

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ENGENHARIA DE ENERGIA

Análise do Perfil de Mercado de Mini e Microgeração Distribuída Fotovoltaica no Rio  
Grande do Sul

por

**Gabriel Alves Beirão**

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, Maio de 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA DE ENERGIA

Análise do Perfil de Mercado de Mini e Microgeração Distribuída Fotovoltaica no Rio Grande do Sul

por

Gabriel Alves Beirão

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flavio Antônio Becon Lemos  
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientadora: Profa. Dra. Letícia Jenisch Rodrigues

Banca examinadora:

Prof. Dr. Fabiano Perin Gasparin – DEMAT / UFRGS  
Profa. Dra. Mariana Resener – Simon Fraser University  
Eng. Alexandre Vinicius Becker – ENGIE Soluções

Porto Alegre, Maio de 2022.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, por todo o esforço e sacrifício que realizaram por mim, sempre garantindo uma educação e uma formação de qualidade.

A todos membros da minha família, que me apoiaram desde o princípio e me ajudaram em todos os momentos.

Às amigas construídas ao longo da formação, que tornaram a graduação uma experiência mais divertida e afetuosa.

A todos os meus professores, pelos ensinamentos transmitidos ao longo da minha graduação.

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Letícia Jenisch Rodrigues, pela orientação e pelos conhecimentos compartilhados ao longo deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por ter me proporcionado um ensino gratuito e de qualidade.

BEIRÃO, G. A. **Análise do Perfil de Mercado de Mini e Microgeração Distribuída Fotovoltaica no Rio Grande do Sul.** 2022. 22 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

## **RESUMO**

O presente trabalho tem como objetivo analisar o atual perfil de mercado de Mini e Microgeração Distribuída Fotovoltaica (MMGDFV) no estado do Rio Grande do Sul (RS), e a partir disso, comparar e atualizar os resultados apresentados pelo perfil de mercado traçado em 2019. Por fim, o trabalho visa fazer uma previsão do mercado de MMGDFV para o futuro. A análise foi feita utilizando dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, na qual foram avaliados diversos parâmetros, como os locais das instalações, suas potências instaladas, a modalidade e o setor onde elas se encaixam. Como resultados da análise, foi possível perceber que o aumento do número de instalações está ligado à diversos fatores, mas mais diretamente ao poder econômico dos municípios e aos incentivos a esse tipo de geração, e não necessariamente ao potencial solar disponível da região. Além disso, verificou-se que a maior parcela da capacidade instalada está no setor residencial, diferentemente do perfil traçado em 2019, onde o setor comercial era predominante nesse quesito. O setor residencial foi o que mais cresceu em números absolutos nos últimos anos, representando mais de 74% do total das instalações, mas foi o setor rural o que mais cresceu percentualmente, de aproximadamente 6% para 12%. Por fim, foi possível perceber um grande crescimento da modalidade de MMGDFV no RS, validando a hipótese levantada no perfil de 2019, onde foi previsto uma curva acentuada de crescimento do número de instalações. Essa curva acentuada está se estabilizando e se tornando cada vez mais linear, por isso, para os próximos anos, a tendência é que esse aumento do número de instalações continue, mas em um ritmo menos acelerado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mini e Microgeração Distribuída, Energia Solar Fotovoltaica, Perfil de Mercado.

BEIRÃO, G. A. **Analysis of the Mini and Micro Photovoltaic Distributed Generation Market Profile in Rio Grande do Sul**. 2022. 22 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

## **ABSTRACT**

The present work aims to analyze the current market profile of Mini and Micro Distributed Photovoltaic Generation (MMGDFV) in Rio Grande do Sul (RS), Brazil, and compare and update the results presented by the market profile outlined in 2019. Furthermore, the work aims to forecast the MMGDFV market for the future. The analysis is conducted using the data from the National Agency of Electric Energy – ANEEL. Several parameters were evaluated. Such as the locations of the facilities, their power, the modality, and the sector where they fit. As a result, it was possible to see that the increase in the number of installations is linked to several factors, but more directly to the economic power of the municipalities and the incentives for this type of generation, and not necessarily to the available solar potential of the region. In addition, the largest share of installed capacity is in the residential sector, unlike the profile drawn in 2019, where the commercial sector was predominant in this regard. The residential sector has grown the most in absolute numbers in recent years, accounting for over 74% of total installations. Still, the rural sector grew the most percentually, from approximately 6% to 12%. Finally, it is possible to see a significant increase in the MMGDFV modality in RS. This outcome validates the hypothesis raised in the 2019 profile, where a sharp growth curve was predicted in the number of installations. This sharp curve is stabilizing and becoming increasingly linear, so for the coming years, the trend is that this increase in the number of installations will continue but at a less accelerated pace.

**KEYWORDS:** Mini and Micro Distributed Generation, Solar Photovoltaic, Market Profile.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
3	CONTEXTUALIZAÇÃO E CONCEITOS IMPORTANTES .....	2
3.1	Matriz elétrica brasileira.....	2
3.2	Potencial Solar.....	3
3.3	Geração Distribuída.....	4
3.4	Cenário da Geração Distribuída no Brasil.....	5
3.5	Nova Lei da Geração Distribuída .....	8
4	METODOLOGIA DESENVOLVIDA .....	9
5	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO RIO GRANDE DO SUL.....	11
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	13
7	CONCLUSÕES.....	22

## 1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por energia elétrica, torna-se necessário cada vez mais a diversificação das fontes de energia para geração de eletricidade. Essa diversificação é importante devido principalmente às indicações de esgotamento de recursos naturais, fazendo com que as fontes renováveis possuam uma participação cada vez maior nos próximos anos. Segundo a International Energy Agency, IEA, a matriz elétrica mundial mostra que os recursos não renováveis ainda são dominantes, com uma participação de 71% na geração de eletricidade, e 29% de fontes renováveis. Apesar disso, é possível perceber um crescimento na utilização dessas fontes, que em 2010 possuíam uma participação de 20%, 9% abaixo da atual (IEA, 2020).

Em contrapartida ao cenário mundial, a matriz elétrica brasileira é majoritariamente renovável, com uma participação de 84,8% na geração de energia elétrica, na qual 65,2% são de fontes hídricas (BEN, 2021). Além disso, o país tem apresentado diversos incentivos à geração com fontes renováveis que reduzem os custos de transmissão de energia, através de gerações descentralizadas, em uma modalidade chamada Geração Distribuída (GD). A GD pode ser definida como a geração de energia elétrica no local de consumo ou próximo a ele, sendo válida para diversas fontes de energia renováveis, como a energia solar, eólica, biomassa e hídrica, ou até mesmo termelétrico, desde que apresente uma cogeração qualificada. (ANEEL, 2016). No Brasil, 99,9% do número de instalações com micro e minigeração distribuída provém de fonte solar, sendo Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul os estados com o maior número de instalações no país (ANEEL, 2022).

No contexto nacional, o primeiro registro de GD na ANEEL ocorreu em junho de 2007, mas foi apenas a partir de 2012, ano em que entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que essa modalidade começou efetivamente a se espalhar pelo país. A REN nº 482/2012 estabeleceu que o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Em 2016, através da Resolução Normativa nº 687/2015, que alterou e complementou a resolução anterior, o número de instalações de GD começou a crescer substancialmente no Brasil. O grande potencial solar e o sistema de repasse de créditos excedentes fazem com que o número de unidades consumidoras que recebem eletricidade a partir desse meio seja ainda maior, e ganhe cada vez mais adeptos. A opção pela análise do perfil de mercado de Mini e Micro GD no Rio Grande do Sul, RS, ocorreu devido ao estado ser um dos principais atuantes nessa modalidade no Brasil, ter um grande potencial de crescimento, assim como para verificar a mudança que ocorreu nesse perfil desde o estudo apresentado por Petter, em 2019.

O objetivo deste trabalho foi analisar o atual perfil de mercado de mini e microgeração distribuída fotovoltaica no estado do Rio Grande do Sul, passando pelos motivos que levam o estado a ser um dos principais participantes no cenário nacional desta modalidade, as diferentes classes de consumidores e suas participações em relação à capacidade instalada total. Por fim, foi feita uma comparação com os resultados obtidos em 2019, verificando as variações nos parâmetros estudados, e traçando uma perspectiva de crescimento para os próximos dois anos desta modalidade na região.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A energia solar é um assunto bastante amplo e traz oportunidade de diversas pesquisas e trabalhos com diferentes objetivos e metodologias. Para o trabalho em questão, foram retiradas informações de diferentes áreas de estudo, onde os principais tópicos abordados são referentes ao mercado de geração distribuída (GD).

O estudo de Petter e Rodrigues, em 2018, apresentou uma análise do perfil de mercado de energia solar fotovoltaica no estado do Rio Grande do Sul até setembro de 2017. Foram criados indicadores a partir de diversos parâmetros, entre eles, a classe de consumo, modalidade de contrato, fonte e PIB, e então comparados aos indicadores brasileiros. Como conclusão, os autores verificaram que o alto número de instalações está ligado, entre outros fatores, à renda *per capita* da região, e espera-se uma curva acentuada de crescimento de sistemas fotovoltaicos nos próximos anos. Esse estudo foi então reforçado pelos autores em 2019, avaliando o mesmo perfil a partir dos novos dados obtidos até 01/11/2018.

Cavalcanti et al., 2017, fizeram em seu estudo uma revisão da geração distribuída fotovoltaica conectada à rede, mostrando a importância da diversificação da matriz elétrica brasileira. Além disso, o estudo trouxe incentivos implementados até o momento, como o desconto nas tarifas de transmissão e distribuição na geração a partir de fontes renováveis, além de outros que poderão ser implementados, e que poderão trazer um aumento nesse tipo de geração nos próximos anos. Concluíram, ainda, que essa expansão pode possuir diferentes barreiras, sejam naturais, técnicas, financeiras ou políticas, e que é necessária a implementação de diferentes estratégias para superá-las.

Petter, 2019, avaliou o desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede, SFCR, cuja instalação foi feita no Estado do Rio Grande do Sul. A geração do sistema foi avaliada pelo período de um ano e, então, comparada com os resultados obtidos no software de simulação PVSyst. O SFCR enquadra-se no sistema de compensação de energia elétrica da ANEEL e possui uma potência instalada de 40,32 kWp. Como resultado, foi observado que a simulação teve um valor 15% acima do que o sistema real produziu, e o fator que levou à essa diferença foi a Irradiação Global Horizontal medida de 2018 ser 13% inferior à irradiação utilizada pelo PVSyst. Verificou-se ainda que o investimento é financeiramente atrativo para as três principais distribuidoras do RS.

Rampinelli et. al., 2018, fizeram uma avaliação do sistema de compensação de geração distribuída com sistemas fotovoltaicos em unidades prosumidoras (produtoras + consumidoras) residenciais. A análise foi feita a partir de um monitoramento de variáveis energéticas e elétricas dos SFCR em unidades consumidoras residenciais, considerando a injeção de energia elétrica na rede de distribuição. Como resultados, os sistemas de 1,25 kWp e 2,08 kWp compensaram, respectivamente, 80% e 95% do consumo anual de suas residências, apresentaram uma produtividade anual de 1.300 kWh/kWp e 1.600 kWh/kWp, e a energia injetada na rede representou a fração de 50% e 65% da energia gerada.

### 3 CONTEXTUALIZAÇÃO E CONCEITOS IMPORTANTES

#### 3.1 Matriz elétrica brasileira

A geração de energia elétrica pode ser dividida em dois tipos de fontes: as renováveis, e as não renováveis. O Brasil é um país onde há a predominância de geração a partir de fontes renováveis, como a hídrica, solar e eólica. Apesar de grande parte de sua matriz elétrica ser proveniente da fonte hídrica, houve um considerável aumento na geração solar fotovoltaica nos últimos anos. As Figuras 3.1 e 3.2 ilustram, respectivamente, a matriz elétrica brasileira referente ao ano de 2020, e o crescimento na geração de energia solar no Brasil entre 2013 e 2020.

Figura 3.1 - Matriz Elétrica Brasileira 2020.



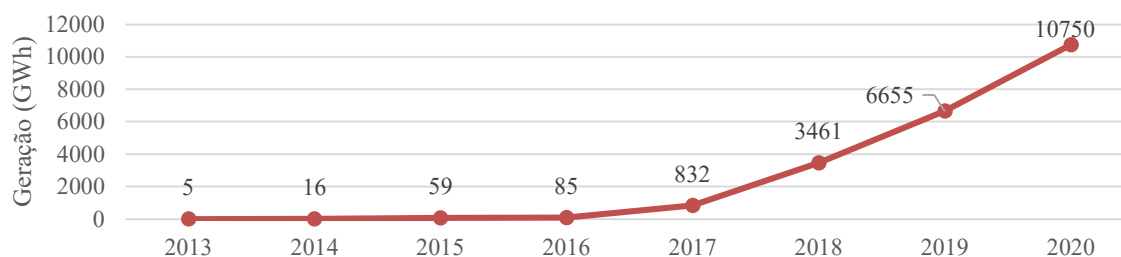
Fonte: BEN 2021.

É possível perceber que a parcela de energia solar na matriz elétrica nacional ainda é pequena, mas vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos. No ano de 2013, a energia gerada proveniente dessa fonte foi de 5 GWh, elevando sua participação para 85 GWh em 2016, 832 GWh em 2017, 6.655 GWh em 2019, e 10.750 GWh em 2020, mostrando uma tendência de crescimento contínuo e acelerado



para os anos seguintes. É importante ressaltar que esses dados se referem a todos os tipos de geração solar fotovoltaica, e não apenas à mini e à micro GD, que serão tratados mais adiante.

Figura 3.2 - Geração Solar Fotovoltaica no Brasil entre 2013 e 2020.

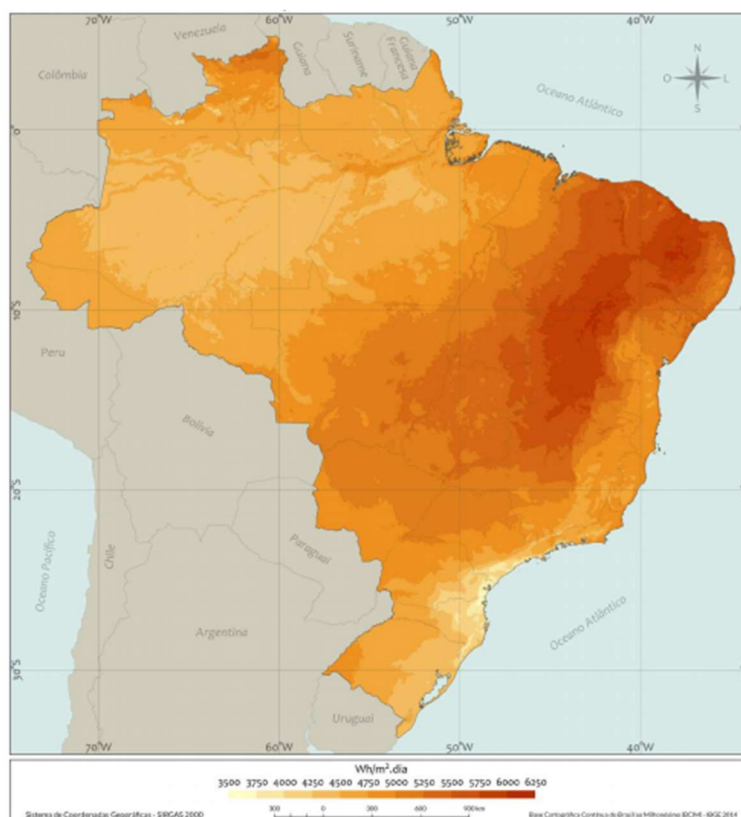


Fonte: Adaptado de IEA, 2021.

### 3.2 Potencial Solar

Um módulo fotovoltaico é uma unidade formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica (NBR10899, 2020). Para tanto, é necessário analisar diversos parâmetros a fim de se obter uma maior geração de energia do módulo, como por exemplo, o potencial solar da região. Esse potencial pode ser medido através da irradiação, ou seja, da energia incidente por unidade de área sobre uma superfície, encontrada matematicamente a partir da integração da irradiância sobre um tempo especificado, normalmente, hora ou dia. A unidade de irradiação é  $J/m^2$ , ou  $kWh/m^2$  (DUFFIE; BECKMAN, 2013). A Figura 3.3 ilustra a irradiação média diária ao longo do ano para o Brasil, em  $kWh/m^2$ .

Figura 3.3- Média anual da irradiação diária no Brasil.



Fonte: Atlas brasileiro de energia solar, INPE, 2017.

Através da Figura 3.3, é possível perceber que os estados do nordeste possuem um valor maior de irradiância ao longo do ano. Mais adiante será tratada a influência desse fator no número de instalações e capacidade instalada da GD fotovoltaica no estado do Rio Grande do Sul.

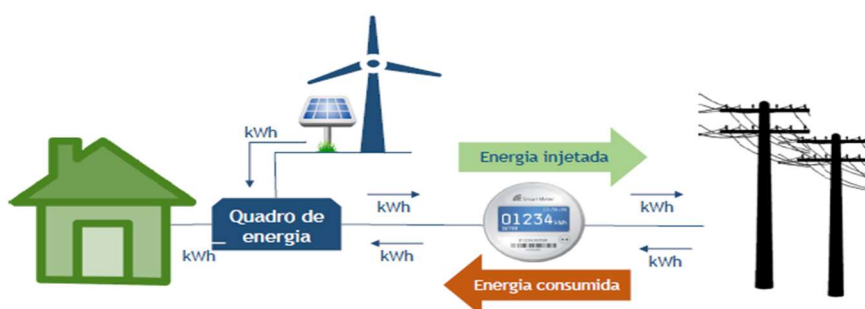
### 3.3 Geração Distribuída

A GD foi descrita pela primeira vez no Brasil no Decreto de Lei nº 5.163 de 2004. Segundo o mesmo: “*Considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador [...]*”. O primeiro registro de GD na ANEEL, porém, ocorreu apenas em 2007, através de uma instalação Solar Fotovoltaica na cidade de Campinas, São Paulo. A partir de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, é que foram estabelecidas as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e outras providências. O consumidor brasileiro passou a poder também ser um gerador de sua própria energia, desde que a mesma seja proveniente de fontes renováveis ou cogeração qualificada (ANEEL, 2012). Entre a data da primeira instalação de 2007 e o início da implantação da REN 487/2012, existiam apenas 14 unidades consumidoras de GD no Brasil. A resolução de 2012 foi posteriormente aprimorada pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 (ANEEL, 2015). A REN nº 687/2015 entrou em vigor no ano de 2016, estabelecendo o conceito de mini e de microgeração distribuída, e limitando a capacidade instalada desse tipo de geração para 75 kW (microgeração) e 5 MW (minigeração), e permitiu o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada para a modalidade.

Foi a partir da resolução de 2015 que houve o grande impulso na GD no Brasil. Grande parte dos sistemas fotovoltaicos são enquadrados como sistemas de micro e minigeração e regulamentados por essa resolução. Microgeração distribuída se refere à central geradora com potência instalada até 75 kW, enquanto a minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Além das definições de micro e minigeração, a resolução ainda traz algumas regras a respeito da GD:

- Direito a utilização dos créditos por excedente de energia injetada na rede em até 60 meses. Segundo a ANEEL, 2016 “*Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um ‘crédito de energia’ que não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado ‘autoconsumo remoto’*”. O sistema está ilustrado conforme a Figura 3.4;
- Possibilidade de utilização da geração e distribuição em cotas de crédito para condomínios;
- Possibilidade de geração compartilhada, onde um grupo de unidades consumidoras, UC, são responsáveis por uma única unidade de geração, abrindo as portas para a geração em terrenos afastados do local de consumo (mas ainda na área da mesma distribuidora) e para vizinhos que queiram participar do sistema de compensação de energia;
- Regras que simplificam o processo para conexão a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora. A exemplo disso, foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias; entre outros.

Figura 3.4 - Sistema de compensação de energia elétrica.



Fonte: ANEEL.

Entre os benefícios da GD, podemos citar a diversificação da matriz energética/elétrica, tornando-a mais sustentável, o melhor aproveitamento de recursos, diminuição das perdas por transmissão de energia devido à proximidade ao local de consumo, um equilíbrio de cargas no sistema na rede de distribuição, e uma maior eficiência energética nos empreendimentos.

### 3.4 Cenário da Geração Distribuída no Brasil

O ano de 2020 mostrou um grande aumento na micro e na minigeração distribuídas (MMGD) no Brasil, com um total de 5.269 GWh gerados ao longo do ano, valor acima dos 2.226 GWh gerados em 2019, apresentando um crescimento de 137% (BEN 2021). Em números absolutos, foi o maior aumento de um ano para o outro desde o início da implantação do sistema no Brasil. Do total gerado no ano, 4.764 GWh, ou seja, 90,4%, foi proveniente da fonte solar fotovoltaica. A Figura 3.5 mostra a participação de cada fonte na geração distribuída, para os anos de 2019 e 2020 (BEN 2020 e BEN 2021).

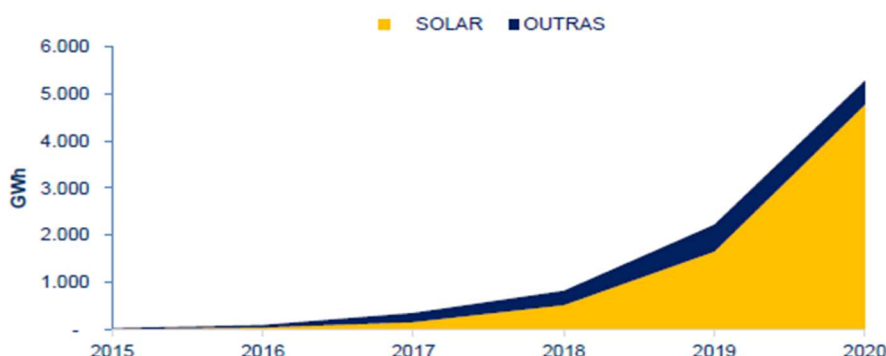
Figura 3.5 - Participação de cada fonte na GD em 2019 e 2020.



Fonte: BEN 2020 e BEN 2021.

Considerando apenas a geração fotovoltaica, houve um aumento de 187,1% na comparação com a geração do ano anterior. Esse crescimento ocorreu principalmente na região Centro-Sul do país, em estados como Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Santa Catarina, São Paulo e Mato Grosso. Em relação às outras fontes, a hídrica sofreu uma redução de 73,8 MW na capacidade instalada, enquanto a eólica e a térmica cresceram 4,6 MW e 32,3 MW, respectivamente.

Figura 3.6 – Comparação da Geração UFV com o total de MMGD.



Fonte: BEN 2021.

A grande disparidade entre a geração solar fotovoltaica e as outras fontes na MMGD ocorre pelo fato que, devido às limitações impostas nessa modalidade (usinas geradoras de no máximo de 5 MW),

centrais com altas capacidades instaladas acabam não possuindo os requisitos para participarem da MMGD, como é o caso de grade parte das centrais geradoras hidrelétricas e eólicas, por exemplo.

O cenário atual (dados até dezembro de 2021 – ANEEL) indica a continuidade do crescimento desse tipo de geração ao longo do território brasileiro. A Tabela 3.1 abaixo ilustra a participação dos estados brasileiros na MMGD.

Tabela 3.1 – Mini e micro GD por UF até 31/12/2021.

<i>UF</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Quantidade de UCs que recebem os créditos</i>	<i>Potência Instalada (kW)</i>	<i>% Potência Instalada</i>	<i>% Instalações</i>	<i>Potência média (kW/UC)</i>
AC	2.072	2.268	23.580	0,26%	0,20%	11,38
AL	6.017	9.563	72.148	0,80%	0,81%	11,99
AM	3.113	4.152	51.433	0,57%	0,54%	16,52
AP	809	941	13.266	0,15%	0,15%	16,40
BA	30.983	34.364	302.435	3,36%	3,63%	9,76
CE	25.300	31.808	321.027	3,56%	3,47%	12,69
DF	5.221	6.509	90.418	1,00%	1,06%	17,32
ES	12.314	13.949	154.700	1,72%	1,74%	12,56
GO	32.684	42.756	447.687	4,97%	5,30%	13,70
MA	16.150	23.979	207.162	2,30%	1,97%	12,83
MG	131.013	192.467	1.574.261	17,48%	18,79%	12,02
MS	26.045	35.948	266.653	2,96%	3,23%	10,24
MT	44.372	47.011	634.974	7,05%	7,66%	14,31
PA	20.344	25.724	231.993	2,58%	2,27%	11,40
PB	11.795	20.765	153.223	1,70%	1,77%	12,99
PE	21.603	34.032	273.072	3,03%	2,81%	12,64
PI	16.619	23.914	182.219	2,02%	1,99%	10,96
PR	41.891	52.507	491.482	5,46%	5,53%	11,73
RJ	39.434	46.424	347.135	3,85%	4,26%	8,80
RN	17.839	18.407	196.092	2,18%	2,05%	10,99
RO	7.055	7.553	95.937	1,07%	1,08%	13,60
RR	487	994	11.406	0,13%	0,14%	23,42
<b>RS</b>	<b>108.195</b>	<b>136.137</b>	<b>1.041.238</b>	<b>11,66%</b>	<b>11,92%</b>	<b>9,62</b>
SC	39.254	51.710	488.577	5,42%	3,56%	12,45
SE	4.150	5.342	50.610	0,56%	0,57%	12,20
SP	130.175	155.918	1.153.110	12,80%	12,44%	8,86
TO	12.201	14.169	121.702	1,35%	1,09%	9,97
Total	807.164	1.040.074	9.006.324	100%	100%	11,16

Fonte: ANEEL, 2022.

Os estados que possuem maior participação na GD brasileira são Minas Gerais (MG), São Paulo (SP) e Rio Grande do Sul (RS). Os três estados referidos possuem uma participação somada de 43,15% do total do número de instalações e 41,94% do total da potência instalada. Mesmo possuindo as maiores

irradiâncias do Brasil, os estados do nordeste não possuem uma participação na GD próxima à MG, SP e RS.

Em complemento à Figura 3.5, a Tabela 3.2 ilustra a participação de cada fonte na GD e indica o número de instalações atual (dados até dezembro de 2021 – ANEEL). São elas: Central Geradora Hidrelétrica (CGH), Central Geradora Eólica (EOL), Central Geradora Solar Fotovoltaica (UFV) e Usina Termelétrica Biomassa (UTE).

Tabela 3.2 – Mini e micro GD por tipo de fonte até 31/12/2021.

<i>Tipo</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Quantidade de UCs que recebem os créditos</i>	<i>Potência Instalada (kW)</i>	<i>% Potência Instalada</i>	<i>% Instalações</i>	<i>Potência média (kW/UC)</i>
CGH	75	17.176	67.725	0,75%	0,01%	903,00
EOL	82	148	15.031	0,17%	0,01%	183,30
UFV	806.714	1.016.080	8.808.273	97,80%	99,93%	10,92
UTE	373	6.570	115.277	1,28%	0,05%	309,05
Total	807.244	1.039.974	9.006.306	100%	100%	11,16

Fonte: ANEEL, 2022.

A UFV domina amplamente o número de instalações e a potência instalada na mini e microgeração distribuída, enquanto as outras fontes possuem uma participação bastante reduzida. Em relação à classe de consumo, Tabela 3.3, há uma predominância do setor residencial quando se trata de número de instalações, principalmente pela quantidade de UCs disponíveis no mercado para instalação de painéis fotovoltaicos residenciais, chegando a mais de 75% do total das instalações. O setor residencial também possui a maior participação na potência instalada, contudo, o setor comercial apresenta um percentual próximo nesse quesito, devido à suas instalações possuírem uma densidade de potência superior à classe residencial (média de 28,53 kW por unidade consumidora comercial, e 6,27 kW/UC do setor residencial), onde se necessita de uma geração maior para atender às demandas.

Tabela 3.3 – Mini e micro GD por classe de consumo até 31/12/2021.

<i>Classe de Consumo</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Quantidade de UCs que recebem os créditos</i>	<i>Potência Instalada (kW)</i>	<i>% Potência Instalada</i>	<i>% Instalações</i>	<i>Potência média (kW/UC)</i>
Comercial	106.349	180.640	3.034.098	33,69%	13,17%	28,53
Iluminação pública	45	53	1.321	0,01%	0,01%	29,36
Industrial	16.627	22.936	720.655	8,00%	2,06%	43,34
Poder Público	2.479	3.725	97.275	1,08%	0,31%	39,24
Residencial	619.925	743.348	3.885.293	43,14%	76,80%	6,27
Rural	61.611	88.731	1.255.460	13,94%	7,63%	20,38
Serviço Público	208	641	12.200	0,14%	0,03%	58,65
Total	807.244	1.039.974	9.006.306	100%	100%	11,16

Fonte: ANEEL, 2022.

Os setores Rural e Industrial possuem uma participação relevante na potência instalada, sendo o Industrial o que possui a maior potência média por UC. Já os setores públicos possuem uma participação menor na MMDG.

Outro ponto a se destacar é em relação às modalidades de geração, Tabela 3.4. A geração na própria UC, através principalmente da UFV residencial, é a que predomina em número de instalações e potência instalada. O autoconsumo remoto aparece em segundo lugar, com uma participação importante, já a geração compartilhada e a geração através de condomínios apresentam um percentual baixo e pouco relevante na MMDG.

Tabela 3.4 – Mini e micro GD por modalidade até 31/12/2021.

<i>Modalidade</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Quantidade de UCs que recebem os créditos</i>	<i>Potência Instalada (kW)</i>	<i>% Potência Instalada</i>	<i>% Instalações</i>	<i>Potência média (kW/UC)</i>
Autoconsumo remoto	123.370	350.384	1.874.905	20,82%	15,28%	15,20
Condomínios	210	955	4.966	0,06%	0,03%	23,65
Geração compartilhada	1.377	6.048	82.341	0,91%	0,17%	59,80
Geração na própria UC	682.287	682.287	7.044.090	78,21%	84,52%	10,32
Total	807.244	1.039.974	9.006.306	100%	100%	11,16

Fonte: ANEEL, 2022.

### 3.5 Nova Lei da Geração Distribuída

Em 2019, iniciaram-se as discussões referentes ao Projeto de Lei N° 5829, que propôs algumas mudanças ao sistema de geração distribuída. O PL N° 5829 foi aprovada no final de 2021, e a Lei N° 14.300 foi então publicada no dia 7 de janeiro de 2022. Entretanto, a legislação prevê um período de transição de 12 meses para aplicação da nova Lei, ou seja, projetos de GD solicitados até o dia 6 de janeiro de 2023 serão enquadrados nas regras atuais (REN 687/2015) até 2045. Entre as principais mudanças da Lei N° 14.300, podemos citar:

- Alteração do limite de potência das usinas de minigeração: Mini GD com fontes despacháveis, como hidrelétricas, biomassa, cogeração qualificada e fotovoltaicas com baterias com capacidade de armazenamento de, no mínimo, 20% da capacidade de geração mensal da central geradora que possam ser despachadas local ou remotamente, seguem com o intervalo de 75 kW até 5MW. Já as fontes não despacháveis, como a solar fotovoltaica conectada à rede e a eólica, tiveram seu intervalo reduzido, de 75 kW até 3 MW.
- Aporte de garantia para análise de projetos: Os interessados em implantar projetos de minigeração distribuída deverão apresentar garantia de fiel cumprimento durante o período de solicitação de acesso, nos seguintes montantes: 2,5% do investimento para mini GD com potência instalada maior que 0,5 MW e menor que 1 MW; e 5% do investimento para mini GD com potência instalada maior ou igual a 1 MW. Essa obrigação não se aplica à geração compartilhada com formação de consórcio ou cooperativa e enquadradas na modalidade de múltiplas unidades consumidoras.
- Período de transição: Para as Mini e Micro GD já existentes, ou que protocolarem a solicitação de acesso junto à distribuidora em até 12 meses da publicação da Lei, permanece a Lei antiga até o fim de 2045. Aos empreendimentos que protocolarem a solicitação de acesso após os 12 meses da publicação da Lei, estarão sujeitos à nova regra de compensação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE).
- Nova regra de compensação do SCEE: Após 12 meses da publicação da nova Lei, os novos empreendimentos de GD passarão a pagar uma parcela da tarifa, sem a compensação integral da tarifa como ocorrido na regra antiga.

Para GD local, GD compartilhada, autoconsumo remoto até 500 kW (qualquer fonte), e autoconsumo remoto de fontes despacháveis (qualquer potência), a porcentagem a pagar do Fio B ao longo dos anos é vista através da Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Porcentagem a pagar do Fio B pela Lei Nº 14.300.

Ano	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
% a pagar do Fio B	15%	30%	45%	60%	75%	90%	A definir (ANEEL)

Fonte: Lei 14.300, Brasil, 2022.

A fatura de energia elétrica é composta pela Tarifa de Energia (TE), referente ao consumo de Energia do Sistema de Distribuição, e pela Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). O Fio B está inserido dentro da TUSD, e representa uma média de aproximadamente 30% do custo da parcela TUSD B3 das distribuidoras (ENGIE, 2022).

Figura 3.7 – Divisão da tarifa B3.



Fonte: ENGIE, 2022.

Para minigeração de fontes não despacháveis classificadas em autoconsumo remoto acima de 500 kW de potência instalada e para titular com 25% ou mais de participação em GD compartilhada, deverá ser feito o pagamento de 100% do Fio B, 40% do Fio A, a Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE) e a taxa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

#### 4 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

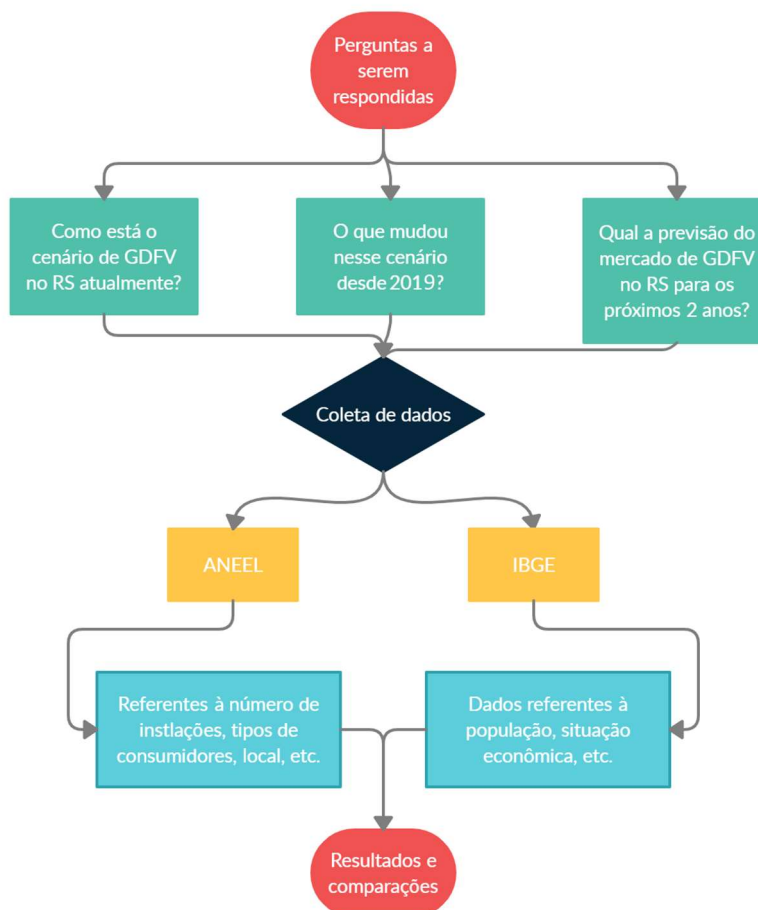
O procedimento metodológico utilizado no presente trabalho é dividido em duas grandes etapas: a coleta de dados e informações sobre o cenário atual da geração distribuída fotovoltaica no RS, e a comparação dos resultados com os apresentados por Petter, em 2019. Através dessa seção, se busca explicar a maneira utilizada para responder as seguintes questões: Como está o cenário de GDFV no RS atualmente? O que mudou em relação a 2019? Qual a previsão para os próximos dois anos? O fluxograma apresentado abaixo resume a metodologia do trabalho, Figura 4.1.

Para responder as questões apontadas acima, é preciso fazer um levantamento de dados de geração distribuída fotovoltaica no RS a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL. A partir disso, pode-se observar o número de instalações nessa modalidade, os locais onde se encontram, o tipo de consumidor (industrial, comercial, residencial ou rural), a potência instalada, entre outras, e fazer uma análise como vista no capítulo anterior, na Seção 3.4.

Além disso, pode-se obter dados referentes à situação econômica dos locais estudados, o número de instalações por município, o PIB regional e municipal, entre outros, através das informações disponibilizadas pelo IBGE. Em sequência a essa coleta de dados, é possível seguir para a análise de resultados.

Outro ponto a ser levantado é em relação ao potencial solar do Rio Grande do Sul, avaliando os locais que possuem maior incidência solar, utilizando os dados disponibilizados pelo Atlas Solar do RS, e verificar a influência no perfil de mercado de MMGDFV. Ainda, será utilizado os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para buscar as localizações das Estações Meteorológicas Automáticas (EMAs) para o RS, e suas irradiâncias.

Figura 4.1 – Diagrama da metodologia empregada no trabalho.



Fonte: Autor.

Após a obtenção dos dados necessários, as perguntas mencionadas anteriormente puderam ser respondidas. Primeiramente, foi feita a análise atual do mercado de GDFV no RS, e com isso, respondemos à segunda pergunta, comparando os resultados atuais com os de 2019, verificando a hipótese levantada na época. Por fim, a partir das duas respostas anteriores e com os dados obtidos, pode ser feita uma previsão de médio prazo sobre o perfil do mercado para os próximos dois anos no estado do Rio Grande do Sul, utilizando uma regressão linear, com os dados de novas instalações mensais dos últimos dois anos.

Para o modelo de regressão linear, deve-se utilizar uma equação que relaciona a variável que se deseja determinar (variável dependente), e a variável independente,

$$y_i = a_0 + a_1 x_i + \varepsilon_i \quad (4.1)$$

sendo  $a_0$  e  $a_1$  constantes a serem determinadas,  $x_i$  a variável independente,  $y_i$  a variável dependente, e  $\varepsilon_i$  os possíveis erros de medição. As variáveis  $a_1$  e  $a_0$  são determinadas através de:



$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i (y_i - y_{\text{médio}})}{\sum_{i=1}^n x_i (x_i - x_{\text{médio}})} \quad (4.2)$$

$$a_0 = y_{\text{médio}} - (a_1 \cdot x_{\text{médio}}) \quad (4.3)$$

nas quais  $y_{\text{médio}}$  e  $x_{\text{médio}}$  são os valores médios das variáveis  $x$  e  $y$ , respectivamente. Um fator importante que define a qualidade da regressão linear é o Coeficiente de Determinação, também chamado de R-quadrado ( $R^2$ ). Quanto mais próximo do valor unitário, melhor é a previsão, e pode ser obtido pela equação a seguir:

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_{\text{res}}}{SQ_{\text{tot}}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{\text{médio}})^2} \quad (4.4)$$

na qual  $SQ_{\text{res}}$  é a soma dos quadrados dos resíduos e  $SQ_{\text{tot}}$  é a soma do quadrado total (variabilidade em torno da média).

## 5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO RIO GRANDE DO SUL

Conforme observado nos capítulos anteriores, o Rio Grande do Sul é o terceiro estado quando se trata da capacidade instalada e número de instalações de micro e minigeração distribuídas no Brasil. O estado terminou 2020 com um total de 573 MW instalados e mais de 50.000 sistemas de geração, e 2021 com um total de 1.050 MW instalados e mais de 100.000 sistemas de geração na modalidade. A partir dos dados levantados pela EPE e ANEEL, as cidades que mais se destacam no estado até o fim de 2021 são Caxias do Sul (maior número de instalações e capacidade instalada), Santa Maria, Santa Cruz do Sul, Porto Alegre, Novo Hamburgo e Santa Rosa.

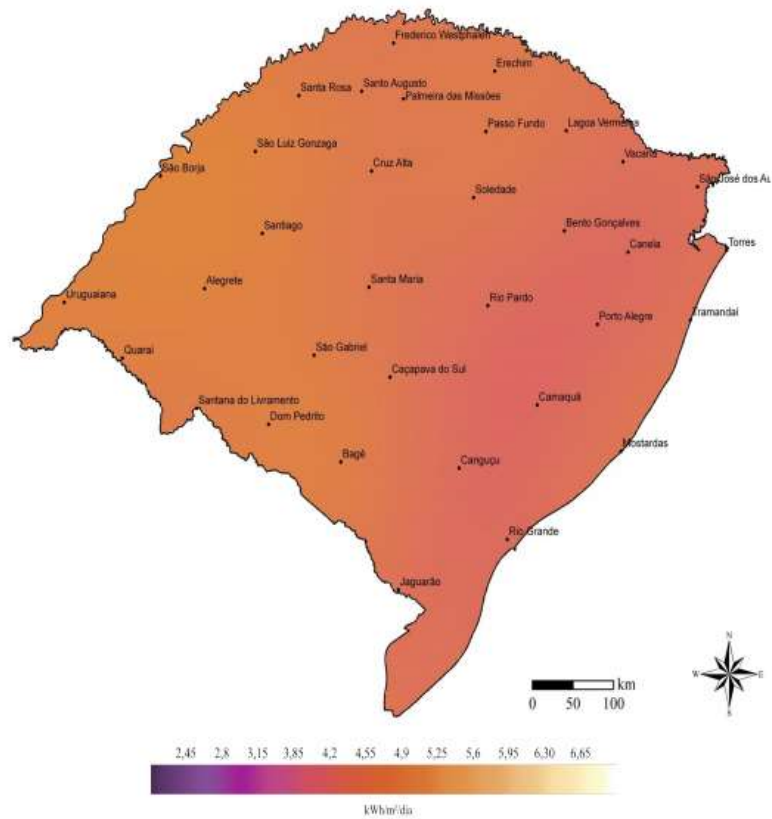
Em 2020, a classe de consumo que predominou no estado foi a classe comercial, com 38% da capacidade instalada. Contudo, se compararmos aos anos anteriores, essa parcela diminuiu, sendo de 53% em 2016 e 44% em 2019. A classe que vem ganhando mais relevância é a classe residencial, que em 2020 teve uma participação de 36% do total instalado no estado, 7% a mais do que no ano anterior. Outra classe que está crescendo cada vez mais nos últimos anos é a rural, que em 2016 possuía apenas 2% da capacidade instalada, e em 2020 já ocupa um espaço considerável de 14%. Ao falarmos de geração, essas porcentagens ficam distribuídas aproximadamente da mesma forma. A estimativa é que em 2020 tenha sido gerado 534 GWh através da mini e microgeração distribuídas no RS, valor muito superior ao ano anterior, onde foi gerado 211 GWh, e a 2018, com 63 GWh [EPE, 2021].

O ano de 2021 trouxe uma mudança no perfil da GD no Estado, pois a classe residencial apresentou um crescimento muito alto, chegando a 43% da capacidade instalada (7% acima do ano anterior) e 74% das instalações, ultrapassando a classe comercial (30% da capacidade instalada e 12% das instalações). A classe rural segue aumentando sua participação, que já é de 17%. Caxias do Sul é a cidade que tem a maior participação na geração a partir da classe rural, e Estrela a segunda nesse quesito. A classe industrial teve uma leve diminuição em sua participação em relação aos últimos anos, com 9,5% do total instalado em 2021. As classes Iluminação Pública, Poder Público, e Serviço Público não possuem uma participação relevante.

Considerando a geração entre todas as modalidades da MMGDFV, aproximadamente 51,5% da geração é injetada na rede, e 48,5% é utilizado no autoconsumo. Entre as modalidades de contrato, a geração na própria UC é a que predomina, com 76% da participação em potência, e 82% do número de instalações. Já o autoconsumo remoto, ou seja, quando a geração está em um local diferente do ponto de consumo, possui uma parcela de 23% da potência, e 18% das instalações. A geração compartilhada e geração em condomínios somados chegam a menos de 1% da potência instalada e participação nas instalações.

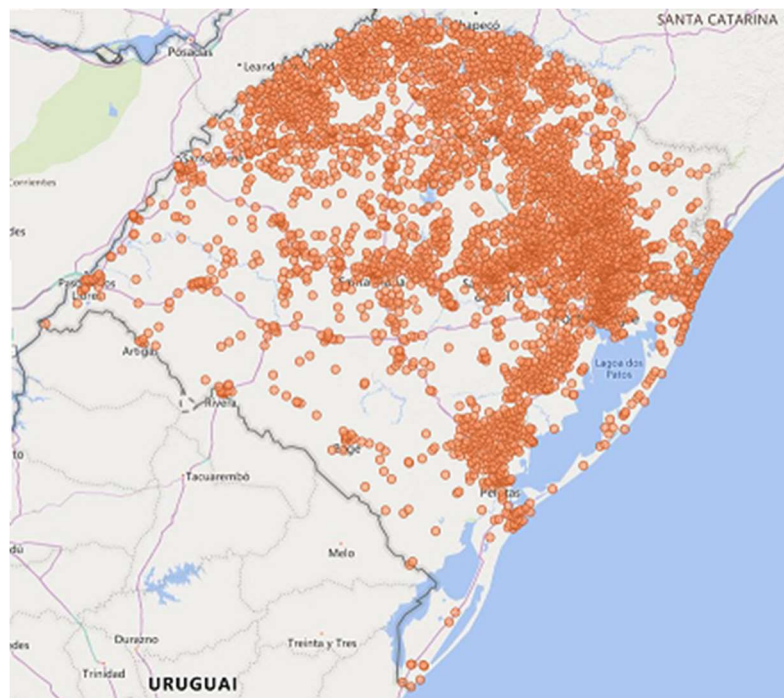
Para verificação da influência da irradiação no perfil de MMGDFV, utilizou-se os dados das 34 estações meteorológicas automáticas (EMAs) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o estado do Rio Grande do Sul, e os dados do Atlas Solar, conforme visto na Figura 5.1. Na sequência, é mostrada a Figura 5.2 com as localizações das instalações no estado.

Figura 5.1- Média anual da irradiação diária no RS.



Fonte: Atlas solar do RS, 2018.

Figura 5.2 – Disposição das instalações de MMGDFV no Rio Grande do Sul.



Fonte: ANEEL, 2022.

As maiores médias de radiação solar se encontram nas estações de Dom Pedrito (5,042 kWh/m<sup>2</sup>) e de São Luiz Gonzaga (5,039 kWh/m<sup>2</sup>), a sudoeste e nordeste do estado, respectivamente. Já as menores médias de radiação se encontram nas estações de Porto Alegre (4,228 kWh/m<sup>2</sup>) e Camaquã (4,214 kWh/m<sup>2</sup>), ambas mais a oeste do estado. A cidade de Caxias do Sul, que possui maior potência instalada no estado, se encontra próxima da estação de Canela, que possui a quinta menor radiação entre as estações (4,388 kWh/m<sup>2</sup>), e Santa Cruz do Sul se encontra próxima da estação de Rio Pardo, a oitava menor em radiação (4,489 kWh/m<sup>2</sup>). Isso mostra que a influência da radiação solar tem menor relevância que outros fatores, como potencial financeiro dos municípios e a verticalidade das cidades, por exemplo.

A Figura 5.2 ilustra a localização das instalações ao longo das regiões do estado. Verifica-se uma concentração maior do número de instalações nas regiões Norte e Leste, principalmente, e algumas no Sudeste, o oposto do apresentado na Figura 5.1, onde as regiões de maior irradiação estão no Oeste. Ao analisarmos o PIB regional, vemos uma grande convergência entre as cidades que mais contribuem para o PIB do estado e o número de instalações. Entre as 10 cidades que apresentam maior capacidade instalada de MMGDFV no RS, 7 estão também entre os 10 maiores percentuais do PIB no estado, conforme a Tabela 5.1. São elas: Porto Alegre, Caxias do Sul, Canoas, Santa Cruz do Sul, Novo Hamburgo, Passo Fundo e São Leopoldo.

Tabela 5.1 – Cidade com maior PIB e Capacidade Instalada no RS.

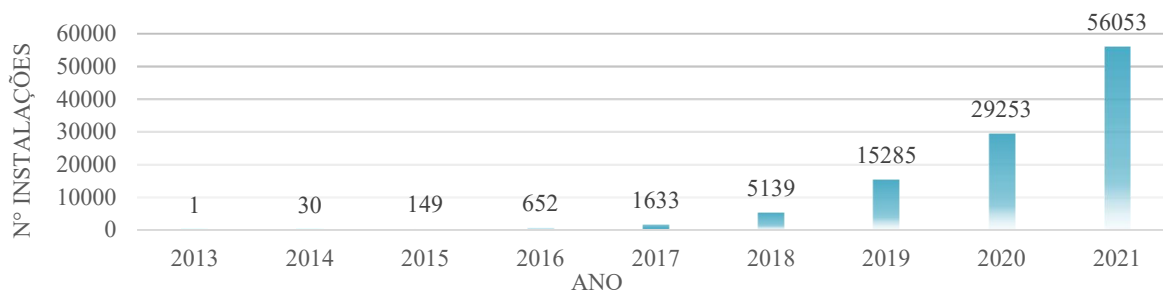
<i>Colocação</i>	<i>Cidades com maiores PIB (2019)</i>	<i>% PIB</i>	<i>Cidades com maiores Capacidade Instalada</i>
1º	<b>Porto Alegre</b>	17,1%	<b>Caxias do Sul</b>
2º	<b>Caxias do Sul</b>	5,6%	Santa Maria
3º	<b>Canoas</b>	4,3%	<b>Novo Hamburgo</b>
4º	Gravataí	2,6%	<b>Santa Cruz do Sul</b>
5º	Rio Grande	2,2%	<b>Porto Alegre</b>
6º	<b>Santa Cruz do Sul</b>	2,1%	<b>Passo Fundo</b>
7º	<b>Novo Hamburgo</b>	2,1%	Santa Rosa
8º	<b>Passo Fundo</b>	2,0%	<b>São Leopoldo</b>
9º	<b>São Leopoldo</b>	2,0%	<b>Canoas</b>
10º	Triunfo	1,9%	Erechim
	Outros	58,2%	

Fonte: IBGE, 2019 e ANEEL, 2022.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados nesse trabalho se deu através de uma comparação de perfis. O perfil traçado por Petter, em 2019, com dados obtidos até a data de 11/11/2018, e o visto no capítulo anterior desse trabalho, referente ao ano de 2021, ambos referentes ao MMGDFV no RS. Ao iniciarmos esse capítulo, é necessário verificarmos primeiro o crescimento anual nas instalações de MMGDFV no RS, conforme a Figura 6.1.

Figura 6.1 – Quantidade anual de conexões de MMGDFV no RS.



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2022.

Esse grande crescimento se deve principalmente aos incentivos para a geração distribuída provenientes da REN nº 687/2015. No ano de 2021, o RS apresentou 56.053 novos sistemas de Geração Distribuída Fotovoltaica, totalizando 108.195 unidades consumidoras instaladas, com 136.737 UC recebendo créditos. O ano de 2022 já apresentou 5.651 novas instalações em janeiro, e 8.232 em fevereiro, e deverá ultrapassar o de ano de 2021 em números totais de instalações.

Ao compararmos a participação das fontes na GD do RS, é possível notar que a atual influência da fonte solar cresceu em relação à 2018, pois apresentou uma maior porcentagem tanto da potência instalada, quanto das instalações. As Tabelas 6.1 e 6.2 ilustram a participação de cada fonte na geração distribuída do RS para os anos de 2018 e 2021, respectivamente.

O ano de 2018 foi o primeiro que apresentou resultados mais consistentes em relação à GD no RS, visto que o número de instalações dos anos anteriores ainda era muito baixo. Aqui, o perfil do mercado já começa a ser traçado e caracterizado, direcionando a fonte solar como a principal fonte da modalidade, reforçada pelo perfil traçado em 2021, conforme a Tabela 6.2.

Tabela 6.1 – Mini e micro GD no RS por tipo de fonte em 2018.

<i>Tipo</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Quantidade de UC que recebem os créditos</i>	<i>Potência Instalada (kW)</i>	<i>% Potência Instalada</i>	<i>% Instalações</i>	<i>Potência média (kW/UC)</i>
CGH	1	1	34	0,05%	0,02%	34,00
EOL	6	6	21	0,03%	0,10%	3,50
<b>UFV</b>	<b>5.914</b>	<b>7.144</b>	<b>69.329</b>	<b>93,80%</b>	<b>99,78%</b>	<b>11,72</b>
UTE	6	21	4.528	6,13%	0,10%	754,67
<b>Total</b>	<b>5.927</b>	<b>7.172</b>	<b>73.912</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>12,47</b>

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2022.

Tabela 6.2 – Mini e micro GD no RS por tipo de fonte em 2021.

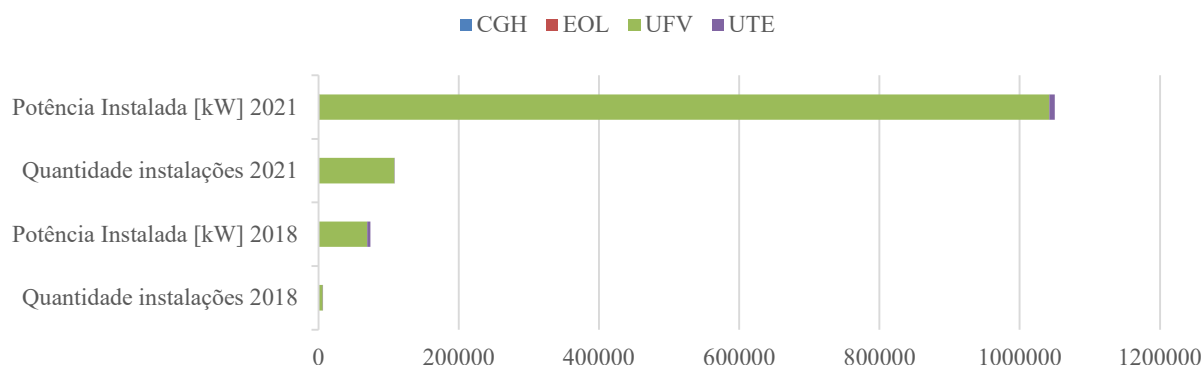
<i>Tipo</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Quantidade de UCs que recebem os créditos</i>	<i>Potência Instalada (kW)</i>	<i>% Potência Instalada</i>	<i>% Instalações</i>	<i>Potência média (kW/UC)</i>
CGH	4	16	1.105	0,004%	0,01%	276,25
EOL	8	8	43	0,01%	0,01%	5,38
<b>UFV</b>	<b>108.195</b>	<b>136.737</b>	<b>1.041.238</b>	<b>99,97%</b>	<b>99,96%</b>	<b>9,62</b>
UTE	18	142	7.666	0,02%	0,02%	425,89
<b>Total</b>	<b>108.225</b>	<b>136.903</b>	<b>1.050.052</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>9,70</b>

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2022.

Mesmo havendo um aumento no percentual da participação da fonte solar, o perfil se mantém muito próximo ao do ano de 2018, com a UTE como segunda fonte de maior participação, seguida pela CGH e EOL, com um percentual bastante baixo. A Figura 6.2 ilustra o crescimento do número de instalações e potência instalada por fonte no estado.

Ainda que possua uma alta densidade de potência em relação à UFV, a UTE (472,72 kW/UC) e a CGH (276,25 kW/UC) não possuem participação relevante na modalidade. Como grande parte dos projetos eólicos necessitam de uma potência instalada alta, esse tipo de geração acaba não sendo atrativo para a modalidade devido aos limites de potência de micro e minigeração distribuída impostos pela REN nº 687/2015.

Figura 6.2 – Comparações entre os perfis de fontes de geração de 2018 e 2021 na MMGD do RS.



Fonte: Autor, 2022.

Avaliando agora apenas a geração a partir da fonte UFV, o perfil por classe de consumo em 2018 era majoritariamente comercial e residencial. A classe comercial apresentava uma maior participação na potência instalada, enquanto a residencial era dominante no número de instalações. Isso se deve aos empreendimentos comerciais apresentarem uma maior densidade de potência em relação às residências. A classe industrial apresenta a maior densidade de potência entre as classes, mas sua participação ainda é baixa se comparada às outras duas. A Tabela 6.3 resume o perfil de classes de consumo para a modalidade no RS em 2018.

É possível perceber que o perfil de 2021 se modificou ao compararmos com o de 2018 em relação às classes de consumo, conforme Tabela 6.4. As classes industrial e comercial diminuíram sua participação percentualmente, enquanto a classe residencial e a classe rural tiveram um aumento. As unidades governamentais possuem baixa influência tanto no perfil de 2018, quanto de 2021.

Devido à baixa densidade de potência, a classe residencial ocupa apenas 43% da potência instalada, mesmo possuindo quase 75% da quantidade de instalações. É perceptível o crescimento ocorrido no setor rural, que praticamente dobrou sua porcentagem em número de instalações, e triplicou em capacidade instalada. A Figura 6.3 ilustra o crescimento das quatro principais classes ocorrido no período analisado.

Tabela 6.3 – Mini e micro GDFV no RS por classe de consumo no RS em 2018.

<i>Classe de Consumo</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Quantidade de UCs que recebem os créditos</i>	<i>Potência Instalada (kW)</i>	<i>% Potência Instalada</i>	<i>% Instalações</i>	<i>Potência média (kW/UC)</i>
Comercial	1.313	1.703	34.687	50,03%	22,20%	26,42
Iluminação pública	0	0	0	0%	0 %	0
Industrial	205	260	9.095	13,12%	3,47%	44,37
Poder Público	24	28	335	0,48%	0,41%	13,96
Residencial	4.031	4.700	21.129	30,48%	68,16%	5,24
Rural	339	451	4.072	5,87%	5,73%	12,01
Serviço Público	2	2	12	0,02%	0,03%	6,00
Total	5.914	7.144	69.330	100%	100%	11,72

Fonte: ANEEL, 2022.

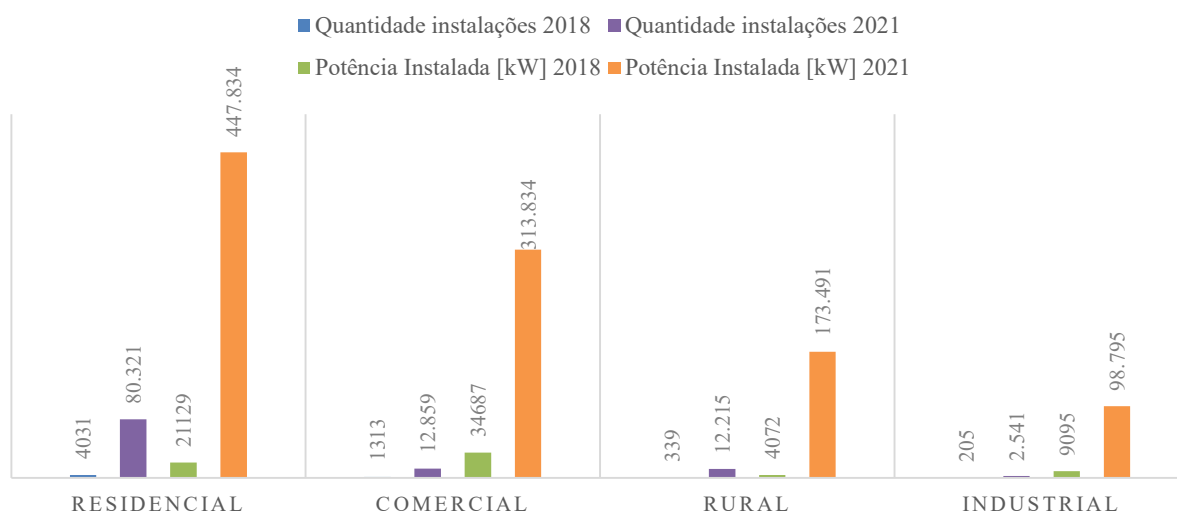
Tabela 6.4 – Mini e micro GDFV no RS por classe de consumo no RS em 2021.

Classe de Consumo	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)	% Potência Instalada	% Instalações	Potência média (kW/UC)
Comercial	12.859	17.100	313.834	30,14%	11,89%	24,41
Iluminação pública	3	5	144	0,01%	0,003%	48,00
Industrial	2.541	3.020	98.795	9,49%	2,35%	38,88
Poder Público	252	332	7.065	0,68%	0,23%	28,04
Residencial	80.321	99.428	447.834	43,01%	74,24%	5,58
Rural	12.215	16.848	173.491	16,66%	11,29%	14,20
Serviço Público	4	4	75	0,01%	0,004%	18,75
Total	108.195	136.737	1.041.238	100%	100%	9,62

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2022.

Nota-se a partir da Figura 6.3 o crescimento do setor rural, que aumentou em aproximadamente 36 vezes o número de instalações, e o setor residencial, aumentando em quase 20 vezes. Ainda, percebe-se que em 2021 o setor residencial ultrapassou o setor comercial em potência instalada, se mostrando a principal classe de consumo atualmente na geração distribuída do estado.

Figura 6.3 – Comparações entre os perfis de classe de consumo de 2018 e 2021 na GD do RS.



Fonte: Autor, 2022.

Avaliando as modalidades de contrato, conforme Tabela 6.5, os perfis traçados em 2018 e 2021 se mantiveram muito semelhantes. Grande parte dos sistemas fotovoltaicos estão na modalidade de geração na própria UC, e o restante se encaixa no autoconsumo remoto. As modalidades de geração compartilhada e múltiplas UCs seguem sem impacto importante no perfil atual, diferentemente do que foi previsto por Petter em 2019 para geração compartilhada. O perfil atual pode ser visualizado na Tabela 6.6.

Tabela 6.5 – Mini e micro GD no RS por modalidade no RS em 2018.

Modalidade	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)	% Potência Instalada	% Instalações	Potência média (kW/UC)
Autoconsumo remoto	781	1.996	12.284	17,72%	13,21%	15,73
Múltiplas UCs	1	2	8	0,01%	0,02%	8
Geração compartilhada	11	25	144	0,21%	0,19%	13,09
Geração na própria UC	5.121	5.121	56.894	82,06%	86,59%	11,11
Total	5.914	7.144	69.330	100%	100%	11,72

Fonte: ANEEL, 2022.

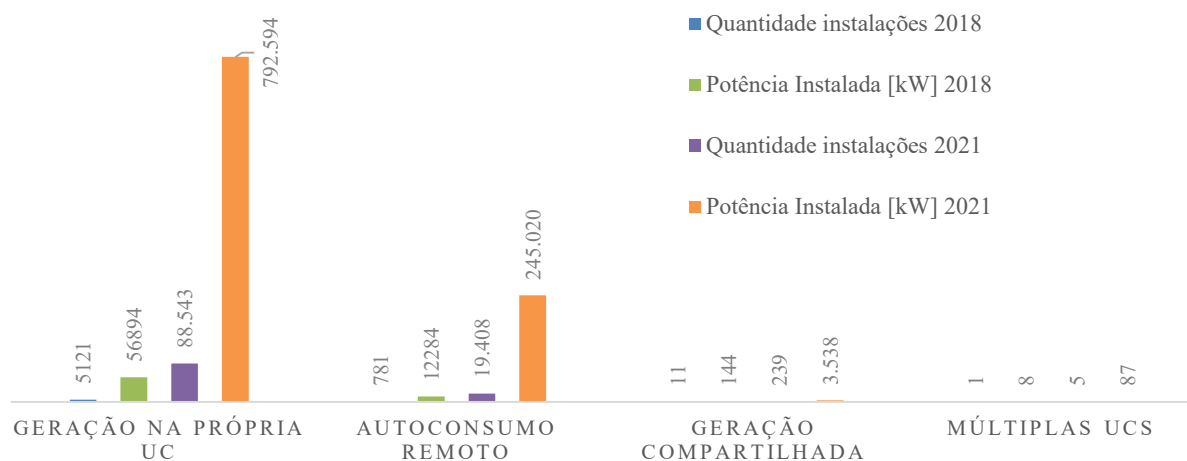
Tabela 6.6 – Mini e micro GD no RS por modalidade no RS em 2021.

Modalidade	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)	% Potência Instalada	% Instalações	Potência média (kW/UC)
Autoconsumo remoto	19.408	47.602	245.020	23,53%	17,94%	12,62
Múltiplas UCs	5	29	87	0,008%	0,005%	17,40
Geração compartilhada	239	563	3.538	0,34%	0,22%	14,80
Geração na própria UC	88.543	88.543	792.594	76,12%	81,84%	8,95
Total	108.195	136.737	1.041.238	100%	100%	9,62

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2022.

Os sistemas de autoconsumo remoto apresentam uma densidade de potência superior à geração na própria UC, algo que já era esperado, em função da necessidade da obtenção de créditos para repasse à outras unidades de consumo. Essa diferença é ainda maior para o perfil de 2021, visto o crescimento da participação do setor residencial, que apresenta a menor das densidades de potência, 5,58 kW/UC, Tabela 6.4.

Figura 6.4 – Comparações entre os perfis de modalidade de contrato de 2018 e 2021 na GD do RS.



Fonte: Autor, 2022.

Mesmo com perfis similares, é importante ressaltar o aumento da participação da modalidade de autoconsumo remoto, crescendo percentualmente tanto em número de instalações quanto em capacidade instalada. É possível notar também uma diminuição da densidade de potência, tanto da modalidade de autoconsumo remoto (de 15,73 kW/UC para 12,92 kW/UC), quanto da Geração na própria UC (de 11,11 kW/UC para 8,95 kW/UC), também devido ao crescimento da participação do setor residencial.

Analisando a participação das cidades com maiores números de instalações em 2018 e 2021, percebe-se uma manutenção no perfil de localização das instalações no estado, com 7 das 10 cidades melhores ranqueadas aparecendo nas duas listas, Tabela 6.7 e Tabela 6.8. Cidades com uma potência média por UC menores tendem a ter mais instalações residenciais, enquanto as que possuem maior densidade de potência tendem a ter mais casos comerciais, industriais e rurais. Contudo, nota-se um crescimento na participação da modalidade ao longo do estado, pois em 2018, dos 497 municípios do RS, 381 possuíam pelo menos uma instalação de GD, enquanto em 2021, o número de municípios que possuem pelo menos uma instalação já é de 496.

Tabela 6.7 – Municípios do Estado com maiores números de instalações até 11/11/2018.

<i>Ranking</i>	<i>Nome do Município</i>	<i>Quantidade de UFV</i>	<i>Qtd. de UCs que Recebem os Créditos</i>	<i>Potência [kW]</i>	<i>Potência Média por UC [kW/UC]</i>
1	<b>Santa Cruz do Sul</b>	457	549	6.685	14,63
2	<b>Porto Alegre</b>	264	293	1.697	6,43
3	<b>Santa Maria</b>	189	209	1.568	8,30
4	<b>Venâncio Aires</b>	185	225	2.708	14,64
5	<b>Novo Hamburgo</b>	169	206	2.542	15,04
6	Lajeado	139	153	1.501	10,80
7	<b>Caxias do Sul</b>	125	147	1.361	10,89
8	<b>Canoas</b>	113	139	2.224	19,68
9	São Borja	110	145	1.476	13,42
10	São Leopoldo	97	112	2.100	21,65

Fonte: Adaptado de Petter, 2019.

Tabela 6.8 – Municípios do Estado com maiores números de instalações em 2021.

<i>Ranking</i>	<i>Nome do Município</i>	<i>Quantidade de UFV</i>	<i>Qtd. de UCs que Recebem os Créditos</i>	<i>Potência [kW]</i>	<i>Potência Média por UC [kW/UC]</i>
1	<b>Caxias do Sul</b>	3.100	3.783	37.693	12,16
2	<b>Santa Maria</b>	2.694	3.192	24.366	9,04
3	Santa Rosa	2.671	3.092	16.037	6,00
4	<b>Santa Cruz do Sul</b>	2.534	3.026	24.107	9,51
5	<b>Novo Hamburgo</b>	2.335	2.775	24.209	10,37
6	Passo Fundo	2.293	2.938	22.488	9,81
7	<b>Porto Alegre</b>	2.253	2.676	23.046	10,23
8	<b>Canoas</b>	1.692	1.937	15.138	8,95
9	São Leopoldo	1.649	1.917	16.027	9,72
10	<b>Venâncio Aires</b>	1.506	1.841	13.148	8,73

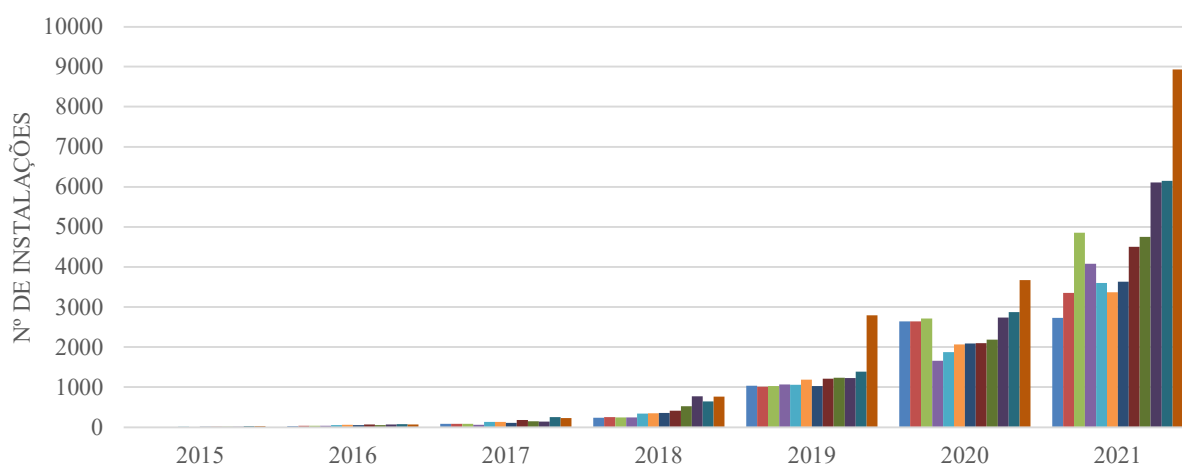
Fonte: Autor, 2022.



Um ponto interessante a ser destacado é o crescimento no número de instalações na cidade de Santa Rosa em 2021, chegando à terceira colocação nesse quesito. No dia 01/01/2021, Santa Rosa ocupava o quinto lugar, com 1.254 instalações, crescendo para 2.671 no fim de 2021, apresentando um crescimento de 106,5%. Mesmo sendo a terceira em número de instalações, Santa Rosa possui potência instalada menor que outras cidades, indicando que grande parte das instalações são residenciais.

Para traçar uma perspectiva sobre o crescimento do mercado de MMGDFV para os próximos anos, é necessário avaliar as novas instalações ano a ano, e mês a mês. Como visto na Figura 6.1, o número de instalações vem crescendo nos últimos anos. O ano de 2019 apresentou um crescimento de 10.022 UC a mais que 2018, e 2020 apresentou 13.997 UC a mais que 2019. O ano de 2021 apresentou um total de 56.053 novos sistemas de MMGDFV no RS, quase o dobro de 2020, sendo o mês de dezembro o que mostrou o maior número entre todos, com 8.929 novas UC. A Figura 6.5 ilustra as novas instalações mês a mês, desde 2015.

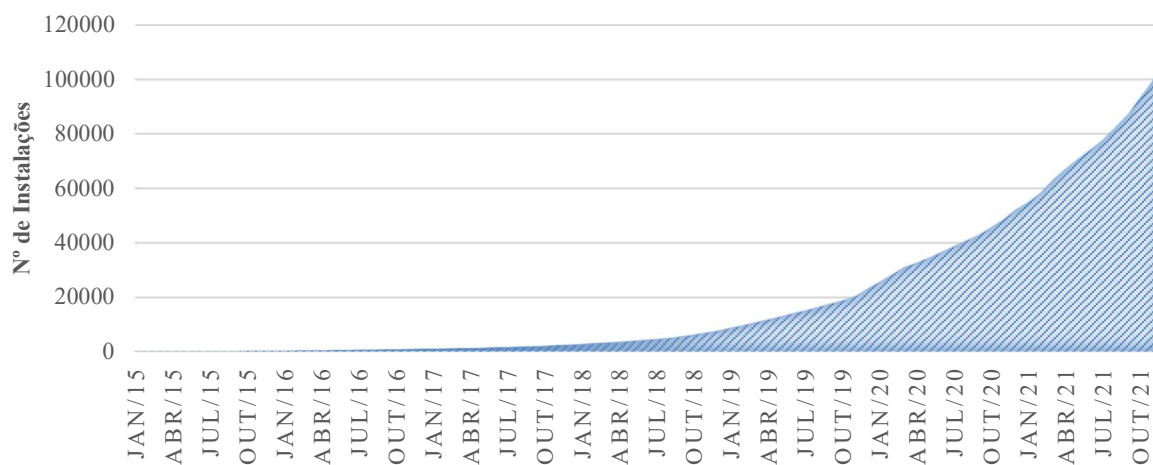
Figura 6.5 – Número de instalações mensais de janeiro de 2015 a dezembro de 2021.



Fonte: Autor, 2022.

Nota-se que o mercado ainda está em expansão, com as instalações crescendo ano a ano. Como grande parte das instalações ocorre no setor residencial, ainda há espaço para crescimento desse mercado, que tem ganhado cada vez mais adeptos devido, entre outros motivos, à diminuição do preço da tecnologia de geração solar. Como visto anteriormente, o número de instalações está diretamente relacionado ao PIB municipal. A Figura 6.6 ilustra o crescimento nas instalações totais ao longo do tempo, de 2015 a dezembro de 2021.

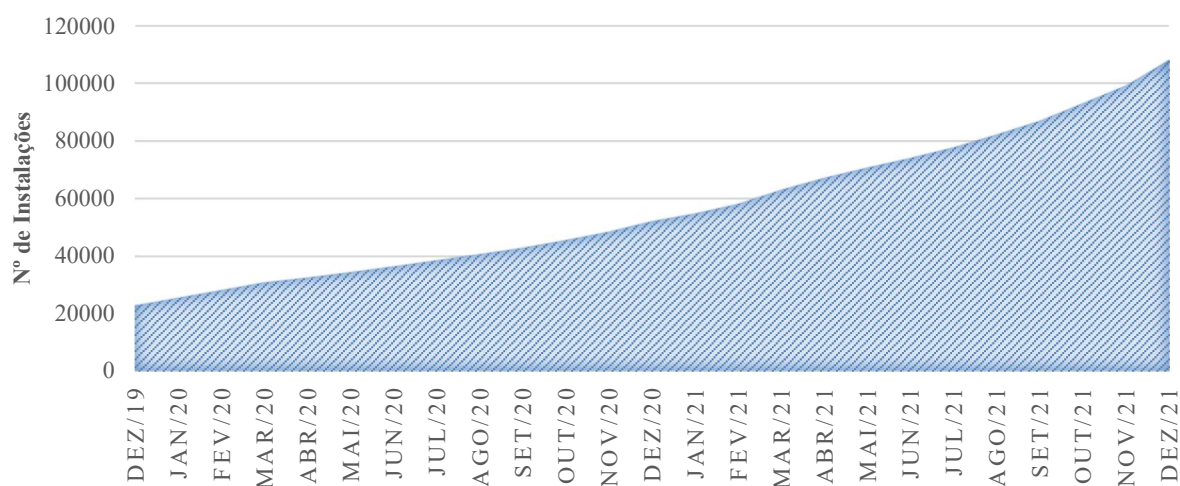
Figura 6.6 – Acumulado de instalações de janeiro de 2015 a dezembro de 2021.



Fonte: Autor, 2022.

Até o fim de 2021, o total de instalações de MMGDFV no RS era de 108.195. Analisando a Figura 6.6, nota-se um comportamento semelhante à uma exponencial, devido principalmente aos baixos números de UC iniciais e do crescimento acelerado a partir de 2018, principalmente. Contudo, se focarmos no comportamento dos últimos 2 anos, é possível perceber uma tendência se aproximando de um comportamento linear, como pode ser visto na Figura 6.7, para um período de análise de dezembro de 2019 a dezembro de 2021.

Figura 6.7 – Acumulado de instalações de dezembro de 2019 a dezembro de 2021.



Fonte: Autor, 2022.

A partir dessas informações, optou-se pela utilização de um modelo de regressão linear para previsão do crescimento das instalações. Foram utilizados dados do número de instalações mês a mês para os últimos dois anos (24 amostras), e espera-se que para os próximos dois anos, as instalações continuem crescendo ano a ano. Utilizando as Equações 4.1 a 4.4, vistas no Capítulo 4 deste trabalho, os parâmetros foram encontrados e estão ilustrados na Tabela 6.9.

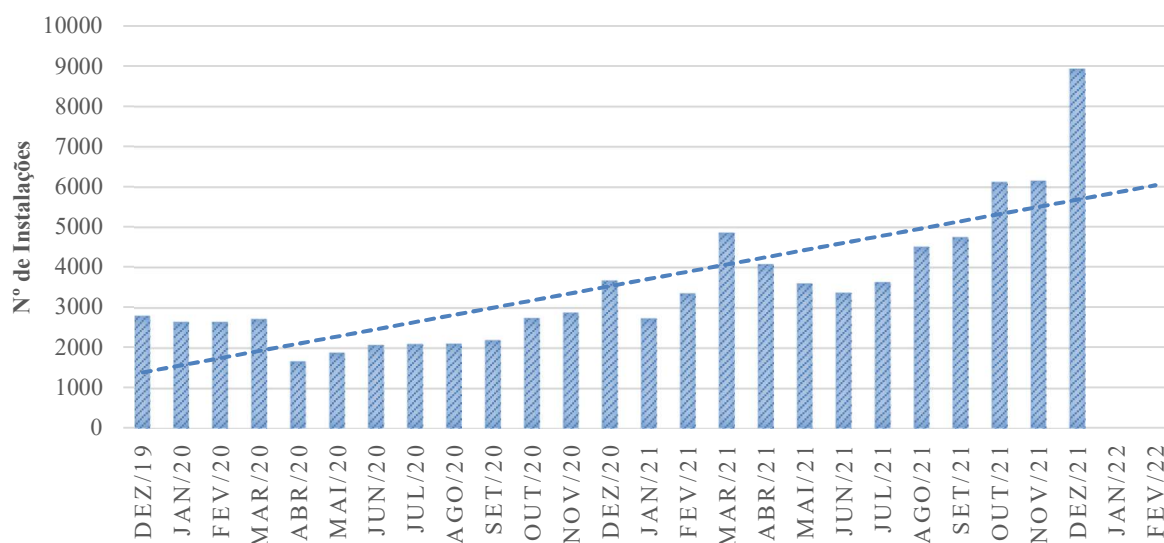
Tabela 6.9 – Parâmetros da equação de regressão linear.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
$x_{\text{médio}}$	12,50
$y_{\text{médio}}$	3559,25
$a_0$	1098,23
$a_1$	196,88
$R^2$	67,34%

Através das 24 amostras (janeiro de 2020 a dezembro de 2021), chegou-se a um resultado para  $x_{\text{médio}}$ , e  $y_{\text{médio}}$ , assim como para as constantes  $a_0$  e  $a_1$ , com uma confiança de 67,34%. Assim, é possível traçar a equação da regressão linear, e comparar com as novas instalações mensais no período analisado, conforme a Figura 6.8

O Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) é fortemente influenciado por valores distantes em relação à reta. O mês de dezembro de 2021, por exemplo, teve um total de 8.929 instalações, um valor alto em relação à média do ano. Caso desprezásemos esse valor, o Coeficiente de Determinação aumentaria para aproximadamente 72%. Esse valor elevado do número de instalações de dezembro de 2021 possivelmente foi influenciado pela então iminente publicação da nova Lei da GD, pois, até o final de 2022, os projetos protocolados serão regidos pela Lei antiga. Essa situação poderá causar um aumento além do projetado para o número de instalações totais em 2022.

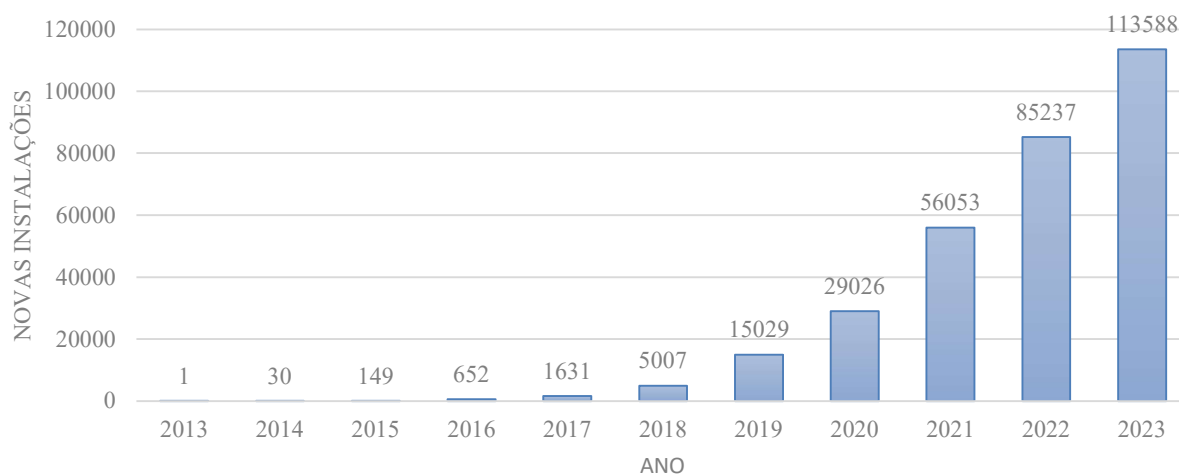
Figura 6.8 – Reta da equação da regressão linear no período de análise.



Fonte: Autor, 2022

Para 2022, espera-se um número de novas instalações seja maior que 2021, chegando a aproximadamente 85.000 UC, e que 2023 alcance cerca de 113.000 novas UC, Figura 6.9. Vale ressaltar que as previsões perdem precisão conforme mais distante seja o período a prever. Portanto, para uma previsão mais precisa de 2023, seriam necessários os dados concretos de 2022. Além disso, essas previsões podem ser afetadas por diversos fatores, como variações acentuadas na economia, desvalorização do Real, mudanças no PIB, novas políticas de incentivo ou de restrições ao mercado de geração distribuída.

Figura 6.9 – Previsões de novas instalações para 2022 e 2023 segundo modelo de regressão.



Fonte: Autor, 2022.

É importante ressaltar também que a pandemia do Covid-19 pode ter afetado o crescimento do mercado de GD entre 2020 e 2021. Apesar de ter ocorrido um crescimento elevado nas instalações nesses dois anos, esses valores possivelmente seriam maiores caso não houvesse ocorrido a pandemia. Portanto, a partir da retomada das atividades, é possível que o crescimento do mercado de GD volte a ter um comportamento exponencial.

## 7 CONCLUSÕES

O principal objetivo deste projeto foi analisar o perfil do mercado de geração distribuída fotovoltaica no estado do Rio Grande do Sul, utilizando dados da ANEEL até o final de 2021, e compará-lo com um estudo feito em 2019, a fim de verificar se houve mudanças, e quais foram elas. Além disso, foi feita uma previsão do número de instalações para os próximos dois anos a partir de uma regressão linear. Optou-se pelo foco no Rio Grande do Sul pelo estado se tratar de um dos principais representantes do país nessa modalidade, possuir um número de instalações elevado, o que torna o estudo do perfil de mercado mais consistente em comparação a outros estados brasileiros que ainda não implementaram a geração distribuída de forma relevante.

A análise passou por diversos fatores, e foi possível verificar algumas mudanças no perfil de mercado da GD. Houve um crescimento muito grande do setor residencial, que em 2021 já representa a maior parcela tanto do número de instalações, quanto da capacidade instalada no estado. Além disso, foi possível perceber uma participação maior do setor rural, que já equivale ao setor comercial em número de instalações. Se tratando de modalidade contratual, ainda há uma predominância muito grande da geração na própria UC. O autoconsumo remoto apresentou um leve crescimento quando comparado ao perfil de 2018, já a geração compartilhada segue com percentuais pouco relevantes, diferentemente do que foi previsto na época.

Os resultados obtidos para a previsão de novas instalações futuras indicam um crescimento do número de UC para 2022 e 2023, mas esse crescimento tende a se estabilizar cada vez mais. Muitos fatores podem afetar essa questão, como variações na economia do País, políticas de incentivo à GD e até mesmo a Lei N° 14.300, 2022. Portanto, será possível verificar a eficácia do modelo de regressão linear apenas a partir dos dados consolidados dos dois anos previstos.

Por fim, o trabalho permitiu consolidar o perfil de mercado de geração distribuída no RS, pois em comparação com o estudo de 2019, a modalidade teve um aumento significativo no número de unidades consumidoras participantes desse tipo de geração. Pode-se aprofundar ainda mais a análise através de estudos específicos de cidades com alto índice de participação na modalidade, e verificar os motivos que a levaram a isso, como por exemplo, Santa Rosa, que dobrou o número de instalações em 2021. Ainda, pode se utilizar outros métodos de previsão, como a regressão exponencial, e comparar com as obtidas nesse trabalho, visto que o cenário atual ainda possibilita uma expansão muito grande nesse mercado. Será fundamental avaliar o impacto da nova Lei GD nas novas instalações em 2022, que ainda estão sujeitas à Lei antiga, e em 2023, que já estarão sujeitas à nova Lei.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899**: Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia. 2020.

ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Informações Técnicas**. Disponível em <<https://www.absolar.org.br>> Acesso em: 03 abril 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída 2021**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd.asp>> Acesso em: 03 de maio de 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Outorgas e Registros de Geração**. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em: 18 de abril 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 482/2012, Brasília, Brasil, 17 abr. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 03 abril 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 687/2015, Brasília, Brasil, 24 nov. 2015. Disponível em: <<https://microinversor.com.br/resolucao-normativa-687-aneel/?v=19d3326f3137>>. Acesso em: 12 janeiro 2022.

Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2017. Disponível em: <[http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html)> Acesso em: 01 de setembro de 2021.

BRASIL, **Lei nº 14.300, 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm)>. Acesso em: 20 março 2022.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. Wiley, 4ª Edição, 2013. ENGIE. **Energia Elétrica – Novo marco da Geração Distribuída**. Porto Alegre, 2022. *E-book*. Disponível em: <<https://solucao.engie.com.br/ebook-novas-diretrizes-gd-solar>> Acesso em: 28 de março de 2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em: 14 abril 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2021 - BEN 2021**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>> Acesso em: 12 janeiro 2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2020 - BEN 2020**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>> Acesso em: 03 abril 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Painel de dados de Micro e Minigeração Distribuída (PDGD)**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/painel-de-dados-de-micro-e-minigeracao-distribuida-pdgd->> Acesso em: 13 fevereiro de 2022.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Informações Técnicas**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>> Acesso em: 03 abril 2021.

INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Informações Técnicas**. Disponível em <<http://www.inee.org.br>> Acesso em: 22 de março de 2021.

PETTER, A. W. **Avaliação de Desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede instalado no Rio Grande do Sul**. Dissertação para obtenção de Título de Mestre em Engenharia – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

PETTER, A. W, RODRIGUES, L. J. **Perfil do Mercado de Energia Solar Fotovoltaica no Rio Grande do Sul**. Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS, Gramado - RS, Abril de 2018.

RAMBO, C. R, RAMPINELLI, G. A, SCARABELOT, L. T. **Avaliação do Sistema de Compensação de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos em Unidades Prosumidoras Residenciais.**

Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS, Gramado - RS, Abril de 2018.

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS. Atlas Solar do Rio Grande do Sul. Disponível em < <https://atlassolarrs.com/>> Acesso em: 12 de abril de 2021.