipotético para a situação atual REN nº 482/2012 e uma possível aprovação da PL nº 5829/2019. A situação escolhida foi uma instalação residencial familiar de 4 pessoas adultas na cidade de Barão de Cocais - Minas Gerais. Os dados foram obtidos a partir de dados da concessionária de energia - CEMIG e empresas fotovoltaicas especializadas.

4.5.4.1 Consumo anual da residência

O consumo anual da residência foi obtido através do aplicativo CEMIG Atende disponível para smartphones. Os dados de consumo em potência (kW/h) e em valores financeiros (R\$) médios são mostrados na Figura 14.

Figura 14 – Consumo médio anual e valor médio anual



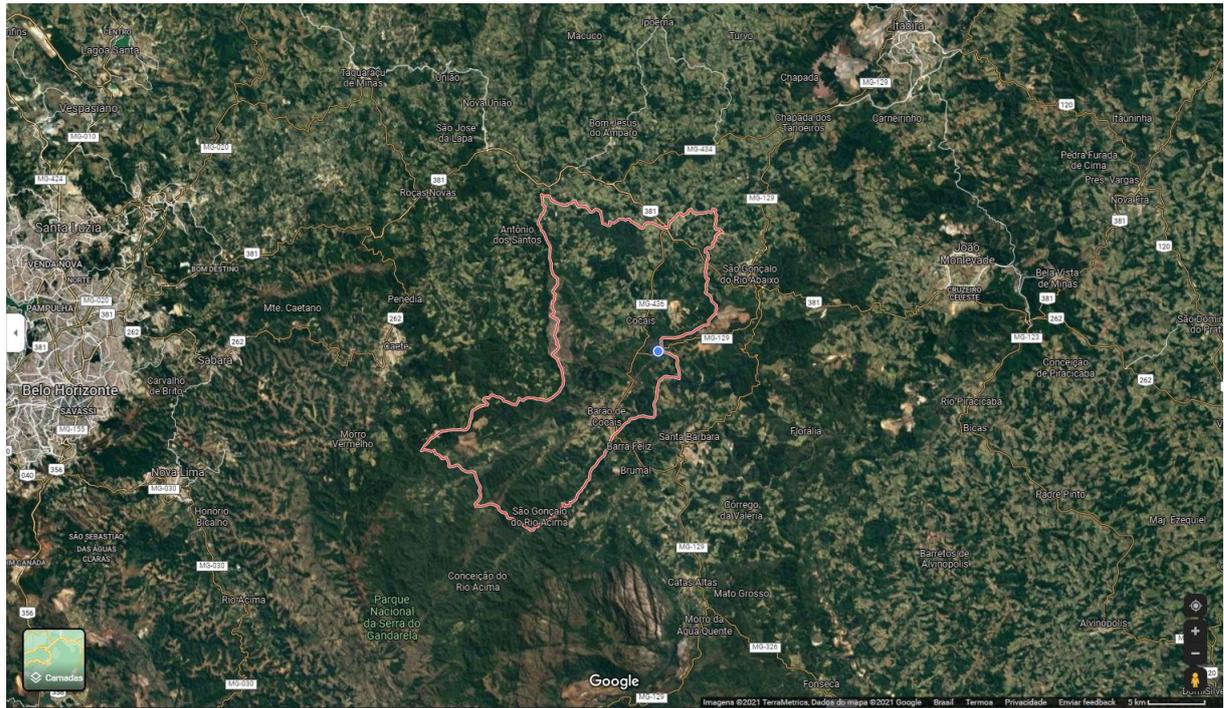
Fonte: Autor

O valor utilizado para os cálculos é o valor de média simples desse consumo sendo 1144,72 kWh. Em relação ao valor da conta de energia o valor médio ficou em torno de R\$ 1250,00.

4.5.4.2 Coordenadas de irradiação anual

Através do Google Maps obteve-se as coordenadas geográficas da cidade de Barão de Cocais - latitude = 19,94 S e longitude 43,48 O. Com esses valores é possível gerar no site do CRESESB os valores de irradiação solar mensal como mostra a Figura 15.

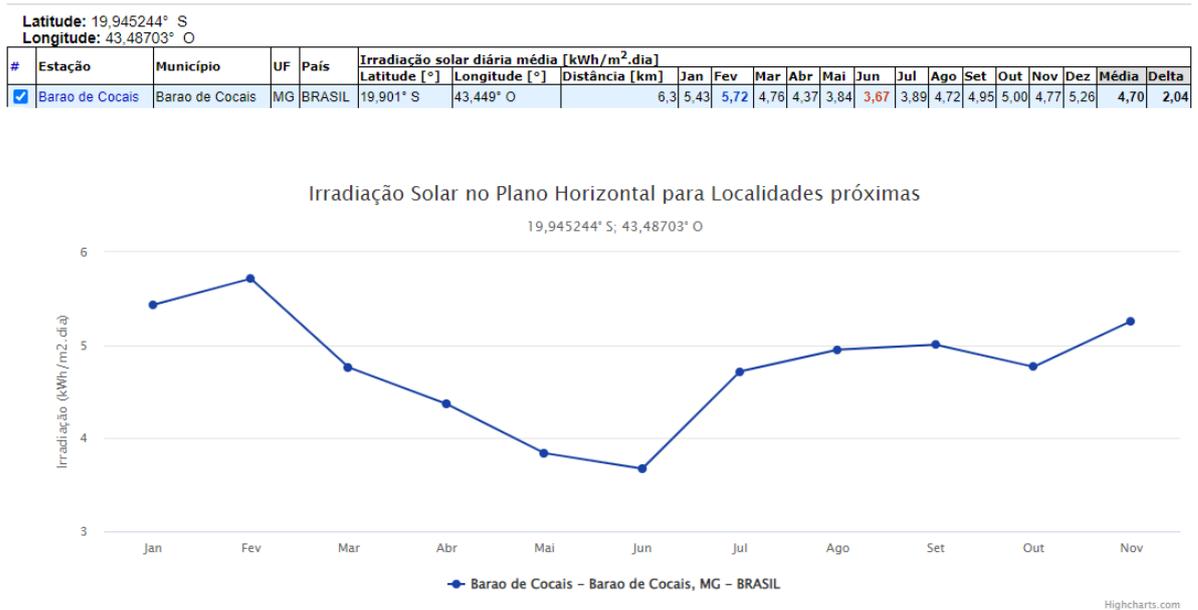
Figura 15 – Localização geográfica Barão de Cocais



Fonte: Google Maps, 2021

Com esses valores é possível gerar no site do CRESESB um gráfico dos valores de irradiação solar mensal mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Irradiação Solar - Barão de Cocais



Fonte: CRESESB,2021

Os valores mostrados de irradiação mensal estão em kWh/m².dia, é possível detectar

o maior valor 5,72 em fevereiro e o menor 3,67 em junho.

4.5.4.3 Ângulo de inclinação dos painéis

O cálculo do ângulo de inclinação dos painéis também é realizado pelo site do CRESESB, esse valor é muito importante pois afeta no desempenho dos painéis. Na Figura 17 é mostrada a tabela gerada pelo site.

Figura 17 – Ângulo de inclinação painéis

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Barao de Cocais
Município: Barao de Cocais , MG - BRASIL
Latitude: 19,901° S
Longitude: 43,449° O
Distância do ponto de ref. (19,945244° S; 43,48703° O): 6,3 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,43	5,72	4,76	4,37	3,84	3,67	3,89	4,72	4,95	5,00	4,77	5,26	4,70	2,04
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	20° N	4,96	5,46	4,84	4,82	4,56	4,56	4,76	5,43	5,21	4,88	4,43	4,76	4,89	1,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	19° N	5,00	5,48	4,85	4,80	4,53	4,52	4,73	5,41	5,21	4,89	4,45	4,79	4,89	1,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	18° N	5,03	5,50	4,85	4,79	4,51	4,49	4,69	5,38	5,20	4,91	4,47	4,82	4,89	1,03

Fonte: CRESESB,2021

O ângulo de inclinação escolhido foi de 19° Norte pois apresenta o maior valor de média anual.

4.5.4.4 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Com os dados levantados aplica-se a equação 4.1 para encontrar a potência necessária para os painéis

$$Potência\ painéis = \frac{consumo\ diário}{Tempo\ exposição\ solar \times\ Rendimento} \quad (4.1)$$

$$Potência\ painéis = \frac{(1144,72/30)}{4,7 \times 0,8} \quad (4.2)$$

$$Potência\ painéis = 10,14\ kWp \quad (4.3)$$

Sendo 1,34 kWp o valor de potência máxima que as placas fotovoltaicas devem fornecer para o inversor. De acordo com (LR et al.,) o painel escolhido para compor o sistema foi de 345 W. Logo utilizando a equação 4.4 temos:

$$Quantidade\ de\ painéis = \frac{Potência\ necessária\ dos\ painéis}{Potência\ do\ painel} \quad (4.4)$$

$$Quantidade\ de\ painéis = \frac{10140}{345} \quad (4.5)$$

$$Quantidade\ de\ painéis = 29,39\ painéis \quad (4.6)$$

Assim, para atender a demanda do projeto, serão necessários 30 painéis.

4.5.4.5 Orçamento

O orçamento foi realizado com base em (LR et al.,) em na loja online Minha Casa Solar. Na Tabela 5 é possível observar os materiais e valores.

Tabela 5 – Orçamento de materiais para instalação fotovoltaica

Orçamento de materiais - Kit fotovoltaico			
Item	Unidade	Quantidade	Valor unit.
Painel Solar 345W Monocristalino Canadian Solar	un.	30	R\$ 829,00
Inversor/Gerador Solar On-Grid 12KW Trifásico 380V SG12RT - SUNGROW	un.	1	R\$ 8167,62
Stringbox Inversor	un.	1	R\$ 1.301,07
Conector MC4	un.	30	R\$ 18,51
Cabo solar CC 6mm ²	m	16	R\$ 8,08
Suporte Painel Solar 4 Módulos de 240W a 455W Telha Cerâmica	un.	8	R\$ 596,15

O valor total de materiais ficaria em torno de R\$ 39792,47 o próximo passo foi obter os valores de instalação e serviços de integração na rede.

Segundo Greener o valor final para o cliente em um sistema como do apresentado nesse trabalho é em média R\$ 4,29 por kW para um sistema FV de 12kWp. Esse valor foi utilizado para o cálculo dos serviços de integração considerando a instalação de 10140 Wp e o resumo do orçamento encontra-se na Tabela 6. (CSS, 2018)

Tabela 6 – Orçamento de serviços e materiais para instalação fotovoltaica

Orçamento instalação fotovoltaica	
Serviço	Valor
Preço final para o cliente	R\$ 43500,60

Sendo assim o valor total do orçamento fica em R\$ 43500,60. Para uma instalação de 10,14Wp mensais.

4.5.4.6 Investimento e retorno

Agora serão comparados os dois cenários: um com as regras atuais da REN n°482/2012 e outro com a possível aprovação da PL n° 5829/2019.

Potência instalada: Em relação a potência instalada, em ambos os cenários a instalação

se enquadra como microgeração distribuída afinal temos uma potência menor que 75kW.

Compensação: No cenário atual com a aplicação da REN nº 482/2012 o cálculo do *payback* foi realizado de acordo com (LR et al.,), o investimento total de R\$ 11716,81 dividido pelo valor de economia mensal para obter a quantidade de meses de retorno do investimento como mostra a equação 4.7.

$$Payback_{RN482} = \frac{\text{Valor do investimento}}{\text{Economia mensal}} \quad (4.7)$$

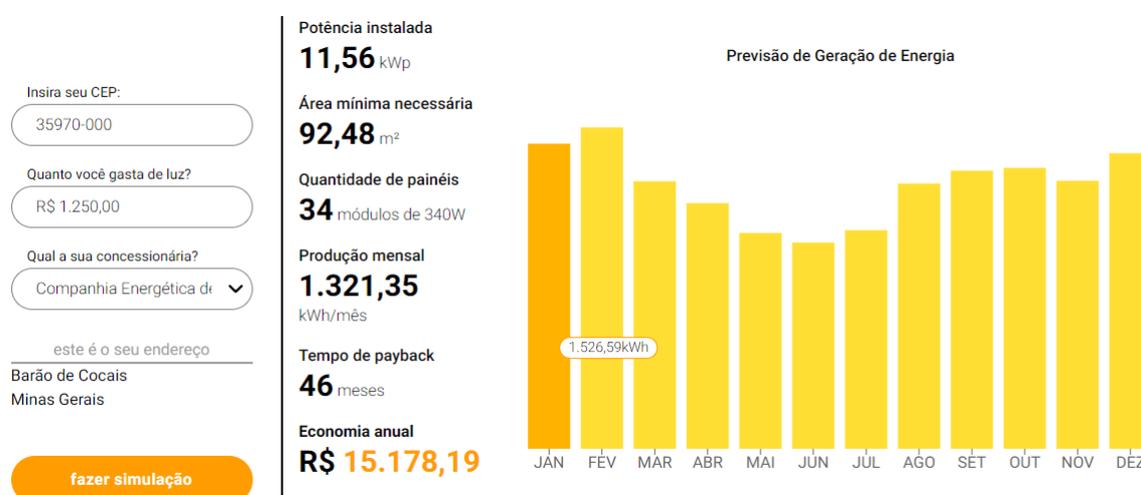
$$Payback_{RN482} = \frac{43500,60}{1250} \quad (4.8)$$

$$Payback_{RN482} = 34,80 \text{ meses} \approx 3 \text{ anos} \quad (4.9)$$

O tempo de *payback* é de 34,8 meses ou seja, aproximadamente 3 anos.

Afim de confrontar o resultado encontrado utilizou-se o simulador do Portal Solar (SOLAR, 2021b) inserindo o valor médio de energia elétrica obtendo assim o valor de *payback* como mostra a Figura 18.

Figura 18 – Simulador de payback



Fonte: Portal Solar, 2021

O *payback* nesse caso fica em torno de 3,8 anos, nesse estudo será aproximado para 3 anos.

Para o caso da aprovação do PL 5829/2019 o valor de de *payback* aumenta já que como já mencionado uma vez que as taxas relativas a Tarifa pelo Uso do Sistema de Distribuição - TUSD Fio B serão descontadas dos créditos adicionados a rede. Segundo (GREENER, 2021) a TUSD fio B representa 31,1% da conta de energia em Minas Gerais (CEMIG) sendo assim descontou-se esse valor do retorno financeiro médio mensal de R\$1250 indo para R\$ 861,25. Então utilizando a equação 4.10:

$$Payback_{PL5829} = \frac{\text{Valor do investimento}}{\text{Economia mensal}} \quad (4.10)$$

$$Payback_{PL5829} = \frac{43500,60}{861,25} \quad (4.11)$$

$$\boxed{Payback_{PL5829} = 50,50 \text{ meses} \approx 4,2 \text{ anos}} \quad (4.12)$$

O tempo de payback é de 50,50 meses ou seja, aproximadamente 4,2 anos. Sendo assim fica evidente o impacto que a aprovação do PL nº 5829/2019 poderá causar no mercado de geração distribuída FV.

É importante ressaltar que existe um tempo de adaptação para a nova regra que é de 12 meses a partir da aprovação da lei e ainda assim essa transição será gradual, como mostra a Figura 19 esse aumento é gradativo, mas nesse estudo considerou-se a taxa completa para fim de análise.

Figura 19 – Transição do PL 5829/2019: pagamento gradual da TUSD Fio B



Fonte: Greener,2021

A recomendação de especialistas do setor é de que o melhor momento para se investir numa instalação FV é o atual para que assim o cliente se enquadre na antiga regra e tenha o retorno *payback* mais rápido.

Custo de disponibilidade: Outra mudança que PL nº 5829/2019 traz é em relação ao custo de disponibilidade. Na regra atual o consumidor monofásico é compensado somente até o valor de referência de 30kWh e esse valor é cobrado na conta. Com a aprovação do PL caso o consumo seja maior que o valor de referência ocorre toda a compensação do consumo sem a cobrança do custo de disponibilidade. Em ambos os casos se o consumo for menor que o valor de referência o consumidor paga o custo de disponibilidade.

Assim considerando o consumo médio mensal de 1144,72 kWh o custo de disponibilidade atualmente é cobrado mensalmente sendo R\$ 254,19. Em um ano esse custo será de R\$ 3050,37. Na regra sugerida pelo projeto de lei esse valor seria totalmente abatido pelo injeção de energia na rede, ficando o custo de disponibilidade nulo.

Resumo: Para comparar os cenários elaborou-se a Tabela 7 comparativa do cenário REN 482/2012 e PL 5829/2019.

Tabela 7 – Cenários propostos - comparativo

Cenários propostos - comparativo		
Item	REN 482/2012 (Atual)	PL 5829/2019
Potência Instalada	Microgeração Distribuída	Microgeração Distribuída
Payback	3 anos	4,2 anos
Custo de disponibilidade	R\$ 3050,37/ano	R\$ 0,00/ano

Em ambos os casos em relação a potência a instalação analisada se enquadra na modalidade de Microgeração distribuída no caso do payback para o caso da PL 5829 existe um aumento de 40% de tempo para retorno do investimento e o custo de disponibilidade teve valor na regra atual de R\$ 3057,37 ao ano.

Esse resultado mostra que mesmo considerando o custo de disponibilidade ainda sim com a aprovação do PL nº 5829/2019 o prosumidor analisado terá mais dificuldade em obter o retorno de investimento.

Maestri cita que para que a tarifa dos demais consumidores não fique mais cara em virtude dos prosumidores seria necessária a aplicação de incentivos ou políticas públicas ou até mesmo criação de legislação que aborde a solução do *trade off* expansão da GD e penalização ou encarecimento da modicidade tarifária dos demais consumidores (MAESTRI et al., 2021).

5 Conclusão

A análise dos dados levantados nesse trabalho possibilitou compreender a necessidade de uma revisão na Resolução Normativa nº 482/2012, observando que, por ser um mercado dinâmico e em constante expansão, os pontos tratados em 2012 não mais atendiam as demandas do mercado atual. Através do estudo de caso do mercado alemão traçou-se um paralelo com o mercado brasileiro e se propôs modificações nos modelos de negócios existentes no país. Construindo um cenário hipotético se avaliou os principais impactos que essa modificação causaria a um consumidor médio brasileiro.

Ao realizar estudo dos pontos modificados no Projeto de Lei nº 5829/2019, demonstrou-se a existência de impactos positivos e negativos para o consumidor, os quais dependem de alguns fatores, como: modelo de negócio, porte do sistema, perfil de consumo e área de concessão do sistema fotovoltaico. Neste trabalho, o caso analisado foi um sistema de pequeno porte de um consumidor do grupo B na área de concessão da CEMIG, cujo tempo de *payback* aumentou aproximadamente 40%, consistindo negativa tal modificação. Ademais, conclui-se que para sistemas de pequeno porte e grupo tarifário B do modelo do tipo analisado neste trabalho, a nova mudança apresenta vantagens apenas se o sistema estiver dimensionado de forma que produza valores próximos ao consumo mensal, uma vez que o custo de disponibilidade é anulado.

Outro resultado importante relaciona-se aos modelos de negócios brasileiros, demonstrando que por causa da realidade econômica do país o modelo que se destaca como promissor é o da geração compartilhada, entretanto, um dos principais entraves para o desenvolvimento desse modelo é a burocracia e a insuficiência de incentivos fiscais concedidos às cooperativas e aos consórcios.

A contribuição que esse trabalho buscou alcançar compreende a revisão bibliográfica e histórico das modificações na REN nº 482/2012, visto que tal mudança é recente e ainda são escassas pesquisas acadêmicas voltadas a esse tema; um pequeno levantamento histórico do mercado fotovoltaico alemão e de qual forma se deu seu desenvolvimento; e um breve estudo dos impactos que o Projeto de Lei nº 5829/2019 pode causar no mercado brasileiro e especificamente no consumidor médio de um grupo tarifário específico. Importante destacar a exemplificação de ferramentas e equações utilizadas para simulação financeira de um sistema fotovoltaico que são de fácil manuseio e que podem ser utilizadas por qualquer pessoa.

Para um momento futuro, sugere-se realizar um levantamento de consumidores comerciais e industriais de outros grupos tarifários, pois como demonstrou o presente trabalho, o impacto da aprovação do PL afeta de forma diferente cada um desses grupos. Somando-se os dados obtidos nesses estudos aos dados demonstrados nesse trabalho, é possível realizar um estudo sobre qual modelo seria mais vantajoso para cada tipo de

consumidor em cada região do Brasil, dado que esses modelos são variáveis para cada caso.

Referências

- ANEEL. Caderno temático Micro e Minigeração distribuída 2ed. 2016. 20
- BLUESOL. Os sistemas de energia solar fotovoltaica. Livro Digital de introdução aos sistemas solares, 2017. 15
- BRASIL .; ANEEL, . Resolução Normativa N° 482/2012 - 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, e dá outras providências. 2012. 21, 28
- BRASIL .; ANEEL, . Resolução Normativa N° 687/2015 - Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição. 2015. 22
- BRASIL .; ANEEL, . Resolução Normativa N° 786/2017 - Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012. 2017. 23
- CSS, C. S. d. S. *POTENCIAL SOLAR BRASILEIRO PODERIA ATENDER DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DE 170 BRASIS*. 2018. Disponível em: <<http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/potencial-solar-brasileiro-poderia-atender-demanda-de-energia-eletrica-de-170-brasis.html>>. 44
- DACHERY, J. M. *ENTENDENDO A FATURA DE ENERGIA*. 2020. Disponível em: <<https://energes.com.br/entendendo-a-fatura-de-energia-3/>>. 27
- ENERGIA, S. *Net Metering e Feed In saiba o que são e como funcionam*. 2021. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/net-metering-e-feed-in-saiba-o-que-sao-e-como-funcionam/>>. 40
- EPE. Balanço energético Nacional. 2021. 17, 18
- EXAME. *Ganhando a vida com energia solar*. 2019. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/pme/um-lugar-ao-sol/>>. 38
- FELDMAN D.; BROCKWAY M.; ULRICH E.; MARGOLIS, R. SharedSolar: Current landscape, market potential, and the impact of federal securities regulation. National Renewable Energy Laboratory, 2015. 37
- FGV. *Caderno de recursos energéticos distribuídos*. [S.l.]: Fundação Getúlio Vargas, 2016. 20
- FRANTZIS, L. et al. Photovoltaics business models. 01 2009. 37
- GODOI, M. *GERAÇÃO DISTRIBUÍDA RUMO À ALTERAÇÃO DE REGRAS EM 2020*. 2019. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/especiais/53095275/geracao-distribuida-rumo-a-alteracao-de-regras-em-2020>>. 28

- GOMES, T. *A Revisão do Marco Regulatório da Geração Distribuída*. 2019. Disponível em: <<https://www.paranoaenergia.com.br/artigos/2019/04/17/revisao-do-marco-regulatorio-da-geracao-distribuida/>>. 28, 29
- GREENER. *Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída 1º Semestre de 2021*. 2021. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-1-semester-de-2021/>>. 45
- LR, B. et al. Viabilidade para instalação de energia fotovoltaica “on-grid” em residência: Payback estimado em diversos cenários econômicos. 26, 43, 44, 45
- MAESTRI, C. O. N. M. et al. Avaliação do efeito da geração distribuída na tarifa de energia: aspectos conceituais, regulamentares, metodológicos e propostas para uma solução de equilíbrio. Universidade Federal de Uberlândia, 2021. 47
- MIRANDA, G. V. L. Modelos de negócios de geração distribuída com plantas fotovoltaicas. 2019. 39
- MOREIRA, O.; SOUZA, C. C. d. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre brasil e alemanha. *Interações (Campo Grande)*, SciELO Brasil, v. 21, p. 379–387, 2020. 35
- PEREIRA F.; OLIVEIRA, M. *Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica*. [S.l.]: Porto: Publindústria, 2011. 16
- PRETO E. V.; MORTOZA, G. L. Geracao de energia eletrica utilizando biomassa. 2011. 10
- RICHTER, M. German utilities and distributed pv: How to overcome barriers to business model innovation. p. 456–466, 2013. 38
- RODRÍGUEZ, C. R. C.; JANNUZZI, G. Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. *Universidade Estadual de Campinas, Campinas*, 2002. 39
- RODRÍGUEZ, C. *Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Dissertação*. [S.l.: s.n.], 2002. 21
- SILVA, I. da. Potencial Brasileiro da Geração Solar Fotovoltaica conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído., 2007. 19, 37, 38
- SILVA, R. d. O. Remuneração do serviço de distribuição de energia elétrica no brasil: a situação das obrigações especiais e dos ativos totalmente depreciados. 2013. 28
- SOBRINHO ; OLIVEIRA, L. Desenvolvimentos e Pesquisas na Terceira Geração de Células Fotovoltaicas. 2016. 18
- SOLAR, P. *Como Funciona o Painel Solar Fotovoltaico (Placas Fotovoltaicas)*. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>>. 14
- SOLAR, P. *Simulador Solar*. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>>. 45

SOUZA, H. Relatório do grupo de trabalho de geração distribuída com sistemas fotovoltaicos-gt-gdsf. *Ministério de Minas e Energia-Brasília-Brasil-2009*, 2009. 35, 36

VILELA, I. N. R. Identificação de nichos de mercado da geração distribuída fotovoltaica para o desenvolvimento de modelos de negócios . *Revista brasileira de energia*, 2014. 37, 38