

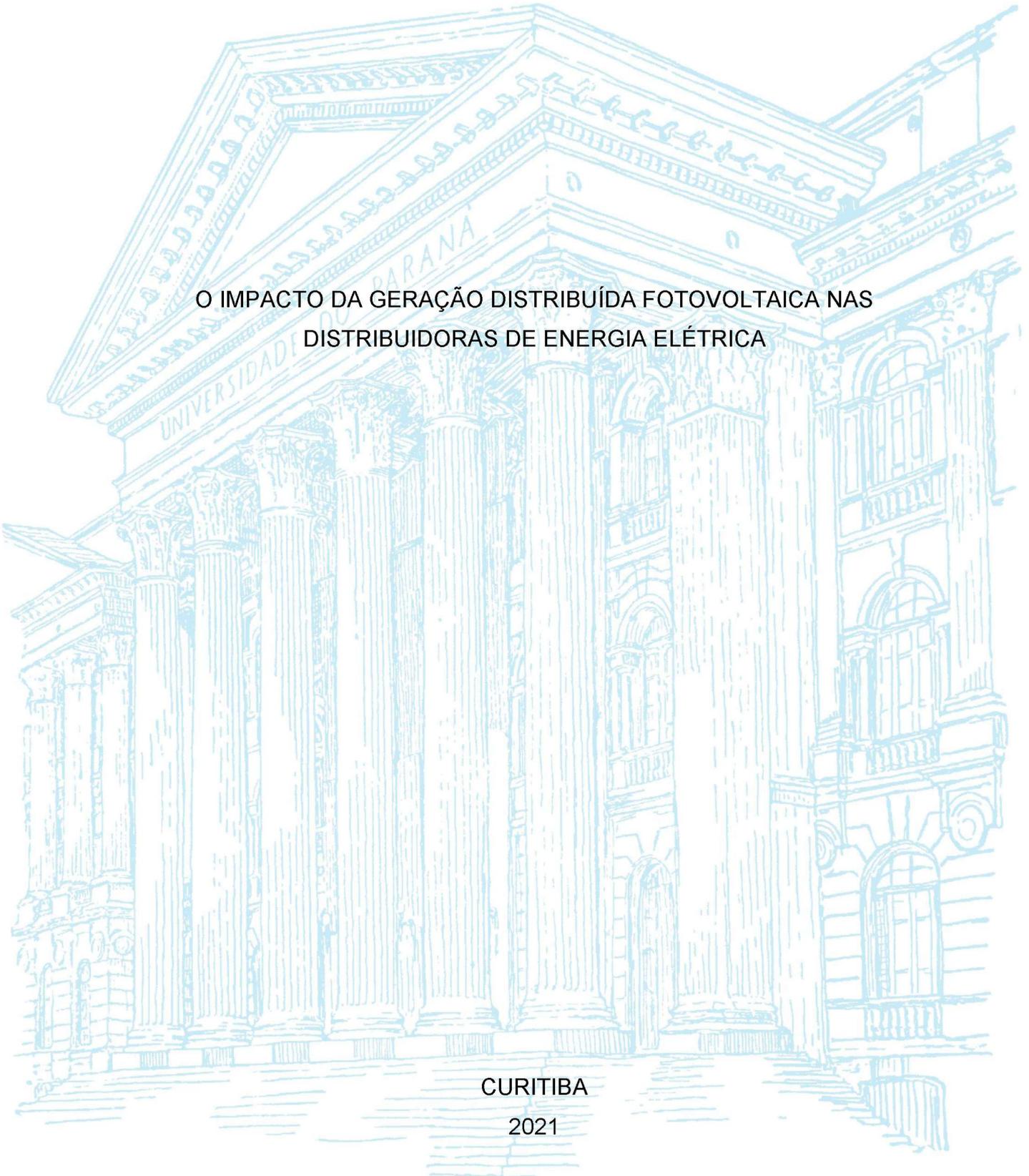
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEANDRO BRUNO MARQUES

O IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NAS
DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA

CURITIBA

2021



LEANDRO BRUNO MARQUES

O IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NAS
DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Ciências Econômicas, Setor de Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. José Guilherme Silva Vieira

CURITIBA

2021

A Maria Cristina Panceri pelo amor, dedicação e apoio.

AGRADECIMENTOS

A Maria Cristina Panceri, minha esposa e amiga, que me ajudou nos momentos de dificuldade, me incentivou a voltar a estudar e sempre pude contar com seu apoio. Ao seu lado a cada dia me torno um homem melhor. **Obrigado por tudo!**

Você sabe que a vida realmente cobra seu preço e a reação instintiva de um poeta é pesquisar sua própria alma. (Dee Dee Ramone)

RESUMO

Nos últimos anos vemos o crescimento exponencial da geração distribuída fotovoltaica no Brasil, através de incentivos governamentais buscam alternativas sustentáveis e econômicas a fim de dinamizar a matriz elétrica, tornando assim ainda mais complexo o setor elétrico, pois o consumidor passa a ser também gerador de energia elétrica, e exportando o excedente para a rede impactando o sistema de distribuição. O objetivo do estudo é avaliar quais os impactos da geração distribuída fotovoltaica nas distribuidoras de energia elétrica brasileiras. O trabalho analisa o setor de energia elétrica brasileiro, sua regulação e a composição de receitas das distribuidoras, a tomada de decisão do consumidor em adotar a tecnologia de geração fotovoltaica com base na renda e consumo de energia, busca na literatura as consequências em casos internacionais e no Brasil. Verificou-se as consequências do modelo regulatório atual das distribuidoras de energia e foi constatada a tendência de alta nos preços da energia elétrica em conta partida com a redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos, potencializado a entrada de novos optantes da geração distribuída causando assim um ciclo vicioso.

Palavras-chave: Setor elétrico. Energia Solar. Geração distribuída. **Regulação.**

ABSTRACT

In recent years, we have seen the exponential growth of distributed photovoltaic generating units in Brazil through governmental incentives, seeking for sustainable and economic viable alternatives, in order to provide dynamism to the power grid, making the electricity sector even more complex, as the customer becomes also a supplier, providing the surplus energy to the grid, impacting the distribution system. The aim of the study is to assess the impacts of distributed photovoltaic generation on Brazilian electricity distributors. This study analyzes the Brazilian electricity sector, its regulation and the composition of distributors' revenues, consumers' decision-making process in adopting photovoltaic generation technology based on income and energy consumption, and searches the literature for consequences on international cases just like in Brazil. The consequences of the current regulatory model of energy distributors were verified, and the upward trend in electricity prices was observed, in line with the reduction in the costs of photovoltaic systems, boosting the entry of new distributed generation options, causing a vicious cycle.

Keywords: Electric sector. Solar energy. Distributed generation. Regulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - MERCADO DE ENERGIA BRASILEIRO	21
Figura 2 - COMPOSIÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA	27
Figura 3 - ESPIRAL DA MORTE DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - PARTICIPAÇÃO DAS FONTES NA CAPACIDADE INSTALADA	22
Gráfico 2 - EVOLUÇÃO DAS TARIFAS MÉDIAS RESIDENCIAIS EM R\$/MWh (2010-2020).....	28
Gráfico 3 - CUSTO TOTAL INSTALADO (US\$/kW).....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - PREÇOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O CLIENTE FINAL (R\$/Wp).....	33
Tabela 2 - CAPACIDADE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOLAR FOTOVOLTAICA POR CLASSE	35
Tabela 3 - CAPACIDADE DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA - INSTALAÇÕES POR ANO	36
Tabela 4 - RENDA FAMILIAR MÉDIA POR ESTRATO SOCIAL	38
Tabela 5 - GASTO MENSAL DOS AGENTES ECONOMICOS	39
Tabela 6 - COTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	40
Tabela 7 - RETORNO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	40

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

SIGLA	- Nome por extenso
ABEP	- Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa
ABRADEE	- Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ACL	- Ambiente de Contratação Livre
ACR	- Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
COFINS	- Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CPUC	- <i>California Public Utilities Commission</i>
CVA	- Conta variações da parcela A
EEG	- <i>Erneuerbare Energien Gesetz</i>
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
FCL	- Fluxo de caixa líquido
FIT	- <i>Feed in Tariff</i>
GDFV	- Geração distribuída fotovoltaica
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPCA	- Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IRENA	- Agência Internacional de Energia Renovável
MME	- Ministério de Minas e Energias
NEM	- Net Energy Metering
ONS	- Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	- Pequenas Centrais Hidrelétricas
PIS	- Programa de Integração Social
REN	- Resolução Normativa da ANEEL
SIN	- Sistema Interligado Nacional
TCU	- Tribunal de Contas da União
TE	- Tarifa de Energia
TIR	- Taxa Interna de Retorno
TMA	- Taxa Mínima de Atratividade
TSUD	- Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
VPL	- Valor Presente Líquido

WACC - Custo Médio Ponderado de Capital

LISTA DE SÍMBOLOS

ε – Elasticidade

kW - Kilowatt

MW - Megawatt

GW – Gigawatt

Wp – Watt/pico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 METODOLOGIA.....	18
2 SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	19
2.1 CARACTERÍSTICAS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA.....	19
2.2 REGULAÇÃO	19
2.2.1 Ministério de Minas e Energia (MME).....	20
2.2.2 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	20
2.2.3 Operador Nacional do sistema elétrico (ONS)	20
2.2.4 Sistema Interligado Nacional (SIN)	20
2.3 MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	21
2.3.1 Geração.....	21
2.3.2 Transmissão.....	22
2.3.3 Distribuição.....	23
2.3.4 Comercialização	24
2.4 RECEITAS DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA.....	24
2.5 PROJEÇÃO DE DEMANDA E PREÇOS DAS TARIFAS.....	28
3 GERAÇÃO DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA	30
3.1 REGULAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUIDA NO BRASIL	30
3.2 EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	33
3.3 CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA BRASILEIRA	34
3.4 TOMADA DE DECISÃO EM ADERIR A GDFV.....	37
4 IMPACTOS DA GDFV NAS DISTRIBUIDORAS	42
4.1 CASOS INTERNACIONAIS	42
4.1.1 Califórnia	42
4.1.2 Itália.....	43
4.1.3 Alemanha	44
4.2 IMPACTOS ECONÔMICO E FINANCEIRO	45

4.3 COST-SHIFTING E ESPIRAL DA MORTE	46
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do consumo de energia elétrica é um fenômeno histórico dado pelo crescimento e desenvolvimento econômico da sociedade, de 2013 a 2020 o consumo de energia elétrica cresceu no Brasil em média 0,76% segundo dados da EPE, enquanto o PIB cresceu em média -0,36% segundo o IBGE, apesar de um período nebuloso para a economia brasileira, os avanços tecnológicos como a internet das coisas, veículos elétricos, indústria 4.0 e uma maior dependência de aparelhos eletrônicos, nos permite projetar um aumento consistente da demanda por energia.

A energia elétrica é um serviço que possui características especiais, como a simultaneidade, onde a energia gerada deve ser consumida no mesmo momento da geração (o armazenamento de energia até o momento só é comercialmente viável em pequena escala), as usinas elétricas demandam grandes investimentos com tempo de maturação longo e geralmente se fixam longe dos centros de consumo, além da geração de energia elétrica, necessita-se de uma grande infraestrutura de transmissão e distribuição, esse é o paradigma tecnológico da geração de energia elétrica.

A geração distribuída fotovoltaica (GDFV) torna ainda mais complexo o setor elétrico, pois ela vem quebrando o paradigma da geração de energia, pequeno investimento, geração junto a carga e adicionalmente fornece a rede de energia seu excedente produzido. Nos últimos anos vemos um crescimento exponencial da GDFV, subsidiada pela **REN 482/2012** que permite fornecer o excedente a distribuidora, pela redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos, aumento das tarifas de energia e pelo apelo ambiental e de sustentabilidade. O objetivo desse estudo é discutir o setor elétrico nacional, a função das distribuidoras de energia e os impactos causados pelo crescimento da geração distribuída fotovoltaica na queda da demanda dado o modelo regulatório atual.

1.1 JUSTIFICATIVA

A resolução normativa (REN) nº 482 permite a compensação da energia injetada na rede para abatimento da energia consumida, atualmente há propostas de revisão da normativa, o que gerou um debate entre a ANEEL e os representantes do setor de energia solar no Brasil sobre a regulação e incentivos a geração distribuída fotovoltaica.

“Pelo modelo vigente do sistema de compensação de energia, temos que a compensação de energia ocorre não somente na energia em si, mas também na parcela que remunera o uso das redes de transmissão e distribuição. Neste ponto, cabem os questionamentos: É justo que aqueles consumidores que injetam energia na rede não paguem pelo uso das redes no montante equivalente à energia injetada? Se as concessionárias de distribuição têm o direito de receber a remuneração pelas redes e se os consumidores que injetam energia na rede não pagam o uso da rede na parcela da energia consumida equivalente à energia gerada, quem acaba pagando essa remuneração? ” (NASCIMENTO, 2017, pg. 31)

O trabalho busca contribuir com o debate sobre as consequências da geração distribuída para as distribuidoras de energia, dada a sua importância para o setor elétrico, o equilíbrio financeiro das distribuidoras é vital para o desenvolvimento socioeconômico brasileiro e da prestação desse serviço público com qualidade e preço módico.

1.2 OBJETIVOS

A resolução normativa (REN) nº 482 permite a compensação da energia injetada na rede para abatimento da energia consumida, atualmente há propostas de revisão da normativa, o que gerou um debate entre a ANEEL e os representantes do setor de energia solar no Brasil. O nosso objetivo é contribuir com o debate realizando um levantamento dos estudos sobre a questão, quais os impactos da geração distribuída fotovoltaica na receita e as consequências da queda de demanda no modelo atual das distribuidoras de energia.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o setor elétrico brasileiro, verificar o crescimento da GDFV no Brasil, fazer um levantamento da composição das receitas das distribuidoras, verificar o sistema de compensação/subsídio da GDFV, revisar a literatura sobre os impactos da inserção da GDFV para as distribuidoras.

1.2.2 Objetivos específicos

Verificar as especificidades do setor elétrico brasileiro, levantar a bibliografia sobre o tema, verificar as projeções de crescimento da GDFV e seus subsídios, analisar a composição das receitas das distribuidoras, analisar e discutir seus possíveis impactos.

1.3 METODOLOGIA

Além dessa introdução, para alcançarmos os objetivos propostos iniciaremos analisando o setor de energia elétrica brasileiro, onde se insere as distribuidoras de energia elétrica, verificaremos as especificidades do mercado, regulação, composição de receitas das distribuidoras.

Em um terceiro capítulo abordaremos a GDFV, histórico, tecnologia, a razão de seu crescimento em nível mundial. Sua regulação e incentivos e a tomada de decisão do consumidor em adotar o sistema fotovoltaico.

No capítulo quatro verificaremos o que a literatura nos oferece para responder quais impactos da GDFV ao setor de distribuição brasileiro. Abordaremos os conflitos que podem ocorrer na expansão da GDFV, nas distribuidoras, usuários da geração distribuída e nos demais usuários da rede.

Com base nos capítulos anteriores, no quinto capítulo discutiremos sobre os impactos da geração distribuída fotovoltaica na sustentabilidade das distribuidoras de energia com base na bibliografia, teoria econômica e dados verificados nesse trabalho.

2 SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Para alcançarmos os objetivos propostos iniciaremos analisando o setor de energia elétrica brasileiro, onde se insere as distribuidoras de energia que cumprem o papel de entrega da energia ao consumidor final, verificaremos as especificidades do mercado, o modelo regulatório, composição das tarifas, remuneração dos custos das distribuidoras.

2.1 CARACTERÍSTICAS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA

O setor de distribuição de energia é constituído de monopólios naturais regulado pelo Estado através da ANEEL, se caracteriza pela demanda ser atendida por uma única empresa, onde o nível de produção é mais eficiente com apenas uma empresa atuando no mercado. Diferente dos monopólios naturais qual a empresa determina o nível de produção a fim de maximizar o lucro, veremos que no Brasil a distribuidora concessionária deve atender toda a demanda.

A energia elétrica no Brasil começa a ser gerada no fim do século XIX com pequenas empresas de capital privado e empresas estatais, como advento da industrialização iniciou-se a concentração de capital por empresas estrangeiras. Após a revolução de 30 e no pós-guerra o estado toma para si a responsabilidade do setor elétrico visto como estratégico para o desenvolvimento nacional, nesse período foi criada uma grande infraestrutura com usinas hidrelétricas e grandes sistemas de transmissão interligando boa parte do território nacional (OLIVEIRA, 2000). A partir dos anos 90 houve um movimento de concessões e privatizações, reestruturando o setor, sendo esse dividido em geração, transmissão, distribuição e comercialização.

2.2 REGULAÇÃO

A distribuição de energia elétrica é um setor fortemente regulado, tanto em seus aspectos técnicos, como econômicos. A regulação procura atender toda a demanda de energia, preservar o equilíbrio financeiro das distribuidoras e prover aos

consumidores tarifas módicas. A seguir apresentaremos os agentes reguladores no mercado de energia elétrica no Brasil.

2.2.1 Ministério de Minas e Energia (MME)

O MME é responsável pela formulação e a implementação de políticas para o setor, monitorar e garantir a segurança do fornecimento de energia, além da política nacional do petróleo, combustível, biocombustível e os recursos minerais. Compete, ainda, ao Ministério de Minas e Energia zelar pelo equilíbrio conjuntural e estrutural entre a oferta e a demanda de energia elétrica no País. (MME)

2.2.2 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

Criada pela lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. A ANEEL é incumbida da fiscalização e regulação da produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, outorgar concessões e estabelecer tarifas. Também é responsável por acompanhar a qualidade do serviço e promover a modicidade tarifária, sem esquecer-se da necessidade do equilíbrio econômico-financeiro das empresas. (BRASIL, 1996)

2.2.3 Operador Nacional do sistema elétrico (ONS)

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Determina geração de cada usina.

2.2.4 Sistema Interligado Nacional (SIN)

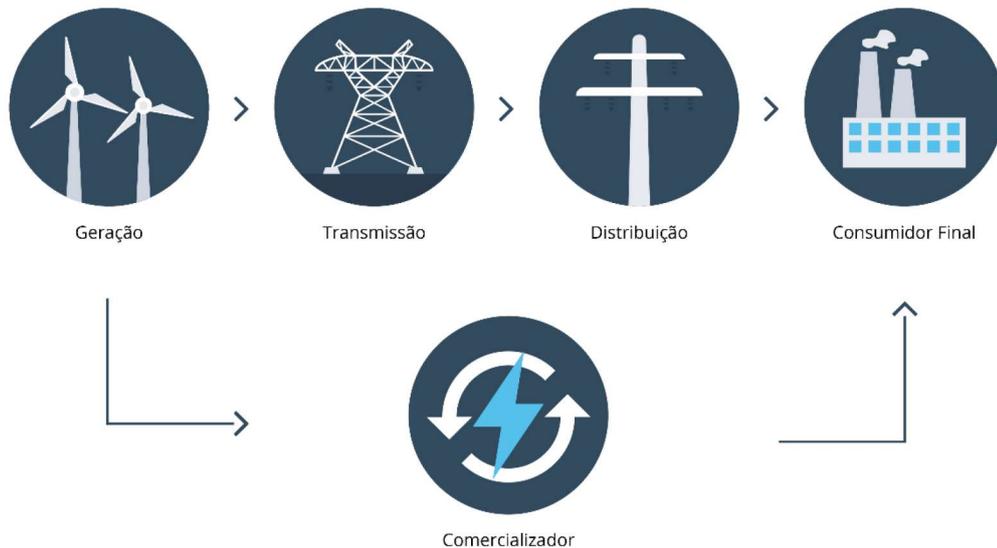
O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. O Sistema Interligado Nacional é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior

parte da região Norte, que garante a segurança energética no Brasil integrando através de redes de transmissão quase todas as regiões do país (somente cerca de 2% do mercado nacional permanece no sistema isolado).

2.3 MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA

O mercado de energia elétrica no Brasil é dividido em quatro setores, geração, transmissão, distribuição e comercialização.

Figura 1 - MERCADO DE ENERGIA BRASILEIRO



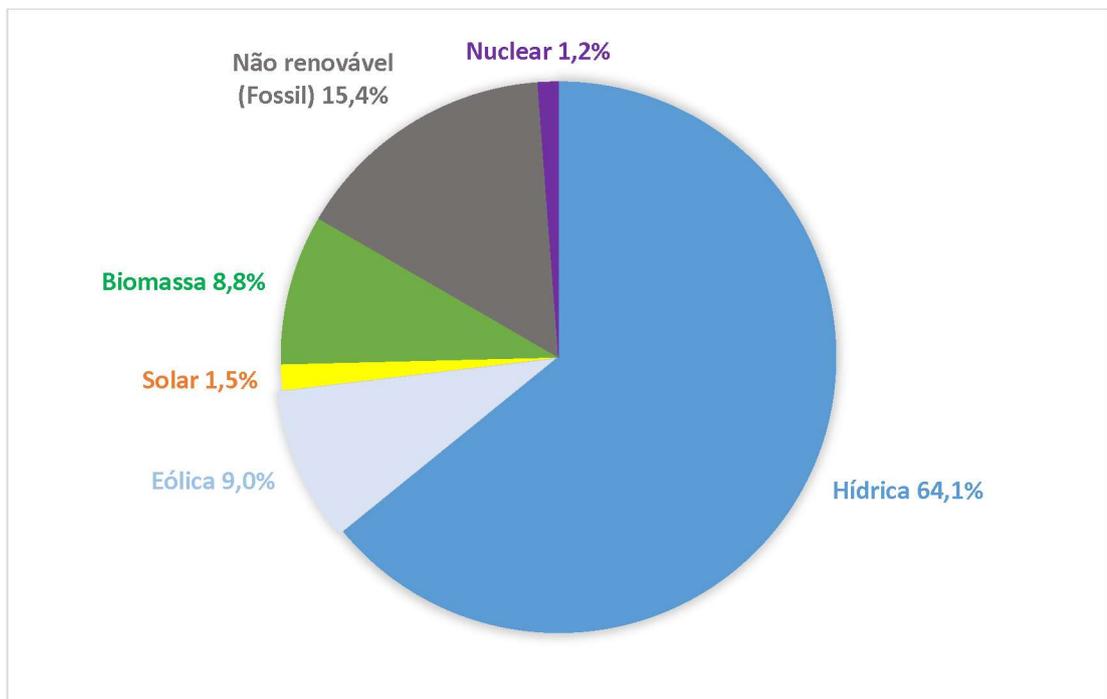
Fonte: Soma + 2021. Disponível em: www.somaenergia.com.br/pages/mercado_energia Acessado em 02/11/2021.

A figura 1 mostra a dinâmica do setor iniciando na geração e posteriormente transmitida até os centros consumidores onde é distribuída ao consumidor final, complementarmente há um mercado livre de energia no qual o consumidor compra a energia diretamente do gerador.

2.3.1 Geração

A geração é o setor que produz energia oriunda de diversas fontes (hidrelétrica, Térmica, Biomassa, Solar, Eólica). A principal fonte de energia elétrica no Brasil são as renováveis lideradas pelas hidrelétricas, pelo fato do Brasil contar com uma das maiores reservas hídricas do mundo, elas são responsáveis por 64,9% da capacidade instalada na matriz elétrica brasileira (a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica, não confundir com a matriz energética).

Gráfico 1 - PARTICIPAÇÃO DAS FONTES NA CAPACIDADE INSTALADA



Fonte: Balanço Energético Nacional 2020, EPE, 2020b

Segundo o Balanço energético nacional (EPE 2020b), a energia oriunda de fonte Hídrica corresponde a 64,1%, seguida pela eólica com 9,0%, biomassa 8,8%, solar 1,5%, nuclear 1,2%, derivados de petróleo 2% e solar 1%. Já as fontes não renováveis de origem fóssil correspondem 15,4% da capacidade instalada.

2.3.2 Transmissão

O setor de transmissão é o responsável por transportar a energia gerada nas usinas até as distribuidoras, é um setor de suma importância para segurança

energética, pois devido as características sazonais das usinas hidroelétricas a rede de transmissão pode suprir regiões do país com demanda superior a capacidade de geração. Esse feito é realizado através de um sistema interligado com mais de cem mil quilômetros de linhas de transmissão.

Atualmente, existem 212 localidades isoladas no Brasil. A maior parte está na região Norte, nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Pará. A ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco, e algumas localidades de Mato Grosso completam a lista. Entre as capitais, Boa Vista (RR) é a única que ainda é atendida por um sistema isolado. O consumo nessas localidades é baixo e representa menos de 1% da carga total do país. A demanda por energia dessas regiões é suprida, principalmente, por térmicas a óleo diesel. (ONS, Acesso em <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados.>)

Há na região norte sistemas ainda não integrados ao SIN, os projetos de reforço, complemento e inserção, buscando integrar todo território nacional é um dos objetivos do MME.

2.3.3 Distribuição

O setor de distribuição é responsável pela conexão e atendimento aos consumidores, qualquer que seja o seu porte são atendidos pelas distribuidoras de energia elétrica, tanto de controle estatal como privado.

As distribuidoras são empresas de grande porte que funcionam como elo entre o setor de energia elétrica e a sociedade, visto que suas instalações recebem das companhias de transmissão todo o suprimento destinado ao abastecimento no país. Nas redes de transmissão, após deixar a usina, a energia elétrica trafega em tensão que varia de 88 kV (quilovolts) a 750 kV. (ANEEL, 2008, pg. 23)

As distribuidoras de energia elétrica são agentes titulares de concessão ou permissão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica, responsáveis pela entrega da energia elétrica aos consumidores finais no ambiente

regulado. Segundo a ABRADÉE o setor privado é responsável pela distribuição de, aproximadamente, 60% da energia, enquanto as empresas públicas 40%.

2.3.4 Comercialização

A comercialização de energia acontece em dois modelos, ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL).

Ambiente de Contratação Regulada onde é comercializada a energia para as distribuidoras atenderem os consumidores cativos, essa energia é contratada pelas distribuidoras em leilões públicos conduzidos pela ANEEL e CCEE.

3.17 Consumidor cativo Consumidor ao qual só é permitido comprar energia da distribuidora detentora da concessão ou permissão na área onde se localizam as instalações do acessante, e, por isso, não participa do mercado livre e é atendido sob condições reguladas. O mesmo que consumidor não livre, não optante ou regulado. (ANEEL – PRODIST, 2012)

Ambiente de Contratação Livre (ACL) criado pelo Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004, é um mercado de livre contratação entre geradoras, comercializadoras e consumidores. Diferente das distribuidoras que tem as tarifas reguladas e consumidores cativos, na ACL os contratos são negociados a preços de mercado regulados pela oferta e demanda, o consumidor procura um gerador ou comercializador que ofereça a melhor condição de contrato e preço. Podem entrar no mercado livre dois tipos de consumidores, o convencional com consumo mínimo de 3.000 kW e o especial com consumo mínimo de 500kW e apenas contratar energia renováveis. (CPFL Renováveis, 2020)

2.4 RECEITAS DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA

As empresas de distribuição de energia elétrica operam como concessionárias do serviço público reguladas pela ANEEL, que determina o preço da tarifa de energia elétrica. A ANEEL utiliza o sistema regulatório *price cap* para

realização dos reajustes tarifários, que consiste em um valor máximo a ser cobrado, o preço é revisto no reajuste tarifário anual e na revisão tarifária periódica.

A revisão periódica tem seu prazo definido em contrato, hoje em média de cinco anos, nessa revisão são avaliados os riscos do negócio, eficiência, prestação do serviço e o fator X que corresponde a mecanismo de compartilhamento dos ganhos de produtividade das distribuidoras para a modicidade tarifária no período entre revisões, A revisão anual é realizada nos anos em que não há revisão periódica, onde é reajustada uma parcela referente aos custos gerenciáveis associados à atividade de distribuição de energia elétrica através de um indexador inflacionário. Os custos não gerenciáveis são revistos todos os anos.

A tarifa de energia elétrica no Brasil pode ser dividida em três componentes, os custos não gerenciáveis, como o nome sugere a distribuidora não tem controle sobre eles, são custos como a compra de energia, serviços de transmissão e encargos setoriais, os custos não gerenciáveis são denominados Parcela A. Toda energia que atende o mercado regulado é comprada pelo Estado em leilões e repassada as distribuidoras conforme essas demandarem, Como as distribuidoras são passivas nesse processo o custo da energia é repassado diretamente na tarifa, o mesmo ocorre com os custos de transmissão e encargos setoriais.

Os custos gerenciáveis são compostos pelos custos operacionais, também denominados Parcela B, composto da receita irrecuperável, cota de depreciação, renumeração dos investimentos e é subtraída da parcela compartilhada da conta "outras receitas". Com objetivo de promover a eficiência das distribuidoras, a ANEEL usa uma metodologia chamada empresa de referência, onde é gerado um modelo a partir de uma base selecionada de distribuidoras, a fim de gerar um custo operacional da empresa de referência. A tarifa é calculada com base nos custos da empresa referência, assim gerando um incentivo a eficiência, com uma eficiência operacional melhor que da empresa referência a distribuidora pode aferir uma maior lucratividade, assim como o contrário. O consumidor é beneficiado nesse sistema, pois no ciclo seguinte de revisão o ganho de eficiência das empresas é recalculado, assim atualizando os custos da empresa referência.

A remuneração dos investimentos também compõe a tarifa, os investimentos da expansão das distribuidoras são somados na base de remuneração regulatória e depreciados conforme a vida útil dos investimentos. A base é remunerada por um modelo de custo médio ponderado de capital (WACC), que remunera o capital considerando uma taxa livre de risco, mais um prêmio de risco.

$$Kp(i) = PRN(i) + NTN-B$$

$Kp(i)$ = Custo de Capital Próprio no ano i ;

$PRN(i)$ = Prêmio de risco do negócio no ano i ;

$NTN-B$ = Taxa livre de risco referente a títulos públicos indexados ao IPCA com vencimento superior a cinco anos. (ANEEL - PRORET, 2018)

Os componentes financeiros são relativos as diferenças de previsto e realizado entre os reajustes tarifários. Esses componentes são apurados pela ANEEL a cada período tarifário e são acrescentados ou subtraídos dos processos tarifários ordinários. A Parcela A, (custos não gerenciáveis), podem sofrer uma variação no valor calculado, a tarifa é calculada com base em previsão, essas variações são contabilizadas na conta variações da Parcela A (CVA), essa variação é corrigida pela SELIC e compensada no cálculo da tarifa seguinte, também são calculadas as diferenças de subsídios e outros componentes financeiros.

Um item que tem impacto na tarifa são as perdas de energia, que podem ser técnicas, que são uma decorrência da natureza dos sistemas elétricos (não há transporte de energia sem perda) e repassados a tarifa na Parcela A e as não técnicas como furto, fraude em medidores, erros de leitura, medição e faturamento, esses são contabilizados dentro da parte gerenciável da tarifa. A ANEEL costuma estabelecer metas para redução das perdas não técnicas usando uma metodologia de comparação de desempenho das distribuidoras, observando critérios de eficiência e as características socioeconômicas das áreas de concessão.

Estrutura tarifária é o conjunto de tarifas, aplicadas ao faturamento do mercado de distribuição de energia elétrica, que refletem a diferenciação relativa dos custos regulatórios da distribuidora entre os subgrupos, classes e subclasses tarifárias, de acordo com as modalidades e postos tarifários. A tarifa de energia é

dividida em duas, a tarifa de uso do sistema (TSUD) e tarifa de energia (TE). A TSUD remunera a distribuição, custos do serviço de distribuição, encargos setoriais, remuneração dos investimentos, perdas técnicas e não técnicas e suas depreciações. A tarifa de energia por sua vez remunera os custos de compra com energia elétrica e os encargos setoriais.

Figura 2 - COMPOSIÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA



Elaboração própria: Fonte ANEEL 2021a

Tarifa de energia (TE): a remuneração dos geradores de energia, representando cerca de 50% da tarifa de energia. Desse montante, 38% correspondem a própria energia e 12% aos encargos.

Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TSUD): a remuneração as concessionárias de distribuição de energia, representa cerca de 50% da tarifa de energia. Desse montante, 6% é referente ao Fio A que são os custos não gerenciais vistos anteriormente, 28% relacionado ao Fio B relacionado a distribuição, ou seja, os custos gerenciáveis, 8% relacionado as perdas e 8% a encargos.

Consumidores cativos de média e alta tensão são cobrados por tarifas binômias, pelo consumo e potência máxima utilizada. Os consumidores de baixa tensão são cobrados por tarifa monômnia, cobrados pelo consumo de energia dentro de um período de tempo (mensalmente).

Observamos a relação de custo e receita das distribuidoras, na qual as tarifas têm por objetivo recompor os custos, remunerar o capital e a eficiência

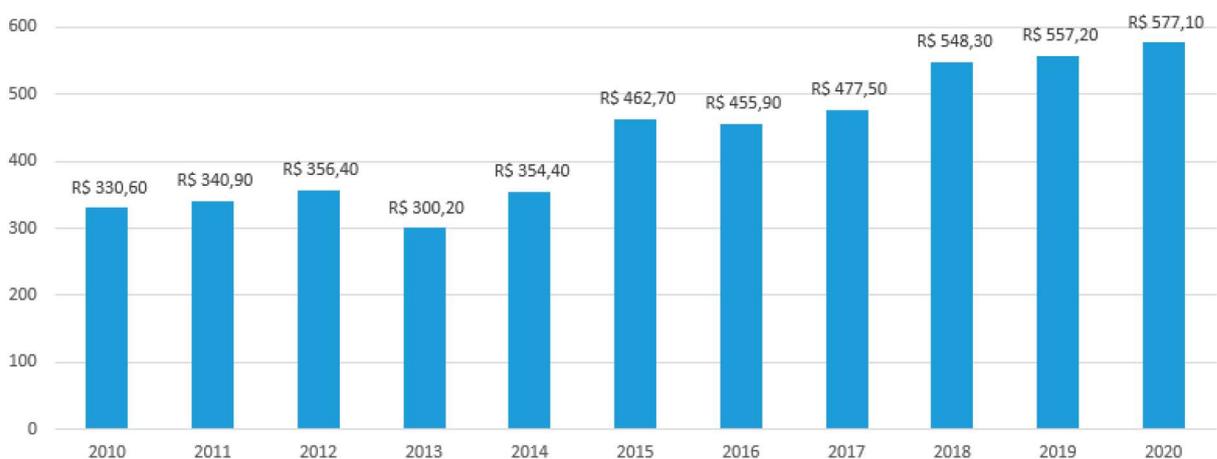
através dos custos gerenciáveis, e também que as distribuidoras devem atender toda a demanda. Os impactos dos custos não gerenciáveis são compensados anualmente e dos gerenciáveis corrigidos por indexador inflacionário anualmente, nos reajustes tarifários. Periodicamente é revisto a remuneração do capital (período definido no contrato de concessão, entre três e cinco anos) nas revisões tarifárias. Logo os impactos na receita têm uma defasagem até o momento da correção.

2.5 PROJEÇÃO DE DEMANDA E PREÇOS DAS TARIFAS.

Verificaremos a diante a evolução dos preços das tarifas de energia elétrica e da demanda projetada para os próximos anos, buscamos verificar qual a tendência de evolução dos preços e da demanda.

Dadas as características de composição das tarifas de energia elétrica vistas anteriormente e de acordo com a evolução das tarifas médias residenciais no gráfico 2, apresentamos os níveis tarifários para os próximos anos até 2030 de acordo com a ANEEL.

Gráfico 2 - EVOLUÇÃO DAS TARIFAS MÉDIAS RESIDENCIAIS EM R\$/MWh (2010-2020)



Elaboração própria, Fonte: ANEEL 2021a

O crescimento da demanda de energia elétrica tem correlação não apenas com o desenvolvimento da economia, também outros fatores como população,

grandes projetos industriais, condições climáticas, avanços tecnológicos, alterações na matriz energética, políticas de eficiência energética, entre outros, tem impacto no nível de demanda da energia elétrica. Os cenários projetados de demanda de energia no Brasil realizado pela EPE 2020b, apresenta dois cenários um de expansão da demanda bruta de energia e um cenário de estagnação. Mesmo em um cenário de estagnação é projetado um crescimento 39,7% na demanda de energia, já no cenário de expansão o crescimento supera 230%, com uma taxa de crescimento média da demanda de 3,5%. Deste total, estima-se que cerca de 5% do consumo potencial serão atendidos por Geração Distribuída, representando quase 11 GW. Isso tudo associado a nova transição energética que tornara cada vez mais a matriz eletrificada principalmente as de fonte renováveis.

3 GERAÇÃO DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA

O sol é a maior fonte de energia que temos disponível, toda energia na terra se deriva dele pelo menos em última instância, do calor e da radiação solar, esses são os responsáveis da fotossíntese ao combustível fóssil, que é gerado de resíduos de plantas e animais. Alexandre Edmond Becquerel em 1839 descobriu o efeito fotovoltaico, criando tensão elétrica em um material após exposição a luz. Em 1954 foram desenvolvidas as primeiras células fotovoltaicas, A primeira aplicação das células solares de foi realizada em Americus, no estado da Geórgia, para alimentar uma rede telefônica local de desativa pouco mais de um ano depois, devido ao elevado custo e baixa eficiência a energia solar ficou restrita apenas a aplicação espacial.

“Marca o princípio de uma nova era, levando, eventualmente, à realização de um dos mais belos sonhos da humanidade: a colheita de energia solar sem limites, para o bem-estar da civilização”. (BRITO e VALLÉRA adpud New York Times 1954)

A crise do petróleo abriu uma nova oportunidade para utilização da energia fotovoltaica, a dependência economia e alta dos preços do petróleo abriu caminho para o desenvolvimento e pesquisa de novas fontes de energia, incluindo a fotovoltaica e conseqüentemente a redução de seu custo para uma maior aplicabilidade. Nos anos 90 o crescimento da pauta de sustentabilidade e redução de CO₂ se tornou mais um incentivo a energia fotovoltaica por sua característica de energia limpa (PINHO et al., 2014).

No decorrer das últimas décadas as melhorias nos métodos de fabricação, na eficiência das células e redução de seu custo final, associado aos custos crescentes das principais fontes de energia, principalmente se contabilizado impactos ambientais, torna a adoção de sistemas fotovoltaicos cada vez mais atrativo (PINHO et al., 2014).

3.1 REGULAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUIDA NO BRASIL

No Brasil os sistemas de geração distribuída se tornaram realidade com a resolução normativa REN 482/2012 da ANEEL. Desde então, a regulação passou por algumas alterações. Anteriormente existiam apenas pequenos sistemas *off-grid*, sistemas não conectados à rede de distribuição, Apesar de não entrar no escopo deste trabalho os sistemas *off-grid* tem um futuro promissor, hoje a limitação técnica quanto a eficiência das baterias usadas para armazenagem, mas novas tecnologias estão em desenvolvimento avançado que pode tornar esse sistema viável comercialmente.

Em 2012, a ANEEL regulamenta a geração distribuída por meio da REN 482/2012, que institui a micro e mini geração distribuída que permite a indivíduos e entidades jurídicas gerar a sua própria eletricidade no local da unidade consumidora, por meio do sistema de compensação de energia. Micro geração com potência instalada de até 100 kW e mini geração com potência de 100 kW a 1 MW.

A primeira revisão da REN 482 através da REN 687/2015. Entre as principais alterações mudou a potência da micro geração para até 75 kW de potência instalada, a mini geração distribuída foi alterada para a faixa superior a 75 kW até 3 MW para geração hídrica, entre 75 kW e 5 MW para geração com outras fontes renováveis. Introduziu novas modalidades de geração distribuída de condomínios e geração compartilhada. Aumentou o período de compensação dos créditos energéticos de 36 para 60 meses. Em 2017, a REN 786/2017 altera para 5 MW a potência de todas as fontes renováveis.

Em 2018 foi aberto pela ANEEL uma consulta pública CP10/2018, para um novo processo de revisão da REN 482, essa revisão mobilizou o setor fotovoltaico que não concordava com as mudanças propostas pela ANEEL, o processo ainda não foi concluído e atualmente se tornou ainda mais incerto devido à crise do COVID-19.

A REN 482/2012 permite a indivíduos e entidades jurídicas gerar a sua própria eletricidade no local da unidade consumidora, por meio do sistema de compensação de energia. (Cada kW enviado a rede gera um kW de crédito) (ANEEL, 2021a). O crédito de energia pode ser compensado em um período de até

5 anos, vale lembrar que não abate da taxa os valores de disponibilidade e iluminação pública.

A geração junto a carga (Soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora, em condições de entrar em funcionamento, expressa em quilowatts (kW)), geração na própria unidade consumidora é a alternativa mais comum no mercado brasileiro. Nessa modalidade, a energia é gerada no mesmo local em que é consumida.

Autoconsumo remoto é aplicável aos consumidores que tem mais de uma unidade de consumo no seu Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ). Nessa modalidade os consumidores podem compensar os créditos de energia em várias outras unidades consumidoras, desde que estejam em nome do mesmo CPF ou CNPJ. As unidades devem estar na mesma unidade de concessão, atendidas pela mesma distribuidora.

Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras “Condomínios”, são caracterizados por múltiplas unidades consumidoras na mesma propriedade, desde que não seja cortada por via pública. A energia gerada é compensada entre as unidades consumidoras do condomínio, pode ser aplicado tanto a condomínios residências como comerciais.

Geração compartilhada, a geração distribuída pode ser estruturada por meio de consórcios e cooperativas. No modo consórcio as empresas fazem um acordo através de contrato para partilhar um sistema de geração distribuída. As cooperativas são constituídas por indivíduos que se unem para gerar energia a partir de um sistema distribuído, a eletricidade produzida é compensada nas unidades de consumo dos membros da cooperativa.

Hoje a REN 482 determina a compensação de 1 kW por 1 kW, no caso compensa todos componentes tarifários. De acordo com ANEEL devido ao processo de *cost-shifting* a REN 482 está sendo revista desde 2018. O Tribunal de Contas da União (TCU) em novembro de 2020 determinou à ANEEL, que apresente um plano de ação a fim de retirar a diferenciação tarifária entre consumidores de energia

elétrica. O processo de revisão atual propõe cinco alternativas que visam alterar a forma de compensação, no qual cada alternativa não compensa alguns dos componentes tarifários. A REN 482/2012 e seu sistema de compensação funciona como um subsídio a geração distribuída, sobre o funcionamento e quem paga esse subsídio será debatido no capítulo 4. (BRASIL, 2021b)

- Alternativa 0: regra atual, a tarifa é 100% compensada.
- Alternativa 1: Não compensaria o Fio A e B, compensaria em torno de 72%
- Alternativa 2: Não compensaria o Fio A e B, e parte dos encargos da TSUD, compensaria em torno de 66%
- Alternativa 3: Não compensaria o Fio A e B, os encargos da TSUD, compensaria em torno de 56%
- Alternativa 4: Não compensaria a TSUD, compensaria em torno de 50%
- Alternativa 5: Compensaria apenas a energia, em torno de 38%

A Lei nº 13.169/2015 determinou a isenção dos tributos federais PIS (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) sobre a parcela de energia injetada, para os projetos de geração distribuída nas modalidades de geração junto a carga e autoconsumo remoto.

3.2 EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Um dos principais fatores para a substancial expansão do mercado de energia solar é a rápida redução nos custos dos sistemas de geração nos últimos anos. Segundo estudo realizado pela Grenner, qual expõe os resultados de pesquisa com mais de duas mil integradoras, verifica-se a redução dos custos do preço final, já incluído projeto e instalação.

Tabela 1 - PREÇOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O CLIENTE FINAL (R\$/Wp)

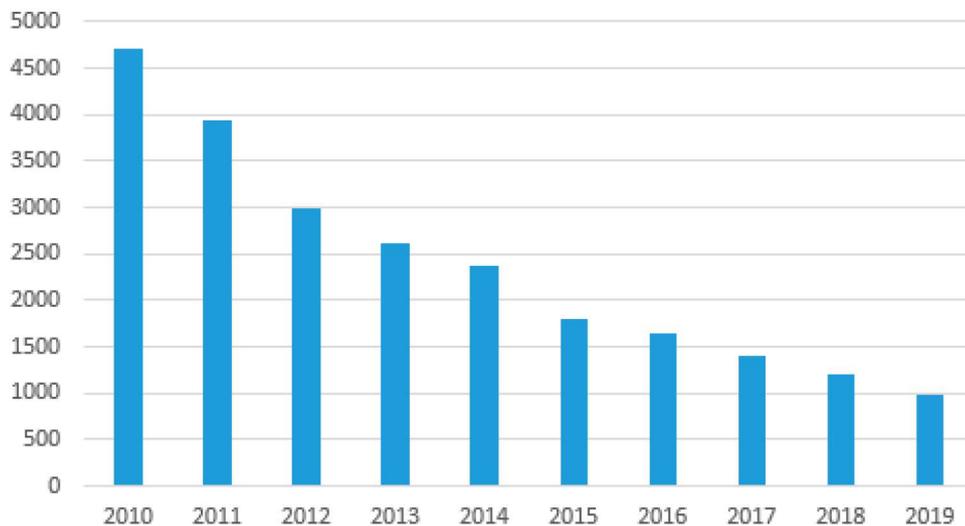
Semestre	2kWp	4kWp	8kWp	12kWp	30kWp	50kWp	75kWp
jun/18	R\$ 7,00	R\$ 5,70	R\$ 5,10	R\$ 5,00	R\$ 4,50	R\$ 4,40	R\$ 4,20
jan/19	R\$ 6,40	R\$ 5,20	R\$ 4,70	R\$ 4,50	R\$ 4,00	R\$ 4,00	R\$ 3,80

jun/19	R\$ 6,04	R\$ 5,00	R\$ 4,41	R\$ 4,23	R\$ 3,82	R\$ 3,66	R\$ 3,48
jan/20	R\$ 6,06	R\$ 4,84	R\$ 4,30	R\$ 4,11	R\$ 3,67	R\$ 3,62	R\$ 3,42
jun/20	R\$ 5,97	R\$ 4,76	R\$ 4,27	R\$ 4,11	R\$ 3,78	R\$ 3,70	R\$ 3,62
jan/21	R\$ 6,19	R\$ 4,96	R\$ 4,42	R\$ 4,29	R\$ 4,00	R\$ 3,88	R\$ 3,79
jun/21	R\$ 6,17	R\$ 4,88	R\$ 4,38	R\$ 4,21	R\$ 3,97	R\$ 3,89	R\$ 3,81

Fonte: Greener 2020.

Na tabela 1 podemos notar a queda de preços desde junho de 2018, mesmo durante a pandemia, dado que os equipamentos são importados e o choque cambial no período, ouve uma ligeira alta em média de 4% devida a pandemia.

Gráfico 3 - CUSTO TOTAL INSTALADO (US\$/kW)



Fonte: IRENA Disponível em <https://www.irena.org/> Acesso em: 16 de out. de 2021.

A Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) também mostra a queda nos custos da energia fotovoltaica no mundo, desde 2010 os custos caíram quase 80% segundo seu relatório anual de custos das energias renováveis.

3.3 CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA BRASILEIRA

A geração total de energia solar fotovoltaica no Brasil se divide em duas categorias, de acordo com as classificações normatizadas pela ANEEL. Assim, a matriz se divide em Geração Centralizada e Geração Distribuída de energia elétrica. Basicamente a classificação se baseia na potência da unidade geradora.

Geração centralizada refere-se a usinas elétricas de grande escala, geralmente localizadas longe dos centros consumidores, exigindo assim linhas de transmissão e subestações de energia para atender o consumo. As usinas centralizadas são caracterizadas por capacidade instalada de geração superior a 5 MW. A geração distribuída são sistema de geração de energia elétrica de pequena escala (menor que 5MW) conectados à rede de distribuição e descentralizado, localizado junto a unidade consumidora ou na mesma rede de distribuição.

Além da geração centralizada, a geração distribuída de energia solar também tem evoluído. Essa modalidade diz respeito às instalações de pequenas usinas, geralmente na própria unidade consumidora. Em termos absolutos a capacidade da geração distribuída é menor do que da geração centralizada, isto é, a potência instalada da geração distribuída solar está atualmente em 7,1 GW. Porém, a geração distribuída apresentou, nos últimos anos, uma extraordinária expansão na capacidade de geração e no número de unidades consumidoras que passaram a ser geradoras de energia por placas solares.

A tabela 2, abaixo, apresenta os dados disponibilizados pela ANEEL, de Geração Distribuída de energia solar fotovoltaica (radiação solar) no Brasil, distribuída por classe, até setembro de 2021.

Tabela 2 - CAPACIDADE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOLAR FOTOVOLTAICA POR CLASSE

CLASSE	QTDE GD	Ucs REC	CRÉDITOS	POT INSTALADA (Kw)
Comercial	89.899		132.885	2.530.269
Iluminação Pública	37		44	1.080
Industrial	12.838		17.009	562.053
Poder público	2.096		3.249	84.030
Residencial	478.209		568.774	2.996.289
Rural	46.411		66.081	973.966
Serviço público	138		247	7.066
TOTAL	629.628		788.289	7.154.754

Elaboração própria, Fonte: ANEEL 2021a.

Além da Potência Instalada (kW) de cada classe, a tabela mostra quantas unidades consumidoras estão gerando energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, o que corresponde à coluna “Qtde.GD”, e quantas unidades consumidoras estão recebendo créditos pela energia gerada, o que se mostra na coluna “UCs Rec Créditos”. Do que se nota, do total de 7,1 GW sendo gerados por unidades de Geração Distribuída, a classe Comercial, que gera 2,5 GW (35,3%), em 89.987 unidades geradoras, e a classe Residencial, que gera 2,9 GW (41,8%), em 478.181 residências, formam as duas categorias que maior participam dessa forma de geração.

A tabela 3, abaixo, mostra os mesmos dados da Geração Distribuída no Brasil, até setembro de 2021, fornecidos pela ANEEL. Porém, agora, as informações estão ordenadas pela quantidade de sistemas fotovoltaicos instalados por ano, em uma série que inicia em 2007 até setembro de 2021.

Tabela 3 - CAPACIDADE DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA - INSTALAÇÕES POR ANO

<u>Ano</u>	<u>QTDE GD</u>	<u>Ucs REC CRÉDITOS</u>	<u>POT INSTALADA (Kw)</u>
2007	1	1	0,50
2008	2	3	28,96
2009	2	2	23,20
2010	6	7	40,00
2011	5	9	90,00
2012	6	7	467,22
2013	52	65	1.474,26
2014	296	325	2.659,73
2015	1.431	1.653	9.702,02
2016	6.689	7.611	49.561,28
2017	13.991	16.636	127.867,37
2018	37.689	46.179	399.418,12
2019	122.717	156.380	1.533.719,08
2020	212.668	267.913	2.660.445,07
2021*	236.155	291.500	2.369.451,61
Total	631.710	788.291	7.154.948,42

Elaboração própria; Fonte: ANEEL2021a. (*dados até setembro de 2021)

Conforme se nota, entre 2007 e 2013 as instalações de sistemas fotovoltaicos de Geração Distribuída no Brasil era praticamente nula. A partir de 2014 as instalações começam a aumentar, sendo que, a partir de 2015 essa quantidade passa a ter uma grande expansão, observamos uma taxa de crescimento superior a 200% até 2019. Essa grande expansão se deu em razão da REN 482/2012 que permitiu a compensação e da redução nos custos dos sistemas fotovoltaicos sentidos nos últimos períodos, conforme discutido anteriormente. Podemos observar que apesar da estagnação econômica e a pandemia do Corona vírus, observamos um crescimento de 73% em 2020 na potência instalada.

Mesmo que a Geração Distribuída de energia fotovoltaica ainda seja pequena comparada a matriz elétrica, percebe-se que vem crescendo de forma rápida nos últimos anos, principalmente com as instalações de sistemas fotovoltaicos em edificações comerciais e residenciais.

3.4 TOMADA DE DECISÃO EM ADERIR A GDFV

Apesar de todo apelo ambiental a decisão de aderir a GDFV é econômica, o consumidor toma essa decisão como um investimento, observando o tempo de retorno do investimento (*payback*) e o retorno financeiro do investimento (TIR). Buscamos agora verificar a tomada de decisão com base no *payback* e TIR, decompomos a demanda de energia em um agente que representa seu estrato de renda a fim de verificar diferentes níveis de renda e consumo que podem aderir ao sistema GDFV, iremos levantar os custos dos equipamentos para atender a demanda, verificar os financiamentos disponíveis e suas taxas e prazos, calcular o retorno para cada agente.

O primeiro fator a considerarmos é a renda, buscamos estratificar a população brasileira de acordo com a renda domiciliar média, para isso adotaremos o critério Brasil da Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP) que elabora anualmente uma pesquisa com dados do IBGE e Datafolha, o Critério busca classificar em estratos socioeconômicos a sociedade brasileira. Abaixo o último levantamento referente a proporção de cada classe e a renda domiciliar média.

Tabela 4 - RENDA FAMILIAR MÉDIA POR ESTRATO SOCIAL

Extrato Sócio Econômico	Renda Domiciliar Média 2020	Pop. %
A	22.749,24	2,8%
B1	10.788,56	4,6%
B2	5.721,72	16,2%
C1	3.194,33	20,4%
C2	1.894,95	27,2%
DE	862,41	28,8%
Média	3.475,61	

Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP), 2021

Agora precisamos associar o consumo (kW/h) e custo (R\$) com energia elétrica para cada estrato. O Estudo do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2020a) calcula as projeções e histórico de elasticidade renda do consumo de energia elétrica e em todos os cenários a elasticidade renda é superior a 1, são analisados cenários de acordo com projeções de crescimento da economia um otimista com elasticidade (ϵ) igual 1,07, um médio ϵ 1,28 e um cenário de estagnação ϵ 1,72, Devido à falta de dados relacionando renda e consumo de energia elétrica residencial, utilizaremos como *proxy* valor de referência de elasticidade renda, ϵ igual a 1 para projetar o consumo dos estratos sociais. A elasticidade-renda é o feito da variação da renda sobre a demanda, é definida pela variação percentual na quantidade dividida pela variação percentual na renda. (Varian, 2016)

Há significativos efeitos do ano de 2020 na elasticidade-renda, que se mantém maior que a unidade em todos os cenários. Quanto mais tímido o cenário para a atividade econômica, maior a intensidade elétrica resultante, por conta de efeito estrutural entre os setores. Ainda assim, há incremento da intensidade elétrica em todos os cenários. (EPE, 2020a)

Segundo a Resenha mensal do mercado de energia elétrica de janeiro de 2020, o consumo médio mensal residencial por unidade consumidora no Brasil é de 162 kWh/mês, dado o valor do consumo médio brasileiro utilizaremos a elasticidade renda, para aplicar as demais faixas da renda um valor de consumo estimado. (EPE, 2020b)

A média das tarifas de energia residencial homologadas no Brasil, segundo relatório de fornecimento da ANEEL é de R\$ 0,5738, foram contabilizadas a média das tarifas convencionais praticadas pelas concessionárias e permissionárias. Devemos incluir também na tributação o valor dos tributos a ABRADDEE calculou no último levantamento uma média de 38,7% de tributos e encargos no Brasil (ICMS, PIS/COFINS e encargos setoriais), assim o custo para o consumidor fica em R\$ 0,7959.

Com base nos dados dos estratos de renda, consumo, tarifa média, e gasto mensal com energia elétrica projetado, foram criados seis agentes representantes de cada estrato econômicos. Não foram contabilizadas taxas que não são compensadas com os créditos gerados pela REN 482/2012, como a taxa de iluminação pública.

Tabela 5 - GASTO MENSAL DOS AGENTES ECONOMICOS

Agente	Renda Domiciliar Média 2020	Consumo kWh/mês	Gasto mensal
A	22.749,24	1.060	843,93
B1	10.788,56	503	400,23
B2	5.721,72	267	212,26
C1	3.194,33	149	118,50
C2	1.894,95	96	76,49
DE	862,41	74	58,68

Elaboração própria com base em dados da EPE, ANEEL, ABRADDEE, ABEP.

De acordo com o consumo mensal de cada agente, foi pesquisado junto as empresas agregadoras de energia, sistemas fotovoltaicos que possam atender a demanda das cinco faixas de consumo. Solicitamos as empresas orçamentos de sistemas fotovoltaicos para atender cada agente, foram solicitados orçamentos do custo total médio, que incluem equipamentos, instalação e projeto para as empresas GENA Energia Solar, JIG Solar, Renova Green, Brassunny. De acordo com os dados informados pelas empresas consultadas, compilamos na tabela 6 os

resultados da pesquisa, a potência do sistema indicado, o custo total de investimento e potência média gerada pelo sistema.

Tabela 6 - COTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

AGENTE	Consumo kWh/mês	Geração média kWh	Investimento total (R\$)
A	1342	1456	55.836,00
B1	592	647	26.980,00
B2	296	323	13.992,00
B1	147	161	7.999,20
B2	83	161	7.999,20
DE	34	81	3.999,60

Elaboração própria fonte: (JIG Solar, GENA Energia Solar, Renova Green, Brassunny)

Devido ao alto custo de um sistema solar, o financiamento se faz necessário na realidade dos consumidores residenciais, para isso levantamos também os financiamentos para energia solar fotovoltaica, verificamos as linhas de crédito e taxas a fim de simular o financiamento para cada agente. Consultamos os principais agentes que oferecem financiamentos para o setor solar entre eles, Santander 1,40% a.m., BV Financeira de 0,75 a 1,54% a.m., Banco do Brasil 1,2% a.m., Bradesco 0,99% a.m., Caixa Econômica 1,95% a.m., Sicoob 1,16% a.m., Acredicoop 1,13% a.m., Sicredi 1,18% a.m., as taxas variam de acordo com diversas condições como carência, entrada, relacionamento com o banco entre outros. Os integradores fotovoltaicos, agente que fazem o projeto, venda e instalação dos sistemas, geralmente intermediam o financiamento (Como ocorre no setor automotivo).

Elaboramos com base nas informações anteriores o cálculo do **VPL** para o investimento de cada agente, como taxa de referência TMA usaremos a SELIC com as projeções segundo Boletim Focus. Calculamos também a TIR e o *payback* de cada equipamento. Na tabela 7 apresentamos os resultados para cada agente.

Tabela 7 - RETORNO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Agente	VPL	TIR	Payback (anos)
A	67.175,14	17,8%	7,13
B1	51.313,99	23,8%	5,12

B2	14.593,85	15,3%	8,67
C1	7.959,75	14,9%	8,90
C2	2.301,68	9,2%	15,79
DE	996,95	9,1%	16,02

Elaboração própria, fonte: (JIG Solar, GENA Energia Solar, Renova Green, Brassunny)

A análise permite verificar a viabilidade de projetos de sistemas fotovoltaicos, observamos que há relação direta positiva do consumo com o retorno, principalmente nas classes C1 e superior a decisão de aderir ao sistema fotovoltaico é mais atrativa, nas classes C2 e DE o tempo de *payback* pode pesar negativamente e também não há aparelhos dimensionados para baixo consumo. A aplicação de projeção do impacto no aumento de tarifas será abordada no próximo capítulo.

4 IMPACTOS DA GDFV NAS DISTRIBUIDORAS

Vários trabalhos já abordaram o tema da energia fotovoltaica, a discussão sobre conflitos entre geradores fotovoltaico, distribuidora e demais consumidores é recente e complexo, verificaremos o que encontramos na literatura, como ocorreu esse processo em países que já experimentaram uma maior inserção da GDFV e estudos para o caso brasileiro.

4.1 CASOS INTERNACIONAIS

Seguiremos analisando os casos da Califórnia, Alemanha e Itália, entenderemos como ocorreu o processo de expansão dos sistemas de GDFV, entender a regulação aplicada e os resultados.

4.1.1 Califórnia

Nos estados Unidos a regulação do setor elétrico é realizada a nível estadual, na Califórnia onde três empresas dominam 75% do mercado (*Pacific Gas and Electricity (PG&E)*, *Southern Edison California (SEC)* e *San Diego Gas & Electricity (SDG&E)*), a regulação tarifária do setor de distribuição é do tipo *revenue cap* onde limita a receita das empresas e são revisados a cada três anos os custos que as empresas podem projetar. As tarifas cobradas dos consumidores são monômias cobradas pelo consumo kWh e possui quatro faixas de consumo de caráter progressivo a fim de estimular a eficiência energética. O fomento as energias renováveis tem por marco a promulgação da *Senate Bill 656*, a lei do “*Net Energy Metering*” (NEM), em 1995, qual a energia gerada pode ser injetada na rede em sistemas fotovoltaicos com capacidade de até 10 kW, esse produção injetada seria valorada ao preço da distribuidora gerando crédito que abateria das faturas vindouras ou em doze meses se não utilizados receberiam uma compensação financeira, os sistemas instalados deveriam estar dentro de um limite de 0,1% da demanda de pico. A lei do “*Net Energy Metering*” passou por diversas atualizações qual aumentou a capacidade dos sistemas para até 1MW, reajustes no valor da

compensação financeira e principalmente elevação do limite de demanda pico 5% e incluído aéro geradores (turbinas eólicas).

Com isso a Califórnia lidera na implementação da energia fotovoltaica nos Estados Unidos, com 4,7 MW de sistemas instalados, dos quais 3 MW são de sistemas residenciais. O autor aponta para transferência do custo adicional decorrente da difusão da geração fotovoltaica distribuída para os consumidores que não optaram pelo sistema fotovoltaico. Segundo a *San Diego Gas & Electric* esses custos seriam de US\$ 100,00 por família anualmente e a *Pacific Gas and Electricity* estimou em US\$ mensais. Dadas as circunstâncias as companhias de distribuição propuseram a implementação de tarifas fixas mensais e a redução da valoração dos excedentes de energia injetados na rede, isso gerou um debate entre o regulador da Califórnia, a *California Public Utilities Commission (CPUC)*, e os distribuidores sobre o net metering baseado na valoração da energia excedente injetada no sistema. (CÂMARA, 2017.)

4.1.2 Itália

O modelo de renumeração das distribuidoras italianas é semelhante ao modelo brasileiro com regulação do tipo *price-cap* e um fator X, que transfere ganhos em produtividade para os consumidores em um período de oito anos. A tarifa residencial é formada por três componentes um fixo, um referente a potência (viabilizado pela implementação de medidores inteligentes) e um de volumétrico progressivo (para incentivar a eficiência energética, quanto maior o nível de consumo maior o valor do kWh). A Itália passou por um programa de incentivo chamado Conto Energia em 2005, esse sendo revisado em 2007, que praticava uma tarifa *feed in tariff* (FIT), que é o pagamento sobre o total da energia produzida, não apenas a injetada, no Segundo Conto Energia de 2007, ficou estabelecida uma redução de 2% ao ano na tarifa FIT. Posteriormente em 2008 foi expandida o tamanho dos sistemas que poderiam adotar o *net metering*, para sistemas fotovoltaicos com capacidade instalada de até 200 kW e em 2011 houve uma redução da tarifa *feed in tariff*.

Em 2015 a Itália já possuía 688.398 sistemas fotovoltaicos, com capacidade de 18,9 GW de capacidade instalada, do qual 18% da produção energia fotovoltaica gerada por sistemas de pequeno porte até 20 kW, dado que esses sistemas de pequeno porte, além do FIT, poderiam adotar o *net metering*. Com a redução do volume de consumo a receita realizada pelas distribuidoras italianas foi inferior a receita projetada, essa perda causou aumentos tarifários ao final de cada ano, de modo que os custos relacionados aos serviços prestados aos prosumidores eram então transferidos para os demais consumidores. O regulador italiano pretende estabelecer uma nova estrutura tarifária que leve os consumidores a pagarem exatamente pelos custos que impõem ao sistema, os consumidores residenciais devem pagar as mesmas tarifas independente do volume de eletricidade consumido, com isso reduzir em cerca de 25% os subsídios cruzados inerentes a estrutura tarifária vigente. (CÂMARA, 2018)

4.1.3 Alemanha

A regulação tarifária do setor de distribuição na Alemanha é do tipo *revenue cap* que limita a receita com base nos custos, produtividade, qualidade e inflação e as tarifas cobradas dos consumidores são do tipo binômia. Quanto aos incentivos destacou a lei das energias renováveis, *Erneuerbare Energien Gesetz* (EEG), implantado subsídio *feed in tariff* (FIT) para as energias renováveis, remunerando a energia injetada na rede, prefixada, dependendo da data da instalação e potência, dando ao gerador uma garantia do FIT por 20 anos. A EEG sofreu várias alterações nos anos seguintes eliminando o limite de capacidade máxima dos sistemas, reduzindo as tarifas FIT (novos contratos), assim reduzindo os incentivos progressivamente e a partir de 2014 um novo mecanismo é adotado o *feed in premium*, qual a geração é vendida no mercado livre e recebe uma compensação da diferença entre o preço de mercado e a remuneração garantida pelo EEG, assegurando a garantia do EEG de 20 anos, somente sistemas até 100 kW podem receber a tarifa FIT. (CASTRO, 2018)

Já em 2014 a Alemanha possuía 38 GWp de capacidade instalada fotovoltaica, devido a uma série de programas de incentivos como o programa cem mil telhados, programa um milhão de Telhados e a Lei de Energias Renováveis -

EEG (2004). As distribuidoras enfrentaram um desafio técnico, manter o nível da tensão do sistema, usando um controle de potência, limitação de potência injetada e controle remoto por parte da distribuidora. A EEG regula os possíveis conflitos de interesses entre a distribuidora e os proprietários da GDFV, já que os controles só podem ser usados durante sobrecargas da rede elétrica, e não em sua operação normal. (MME, 2015)

4.2 IMPACTOS ECONÔMICO E FINANCEIRO

Conforme visto no capítulo 3.1, está em discussão uma revisão da REN 482, o trabalho de ANDRADE et al. 2019, busca verificar o impacto financeiro da revisão da REN 482 para a classe residencial em minas gerais. Usando o método de fluxo de caixa descontado para um prosumidor residencial em Minas Gerais, com sistema de geração de 1.511 kWh/kWp/ano, nesse estudo foram considerados, reposição do módulo fotovoltaico após doze anos, Inflação, custos de manutenção, queda de eficiência, TMA de 7,6% a.a. Foram analisados dois cenários, um com a regra vigente de compensação total até 2030 e um segundo cenário considerando as alternativas da revisão já no primeiro ano. No primeiro cenário o *payback* descontado é de 3,5 anos, os impactos da revisão se dão após o retorno do investimento. Os autores verificam o impacto referente as alternativas propostas de revisão da ANEEL já vigentes a partir de 2021, verifica-se o impacto significativo da revisão. Apesar do rápido retorno considerando o *payback*, verifica-se um forte impacto no fluxo de caixa do projeto devido a longa maturação do investimento, apesar da revisão causar a queda do retorno, ainda assim os sistemas fotovoltaicos se mantem viáveis.

A dissertação, Inserção da micro e mini geração distribuída solar fotovoltaica: Impactos na receita das distribuidoras e nas tarifas dos consumidores (Simone, 2019), busca avaliar e quantificar em termos monetários o impacto da geração distribuída fotovoltaica na receita das distribuidoras e também impactos na tarifa dos consumidores. A queda de receita pode impactar a qualidade do serviço prestado. O estudo estima que para 2030 a capacidade instalada seja de 15GW, que pode causar a perda de R\$ 5 Bilhões de reais para as distribuidoras no período até 2030 e os reajustes tarifários superar 10% somente pela inserção da GDFV. Aponta que são necessários aprimoramentos no sistema tarifário, há uma

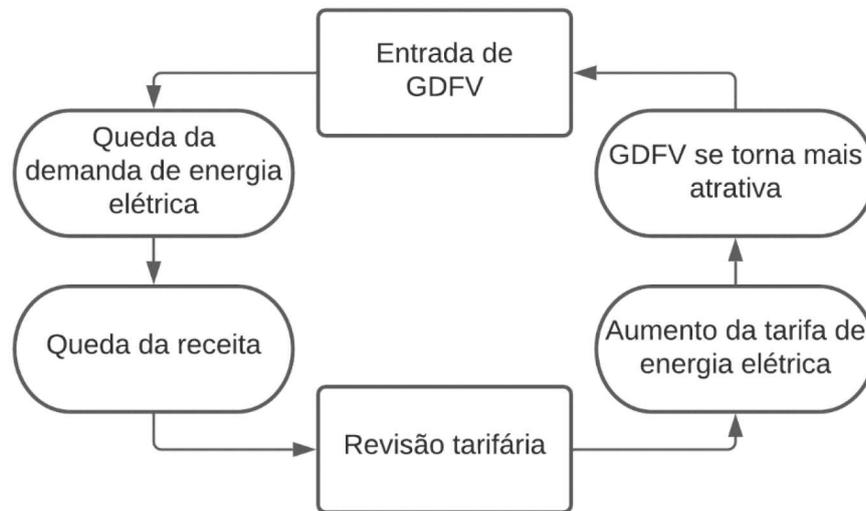
preocupação para que os incentivos a GDFV não impacte os consumidores menos favorecidos. Usando a teoria da difusão, qual calcularam a inserção dos sistemas fotovoltaicos em razão da sensibilidade ao *payback*, o estudo identificou um mercado residencial potencial de acordo com a renda e consumo de 17,5% dos domicílios. Os resultados apontam redução de 36% do *payback* até 2030 para as classes residencial, estimado em 3,4 anos o *payback* em 2030, devido a redução do custo de investimento nos sistemas fotovoltaicos e aumento tarifário. Em um cenário de aplicação de tarifas binômias, cobrança de uma parcela fixa na tarifa, o impacto para distribuidoras seria de R\$ 760 milhões em 2030, com redução de 40% no número de adotantes da energia solar e reajustas em torno de 5% até 2030 devido à expansão da GDFV.

Os reguladores enfrentam um desafio em promover a difusão da energia fotovoltaica e não impactar financeiramente as distribuidoras de energia, também há uma preocupação crescente quanto aos impactos que podem afetar os consumidores não optantes da geração distribuída.

4.3 COST-SHIFTING E ESPIRAL DA MORTE

O modelo regulatório baseado na tarifa volumétrica causa um impacto cíclico, onde a entrada de mais consumidores na geração distribuída causa a queda da demanda das distribuidoras, como a receita é calculada exclusivamente pelo fator volumétrico e os custos permanecem, esses são compensadas nas revisões tarifárias subsequentes com o reajuste de preços (CÂMARA, 2017). Como vimos no capítulo 3, o nível de preço da energia é um dos principais critérios para a tomada de decisão em optar pela energia solar distribuída, então a cada revisão e com o impacto da elevação das tarifas de energia elétrica, tornará o sistema fotovoltaico atraente para uma parcela maior da população, assim diminuindo ainda mais a demanda das distribuidoras a cada ciclo de revisão tarifária, sendo esse processo cíclico chamado de espiral da morte, demonstrado na figura 3.

Figura 3 - ESPIRAL DA MORTE DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA



Elaboração própria.

Como a disseminação da GDFV tem impacto no preço da energia elétrica, esse não é sentido pelos prosumidores ou são pouco impactados, nos casos de gerarem menos que o consumo, pois sua capacidade de geração de energia é equivalente à sua demanda média, o aumento sistêmico impacta principalmente os consumidores que não adotarem a GDFV, esse fenômeno é chamado de *cost-shifting*. O processo causa uma realocação dos custos, como demonstrado no ciclo da espiral da morte, a entrada da GDFV reduz a receita das distribuidoras, que assumem os custos no primeiro momento, na revisão tarifária os custos são calculados e repassados na tarifa, já que os prosumidores geram sua própria energia na média, esse impacto recai pelos não adeptos da geração distribuída. Dessa forma os custos são redistribuídos de forma que há uma externalidade do consumo, transferindo os custos dos optantes pela GDFV para os não optantes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As distribuidoras de energia devido ao modelo regulatório têm um papel passivo com a entrada da geração distribuída fotovoltaica, com a queda na demanda das distribuidoras e dados os seus custos fixos, há um impacto financeiro negativo até o próximo período da revisão tarifária, o reajuste tarifário acaba gerando um incentivo econômico a entrada de novos adeptos da geração distribuída, dada que a tomada de decisão é em razão do custo da energia elétrica sobre o investimento no sistema fotovoltaico, foi observado a tendência de alta nos preços da energia elétrica contra a tendência de redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos potencializado pelo fenômeno da espiral da morte.

Observamos que a geração distribuída fotovoltaica impacta também prossumidores e demais consumidores de formas distintas, os prossumidores são subsidiados pelos demais consumidores, assim repassando os custos da distribuição para os demais consumidores (aqueles não optantes da geração distribuída). Não é razoável que os não optantes de sistemas fotovoltaicos, que em especial é a população de mais baixa renda, financie a geração distribuída por meio da elevação das tarifas, portanto se faz necessário o aprimoramento do sistema tarifário brasileiro, a fim de propor uma melhor alocação dos custos entre todos agentes.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dada a importância do setor elétrico na cadeia produtiva, no bem-estar da população e a penetração de novas tecnologias no setor, recomenda-se novos e mais aprofundados estudos.

Levantamento do consumo de energia por faixa de renda dos consumidores.

Mensurar o impacto da GDFV na tarifa de EE para os consumidores não optantes da geração distribuída.

Estudo sobre eficiência da alocação dos custos de energia elétrica, a fim de propor uma alocação mais eficiente dos custos de energia elétrica, com o aprimorando o modelo tarifário brasileiro.

Estudo de viabilidade de sistemas *off-grid*, com o desenvolvimento da tecnologia de baterias com foco em veículos elétricos, os sistemas *off-grid* devem ganhar impulso com o desenvolvimento de baterias, que são o maior gargalo desse sistema e a crescente demanda de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 09 de Out. 2021a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST**. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/images/pdf/aneel-prodist-vigente.pdf>> Acesso em: 26 de Jan. 2021. Brasília: Aneel, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de regulação tarifária - PRORET**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2018831_Proret_Submod_9_8_V2.pdf> Acesso em: 07 de out. de 2021b.

ANDRADE, Rodrigo L. de; et. Al. **Estudos dos impactos econômico-financeiros causados pela revisão da resolução normativa 482/2012 em uma instalação de microsistema solar fotovoltaico**. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/>>. Acesso em 09 de ago de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA. **Critério Brasil 2021**. Disponível em: <<https://www.abep.org/criterio-brasil>> Acesso em: 18 de set. de 2021. São Paulo, 2021.

BRASIL. Lei Nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Regulamento Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9427compilada.htm>. Acesso em: 09 Out. 2021a.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. Acórdão 3063/2020. Relator: Ana Arraes. Brasília, 18 Novembro de 2020. Disponível em: <<https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/3764220197.PROC/%2520/DTRELEVANCIA%2520desc%2520C%2520NUMACORDAOINT%2520desc/0/%2520?uuid=65633580-34ce-11eb-9355-2711d396825c>>. Acesso em 16 de nov de 2021b.

BRITO, M.C.; VALLÊRA, A. M. **Meio século de história fotovoltaica**. Gazeta de física. Lisboa, v. 29, pg. 10-15, 2006.

CÂMARA, Lorrane da S. C. **O Impacto da difusão da geração distribuída sobre o equilíbrio econômico-financeiro das distribuidoras de energia elétrica nos casos da Califórnia e da Itália**. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento) – Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

CASTRO, Nivalde J. de; DANTAS, Guilherme. **Experiências Internacionais em Geração Distribuída: Motivações, impactos e ajustes**. Rio de Janeiro: Publit, 2018.

CPFL. **Divisão do mercado de energia**. Disponível

em:

<<http://www.cpfrenovaveis.com.br/show.aspx?idCanal=vmIx/YBjsPrd009TTFW81Q==>> Acesso em: 25 de set. de 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estudos do plano decenal de expansão de energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2020a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano nacional de energia 2050**. Brasília: EPE, 2020b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Rio de Janeiro: n. 148, jan. de 2020c.

GRENNER. **Estudo Estratégico Geração Distribuída: Mercado Fotovoltaico**, 1º semestre de 2020. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudos/>>. Acesso em: 16 de out. de 2021. São Paulo, 2020.

GRENNER. **Estudo Estratégico Geração Distribuída: Mercado Fotovoltaico**, 1º semestre de 2021. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudos/>>. Acesso em: 16 de out. de 2021. São Paulo, 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Disponível em: <<https://www.irena.org/>>. Acesso em: 16 de out. de 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY: IRENA 2020, Renewable Power Costs in 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Programa de desenvolvimento da geração distribuída de energia elétrica**. Brasília: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015. Relatório.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: Situação e perspectivas**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2017. Estudo técnico.

OLIVEIRA, Atelmo F. de. **Setor elétrico, perspectivas e desafios para a contabilidade de custos**, VII Congresso Brasileiro de Custos – Recife, 2 a 4 de agosto de 2000.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 09 de Out. 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>. Acesso em: 03 de mar de 2021.

PINHO, J. T et. al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES, 2014.

SIMONE, Lucas F. C. **Inserção da micro e mini geração distribuída solar fotovoltaica**: Impactos na receita das distribuidoras e nas tarifas dos consumidores. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

VARIAN, Hal. R. **Microeconomia**: Uma abordagem moderna. 3^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.