



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO ENGENHARIA DE ENERGIA

ERIK MATHEUS DE GUSMÃO SANTOS

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Rio Largo/AL
2023

ERIK MATHEUS DE GUSMÃO SANTOS

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Energia da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharelado em Engenharia de
Energia.

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rubio Urbano
da Silva.

Rio Largo/AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

S237e Santos, Erik Matheus de Gusmão

Energia solar fotovoltaica: análise exploratória dos dados de geração distribuída. / Erik Matheus de Gusmão Santos – 2023.
62 f.; il.

Monografia de Graduação em Engenharia de Energia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2023.

Orientação: Dr. Ulisses Rubio Urbano da Silva

Inclui bibliografia

1. Energia fotovoltaica 2. Estudo de mercado. 3. Linguagem Python. I. Título.

CDU: 620.92

Dedico

Aos meus pais Cícero e Sandra, que se empenharam por toda a vida em prol da minha educação, à minha irmã Evellyn e à minha esposa Rebecca, por sempre estar ao meu lado, me incentivando nos momentos difíceis.

RESUMO

A energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia elétrica que ganhou grande destaque nos últimos anos devido a transição energética. O presente trabalho tem como objetivo um estudo de mercado sobre essa fonte na geração distribuída, utilizando a linguagem Python para realizar uma análise exploratória dos dados da geração de energia elétrica disponibilizados pela ANEEL tendo como áreas de referência o Brasil, a região Nordeste e o estado de Alagoas. O desenvolvimento da pesquisa utiliza dois tipos de variáveis: categóricas e uma única variável numérica que é a potência instalada. Após a exploração dos dados, é possível descrevê-los, identificando como características do mercado a tendência da instalação de sistemas de pequeno porte e a preferência ao uso da mesma pessoa física e/ou jurídica no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (CCEE). Portanto, obtém-se uma descrição mais detalhada do mercado de energia solar fotovoltaica sobretudo ao que se refere a oferta, disponibilizando para a sociedade um material que possa ser relevante na produção de novos estudos, negócios e políticas públicas.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; Estudo de mercado; Análise exploratória; Geração distribuída; Linguagem Python.

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy is a source of electrical energy that gained great prominence in recent years due to the energy transition. The objective of this research is to do a market study on solar energy in distributed generation, using the Python language to carry out an exploratory analysis of the electricity generation data made available by ANEEL, using Brazil, the Northeast region (Nordeste) and the state of Alagoas as áreas of reference. The development of this paper uses two types of variables: categorical and a single numerical variable which is the installed power. After exploring the acquired data, it was possible to describe them, identifying as market characteristic the tendency to install small systems and the preference for the use of the same individual and/or legal entity in the Electric Energy Compensation System (CCEE). Therefore, a more detailed description of the photovoltaic solar energy market was obtained, especially with regards to supply, providing society with material that may be relevant in the production of new future studies, business and public policies.

Keywords: Photovoltaic solar energy; market study; exploratory analysis; distributed generation; Python language.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Banco de dados CSV decodificado como tabela.	16
Figura 2: Exemplo da função Filter sendo utilizada.	17
Figura 3: Exemplo da função Groupby sendo utilizada.	18
Figura 4: Exemplo de boxplot sendo utilizado.	19
Figura 5: Conjunto de conhecimentos necessários para construção da metodologia.	19
Figura 6: Distribuição da Potência Instalada com fonte fotovoltaica em cada região do Brasil.	27
Figura 7: Distribuição da Potência Instalada em cada classe de consumo.	30
Figura 8: Distribuição da Potência Instalada em cada Modalidade de Empreendimento.	38
Figura 9: Distribuição da Potência Instalada em cada Modalidade no Nordeste.	40
Figura 10: Distribuição da Potência Instalada em cada Modalidade para o estado de Alagoas.	42
Figura 11: Distribuição da Potência Instalada por Porte.	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo da Média de Potência Instalada por Fonte entre o Brasil e o Nordeste.	23
Gráfico 2: Comparativo da Média de Potência Instalada por Fonte entre as três áreas.	24
Gráfico 3: Comparativo da Média de Potência Instalada por Classe de Consumo. ...	31
Gráfico 4: Comparativo da Participação de cada Classe de Consumo no Brasil e Nordeste.	32
Gráfico 5: Comparativo da Média de Potência Instalada por Classe de Consumo nas três áreas.	33
Gráfico 6: Comparativo da Participação de cada Classe de Consumo nas três áreas.	34
Gráfico 7: Quantidade de unidades beneficiárias para cada classe de consumo.	37
Gráfico 8: Média de Potência instalada por Modalidade para o Brasil e o Nordeste.	40
Gráfico 9: Comparativo da Média de Potência instalada por Modalidade entre o Brasil e Nordeste.	43
Gráfico 10: Comparativo do subgrupo tarifário para o Brasil e a região Nordeste. ...	45
Gráfico 11: Comparativo do subgrupo tarifário para o estado de Alagoas e o Brasil.	47
Gráfico 12: Média de Potência Instalada por Porte para as três áreas do estudo. ...	49
Gráfico 13: Comparativo do Porte da unidade para a Região Nordeste e o Brasil. ..	51
Gráfico 14: Comparativo do Porte da unidade para o Estado de Alagoas e o Brasil.	52
Gráfico 15: Relação de participação das classes de consumo nos subgrupos tarifários.	53

Gráfico 16: Relação de participação das classes de consumo nos subgrupos tarifários no Nordeste.	54
Gráfico 17: Relação de participação das classes de consumo nos subgrupos tarifários em Alagoas.	55
Gráfico 18: Relação de participação dos Portes nas Modalidades de Empreendimento.....	56
Gráfico 19: Relação de participação dos Portes nas Modalidades de Empreendimento no Nordeste.	57
Gráfico 20: Relação de participação dos Portes nas Modalidades de Empreendimento no Nordeste.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Participação das Fontes no total da geração distribuída.	22
Tabela 2: Participação das Fontes no total da geração distribuída no Nordeste.	23
Tabela 3: Participação das Fontes no total da geração distribuída em Alagoas.	24
Tabela 4: Participação das regiões no total da geração de energia solar distribuída.	25
Tabela 5: Principais estados no total de geração de energia solar distribuída.	27
Tabela 6: Participação das classes de consumo no total de geração de energia solar distribuída.	29
Tabela 7: Participação das classes de consumo no total de energia solar distribuída no Nordeste.	31
Tabela 8: Participação das classes de consumo no total de energia solar distribuída em Alagoas.	33
Tabela 9: Participação das Modalidades de Empreendimento no total de energia solar distribuída.	37
Tabela 10: Valores encontrados na região Nordeste para as modalidades de empreendimento.	39
Tabela 11: Valores encontrados no estado de Alagoas para as modalidades de empreendimento.	41
Tabela 12: Agrupamento dos dados de subgrupo tarifário em termos de potência instalada.	44
Tabela 13: Agrupamento dos dados de subgrupo tarifário para a região Nordeste. ...	45
Tabela 14: Agrupamento dos dados de subgrupo tarifário para o estado de Alagoas.	46
Tabela 15: Agrupamento dos dados de Porte em termos de Potência instalada.	48
Tabela 16: Agrupamento dos dados de Porte para a região Nordeste.	50
Tabela 17: Agrupamento dos dados de Porte para o estado de Alagoas.	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	METODOLOGIA	15
3	PANORAMA GERAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA	21
3.1	Tipos de Fontes	21
3.1.1	Âmbito Nacional	22
3.1.2	Nordeste	23
3.1.3	Alagoas	24
4	ANÁLISES UNIVARIADAS COM VARIÁVEL NUMÉRICA	28
4.1	Classe de Consumo	28
4.1.1	Âmbito Nacional	29
4.1.2	Nordeste	30
4.1.3	Alagoas	33
4.2	Modalidade de Empreendimento	35
4.2.1	Âmbito Nacional	37
4.2.2	Nordeste	39
4.2.3	Alagoas	41
4.3	Subgrupo Tarifário	43
4.3.1	Âmbito Nacional	44
4.3.2	Nordeste e Alagoas	45
4.4	Porte	47
4.4.1	Âmbito Nacional	48
4.4.2	Nordeste e Alagoas	50
5	ANÁLISE COMBINADA DE DUAS VARIÁVEIS CATEGÓRICAS	52
5.1	Classe de Consumo com Grupo A	52
5.1.1	Âmbito Nacional	52

5.1.2 Nordeste	53
5.1.3 Alagoas	54
5.2 Modalidade com Porte	55
5.2.1 Âmbito Nacional	55
5.2.2 Nordeste	57
5.2.3 Alagoas	57
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Desde 2004, com a criação do marco regulatório do setor elétrico, o governo brasileiro buscou descentralizar a geração de energia no país, ampliando a participação de sistemas de produção de energia elétrica próximos ao consumidor. Simultaneamente, houve o estímulo ao uso de fontes renováveis dentro desse novo modelo ao longo dos anos (SOETHE, 2020, p. 241).

Esse estímulo ocorre devido a transição energética que tem sido estimulada ao redor do mundo com o encorajamento da utilização das fontes renováveis. A transição é incentivada com mais ênfase a partir do Acordo de Paris, compromisso que os países signatários possuem em reduzir suas taxas de emissão dos gases de efeito estufa.

Analisando o panorama global da transição energética, constata-se que dentre as energias renováveis, a energia solar fotovoltaica e a energia eólica estão se destacando nos últimos anos, tendo um crescimento de 175 GW de um total de 942 GW para a energia solar fotovoltaica e 102 GW de um total de 845 GW para a energia eólica em 2021 (REN21, 2022, p. 28-29).

Essa ênfase nas duas fontes é justificada em razão de fontes como a energia geotérmica, não estarem difundidas, pois apresentam alta concentração geográfica; também energia dos oceanos, que em sua maioria são projetos de demonstração em pequena escala ou projetos-piloto de menos de 1 MW; e ao desaceleramento da energia hídrica nos últimos anos (REN21, 2022, p. 26-27).

Além disso, os avanços tecnológicos nas duas fontes ao longo dos anos incentivam o seu uso, os painéis fotovoltaicos mostram grande evolução a cada ano mostrando potência e eficiência cada vez maiores, além da redução do preço. Esses resultados são consequências, segundo Aldo (2022), “do aumento de investimentos e pesquisa de energias renováveis”.

Na energia eólica, os principais avanços são a possibilidade de construção de turbinas com maior potência nominal e de tamanho, permitindo-se assim parques eólicos com maior capacidade, análises computacionais capazes de identificar o potencial de instalação em uma determinada aérea e outras inovações estruturais, elétricas etc (ABEEólica, 2022, p. 31-33).

Ao adentrar no contexto nacional, o Brasil já possui uma matriz energética predominantemente limpa, sendo a energia hidráulica a fonte mais utilizada com cerca

de 62,5% da capacidade instalada, de acordo com dados do Balanço Energético Nacional (2021). Contudo, a criação de novas usinas utilizando essa fonte está sendo desestimulada devido aos impactos socioambientais causados na construção de uma central hidrelétrica.

Além disso, a forte dependência das usinas hidrelétricas é um ponto a ser considerado, pois o Brasil enfrentou uma crise hídrica nos últimos anos, sendo necessário o uso emergencial de usinas termelétricas, que em via de regra são poluentes, para suprir a demanda. De acordo com a revista Isto É (2022): “Ao longo de 2021, foram acionadas todas as usinas térmicas, inclusive as mais caras, para garantir o fornecimento de energia e evitar um novo apagão no País.” Tendo esse custo repassado ao consumidor, o que encarece o valor da conta de eletricidade.

Dentre as possíveis fontes de energia que fazem parte da chamada transição energética, a energia solar fotovoltaica, energia oriunda da radiação que é emitida pelo sol, é o foco de nosso estudo. Essa radiação emitida é absorvida por placas compostas por materiais específicos para essa finalidade e que a convertem em energia elétrica. A energia solar fotovoltaica possui três tipos de subsistemas: centralizado, descentralizado e isolado.

O sistema centralizado é formado por grandes usinas solares geralmente localizadas em áreas afastadas do consumidor sendo necessário o uso das linhas de transmissão. O sistema descentralizado, também chamado de geração distribuída, tem sua geração de energia próxima ao consumidor. Além destes, o sistema isolado é aquele em que não há conexão com o sistema da distribuidora local, necessitando do uso de baterias para armazenar o excedente e garantir o fornecimento. (CALDAS; MOISÉS, 2016 apud FILHO, 2019, p. 15-16).

O presente trabalho busca realizar um estudo de mercado da geração distribuída com ênfase na fonte de energia solar fotovoltaica. Para que, através dos resultados obtidos, seja possível identificar as características do setor e compreender o seu funcionamento.

2 METODOLOGIA

O estudo é fundamentado com base nas informações de geração de energia elétrica no Brasil disponibilizados pela ANEEL. Essas informações estão expostas em dois bancos de dados diferentes: um deles contém os dados referentes à geração

descentralizada, ou seja, distribuída; e o outro contém dados referentes à geração centralizada.

Esses recursos foram retirados do PDA (Plano de Dados Abertos), que é um instrumento instituído a partir da Portaria nº 6.368/2020 do Governo Federal, que coordena o planejamento sobre a disponibilização dos dados da ANEEL. Esses se encontram em planilhas por meio digital em formato CSV à disposição do público¹.

Os arquivos em formato CSV (Comma-separated values) são planilhas em que suas células são separadas por vírgula, estando todos os dados de um mesmo item contidos na mesma linha. Portanto, para melhor visualização dos dados, foi utilizada a função `DataFrame.head()` do pacote Pandas em linguagem Python, em que as vírgulas se convertem em colunas, conforme o exemplo da Figura 1.

Figura 1: Banco de dados CSV decodificado como tabela.

In [4]: `GD_Dados.head()`

Out[4]:

	DatGeracaoConjuntoDados	AnmPeriodoReferencia	NumCNPJDistribuidora	SigAgente	NomAgente	CodClasseConsumo	DscClasseConsumo	CodSubC
0	2022-04-04	04/2022	4.065033e+12	ELETOACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	2	Comercial	
1	2022-04-04	04/2022	4.065033e+12	ELETOACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	1	Residencial	
2	2022-04-04	04/2022	4.065033e+12	ELETOACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	2	Comercial	
3	2022-04-04	04/2022	4.065033e+12	ELETOACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	1	Residencial	
4	2022-04-04	04/2022	4.065033e+12	ELETOACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	1	Residencial	

5 rows x 33 columns

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

A partir disso, o pacote Pandas foi utilizado no banco de dados na qual as funções Groupby e Filter pertencentes ao mesmo contribuíram para que os resultados requeridos pudessem ser alcançados. Além do pacote Pandas, o Numpy também foi utilizado em alguns momentos para manipulação. A análise de dados foi realizada empregando pacotes em linguagem de programação Python, principalmente Pandas e Matplotlib a partir do interpretador Jupyter Notebook.

¹ Dados disponíveis em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/relacao-de-empresendimentos-de-geracao-distribuida>. Acesso em 07/11/2021.

A Figura 2 exibe a função Filter empregada ao banco de dados em que a categoria SigTipoGeracao, que é a sigla do tipo de fonte recebe apenas os valores de geração UFV, ou seja, usina fotovoltaica. Dessa forma, somente os dados de energia solar fotovoltaica são considerados para análise.

Figura 2: Exemplo da função Filter sendo utilizada.

```
In [10]: filtered_GD_Dados = GD_Dados.query('SigTipoGeracao == "UFV"')
```

```
In [23]: filtered_GD_Dados.head()
```

```
Out[23]:
```

	NumCNPJDistribuidora	SigAgente	NomAgente	CodClasseConsumo	DscClasseConsumo	CodSubGrupoTarifario	DscSubGrupoTarifario	codUFibge	S
0	4.065033e+12	ELETROACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	2	Comercial	11	B3	12.0	
1	4.065033e+12	ELETROACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	1	Residencial	9	B1	12.0	
2	4.065033e+12	ELETROACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	2	Comercial	11	B3	12.0	
3	4.065033e+12	ELETROACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	1	Residencial	9	B1	12.0	
4	4.065033e+12	ELETROACRE	ENERGISA ACRE - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	1	Residencial	9	B1	12.0	

5 rows x 29 columns

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Na Figura 2 é apresentado um exemplo da função Groupby empregada em um dos códigos. Os dados filtrados com a função anterior, agora são agrupados e somados com base em uma categoria. No exemplo, a classe de consumo é a categoria escolhida. Dessa forma, os dados que se encontravam desordenados são organizados e torna-se possível interpretá-los com clareza.

Figura 3: Exemplo da função Groupby sendo utilizada.

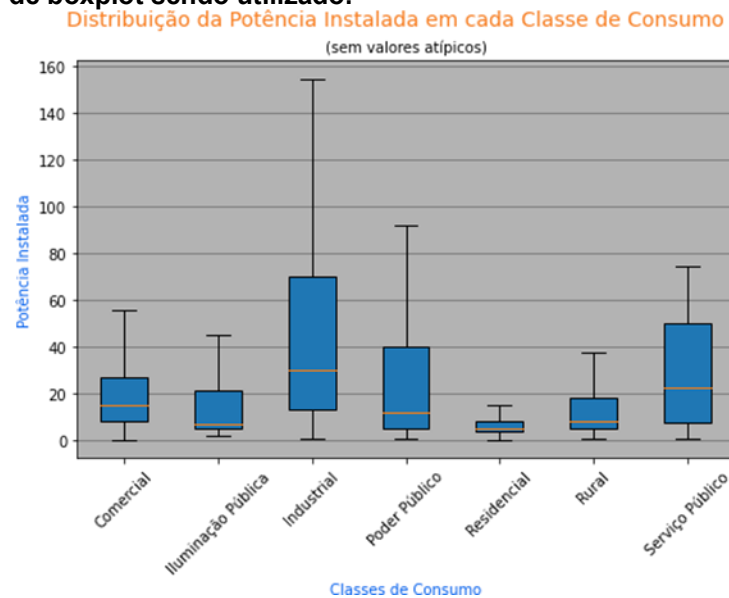
In [12]: Classe_Consumo = filtered_GD_Dados.groupby(by=["DscClasseConsumo"]).sum()		
In [13]: Classe_Consumo.head(7)		
Out[13]:		
	QtdUCRecebeCredito	MdaPotencialInstaladaKW
DscClasseConsumo		
Comercial	175645	3225433.14
Iluminação pública	63	1756.44
Industrial	24461	740931.80
Poder Público	4043	107904.36
Residencial	858672	4477086.84
Rural	101381	1348721.36
Serviço Público	654	12459.76

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Além disso, houve o emprego do pacote Matplotlib para que os resultados obtidos pudessem ser visualizados através de ilustrações. Em resumo, foram utilizados dois modelos diferentes de gráficos. O gráfico de barras em que é mostrada a distribuição de frequência relacionando variáveis qualitativas nominais, ou seja, a classificação de um determinado elemento, com um valor numérico, que nesse caso será a potência instalada.

O Boxplot (gráfico de caixas), ou também chamado de diagrama de caixa, é outro modelo de representação gráfica utilizado. Ele possui cinco medidas de posição de uma determinada variável: valor mínimo, valor máximo, a mediana, que é uma medida de posição central, e os dois quartis que se encontram em 25% e 75% dos dados observados da amostra, conseguindo observar como os dados se distribuem em termos de quartis. Na Figura 4 é representado um dos modelos de boxplot utilizados.

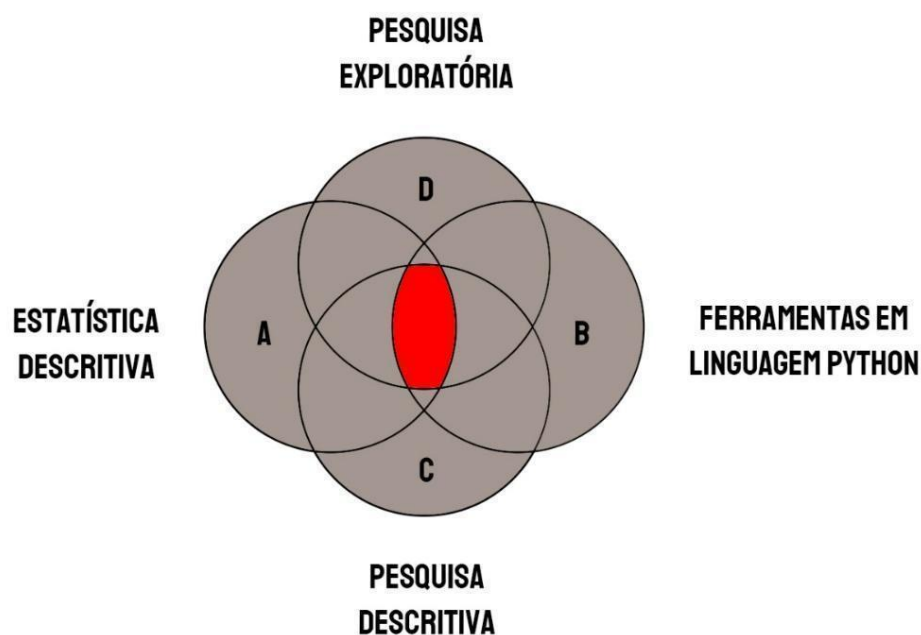
Figura 4: Exemplo de boxplot sendo utilizado.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Para a realização da tarefa na qual esse trabalho se propõe, é necessária a pesquisa exploratória para que os dados possam ser melhor descritos. Na Figura 5 é ilustrada de forma resumida a intersecção de campos do conhecimento compõem a metodologia empregada.

Figura 5: Conjunto de conhecimentos necessários para construção da metodologia.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Para retirar informações do conjunto de dados, é realizada uma pesquisa

exploratória. Essa ação busca obter uma maior familiaridade com os dados, permitindo que o pesquisador identifique informações que possam ser retiradas do banco de dados e, posteriormente, estruturar essas informações. No caso em questão, é feita a pesquisa exploratória para que de modo consecutivo seja feita a análise descritiva dos dados (OLIVEIRA, 2011).

A metodologia é fundamentada com base na estatística descritiva que é uma área da estatística que, ao analisar um conjunto de dados, é capaz de descrevê-los e sintetizá-los a partir de gráficos, tabelas e medidas-resumo, permitindo assim uma melhor compreensão dos mesmos (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

O trabalho se utilizou das medidas-resumo que fazem parte da estatística descritiva conhecidas como média e desvio-padrão. Essas buscam representar o comportamento da variável em questão. No caso da média, ela é empregada para compreender a tendência numérica que a variável observada possui. Já no caso do desvio padrão, ela demonstra a dispersão que um determinado item da amostra dessa variável tem em relação a sua média.

A análise descritiva busca descrever as características dos dados ou aferir relações entre determinadas variáveis. Para o presente trabalho, a pesquisa descritiva é feita para que possam ser compreendidas características da energia solar fotovoltaica e a partir disso contribuir para o entendimento desta fonte.

O presente estudo analisou os dados de geração solar fotovoltaica para três áreas geográficas distintas, sendo elas: Brasil, Nordeste e Alagoas. A finalidade disso é para que seja possível identificar características presentes na geração descentralizada de energia fotovoltaica nas localidades ou contrastar com a região Nordeste e, finalmente, comparar Brasil e Nordeste com Alagoas.

Posto isto, foi definido o Brasil como área de estudo primária, para que a pesquisa possa contribuir com as considerações acerca das energias renováveis no país. O Nordeste é escolhido devido ao seu potencial de desenvolvimento no setor da energia solar fotovoltaica em que na região há a maior incidência de radiação solar, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia (INPE, 2017, p. 36-41).

Alagoas participa da análise em virtude de ser o estado em que a Universidade está inserida, sendo o local de nascimento do autor e que o mesmo desenvolveu toda sua vida acadêmica e profissional, atuando na área de energia solar fotovoltaica como projetista fotovoltaico.

3 PANORAMA GERAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA

3.1 Tipos de Fontes

Geração distribuída é um termo utilizado para definir unidades de geração de energia elétrica em que o consumo dessa energia é feito no local ou em suas proximidades. Isto faz com que haja um aumento da eficiência energética em comparação ao método convencional, pois há a redução nos custos de transmissão e perdas devido ao consumo ser feito próximo à geração (PEREIRA, 2019).

A geração distribuída foi criada formalmente ao ser sancionada na lei nº 10.848, de 15 de março de 2004 (BRASIL, 2004). Contudo, a geração distribuída no Brasil somente foi normatizada a partir da Resolução Normativa Nº 482 de 2012, que estabelece as condições gerais de acesso de unidades que possuem geração própria aos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Os tipos de fontes presentes na geração distribuída são aquelas em que o governo brasileiro tem estimulado o seu desenvolvimento. São eles: as fontes renováveis e a cogeração qualificada. A cogeração é o conceito que define o processo de geração simultâneo entre duas fontes de energia e essas energias são oriundas da mesma fonte primária, tornando qualificada a partir do atendimento aos requisitos de eficiência energética contidos no art. 4º da Resolução Normativa ANEEL nº 235 (ANEEL, 2006).

De acordo com os dados de geração distribuída disponibilizados pela ANEEL, atualmente, no Brasil, existem quatro tipos diferentes de centrais geradoras enquadradas segundo as normas de geração distribuída, em que cada uma possui uma fonte de energia diferente. As quatro centrais geradoras são: hidrelétrica (CGH), eólica (EOL), fotovoltaica (UFV) e termelétrica (UTE).

Uma central geradora, como o próprio nome diz, é uma instalação cujo objetivo seja a geração de energia elétrica. Dessa forma, as quatro centrais geradoras se distinguem com base na fonte que será utilizada na geração.

Tendo sido apresentados os conceitos dos diferentes tipos de fontes existentes dentro da geração distribuída, podemos então iniciar a análise exploratória, dividindo-as em termos de potência instalada para descrever os seus dados.

3.1.1 Âmbito Nacional

Utilizando como base os dados de geração distribuída da ANEEL, realizamos a análise da participação das diferentes fontes existentes na geração distribuída. Na Tabela 1 são apresentados os valores de potência instalada, participação, média e os respectivos quartis para cada tipo de fonte.

Tabela 1: Participação das Fontes no total da geração distribuída.

Tipo	Pot Inst. (MW)	(%)	(kWp)	25%	50%	75%	100%
CGH	70,32	0,70	925,27	316,7	1000	1000	3720
EOL	17,16	0,17	190,61	2,0	3,3	6,67	5000
UFV	9.914,29	97,98	10,73	3,2	5	8,4	5000
UTE	117,13	1,16	303,44	74,8	75	204,44	5000

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Na Tabela 1 são apresentados os quatro tipos diferentes de fonte de energia que estão inseridos no modelo distribuído. É observável que as usinas fotovoltaicas possuem predomínio, contribuindo com praticamente 98% do total de potência instalada caracterizada como geração distribuída. Uma hipótese para isto é a adequação das características desse tipo de instalação com o modelo descentralizado, enquanto as outras fontes possuem características que se adequem melhor ao modelo centralizado.

Nossa hipótese, baseada em vivência de campo, é de que essa adequação ocorre devido aos processos que envolvem a instalação de uma usina solar fotovoltaica: a) o sol é uma fonte disponível para todos e em todo lugar; b) há facilidade de instalação dos sistemas fotovoltaicos; b) é possível projetar sistemas com uma alta variabilidade de potências, se adaptando às necessidades e recursos disponíveis do consumidor, sejam eles monetários ou de área disponibilizada para instalação

Na Tabela 1 também são trazidas informações acerca da potência média presente para as diferentes fontes, onde a energia solar fotovoltaica possui potência média de 10,73 kW e 75% das unidades consumidoras têm até 8,4 kWp de potência instalada. Isto nos mostra que geração distribuída tem sido utilizada como alternativa viável encontrada pelos pequenos consumidores em relação ao modelo convencional.

3.1.2 Nordeste

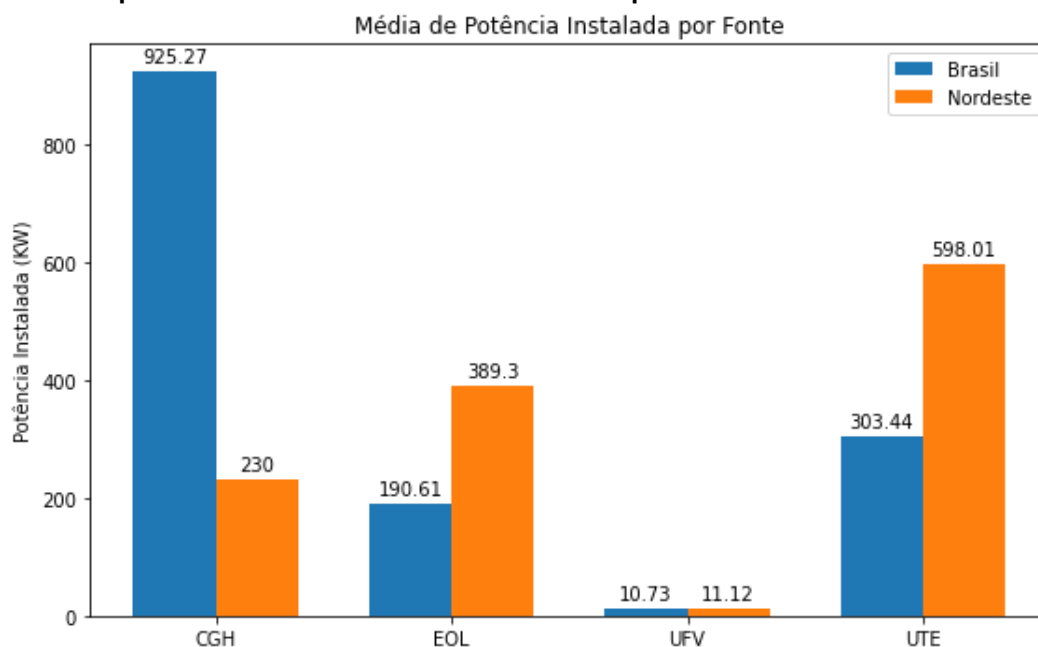
O presente estudo realizou filtros nos dados explorados para que fosse possível identificar como os dados se comportam dependendo da área que é observada. Posto isto, primeiramente foi escolhida a região Nordeste como região de pesquisa devido à região possuir um elevado potencial de radiação solar. Na Tabela 2 são apresentados os resultados encontrados na região Nordeste para cada diferente fonte.

Tabela 2: Participação das Fontes no total da geração distribuída no Nordeste.

Tipo	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
CGH	0,23	0,01	230	230	230	230	230
EOL	16,74	0,82	389,30	2,2	3,5	6,65	5000
UFV	2.021,35	98,65	11,12	4,0	5,4	10	5000
UTE	10,76	0,53	598,01	204,4	600	1037,2	1204

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Gráfico 1: Comparativo da Média de Potência Instalada por Fonte entre o Brasil e o Nordeste.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

No Gráfico 1 são comparados os dados encontrados em âmbito nacional com aqueles apresentados para a região Nordeste expostos na Tabela 2. Nota-se que no Nordeste existe apenas uma central geradora hidrelétrica, reduzindo a participação da fonte na região à 0,01%. Para a fonte eólica há um grande aumento em sua participação em potência instalada e na potência média quando comparado com os

resultados encontrados para o Brasil. Contudo, os quartis mantêm valores muito parecidos com os nacionais, significando uma maior quantidade de unidades com potências acima dos 6,65 kWp.

3.1.3 Alagoas

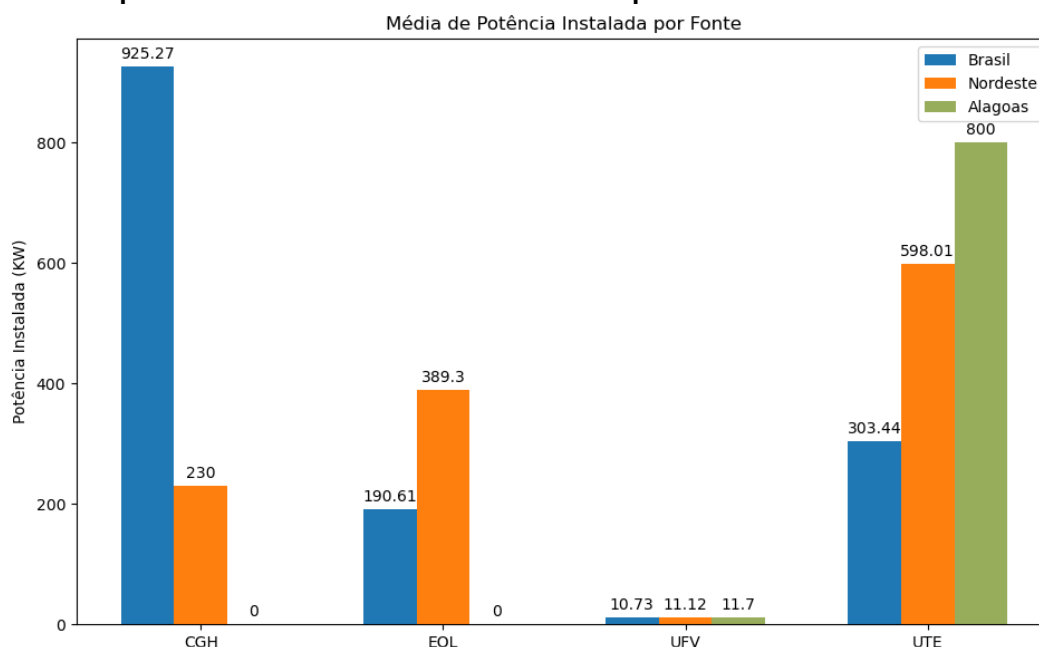
Na Tabela 3 nos é fornecido os dados de geração distribuída para os diferentes tipos de fontes em Alagoas. Conforme a tabela, no estado há apenas sistemas com o uso de energia térmica e energia solar fotovoltaica, tendo grande predomínio com 99,1% da potência instalada.

Tabela 3: Participação das Fontes no total da geração distribuída em Alagoas.

Tipo	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
UFV	87,99	99,10	11,70	4	6	10,5	1206
UTE	0,80	0,90	800	800	800	800	800

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Gráfico 2: Comparativo da Média de Potência Instalada por Fonte entre as três áreas.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

No Gráfico 2 é apresentado o mesmo comparativo exposto no gráfico anterior, constando o acréscimo dos dados pertencentes à Alagoas. Sendo assim, observamos que a média da potência instalada no estado mantém valores próximos aos encontrados para o Nordeste e o Brasil, podendo demonstrar o perfil existente no setor.

O que encontramos para usinas termelétricas não nos permite levantar hipóteses devido à ausência de uma amostra maior.

3.2 Energia Solar na Geração Distribuída

Conforme citado na seção anterior, a energia solar fotovoltaica é a fonte de energia dominante na geração distribuída. A hipótese é de que isso se dá devido a simplificação dos procedimentos necessários para acesso ao sistema das distribuidoras e em virtude do seu baixo custo neste modelo, fazendo assim com que seja um setor bastante atrativo tanto para os profissionais capacitados quanto para a sociedade em geral que o tem visto como um bom investimento.

Essa dominância não é correspondente no modelo centralizado em que segundo dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2021, p. 16-17), fontes como hidráulica, eólica e biomassa lideram em capacidade instalada quando nos referimos às energias renováveis. Tendo a hidráulica 65,2% da oferta interna de energia elétrica e 9,1% e 8,8% respectivamente para a biomassa e a energia eólica.

Esses dados reforçam a hipótese de maior adequação da energia solar fotovoltaica ao modelo descentralizado em contrapartida a outros fatores que envolvem um sistema centralizado. Na Tabela 4 é mostrada a participação de cada região do Brasil na geração solar distribuída.

Tabela 4: Participação das regiões no total da geração de energia solar distribuída.

Região	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
Centro Oeste	1.572,33	15,86	12,76	4,0	6	10	5000
Nordeste	2.021,35	20,39	11,13	4,0	5,4	10	5000
Norte	633,25	6,39	11,85	5,0	6	10	4500
Sudeste	3.537,35	35,68	9,84	3,0	5	8	5000
Sul	2.150,00	21,69	10,44	3,2	5	8,5	2500

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

A região sudeste possui a maior fração da potência instalada com 35,68%, em que é possível que esse resultado seja justificado devido a região ser a mais populosa do país. Segundo as Estimativas da População do IBGE com data de referência 1 de julho de 2021, o Sudeste possui cerca de 42% da população residente no Brasil.

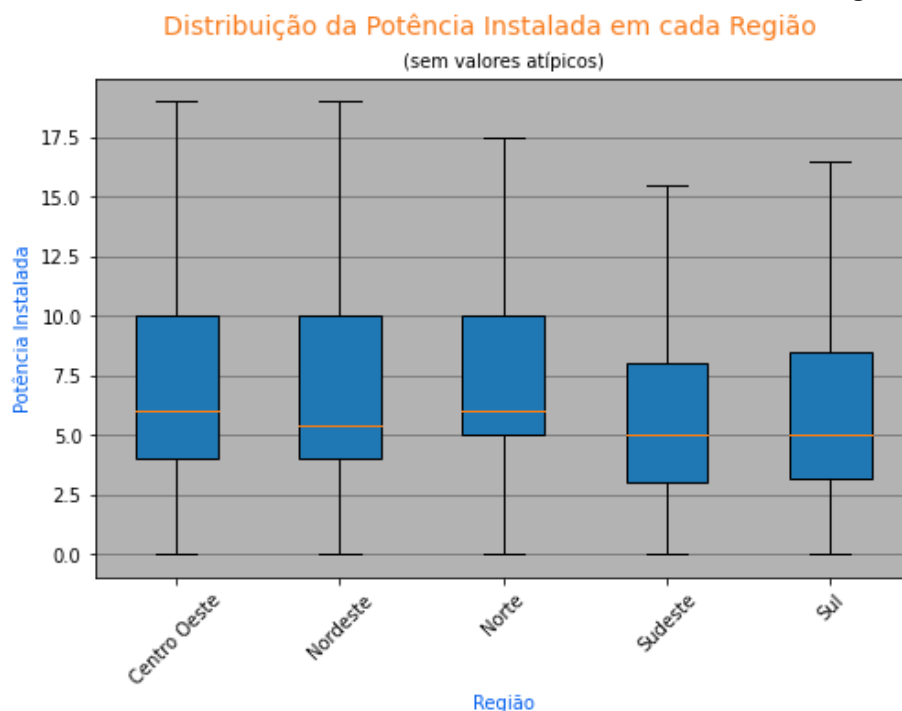
As regiões Sul e Nordeste têm, respectivamente, 21,69% e 20,39% de participação na geração solar distribuída. Apesar das regiões possuírem percentuais

próximos, elas são contrastantes com relação à incidência de radiação solar. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia, a região Nordeste recebe aproximadamente 5483 Wh/m² de Irradiação Global Horizontal diária, sendo o maior valor do país, enquanto o Sul recebe 4444 Wh/m², sendo o menor valor do Brasil. Isso demonstra que ainda que radiação solar seja uma variável importante, há outros fatores para determinar que um sistema fotovoltaico seja instalado.

O Centro-Oeste e Norte também apresentam resultados valiosos para o presente estudo, pois o Centro-Oeste possui a menor quantidade de habitantes do Brasil, tendo 16.707.336 pessoas residindo em seus estados. Em contrapartida, ele tem uma participação na geração distribuída significativamente superior ao Norte com 15,86%, esse valor representa mais que o dobro da região nortista que possui 6,39% da potência instalada, mesmo o Norte tendo cerca de 2 milhões de habitantes a mais.

Esse resultado constata que apenas a quantidade de habitantes também não é suficiente para determinar se uma região terá mais potência instalada em geração distribuída. Com base no que foi encontrado para as outras regiões podemos inferir que há uma série de fatores a serem considerados para justificar o desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos, podendo citar fatores econômicos, sociais ou até mesmo geográficos.

O boxplot apresentado na Figura 6 nos fornece a distribuição de Potência Instalada em cada região, em que é possível observar que não há uma significativa variação em seus resultados, pois as potências encontradas nas regiões possuem padrões semelhantes.

Figura 6: Distribuição da Potência Instalada com fonte fotovoltaica em cada região do Brasil.

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Na Tabela 5 são trazidos os seis estados com a maior participação em sistemas de energia solar dentro da geração distribuída. Tendo em vista que somados esses estados representam 59,27% da potência instalada, é possível afirmar que há uma concentração da energia elétrica oriunda da geração distribuída fotovoltaica.

Tabela 5: Principais estados no total de geração de energia solar distribuída.

Estados	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
MG	1.669,52	16,84	11,22	3,0	5	8,2	5000
RS	1.156,96	11,67	9,40	3,0	5	8	2500
SP	1.283,00	12,94	8,64	3,0	4,6	7,5	5000
MT	674,91	6,81	13,88	5,0	7	10	5000
PR	498,08	6,02	11,80	3,3	5	10	750
SC	494,97	4,99	12,16	3,6	5	12	1000

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

O estado de Minas Gerais lidera o ranking nacional de estados com a participação de 16,84% da potência instalada. Um elemento notável que provavelmente contribui com isso são os incentivos governamentais que incentivam o uso da energia solar fotovoltaica no estado como a lei nº 20.849/2013 que institui a política estadual de incentivo ao uso da energia solar e o decreto nº 47.231/2017 que

altera o regulamento de ICMS do estado conferindo isenção em vários aspectos da energia solar fotovoltaica.

Outro ponto a ser observado na Tabela 5, é a relevância dos estados da região Sul em que os três estados pertencentes à região estão no ranking dos seis principais estados. Uma hipótese que justifica esse fato é que o Sul tem o maior consumo per capita do Brasil com 2.960kWh/hab, de acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), fazendo com que os residentes da região busquem a geração própria como forma de reduzir seus custos com energia elétrica.

4 ANÁLISES UNIVARIADAS COM VARIÁVEL NUMÉRICA

4.1 Classe de Consumo

De acordo com a Resolução Normativa Nº 800, a ANEEL é responsável pela homologação das tarifas cobradas pelas distribuidoras de energia elétrica. Dessa forma, as tarifas não podem ser superiores aos valores definidos pela ANEEL, entretanto, a distribuidora tem a facultatividade em “aplicar tarifas inferiores desde que não impliquem pleitos compensatórios posteriores quanto à Recuperação do Equilíbrio Econômico-Financeiro”. (REN Nº 800, Capítulo 3-A, Seção I, §3º, ANEEL, 2017)

As tarifas de energia elétrica possuem divisões de acordo com a categoria do usuário. Essas divisões são utilizadas para adequar a tarifa ao perfil do usuário. Uma dessas categorias é a classe de consumo, em que as unidades consumidoras são classificadas de acordo com a “atividade comprovadamente exercida, a finalidade de utilização da energia elétrica e o atendimento aos critérios previstos.” (REN Nº 800, Capítulo 3-A, Seção I, §5º, ANEEL, 2017)

As classes de consumo se dividem em: residencial, contendo todas as unidades com fim residencial, com exceção daquelas previstas em lei; industrial, que é regida pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE); comércio, serviços e outras atividades na qual são enquadrados locais de prestação de serviço e demais atividades relacionadas; rural, dividida em várias subdivisões como agropecuária e etc; iluminação pública, que são as unidades exclusivas para prestação de serviços públicos; serviço público, que se destinam apenas ao fornecimento de energia para motores, cargas e máquinas de operação de serviços

como água, saneamento, esgoto, ferroviária, etc, diretamente do poder Público ou por meio de concessão/autorização; e a última categoria, de consumo próprio, sendo elas unidades consumidoras de titularidade das distribuidoras (ANEEL, 2017).

4.1.1 Âmbito Nacional

A quantia total de potência instalada de energia solar fotovoltaica distribuída em âmbito nacional até o dia 04 de abril de 2022, data de coleta do banco de dados da ANEEL para uso na pesquisa, foi de 9.914.293,7 kWp. Os dados da distribuição deste total entre as classes de consumo são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Participação das classes de consumo no total de geração de energia solar distribuída.

Classe de Cons.	Pot. Inst (kWp)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
Comercial	3.225.433,14	32,53	27,55	8	15	30	5.000
Ilum. Pública	1.756,44	0,02	32,52	5,25	12,03	58,75	216
Industrial	740.931,80	7,47	41,27	8	20	50	5.000
Poder Público	107.904,36	1,09	39,45	5	12	40	4.500
Residencial	4.477.086,84	45,16	6,26	3	4,92	6,7	3.000
Rural	1.348.721,36	13,60	19,04	5	8,3	20	4.950
Serviço Público	12.459,76	0,13	57,95	6,54	15	50	1.050

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

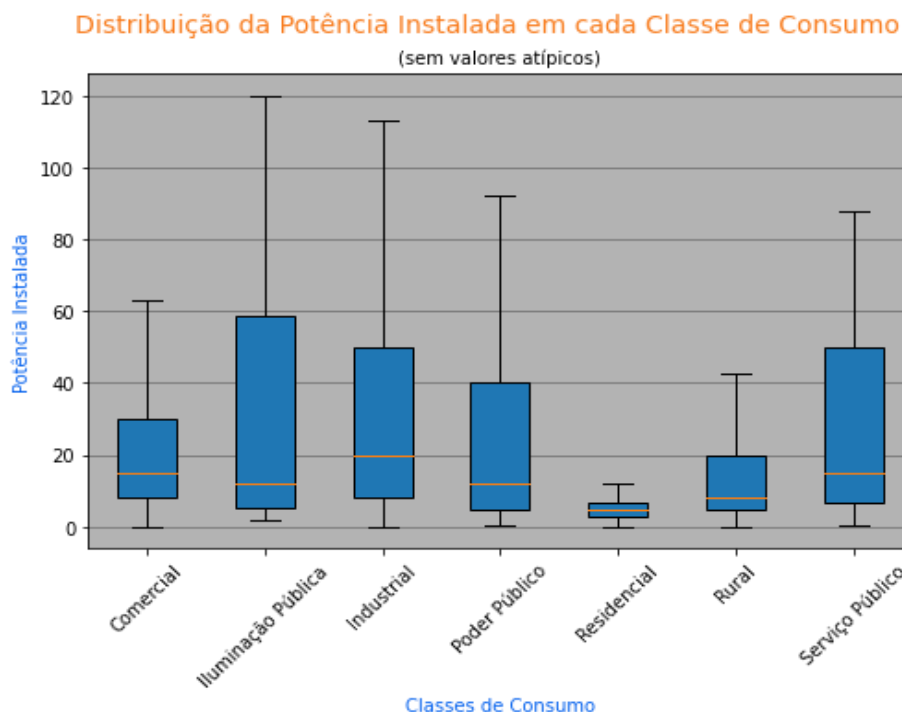
Pode-se depreender que a classe residencial é a mais abrangente dentro da geração solar fotovoltaica distribuída, tendo quase metade da potência instalada. Entretanto, observa-se uma potência média de 6,26 kWp, baixa quando comparada às demais classes, e uma centralização das unidades próximas a média em que até 75% das unidades residenciais tem 6,7 kWp de potência instalada, demonstrando uma tendência dos valores de potência instalada dentro da classe residencial.

As classes de consumo comercial e rural também têm grande participação na geração distribuída fotovoltaica, dispoendo de 32,53% e 13,60% respectivamente, possuindo potências médias elevadas em comparação à residencial, com 27,55 kWp para o comércio e 19,04 kWp para as unidades rurais. A classe de consumo com fim industrial tem uma baixa participação dentro da geração distribuída fotovoltaica. Nossa hipótese é de que isto pode significar uma propensão dessa categoria ao Mercado Livre.

Em todas as classes de consumo, é possível observar baixa ocorrência das unidades acima de 75 kWp. Dessa forma, foi realizada uma filtragem dos dados em

que os valores atípicos são desconsiderados, visando uma melhor visualização da forma como os empreendimentos se distribuem. Os resultados são exibidos no boxplot a seguir.

Figura 7: Distribuição da Potência Instalada em cada classe de consumo.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

A partir do boxplot, percebe-se que as classes de consumo em sua maioria possuem grande dispersão de potências nos empreendimentos que são atendidos, com exceção da classe residencial, porém as medianas se aproximam de seus respectivos quartis inferiores. No geral, a mediana não está acima de 20 kWp. Isso indica difusão da preferência por unidades com potência menor em todas as classes de consumo.

Para a classe residencial, há uma concentração dos valores em uma pequena faixa de potência, em que há uma aproximação com a média, demonstrando uma tendência da potência instalada para essa classe como dito anteriormente nessa mesma seção.

4.1.2 Nordeste

O Nordeste possui cerca de 2.021.350,45 kWp de potência instalada em

energia solar fotovoltaica distribuída. Quando analisamos essa variável numérica em termos de classe consumo para a região supracitada, é obtida a seguir na Tabela 7.

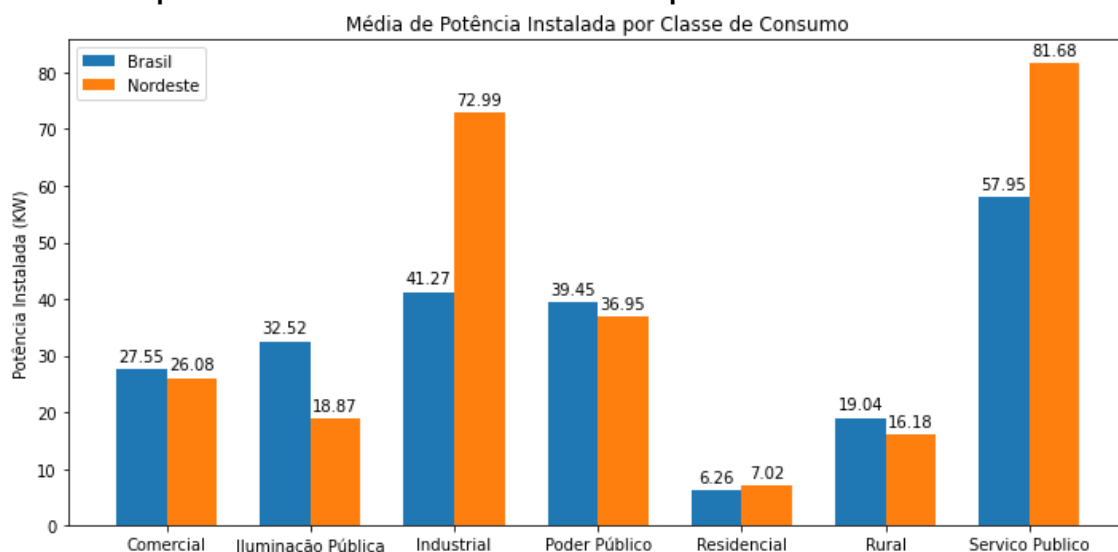
Tabela 7: Participação das classes de consumo no total de energia solar distribuída no Nordeste.

Classe de Cons.	Pot. Inst (kWp)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
Comercial	737.909,49	36,51	26,08	7,92	15	27	5000
Ilum. pública	415,13	0,02	18,87	5	6,5	21,01	100
Industrial	124.959,72	6,18	72,99	13	30	70	4800
Poder Público	28.008,39	1,39	36,95	5	12	40	2400
Residencial	1.007.199,46	49,83	7,02	3,36	5	8	1206
Rural	12.008,98	5,94	16,18	5	8	18	1600
Serviço Público	2.777,28	0,14	81,68	7,36	22,5	50	1000

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Para que possamos observar o contraste entre as medidas encontradas em âmbito nacional e regional, foram criados gráficos de barra em termos de porcentagem e média usando os valores expostos nas duas tabelas de classe de consumo correspondentes. No Gráfico 3 é mostrada a potência instalada média para cada classe de consumo, em que os valores de potência em âmbito nacional são representados pela cor azul. A cor laranja determina os resultados para a região nordeste.

Gráfico 3: Comparativo da Média de Potência Instalada por Classe de Consumo.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

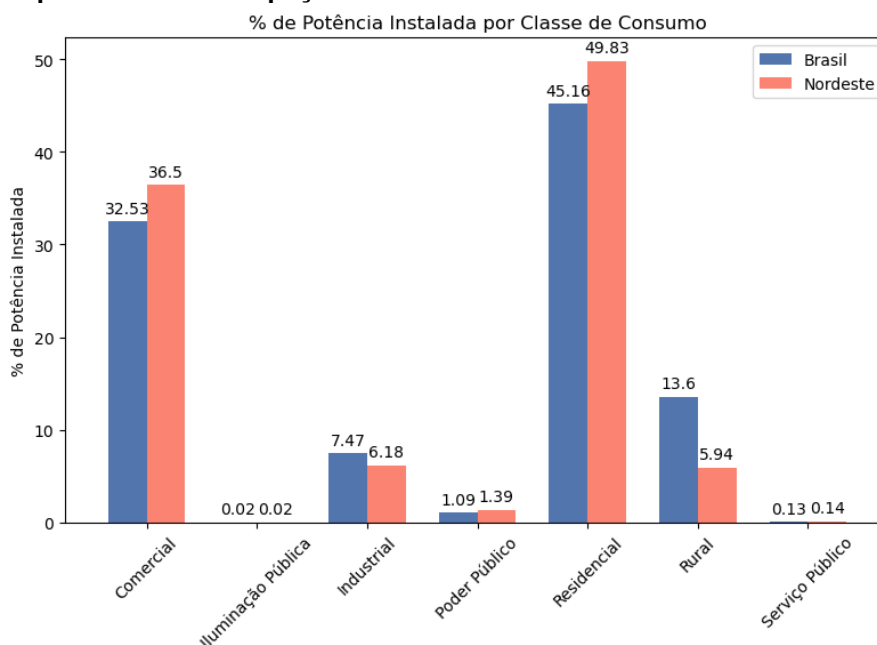
Com base no Gráfico 3, é possível observar que há uma tendência de valores aproximados de potência instalada média para a maioria das classes de consumo

entre as duas áreas geográficas analisadas. Todavia, as classes de consumo iluminação pública, industrial e serviço público possuem uma grande diferença entre os seus valores, o que demonstra a ausência de padrão nessas classes.

A discrepância encontrada no gráfico para a classe industrial indica a existência de perfis de mercado diferentes no país como um todo e na região Nordeste. O Brasil contempla pequenos sistemas que, provavelmente, atenderão às pequenas indústrias, justificando a potência média de 41,27 kWp. A região Nordeste tem uma potência média que se aproxima do limite de potência de 75 kWp, potência de geração limite para enquadramento em microgeração distribuída.

Isso pode significar uma estratégia das indústrias com a intenção de não serem responsabilizadas pelos eventuais custos oriundos de ampliações ou reforços na rede de distribuição. Pois, de acordo com a REN 482 (ANEEL, 2012), caso uma unidade seja enquadrada como minigeração distribuída, esses eventuais custos serão de responsabilidade do consumidor, fato que não ocorre para sistemas classificados como microgeração distribuída.

Gráfico 4: Comparativo da Participação de cada Classe de Consumo no Brasil e Nordeste.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

No gráfico acima é apresentado o percentual da contribuição de cada classe de consumo para a potência instalada no Brasil e região Nordeste. É possível notar que não há grandes mudanças para os dois territórios, somente na classe rural, em

que há uma acentuada redução de porcentagem, onde ela vai de 13,60% para 5,94% no Nordeste.

4.1.3 Alagoas

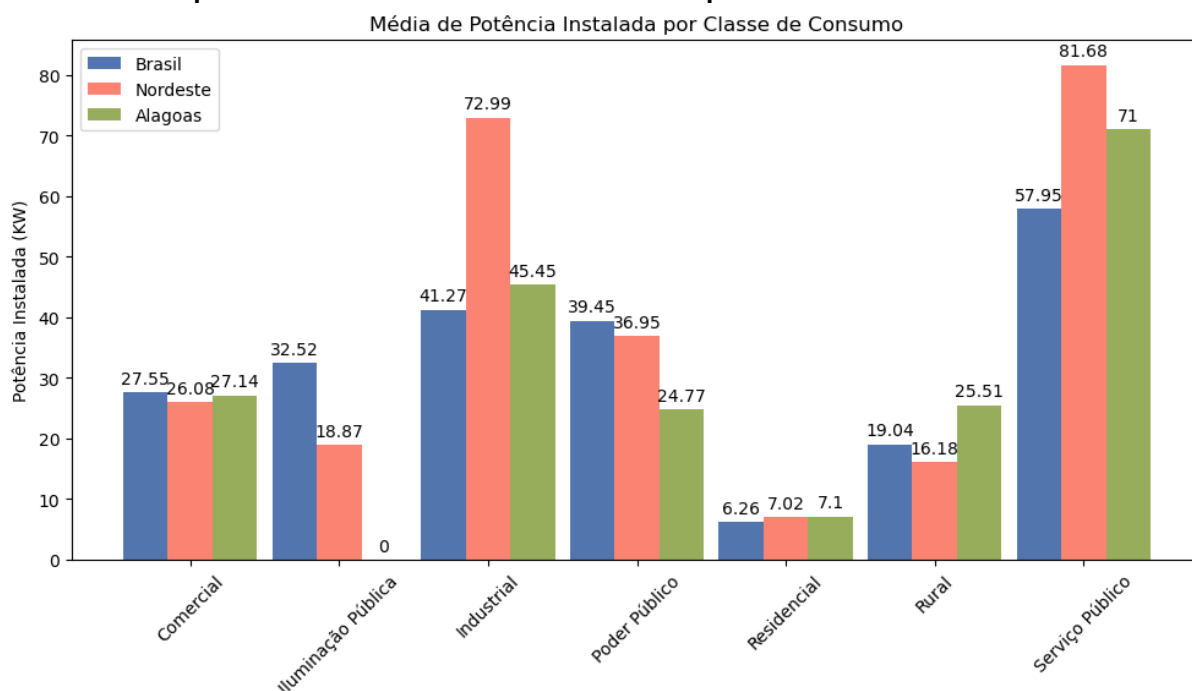
No estado de Alagoas, a análise exploratória encontrou os valores expressos na tabela 8. A partir disso, criou-se os gráficos de barra posteriores relacionando os resultados encontrados no estado de Alagoas com os valores nacionais estudados no presente trabalho.

Tabela 8: Participação das classes de consumo no total de energia solar distribuída em Alagoas.

Classe de Cons.	Pot. Inst (kWp)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
Comercial	38.025,65	43,217	27,14	8,2	17,5	32,5	1000
Industrial	3.136,12	3,564	45,45	12,6	25	57	324
Poder Público	1.362,12	1,548	24,77	5	8	25,7	249,6
Residencial	41.445,24	47,103	7,10	3,55	5	8	1206
Rural	3.877,36	4,407	25,51	5	10	20	960
Serviço Público	142	0,161	71,00	70,5	71	71,5	72

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Gráfico 5: Comparativo da Média de Potência Instalada por Classe de Consumo nas três áreas.



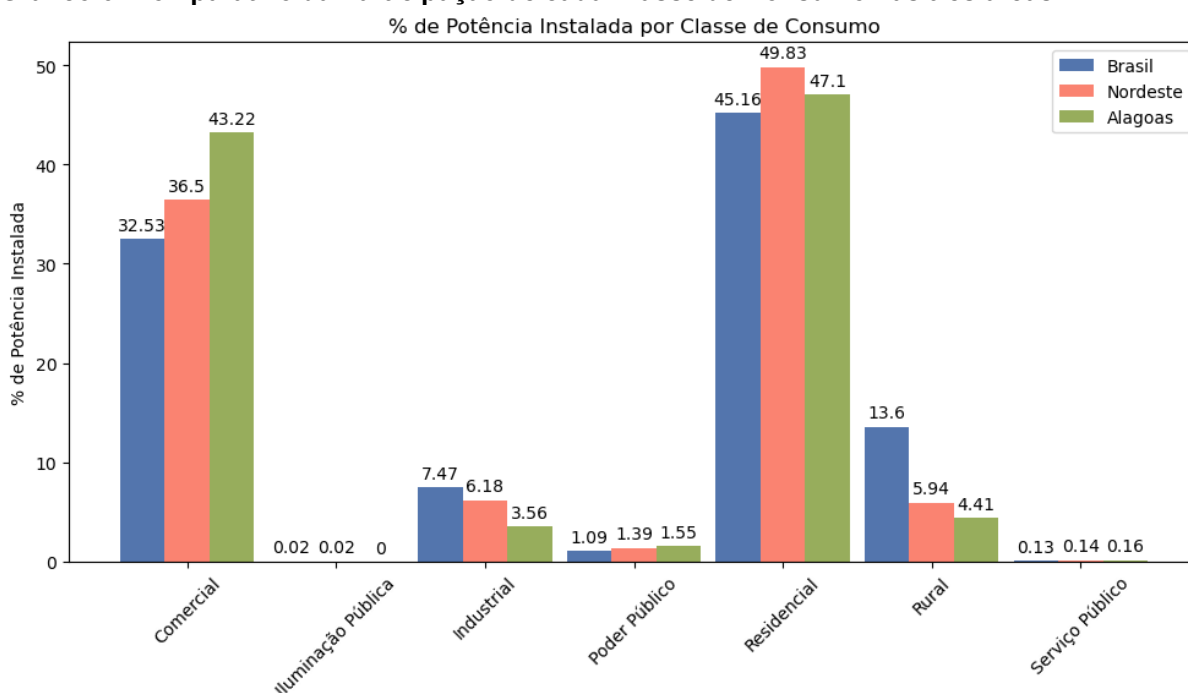
Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

É possível perceber no gráfico 5, que os resultados obtidos em Alagoas se

assemelham aos encontrados nas outras áreas, em especial ao encontrado em âmbito nacional. Contudo, há uma variação acentuada nas classes de poder público, serviço público e principalmente iluminação pública, na qual não consta registro em Alagoas.

Se comparado ao valor médio da região Nordeste como um todo (16,18 kWp), o setor rural no estado de Alagoas possui um elevado índice de potência média, chegando a 25,51 kWp. Porém, como citado anteriormente, há uma redução na participação das unidades rurais em Alagoas.

Gráfico 6: Comparativo da Participação de cada Classe de Consumo nas três áreas.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

A semelhança entre os valores para as três áreas geográficas se mantém quando observamos a porcentagem de contribuição de cada classe de consumo na potência instalada. Contudo, em Alagoas, há um grande aumento do percentual da classe comercial, chegando a valores próximos do residencial, tendo 43,21% e 47,1% respectivamente.

O percentual da classe de consumo rural se aproxima do que é visto na região Nordeste, igual a 4,4%, se distanciando ainda mais dos valores encontrados em âmbito nacional. A indústria tem sua contribuição reduzida drasticamente indo de 7,47% no Brasil para 3,56% no estado de Alagoas, evidenciando a prevalência das classes

residencial e comercial na localidade.

4.2 Modalidade de Empreendimento

A Lei Nº 14.300, de janeiro de 2022 (BRASIL, 2022) institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, em suas disposições preliminares, e as modalidades de empreendimentos são definidas a partir de características da unidade consumidora e escolha do titular da mesma (BRASIL, 2022). Antes que seja possível definir as modalidades de empreendimento, é necessário conhecer alguns termos presentes nessa legislação para facilitar o entendimento.

Um conceito de extrema importância na geração solar fotovoltaica é o Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE, que é definido pela lei nº14.300, de janeiro de 2022, Art 1º, inciso XIV (BRASIL,2022), como:

Sistema no qual a energia ativa é injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída na rede da distribuidora local, cedida a título de empréstimo gratuito e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia de unidades consumidoras participantes do sistema. (BRASIL, 2022)

Quando há um saldo positivo entre o que é injetado na rede da distribuidora e o que é consumido pela unidade contabilizado a cada ciclo de leitura do medidor e descrito na fatura, há a ocorrência do chamado excedente de energia elétrica. Esse excedente também chamado de crédito pode ser distribuído de diferentes formas para cada modalidade de empreendimento.

O autoconsumo local é a modalidade de microgeração ou minigeração distribuída eletricamente junto à carga, onde a unidade consumidora pertencente à pessoa física ou jurídica é compensada ou creditada da energia solar fotovoltaica na unidade de geração a partir do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (CCEE).

Já no caso do autoconsumo remoto, é uma modalidade caracterizada por mais de uma unidade consumidora. Em que a pessoa física ou jurídica que possua a titularidade de uma unidade com microgeração ou minigeração pode adicionar outras unidades consumidoras de mesmo CPF/CNPJ para que recebam os créditos oriundos da geração.

Existem também duas modalidades de empreendimento em que o excedente

de energia elétrica possui atributo diferente, pois as unidades consumidoras que receberão os créditos não pertencem ao mesmo titular. Dessa forma, o excedente de energia elétrica pode ser toda a energia gerada ou injetada na rede de distribuição pela unidade consumidora, ficando a critério do titular da unidade geradora.

Conforme a LEI Nº 14.300, DE JANEIRO DE 2022, Art 1º, inciso VII, um empreendimento com múltiplas unidades consumidoras é um:

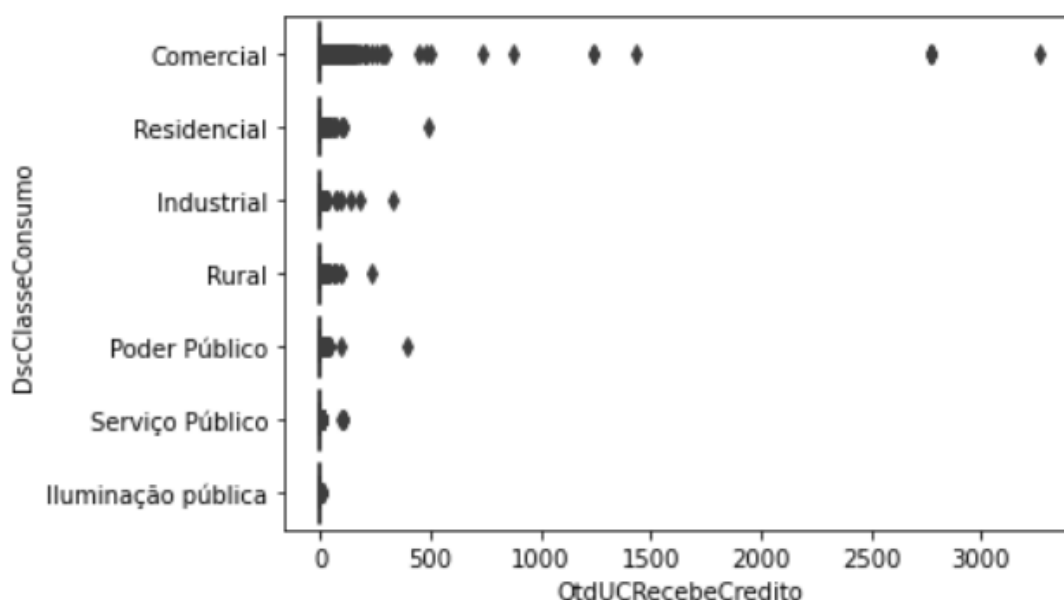
Conjunto de unidades consumidoras localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sem separação por vias públicas, passagem aérea ou subterrânea ou por propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento, em que as instalações para atendimento das áreas de uso comum, por meio das quais se conecta a microgeração ou minigeração distribuída, constituam uma unidade consumidora distinta, com a utilização da energia elétrica de forma independente, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento. (BRASIL, 2022)

Enquanto que a geração compartilhada é definida como modalidade caracterizada pela reunião de consumidores, por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil, instituída para esse fim, composta por pessoas físicas ou jurídicas que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora (BRASIL, 2022).

Embora os conceitos possuam semelhanças que possam causar confusão, a principal diferença reside na localização. Um empreendimento com múltiplas unidades exige que as mesmas estejam presente no mesmo espaço geográfico, podendo citar como exemplo condomínios residenciais e shoppings. No caso da geração compartilhada não existe essa exigência, trata-se de acordo feito com diferentes pessoas físicas ou jurídicas.

Para as modalidades de empreendimento, uma importante variável a ser observada são as unidades consumidoras chamadas beneficiárias, ou seja, aquelas unidades que recebem os créditos oriundos de uma unidade com geração própria. Dessa forma, conforme visto nas definições de cada modalidade, os enquadramentos possuem regras próprias com relação a essas unidades beneficiárias.

Gráfico 7: Quantidade de unidades beneficiárias para cada classe de consumo.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

No Gráfico 7 é exibida a quantidade de unidades consumidoras que recebem os créditos de um mesmo sistema fotovoltaico. É possível observar que a classe comercial tem uma grande variabilidade nesse quesito, em que uma mesma unidade geradora pode possuir até 3 mil beneficiárias. Isso se deve ao fato de que os sistemas instalados com a finalidade de vender energia elétrica são geralmente classificados como comércio.

4.2.1 Âmbito Nacional

Tendo sido definidos os conceitos das diferentes modalidades de empreendimentos, pode-se então mostrar os resultados obtidos no presente trabalho. Na Tabela 9 são trazidas algumas medidas resumo em termos de potência instalada e uma nova medida que é a medida de unidades beneficiárias para cada modalidade.

Tabela 9: Participação das Modalidades de Empreendimento no total de energia solar distribuída.

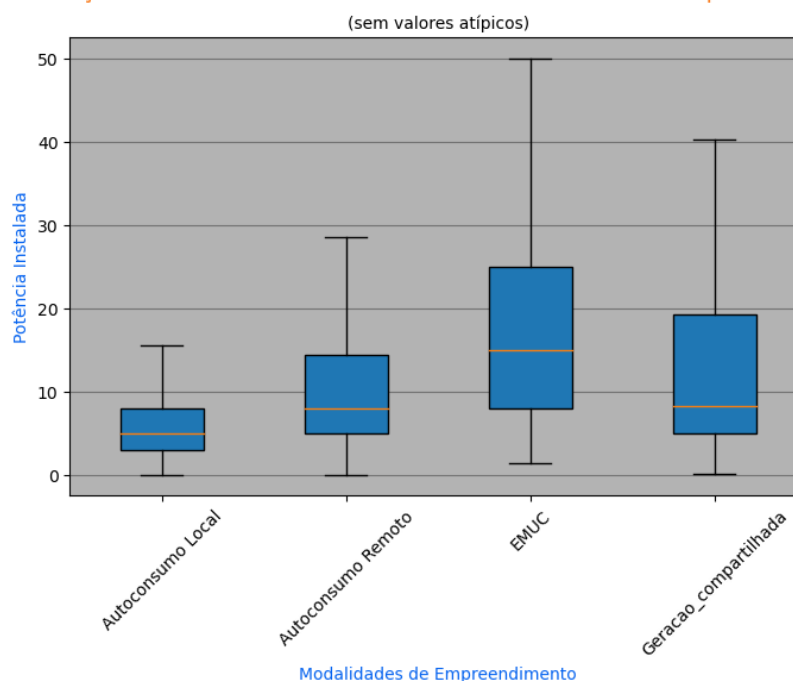
Modalidade	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%	μ (CRE)
Autoconsumo local	7.819,04	78,87	10,01	3	5	8	5000	1
Autoconsumo remoto	2.030,11	20,48	14,39	5,0	8	14,4	4900	2,67
Múltiplas UC	5,36	0,05	23,93	8	15	25	750	4,54
Geração Compartilhada	59,79	0,60	37,14	5,0	8,2	19,2	4300	3,50

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

O boxplot presente na Figura 8 nos ajuda a visualizar de maneira mais clara, os dados encontrados na tabela para que possamos inferir observações acerca dos dados. Em cada modalidade há a tendência da mediana se aproximar dos quartis inferiores, demonstrando novamente a tendência presente na geração distribuída fotovoltaica aos sistemas com menores potências.

Figura 8: Distribuição da Potência Instalada em cada Modalidade de Empreendimento.

Distribuição da Potência Instalada em cada Modalidade de Empreendimento



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Tendo 78,86% da potência instalada, é possível constatar que a maior parte das unidades consumidoras são caracterizadas como autoconsumo local, ou seja, o excedente de energia elétrica é creditado na própria unidade geradora. Até 75% dos empreendimentos de autoconsumo local geram até 8 kWp, o que reforça nossa hipótese de que os empreendimentos tendem a ter baixa potência, conforme os resultados obtidos em outras sessões da pesquisa.

O autoconsumo remoto tem uma parcela considerável, sendo de cerca de 20% do total da geração fotovoltaica distribuída, com 2,67 unidades em média recebendo os créditos provenientes do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE).

Há pouca participação em termos de porcentagem para Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada, o que significa que empreendimentos como condomínios por exemplo, não possuem grande adesão até

o presente momento, com exceção às áreas comuns em que geralmente podem ser enquadrar em autoconsumo local ou remoto. Todavia, as duas modalidades com pessoas físicas e/ou jurídicas distintas possuem maior quantidade de unidades consumidoras sendo compensadas em comparação com o autoconsumo remoto, o que faz sentido devido às características em que mais de uma pessoa física ou jurídica participa do sistema.

Entretanto, os sistemas fotovoltaicos pertencentes às modalidades de Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras e Geração Compartilhada, na qual é prevista a participação de mais uma pessoa física e/ou jurídica distinta, é perceptível a modesta participação em potência instalada. Acreditamos que a falta de implantação do sistema de Geração Compartilhada se deve principalmente devido as dificuldades burocráticas existentes ao se constituir um consórcio ou cooperativa.

4.2.2 Nordeste

Na Tabela 10 são trazidos os resultados obtidos das unidades consumidoras pertencentes à região Nordeste. É possível observar que há um padrão no percentual de participação quando comparados aos encontrados em âmbito nacional. Na Figura 9 é detalhado como os valores se distribuem para as diferentes modalidades de empreendimento.

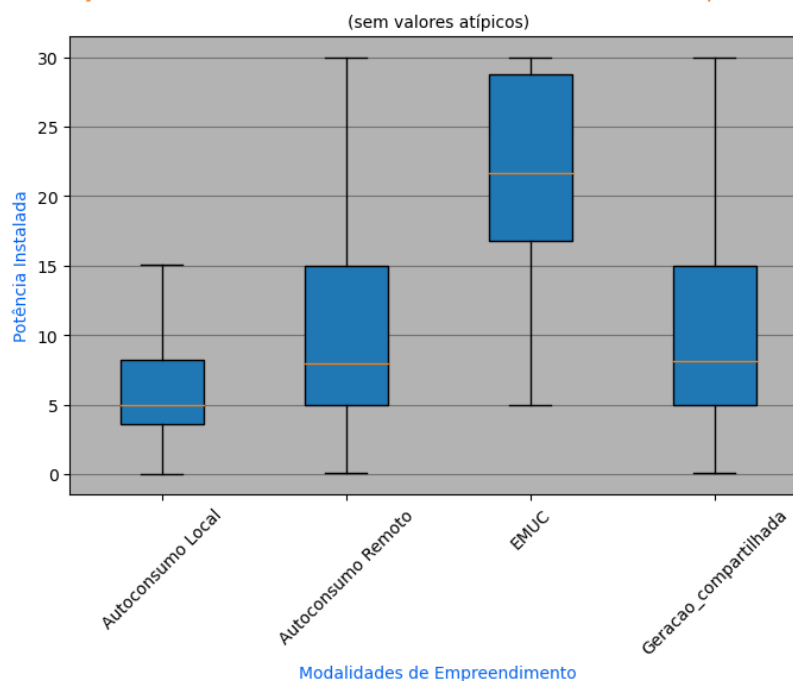
Tabela 10: Valores encontrados na região Nordeste para as modalidades de empreendimento.

Modalidade	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%	μ (CRE)
Autoconsumo local	1.494,01	73,91	10,13	3,6	5	8,2	5000	1
Autoconsumo remoto	521,01	25,78	15,38	5,0	8	15	3120	2,67
Múltiplas UC	0,52	0,29	36,99	16,75	21,63	28,8	160	10,78
Geração Compartilhada	5,81	0,03	19,51	5,0	8,115	15	800	3,02

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Figura 9: Distribuição da Potência Instalada em cada Modalidade no Nordeste.

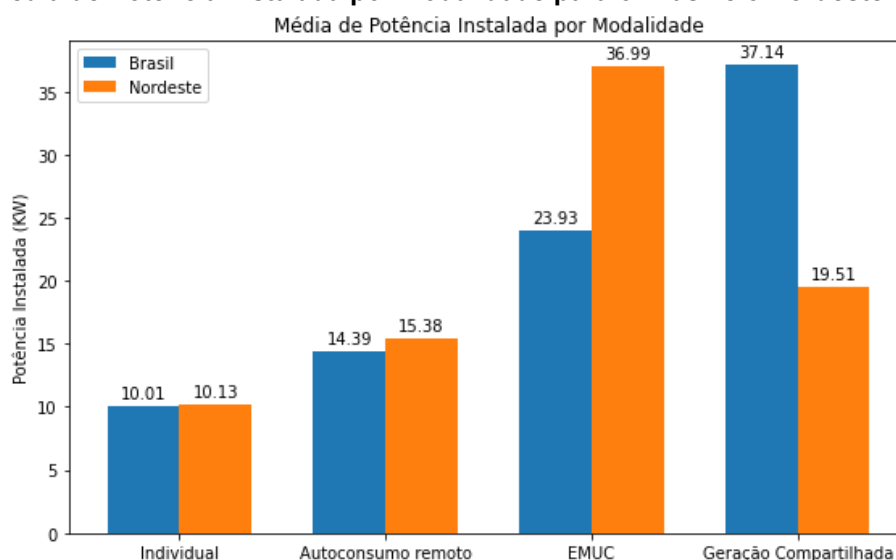
Distribuição da Potência Instalada em cada Modalidade de Empreendimento



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

A partir do boxplot da Figura 9, é perceptível que os Empreendimentos com Múltiplas Unidades Consumidoras, também denominados pela sigla EMUC, tem um padrão distinto das demais modalidades no Nordeste, havendo uma concentração nas potências mais elevadas existentes. Essa modalidade também possui uma alta quantidade de beneficiárias, tendo em média 10,78 unidades consumidoras recebendo créditos provenientes da geração distribuída.

Gráfico 8: Média de Potência instalada por Modalidade para o Brasil e o Nordeste.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Observando-se os valores de média de potência instalada por modalidade da região Nordeste conjuntamente com o Brasil como um todo. É possível perceber que o autoconsumo local, também chamado de geração individual, e o autoconsumo remoto, possuem valores similares para as duas áreas analisadas. Todavia, os Empreendimentos com Múltiplas Unidades e a Geração Compartilhada possuem grande distinção dos valores encontrados em âmbito nacional. O que pode ser justificado devido à ausência de uma amostra grande o suficiente para que ocorra um padrão dentro dessas modalidades.

4.2.3 Alagoas

Para o estado de Alagoas, na Tabela 11 nos é mostrado que há um aumento na participação das unidades de autoconsumo remoto, tendo 39,75% da potência instalada, valor próximo ao dobro da média nacional que é de 20,48%. Isso demonstra uma maior predisposição do consumidor-gerador ao autoconsumo remoto, o que significa um percentual mais elevado de unidades consumidoras participando do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE).

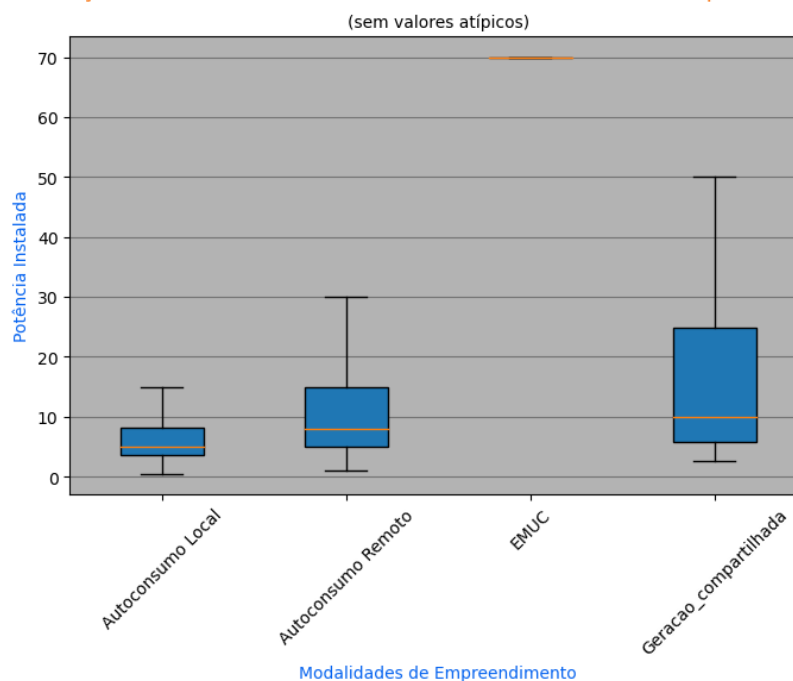
Tabela 11: Valores encontrados no estado de Alagoas para as modalidades de empreendimento.

Modalidade	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%	μ (CRE)
Autoconsumo local	52,44	59,60	9,87	3,6	5	8,2	600	1
Autoconsumo remoto	34,97	39,75	16,06	5,0	8,04	15	1206	2,95
Múltiplas UC	0,07	0,08	70,00	70	70	70	70	3,00
Geração Compartilhada	0,51	0,58	18,74	5,7	10	24,8	75	1,41

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

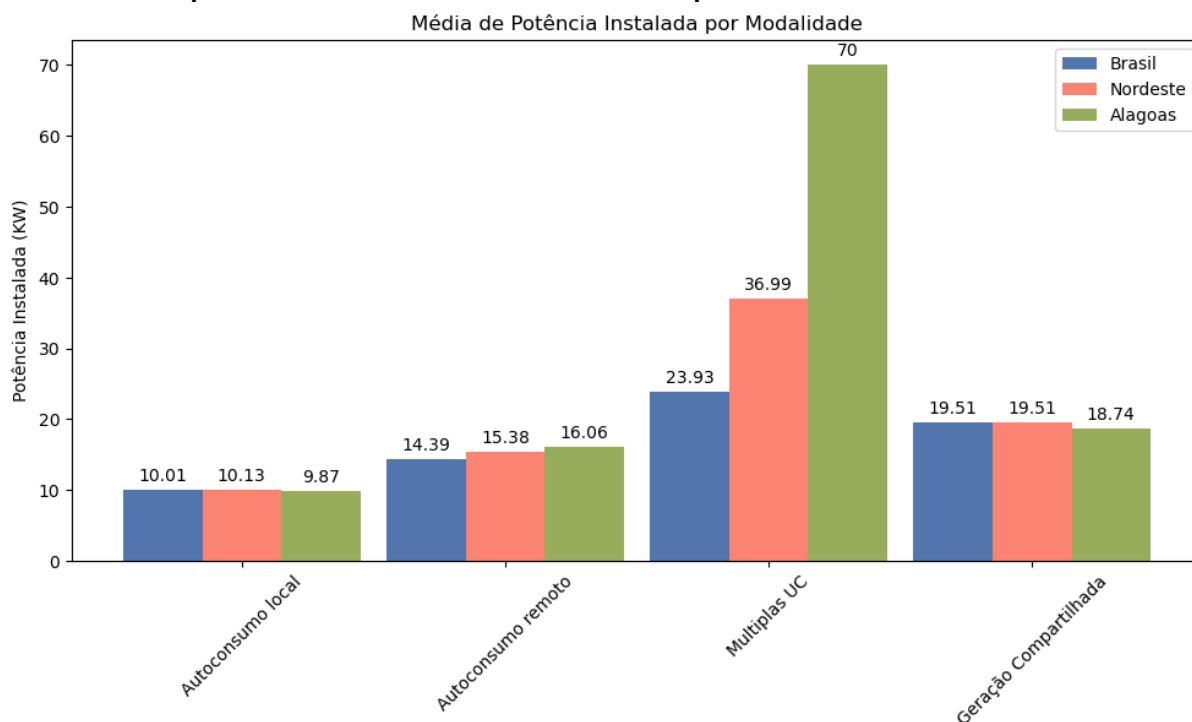
Figura 10: Distribuição da Potência Instalada em cada Modalidade para o estado de Alagoas.

Distribuição da Potência Instalada em cada Modalidade de Empreendimento



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Conforme indicado na Tabela 11 e exposto na Figura 10, até a data de coleta do presente estudo, há somente uma instalação no estado de Alagoas que está enquadrada como um Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras. No Gráfico 9 é mostrado que as distribuições de Potência seguem os mesmos padrões presentes na região Nordeste, divergindo-se dos valores nacionais somente nas modalidades EMUC e Geração Compartilhada.

Gráfico 9: Comparativo da Média de Potência instalada por Modalidade entre o Brasil e Nordeste.

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

4.3 Subgrupo Tarifário

A RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021, que estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica, define as modalidades tarifárias na Seção II, Art. 2º, inciso XXXI, como um “conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e à demanda de potência ativa”. Elas são divididas em dois grupos tarifários denominados A e B, respectivamente (ANEEL, 2021).

No grupo A, estão compreendidas as unidades consumidoras de Alta e Média Tensão e os sistemas subterrâneos. Essas classes são fracionadas em subgrupos que são estabelecidos em ordem numérica decrescente de acordo com a tensão de conexão da unidade consumidora. Portanto, os subgrupos A1, A2 e A3 fazem parte da Alta Tensão, tendo o A1 a maior tensão de conexão. A3a e A4 são os de Média Tensão e o subgrupo AS para os sistemas subterrâneos.

O grupo B é composto por unidades consumidoras com tensão de conexão menor que 2,3 kV, também chamadas de baixa tensão. Seus subgrupos são determinados pela classe, sendo o B1 para unidades residenciais, B2 rurais, B3 demais classes e B4 para iluminação pública.

4.3.1 Âmbito Nacional

Em resumo, a ANEEL classifica as unidades consumidoras de acordo com a tensão de atendimento e finalidade. Tendo como objetivo adequar a tarifa ao perfil do consumidor. Posto isto, a análise exploratória obteve informações sobre os subgrupos tarifários e estas se encontram na Tabela 12, onde se encontra a participação de cada subgrupo tarifário, a média e os quartis, todos em termos de potência instalada.

Tabela 12: Agrupamento dos dados de subgrupo tarifário em termos de potência instalada.

SubGrupo	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
A1	21,00	0,21	58,98	4	6,64	66,25	1087,8
A2	6,604	0,07	53,26	3,6	5,97	46,08	1050
A3	45,75	0,46	139,07	33	75	110	3492
A3a	163,42	1,65	223,86	73	105,3	240	2400
A4	1.558,22	15,72	138,61	40	74	110	5000
AS	12,33	0,12	16,96	3	5	8	1206
B1	4.431,78	44,70	6,2	3	4,9	6,6	420
B2	1.124,30	11,3402	15,52	5	8,2	18	120
B3	2.542,04	25,6402	20,02	7,5	14	27	496,8
B4	8,83	0,09	22,81	7,5	14,4	34,62	75

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Tendo mais de 80% da potência instalada inserida no grupo B, é possível notar que a energia solar fotovoltaica tem se voltado às unidades consumidoras de baixa tensão, em que as residências, representadas por B1 detêm uma grande fatia desse percentual. O que corrobora com a afirmativa de que os sistemas fotovoltaicos em geração distribuída têm tido pequenos consumidores, sobretudo os residenciais, como principal público.

O comércio e as pequenas indústrias também dispõem de uma participação significativa, em que classificados como B3, contribuem com 25,64% da potência instalada no país. O subgrupo B2, que são as unidades rurais, possui 11,34%.

A média tensão é em suma representada pelo subgrupo A4, que possui relativa participação no setor, com 15,72%. Ao olharmos os subgrupos de alta tensão, observa-se que há uma irrisória presença desses consumidores na geração distribuída, o que pode significar a propensão desses consumidores a escolherem o Mercado Livre de Energia como alternativa ao setor tradicional.

4.3.2 Nordeste e Alagoas

Na Tabela 13 é trazido o agrupamento dos dados de subgrupo tarifário para a região Nordeste. Ao compará-lo aos resultados encontrados em âmbito nacional, encontra-se uma redução de participação do setor rural, sendo esses valores distribuídos para as residências, comércios e pequenas indústrias.

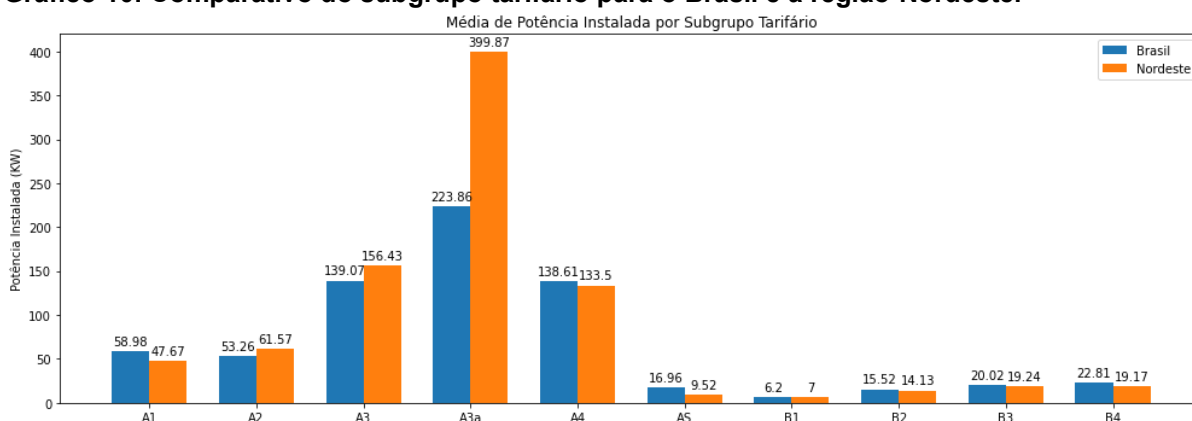
Tabela 13: Agrupamento dos dados de subgrupo tarifário para a região Nordeste.

SubGrupo	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
A1	5,29	0,26	47,67	3,45	5	11	830
A2	0,43	0,02	61,57	12,5	36	91,715	182
A3	19,24	0,95	156,43	28,5	100	155	1000
A3a	6,80	0,34	399,87	74,73	92,5	600	1950
A4	332,84	16,47	133,5	47,52	75	110	5000
AS	4,04	0,20	9,52	3	5	7,84	1206
B1	996,61	49,30	7	3,35	5	8	112,2
B2	109,93	5,44	14,13	4,95	8	16,2	110
B3	545,09	26,97	19,24	7,5	13,4	25	496,8
B4	1,07	0,05	19,17	4,905	8,38	25	75

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

É perceptível, pelo Gráfico 10, que as médias de Potência Instalada em cada Subgrupo Tarifário na região Nordeste se assemelham aos valores encontrados em âmbito nacional. Contudo, o A3a tem um acentuado aumento em suas médias chegando a valores próximos do dobro da média nacional.

Gráfico 10: Comparativo do subgrupo tarifário para o Brasil e a região Nordeste.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Quando a área observada é o estado de Alagoas, nota-se que o grupo A mantém a participação de seus subgrupos com percentuais semelhantes aos

nacionais, não havendo mudanças significativas em seus valores. As unidades rurais, enquadradas pelo subgrupo tarifário B2, possuem uma participação ainda menor que a redução já encontrada na região Nordeste, passando a ter apenas 2,4% da Potência Instalada no estado.

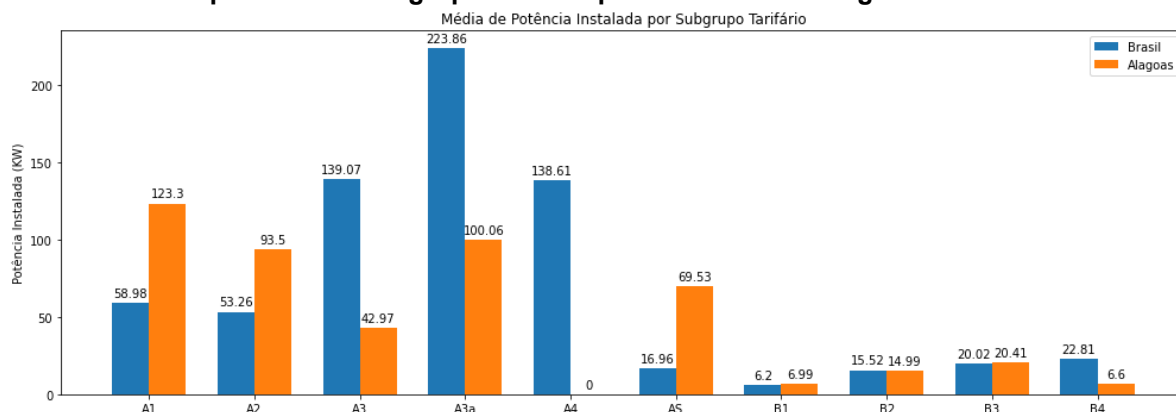
No grupo B existem outras mudanças significativas em que o B3 (comércio e pequenas indústrias) possui 35,36% da potência instalada, tendo um valor mais próximo do B1 que é o subgrupo predominante na modalidade de geração fotovoltaica distribuída. Isso demonstra que no estado de Alagoas, o comércio e as pequenas indústrias têm se mostrado mais abertos a aderir à geração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos. Além disso, como argumentado anteriormente, em Alagoas esses consumidores têm apresentado características de geração mais próximas dos residenciais.

Tabela 14: Agrupamento dos dados de subgrupo tarifário para o estado de Alagoas.

SubGrupo	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
A1	0,62	0,70	123,3	4	5	5	600
A2	0,19	0,21	93,5	49,25	93,5	137,75	182
A3	0,26	0,29	42,97	14,7	22,1	65,8	115,02
A4	12,51	14,21	100,06	36	70	108	1000
AS	1,32	1,50	69,53	5	7	7,75	1206
B1	39,86	45,30	6,99	3,4	5	8	75
B2	2,11	2,40	14,99	5	10	20	75
B3	31,12	35,36	20,41	7,5	15	25,14	75
B4	0,01	0,02	6,6	5,8	6,6	7,4	8,2

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

No comparativo do estado de Alagoas com o Brasil exposto no Gráfico 11, há grande variação entre as duas áreas com relação à média de potência instalada. Essas variações são altamente acentuadas no grupo A, onde estão as unidades consumidoras conectadas em média e alta tensão, fazendo assim com que o estado de Alagoas tenha característica própria nesse quesito.

Gráfico 11: Comparativo do subgrupo tarifário para o estado de Alagoas e o Brasil.

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

4.4 Porte

A RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, estabelece a microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, que são as categorias na qual a ANEEL define como Porte do Empreendimento em seu banco de dados.

De acordo com a REN Nº 482, Art. 2º, Inciso I, a **microgeração distribuída** é definida como:

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (BRASIL, 2012)

A mesma Resolução Normativa Nº 482, Art. 2º, Inciso II, define a **minigeração distribuída** em:

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (BRASIL, 2012)

Além da diferença na capacidade de potência instalada entre as duas categorias de Porte, há uma separação entre elas no que se refere aos custos. Todos os custos pelo sistema de medição e eventuais melhorias ou reforços no sistema de

distribuição são de responsabilidade da distribuidora concessionária na microgeração. Para minigeração, os custos são de responsabilidade do interessado.

4.4.1 Âmbito Nacional

Em nosso trabalho de análise exploratória dos dados de geração distribuída, pôde-se obter algumas informações relevantes acerca das características de Porte dos empreendimentos quando observados em âmbito nacional. Na Tabela 15 são descritos os dados de Porte dos empreendimentos e expõe a média e a medida de posição relativa denominada quartil.

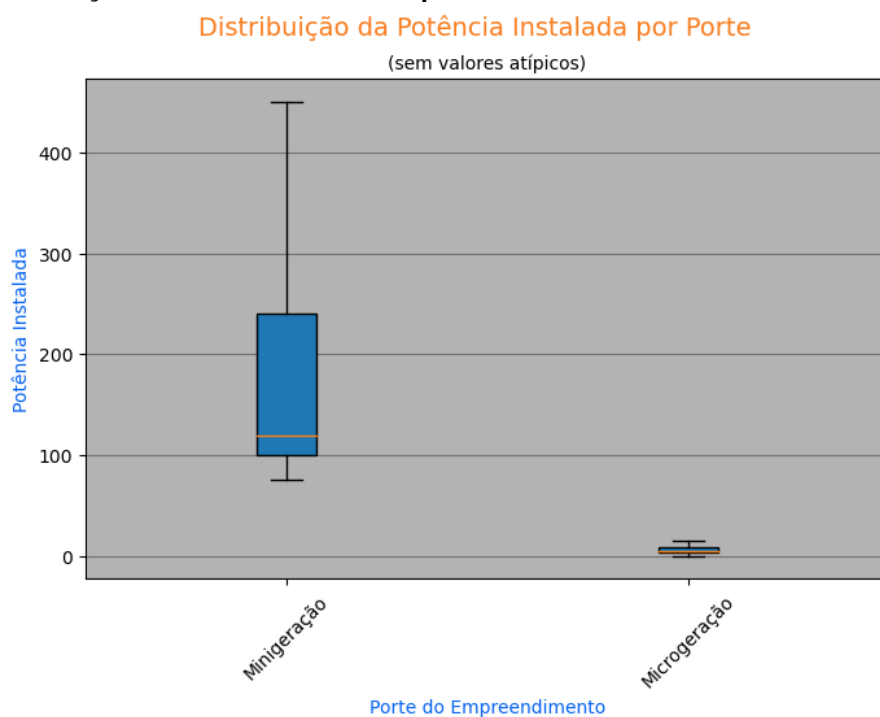
Tabela 15: Agrupamento dos dados de Porte em termos de Potência instalada.

Porte	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%	σ	μ (CRE)
Microgeração	8.415,96	84,89	9,16	3	5	8,2	75	1,15	1,24
Minigeração	1.498,33	15,11	271,53	100,0	120	240	5000	18,7	3,3

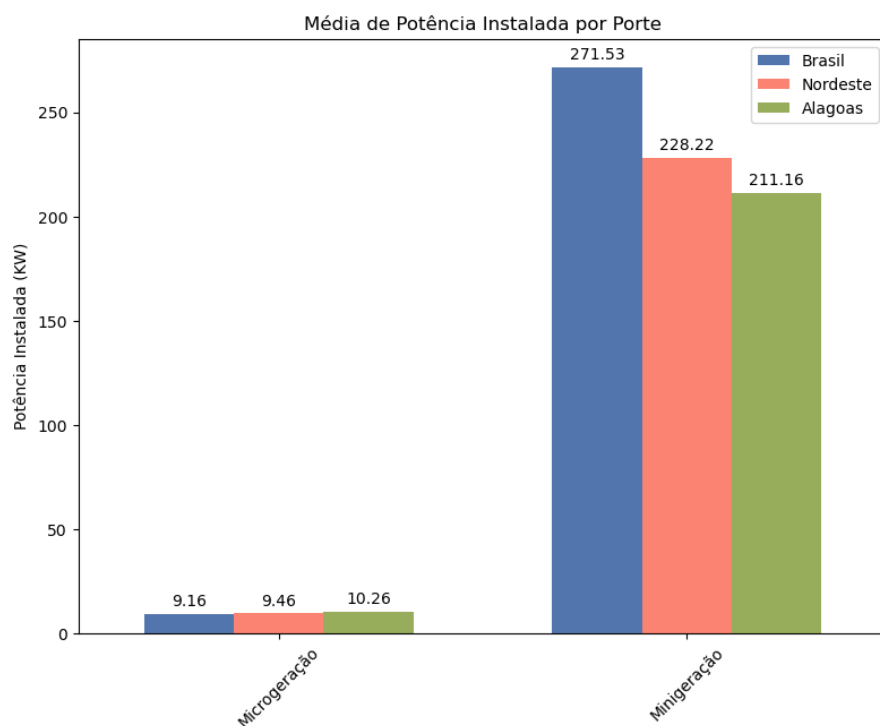
Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Na tabela, é observada uma diferença acentuada de participação na potência instalada entre os dois portes distintos. A microgeração possui quase 85% em comparação com a minigeração que tem 15% de contribuição.

Quando se analisa o boxplot, observamos essa tendência em termos grande parte dos empreendimentos sendo abrangidos por pequenas unidades consumidoras. Até mesmo na minigeração, que por padrão exige potências mais elevadas quando comparada à microgeração, existe uma propensão aos valores próximos do seu limite inferior.

Figura 11: Distribuição da Potência Instalada por Porte.

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Gráfico 12: Média de Potência Instalada por Porte para as três áreas do estudo.

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Para uma mesma unidade consumidora classificada como microgeração ou minigeração distribuída, podem ter mais de uma unidade beneficiária, ou seja, unidades consumidoras que recebem os créditos oriundos do Sistema de Compensação de energia. Dessa forma, foi-se observada essas características para os dois tipos de Porte existentes na geração distribuída.

O desvio padrão nas unidades consumidoras que recebem os créditos é alto em valores de minigeração. Para a microgeração tem-se média de 1,25 e desvio padrão de 1,24 para unidades que recebem créditos. Enquanto que em minigeração, a média sobe para 3,3 e possui um desvio padrão de 18,71, o que significa uma grande variabilidade desses valores em minigeração.

4.4.2 Nordeste e Alagoas

Quando trazemos o estudo para uma visão regional, ao correlacionarmos os valores expostos para o Brasil conjuntamente com os dados da Região Nordeste e o estado de Alagoas. Obtém-se os resultados expressos na Tabela 16 e 17, respectivamente.

Tabela 16: Agrupamento dos dados de Porte para a região Nordeste.

Porte	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
Microgeração	1.706,85	84,44	9,46	4	5,28	9,24	75
Minigeração	314,50	15,56	228,22	75,2	110	216	5000

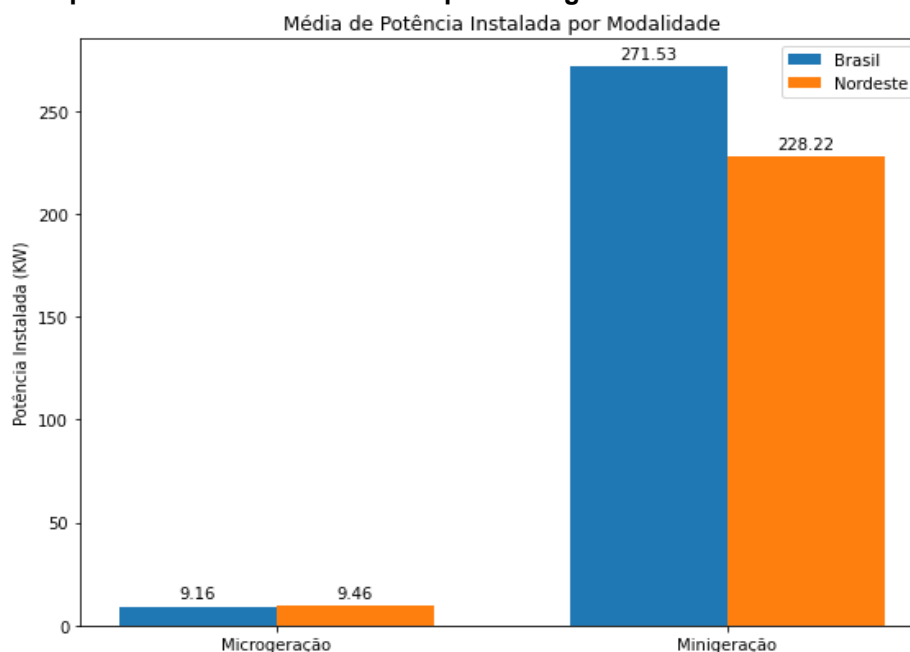
Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Tabela 17: Agrupamento dos dados de Porte para o estado de Alagoas.

Porte	Pot Inst. (MW)	(%)	μ (kWp)	25%	50%	75%	100%
microgeração	76,56	87,04	10,26	4	6	10	75
Minigeração	11,40	12,96	211,16	100,0	120	223,75	1206

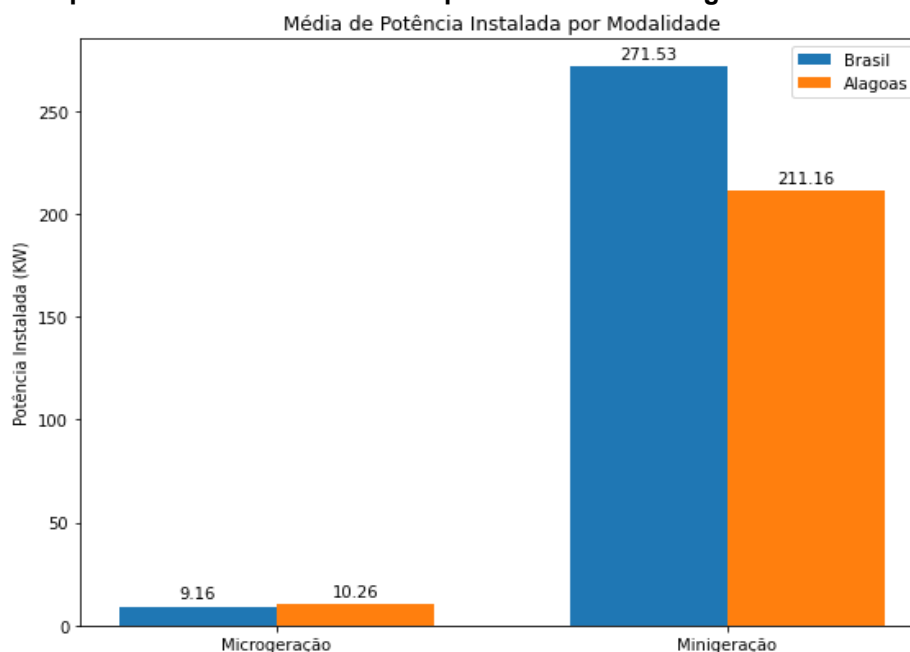
Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Como podemos observar nas tabelas, não há mudanças significativas de porcentagem entre os dois modelos de classificação de Porte na geração distribuída, o que significa que existe um padrão nessa categoria. Todavia, a região Nordeste em si, abrangendo o estado de Alagoas, tem uma potência média instalada para minigeração inferior à média nacional, esse fato é expresso no Gráfico 13.

Gráfico 13: Comparativo do Porte da unidade para a Região Nordeste e o Brasil.

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

Em Alagoas, segue a queda na média da Potência Instalada quando nos referimos a minigeração com o valor de 211,16kW, exposto no Gráfico 14. Dessa forma, com base nos gráficos apresentados com relação ao Porte, é possível constatar uma homogeneidade em termos de potência instalada entre os três pontos de observação quando as unidades consumidoras são classificadas como microgeração distribuída. Para a minigeração é possível observar que os valores da região Nordeste e do estado de Alagoas estão abaixo da média nacional, conforme citado anteriormente.

Gráfico 14: Comparativo do Porte da unidade para o estado de Alagoas e o Brasil.

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

5 ANÁLISE COMBINADA DE DUAS VARIÁVEIS CATEGÓRICAS

5.1 Classe de Consumo com Grupo A

Conforme exposto na seção 4.3, os subgrupos são classificados a partir da tensão de conexão. As unidades consumidoras em alta tensão se encontram no grupo A e as tensões dos subgrupos estão em ordem numérica crescente, em que A1 representa a tensão mais elevada.

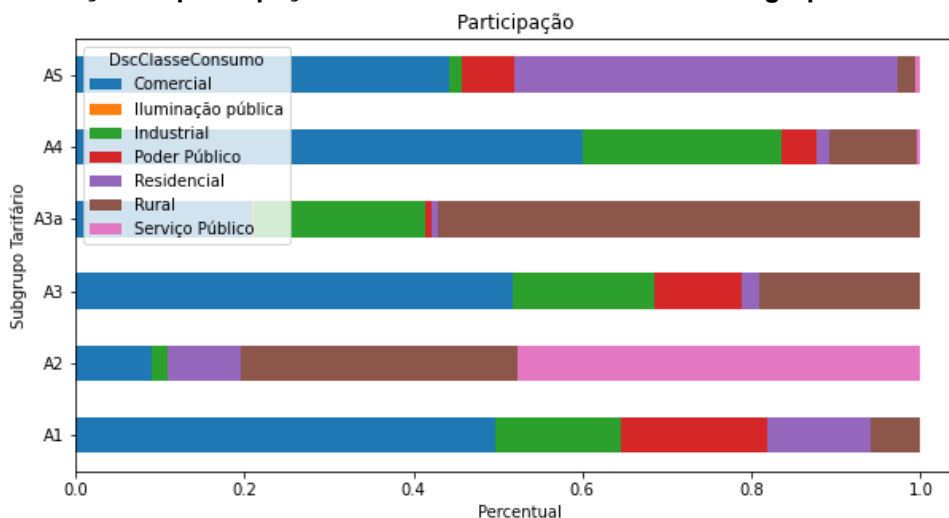
Sabe-se que o grupo B abriga as unidades consumidoras em baixa tensão, e diferentemente do grupo A, essas unidades são classificadas de acordo com a finalidade do local, havendo grande semelhança com o conceito de classe de consumo. Todavia, a diferenciação reside no subgrupo B3, que abriga as classes de consumo que não se enquadram nos demais subgrupos.

5.1.1 Âmbito Nacional

Portanto, foi realizada uma análise da relação entre as classes de consumo e os subgrupos tarifários do grupo A para que pudessemos verificar a contribuição das

diferentes classes de consumo ao variarmos a tensão de conexão. No Gráfico 15 são representados os resultados obtidos.

Gráfico 15: Relação de participação das classes de consumo nos subgrupos tarifários.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

O subgrupo A4 é, em números, o mais relevante para a geração distribuída fotovoltaica considerando apenas o grupo A, detendo 15,72% da potência instalada no país. Além disso, A4 detém cerca de 86,8% da potência instalada do grupo A. Nesse subgrupo, a classe de consumo comercial lidera em participação com 60% do total, determinando a importância do comércio para as unidades conectadas em média e alta tensão.

Essa importância da classe comercial é presente nos demais subgrupos, tendo grande destaque. Contudo, em A2, a sua participação é discreta sendo inferior à 1%, sendo substituída pelas classes de consumo serviço público (47,7%) e rural (32,63%).

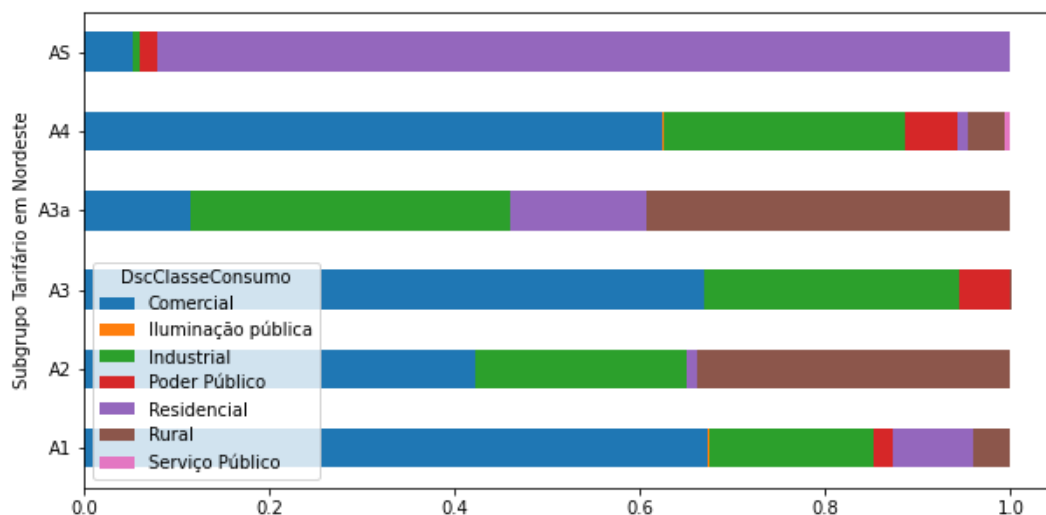
Em geral, cada classe de consumo consegue ter proeminência em pelo menos um subgrupo tarifário. Contudo, não conseguimos identificar relação entre uma determinada classe com as mudanças na tensão de conexão. Isso nos mostra que os diferentes subgrupos têm características próprias com relação a finalidade de uso da unidade consumidora.

5.1.2 Nordeste

No Gráfico 16 nos é fornecida a participação de cada classe de consumo para os subgrupos tarifários do grupo A considerando os dados da região Nordeste.

Semelhante ao observado em âmbito nacional, a participação das classes de consumo não tem relação direta com a tensão de conexão.

Gráfico 16: Relação de participação das classes de consumo nos subgrupos tarifários no Nordeste.

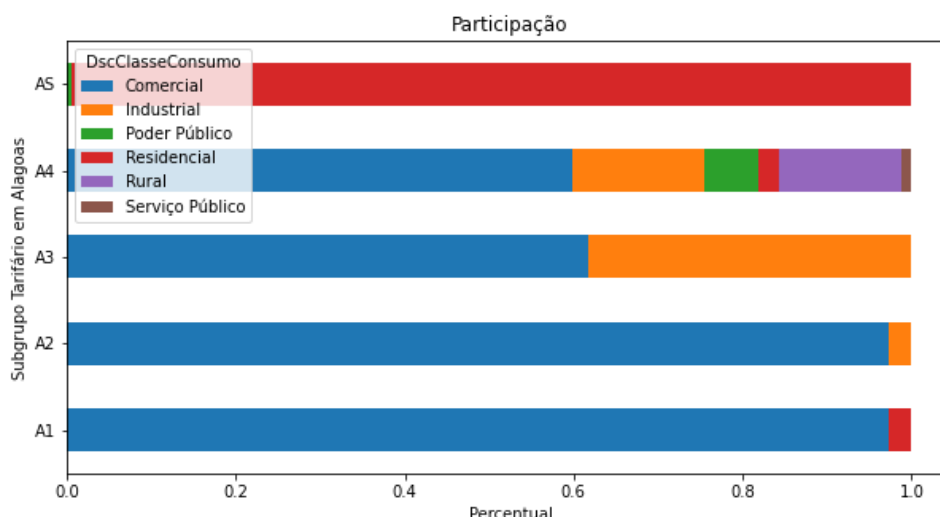


Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

5.1.3 Alagoas

No estado de Alagoas, todos os subgrupos possuem apenas a presença de duas classes de consumo diferentes, indicando pouca diversidade em termos de classe. A exceção reside em A4 que somente não tem a classe de iluminação pública e essa diferença é justificada devido ao subgrupo possuir cerca de 84% da potência instalada no grupo A.

Gráfico 17: Relação de participação das classes de consumo nos subgrupos tarifários em Alagoas.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

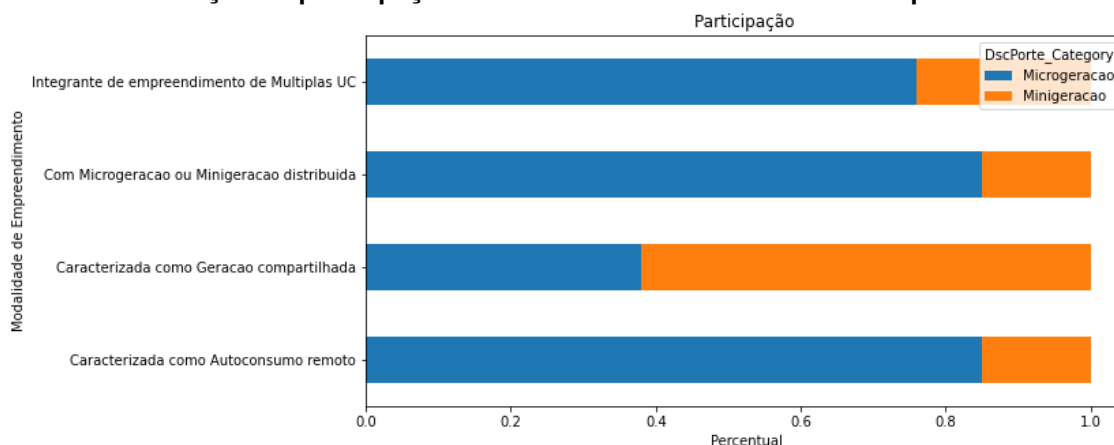
Observando os resultados obtidos no Gráfico 17, conseguimos identificar que as classes de consumo em geral têm sua proeminência similar nas três áreas de análise, ou seja, determinada classe de consumo é líder em participação em dado subgrupo e o que varia são os percentuais nos três locais ou a divisão no protagonismo com outra classe.

Podemos citar como exemplo o subgrupo AS em que é perceptível que tanto para Alagoas quanto para o Nordeste há um domínio da classe de consumo residencial com 99,5% e 92%, respectivamente. Todavia, para o Brasil apesar de existir uma participação relevante com 45,4%, sua relevância se divide com a classe comercial com seus 44,27%.

5.2 Modalidade com Porte

5.2.1 Âmbito Nacional

O presente trabalho mostra que ao analisarmos a potência instalada no Brasil a partir do Porte, temos valores de participação em Microgeração e Minigeração de 84,89% e 15,11% respectivamente. Dessa forma, esta seção examina as variações nesses percentuais ao relacionarmos o Porte com a Modalidade de Empreendimento.

Gráfico 18: Relação de participação dos Portes nas Modalidades de Empreendimento.

Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

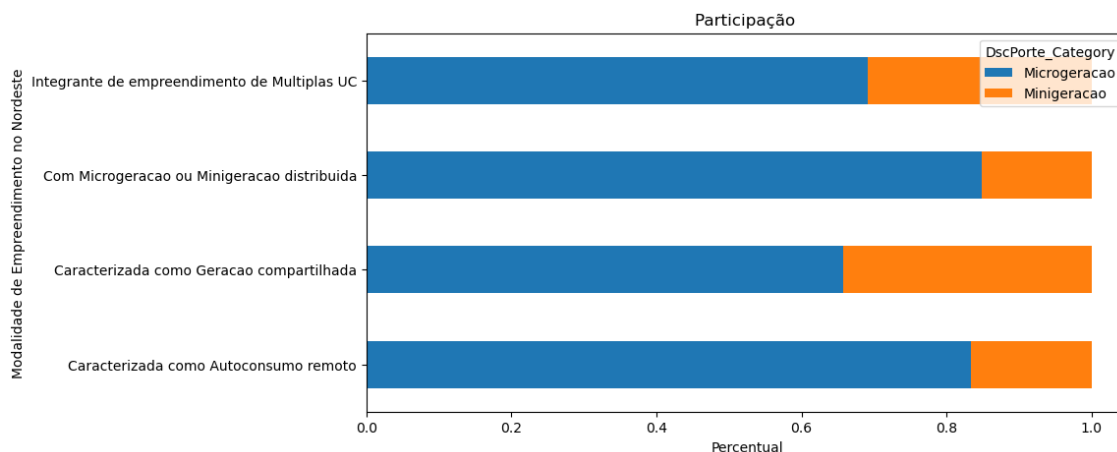
Conforme o Gráfico 18, as Modalidades de Empreendimento de Autoconsumo Local e Autoconsumo Remoto, aquelas que somadas detêm cerca de 99% da geração distribuída fotovoltaica, mantêm os números próximos aos citados no parágrafo anterior, o que é justificado devido à predominância das duas modalidades, fazendo com que seus resultados definam o comportamento do Porte como um todo.

Contudo, ao analisarmos as outras duas modalidades que somadas possuem apenas 0,65% de participação, podemos observar que houve um crescimento da minigeração, principalmente na Geração Compartilhada que é a única modalidade em que a minigeração distribuída lidera com cerca de 60% de participação.

Esse resultado poderia ser explicado devido à geração compartilhada ser a modalidade de empreendimento com maior potência média, tendo 37,14 kWp. Contudo, conforme visto na seção de Porte, até 75% das unidades consumidoras de Geração Compartilhada possuem até 19,24 kWp de potência instalada. Dessa forma, apesar da maioria das unidades da modalidade não se enquadrarem em minigeração, existe uma concentração de potência instalada nesse Porte o que justifica o resultado exposto.

5.2.2 Nordeste

Gráfico 19: Relação de participação dos Portes nas Modalidades de Empreendimento no Nordeste.



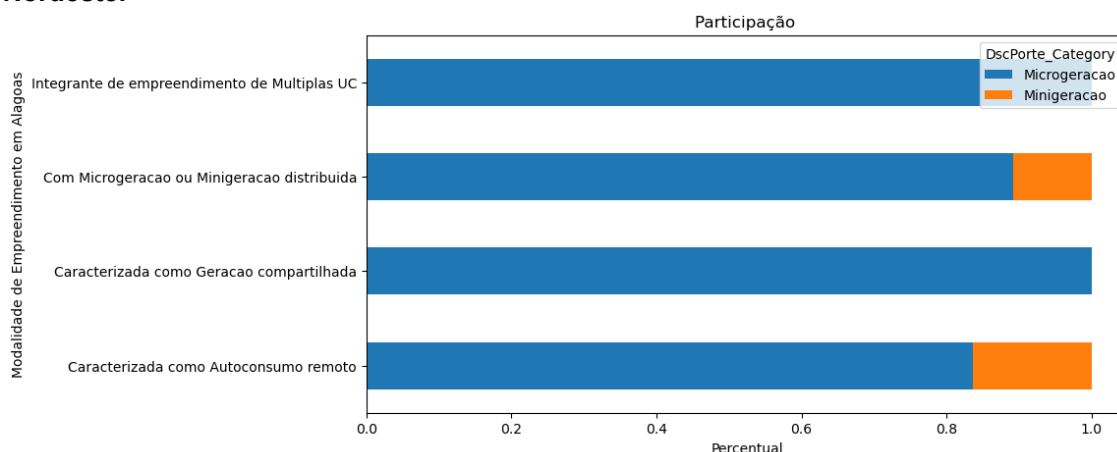
Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

No Gráfico 19 nos são fornecidas as informações relacionais entre o Porte e a modalidade de empreendimento para a região Nordeste. Podemos observar que o gráfico mantém o mesmo padrão encontrado no Brasil como um todo. Entretanto, é perceptível que no Nordeste, a Geração Compartilhada e os Empreendimentos com Múltiplas Unidades Consumidoras têm maior proximidade nos percentuais do que é encontrado em âmbito nacional.

5.2.3 Alagoas

Em Alagoas, conforme o Gráfico 20, as modalidades de empreendimento de autoconsumo local e remoto mantém os valores encontrados em âmbito nacional. Contudo, a Geração Compartilhada e EMUC possuem apenas unidades consumidoras que se enquadram como microgeração distribuída, fazendo com que não seja possível inferir comparações com as outras áreas supracitadas.

Gráfico 20: Relação de participação dos Portes nas Modalidades de Empreendimento no Nordeste.



Fonte: Dados abertos da ANEEL (2022). Elaboração própria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de mercado realizado buscou identificar as características existentes no setor de geração distribuída tendo como fonte a energia solar fotovoltaica. Para isso, foi feita uma análise exploratória dos dados de energia elétrica pertencentes à ANEEL para três áreas geográficas: Brasil, Nordeste e Alagoas. A partir da descrição desses dados foram levantadas hipóteses que buscam contribuir com outros estudos posteriores ou políticas públicas no setor elétrico que englobem essa fonte.

Utilizando a linguagem Python para executar os pacotes e funções necessários para análise dos dados e criação dos gráficos da pesquisa, pudemos concluir que a energia solar fotovoltaica detém predomínio em relação às outras fontes no contexto da geração distribuída, dispondo de 98% da potência instalada do modelo de geração distribuída.

Baseando-se em nossa vivência de campo, nossa hipótese é que devido ao método de instalação, os sistemas fotovoltaicos são projetados com uma alta variabilidade de potências, e podem ser adaptados às necessidades e aos recursos disponíveis, tornando-se assim os processos que envolvem a instalação de uma usina solar fotovoltaica mais adequados ao modelo distribuído do que outras fontes.

No contexto geográfico, não conseguimos identificar fator determinístico que possa elevar a potência instalada de uma cidade, estado ou região. Acreditamos que a soma de fatores econômicos, sociais e geográficos como a radiação solar, o

consumo de energia elétrica, a renda per capita, etc contribuam para esse crescimento.

Também encontramos predomínio no contexto de personalidade jurídica em participação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (CCEE). Ao analisarmos as modalidades de empreendimentos, verificamos o autoconsumo local e o autoconsumo remoto, modalidades pertencentes à mesma pessoa física e/ou jurídica, possuem mais de 99% da potência instalada da energia solar fotovoltaica. Fato que se deve principalmente às dificuldades burocráticas existentes na constituição de um consórcio ou cooperativa.

Uma característica fundamental do setor é presente ao longo de todo o trabalho é de que há a tendência de sistemas de pequeno porte no mercado, isso foi constatado ao longo das distribuições de potência instalada expostas na pesquisa em que as medianas se aproximam do quartil inferior de seus respectivos boxplots. O que pode indicar a preferência dos grandes clientes ao Mercado Livre de Energia.

Diante do exposto, a energia solar fotovoltaica apresenta grande relevância devido ao seu acentuado crescimento e características que colaboram com a expansão das energias renováveis no setor elétrico nacional. A transição energética sendo uma realidade e problemas como a recente crise hídrica, estudos sobre fontes de energia limpa são importantes para a bibliografia disponível.

Propomos que sejam realizados novos estudos que possam dar continuidade à presente pesquisa. Com base no que foi apresentado, recomendamos trabalho que descreva a evolução do preço do kWh por fonte, assim como sua contribuição para as tendências de mercado das fontes para a geração centralizada ou distribuída.

Sugerimos também pesquisa que ajude a compreender melhor os fatores que determinam a potência instalada e avaliar o peso de cada um deles em um sistema de energia solar fotovoltaica e estudo futuro que explique como os incentivos governamentais influenciaram no desenvolvimento de Minas Gerais como referência de participação em energia solar fotovoltaica na geração distribuída.

REFERÊNCIAS

SOETHE, G. C.; BLANCHET, L. A. Geração distribuída e desenvolvimento sustentável. **A&C – Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, ano 20, n. 79, p. 234-254, 2020.

FILHO, J. M. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/181288>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

REN21. **Renewables 2022: global status report**. 2022. Disponível em: <<https://www.ren21.net/gsr-2022/>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos, 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SEABOLD; SKIPPER; PERKTOLD. **Statsmodels: econometric and statistical modeling with python**. Proceedings of the 9th Python in Science Conference. 2010.

FÁVERO, L. P; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel, SPSS e Stata**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

OLIVEIRA, M. F. **Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisa em Administração**. Catalão: UFG, 2011.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2021: ano base 2020**. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2021>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ANEEL. 2022. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/relacao-de-empresendimentos-de-geracao-distribuida>>. Acesso em 27 jan. 2022.

BRASIL. **Lei n. 10.848**, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm>. Acesso em: 10 jan. 2023.

MINAS GERAIS. **Lei n. 20849**, de 08 de agosto de 2013. Institui a política estadual de incentivo ao uso da energia solar. Disponível em: <<https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/20849/2013/>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

MINAS GERAIS. **Decreto n. 47.231**, de 04 de agosto de 2017. Altera o Regulamento do ICMS - RICMS -, aprovado pelo Decreto nº 43.080, de 13 de dezembro de 2002. Disponível em:

<http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/decretos/2017/d47231_2017.html>. Acesso em: 30 abr. 2023.

BRASIL. **Lei n. 14.300**, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm>. Acesso em: 10 jan. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa n. 482**, 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1814607>. Acesso em: 10 jan. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa n. 235**, 14 de novembro de 2006. Estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogeradoras de energia e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:agencia.nacional.energia.eletrica:resolucao.normativa:2006-11-22:235>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa n. 800**, 19 de dezembro de 2017. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=423740>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa n. 1000**, 07 de dezembro de 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

Custo com crise hídrica chega a R\$ 16,8 bi até outubro. **Isto É Dinheiro**. 25 dez. 2021. Disponível em: <<https://www.istoedinheiro.com.br/custo-com-crise-hidrica-chega-a-r-168-bi-ate-outubro/>>. Acesso em: 08 fev. 2023.

IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da Federação com data de referência em 1º Julho de 2021**. Brasil, 2021. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 08 fev. 2023.

ARAUJO, C. C. L.; MENDES, P. C. L. **A influência do Acordo de Paris no planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro**. Anais III CONEPETRO. Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/43892>>. Acesso em: 18 jan. 2022.

ABEEÓLICA. **Estudo Cadeia de Valor:** Energia Eólica Offshore. 2022. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/01/Sumario-Executivo.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

Preço do painel solar reduz com avanço tecnológico. **Aldo Solar**. 03 de jan. 2023. Disponível em: < <https://www.aldo.com.br/blog/preco-do-painel-solar/>>. Acesso em: 30 abr. 2023.