

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ECONOMIA

VINICIUS WILLIAM OLIVEIRA DA SILVA

**MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS DA PANDEMIA NO CONSUMO DE ENERGIA  
ELÉTRICA NO BRASIL E NAS REGIÕES VIA MÉTODO DE AMORTECIMENTO  
EXPONENCIAL COM MODELAGENS DE EVENTOS EM MÚLTIPLOS NÍVEIS**

JUIZ DE FORA - MG  
2022

VINICIUS WILLIAM OLIVEIRA DA SILVA

**MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS DA PANDEMIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E NAS REGIÕES VIA MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL COM MODELAGENS DE EVENTOS EM MÚLTIPLOS NÍVEIS**

Monografia apresentado pelo acadêmico Vinicius William Oliveira da Silva ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Dr. Alexandre Zanini

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Oliveira da Silva, Vinicius William .

Mensuração dos impactos da pandemia no consumo de energia elétrica no Brasil e nas regiões via Método de Amortecimento Exponencial com Modelagens em Múltiplos Níveis / Vinicius William Oliveira da Silva. -- 2022.

51 p.

Orientador: Alexandre Zanini

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2022.

1. Consumo. 2. Energia elétrica. 3. Pandemia Covid-19. I. Zanini, Alexandre , orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
REITORIA - FACECON - Depto. de Economia

**FACULDADE DE ECONOMIA / UFJF**

**ATA DE APROVAÇÃO DE MONOGRAFIA II (MONO B)**

Na data de 12/12/2022, a Banca Examinadora, composta pelos professores

1 – Alexandre Zanini - orientador; e

2 – Rafael Morais de Souza,

reuniu-se para avaliar a monografia do acadêmico **VINICIUS WILLIAM OLIVEIRA DA SILVA**, intitulada: **MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS DA PANDEMIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E NAS REGIÕES VIA MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL COM MODELAGENS EM MÚLTIPLOS NÍVEIS**.

Após primeira avaliação, resolveu a Banca sugerir alterações ao texto apresentado, conforme relatório sintetizado pelo orientador. A Banca, delegando ao orientador a observância das alterações propostas, resolveu **APROVAR** a referida monografia.



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Zanini, Professor(a)**, em 12/12/2022, às 21:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Morais de Souza, Professor(a)**, em 13/12/2022, às 15:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1075665** e o código CRC **27699C5D**.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DA ENERGIA ELÉTRICA

PIB – PRODUTO INTERNO BRUTO

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA

SIN – SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA

FGV – FACULDADE GETÚLIO VARGAS

UF – UNIDADE FEDERATIVA

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de energia por classe em 2020, em relação ao ano de 2019 .....	26
Figura 2: Consumo de energia elétrica por classe em 2021, em relação ao ano de 2020 .....	27
Figura 3: Consumo de energia elétrica na classe residencial em 2021, em relação a 2020 .....	28
Figura 4: Consumo de Energia (GWh) .....	40

## **LISTA DE GRÁFICO**

Gráfico 1: Evolução da capacidade instalada de Geração Elétrica no RS 2005-2020.....	25
Gráfico 2: Comparativo da carga de energia mensal no primeiro semestre de 2015 a 2020 ...	28
Gráfico 3: Consumo na rede por classe.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de energia elétrica por região entre 2017 e 2021 .....	23
Tabela 2: Projetos de energia financiados pela área de infraestrutura do BNDES entre 2003-2013.....	24
Tabela 3: Estimção Paramétrica – Sem Modelagem De Eventos.....	42
Tabela 4: Estimção Paramétrica – Fatores Sazonais – Sem Modelagem De Eventos .....	42
Tabela 5: Estimção Paramétrica – Com Modelagem De Eventos .....	43
Tabela 6: Estimção Paramétrica – Fatores Sazonais – Com Modelagem De Eventos .....	43
Tabela 7: Desempenho Preditivo (%) .....	44
Tabela 8: Previsões (Em GWh) Através Da Abordagem Bottom-Up Com Modelagem De Eventos.....	45
Tabela 9: Previsões (Em GWh) Através Da Abordagem Top-Down Com Modelagem De Eventos.....	46



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO II – REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Mercado de energia elétrica no Brasil com foco nas regiões: cenário histórico .....	15
2.2 Modalidades de agentes e de usuários.....	18
2.3 Fontes de energia elétrica .....	20
2.4 Atendimento do setor por regiões .....	22
2.5 Impactos da pandemia no setor de energia .....	26
<b>CAPÍTULO III - METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
3.1 Base de dados.....	30
3.2 Método de amortecimento exponencial .....	30
3.3 Equações de previsão .....	37
3.4 Avaliação do desempenho do modelo de previsão .....	37
3.4.1 MAPE (Mean Absolute Percentual Error).....	38
3.4.2 Coeficiente de explicação ajustado ( $r^2$ ajustado) .....	38
3.5 Testes de hipóteses baseados na função de autocorrelação (acf) dos resíduos.....	39
3.5.1 Portmanteau ou Ljung-Box.....	39
<b>CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
4.1. Base de dados.....	40
4.2 Análise sem modelagem de eventos .....	41
4.3 Análise com modelagem de eventos .....	43
<b>CAPÍTULO V- CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## RESUMO

O setor de energia elétrica é parte importante da economia brasileira, pois contribui para o desenvolvimento social e econômico do país. Ao longo dos tempos, o setor presenciou importantes evoluções e inovações de forma a tornar-se mais eficiente e produtivo no que se refere à distribuição de energia para todos os usuários. A economia é de certa forma dependente do setor, pois a indústria, o comércio, a prestação de serviços conseguem manter sua atividade também em razão do setor de energia elétrica. Neste sentido, esse estudo se propôs a observar os impactos no consumo de energia elétrica no Brasil provocados pelas inúmeras restrições impostas a partir da decretação mundial da pandemia da Covid-19 no ano de 2020. O cenário pandêmico exigiu que a indústria e o comércio fechassem suas portas e funcionassem com inúmeras restrições a fim de evitar a propagação do coronavírus. Por outro lado, as pessoas precisaram ficar mais em casa, o que impactou o consumo de energia elétrica nas residências. Desta forma, este trabalho objetivou mensurar o impacto da pandemia no consumo total de energia elétrica no Brasil e em suas cinco regiões geográficas. Para este fim, aplicou-se o Método de Amortecimento Exponencial sem e com análise de eventos numa estrutura em Múltiplos Níveis. Viu-se que a pandemia reduziu o consumo total de energia elétrica em torno de 1% no Brasil, enquanto o choque de oferta acontecido no início dos anos 2000, 8%. Impactos diferentes foram encontrados nas regiões.

Palavras-chave: Consumo. Energia Elétrica. Pandemia Covid-19.

## **ABSTRACT**

The electricity sector is an important part of the Brazilian economy, as it contributes to the country's social and economic development. Over time, the sector has witnessed important evolutions and innovations in order to become more efficient and productive with regard to the distribution of energy to all users. The economy is to a certain extent dependent on the sector, as industry, commerce, and service provision are also able to maintain their activity due to the electricity sector. In this sense, this study set out to observe the impacts on electricity consumption in Brazil caused by the numerous restrictions imposed from the global decree of the Covid-19 pandemic in 2020. The pandemic scenario required that industry and commerce close their doors and operate with numerous restrictions in order to prevent the spread of the coronavirus. On the other hand, people needed to stay at home more, which impacted the consumption of electricity in homes. In this way, this work aimed to measure the impact of the pandemic on the total consumption of electricity in Brazil and its five geographic regions. For this purpose, the Exponential Smoothing Method was applied with and without event analysis in a multilevel structure. It was seen that the pandemic reduced the total consumption of electricity by around 1% in Brazil, while the supply shock expected in the early 2000s, 8%. Different impacts were found in the regions.

**Keywords:** Consumption. Electricity. Covid-19 pandemic.

## CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Para se estudar os impactos da pandemia no setor elétrico brasileiro, primeiramente é necessário entender sobre esse setor. A energia elétrica no Brasil é gerada principalmente por hidrelétricas, que correspondem a 65% da capacidade instalada no país; logo após pelas termelétricas, com 29% da capacidade instalada nacional e o restante é gerado através de usinas eólicas e da importação de energia de outros países (TOLMASQUIM, 2016).

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020, da EPE, o Brasil detém 2,5% da geração da energia de todo o mundo, estando entre os dez maiores geradores de energia elétrica, sendo o terceiro em geração via hidroelétricas, gerando um total de 10% de toda energia mundial nessa fonte. Em 2020, a fonte hidráulica gerou 63,8% da energia elétrica, enquanto os outros 36,2% vieram das demais fontes energéticas. Dentre essas, os destaques foram a energia eólica e a geração termelétrica a gás natural e à biomassa. Em 2021, houve uma queda na participação da fonte hidráulica na geração de energia elétrica, com 55,3%, enquanto as demais fontes geraram 44,7%, com destaque novamente para a energia eólica e a geração termelétrica a gás natural e à biomassa. (EPE, 2022)

A energia elétrica é insumo essencial à sociedade, dado que o desenvolvimento socioeconômico mundial esteve estritamente ligado à revolução tecnológica por meio do uso da energia elétrica. (LEAL, 2017)

O uso da energia elétrica se dá para diversos fins como nas residências, funcionamento do comércio e da indústria, iluminação pública, dentre outros. Segundo Castro (2021) o setor elétrico é um dos mais importantes e estratégicos setores de infraestrutura da economia brasileira, em função de sua transversalidade, por garantir o bem-estar da sociedade e estar presente em todas as cadeias produtivas.

Em sendo um insumo básico para o funcionamento do país, um evento como a pandemia do COVID-19 traz impactos e acredita-se ser importante mensurá-los. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recebeu um alerta ao final do ano de 2019 sobre uma inesperada onda de pneumonia na cidade de Wuhan, província de Hubei, na China. Na verdade, se tratava de um novo tipo de vírus, sem histórico de identificação em humanos, chamado de coronavírus. (CORREA *et al.*, 2021)

No dia 26 de fevereiro de 2020 foi confirmado o primeiro caso do novo coronavírus no Brasil. Em 11 de março de 2020 a Organização Mundial da Saúde declara coronavírus como pandemia. Em 17 de março de 2020 o Ministério da Saúde foi notificado da primeira morte no Brasil causada pelo vírus. (SANARMED, 2020)

Apesar do vírus ter escala de letalidade relativamente baixa, a escala de difusão é elevada, devido a isso tiveram de ser tomadas medidas restritivas para que a disseminação do vírus pudesse ser controlada, dentre algumas, o fechamento temporário de escolas, comércios e indústrias. (SENHORAS, 2020)

Feitas estas considerações, é razoável esperar e observar que a pandemia e suas restrições causem impactos nos setores da economia. Observa-se, por exemplo, que a mediana das projeções do boletim Focus para o PIB de 2020 estava em 2,2% em fevereiro de 2020, caindo para -0,9% em março de 2020 e -6,6% em junho do mesmo ano. Como boa parte dos setores está direta ou indiretamente relacionados ao setor de energia elétrica, também é esperado que causem impacto no consumo elétrico brasileiro (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020).

A hipótese que a pandemia cause efeitos diretos no consumo de energia afeta diretamente o fato da necessidade do planejamento da expansão da geração e da operação em usinas hidrelétricas e termelétricas, que são as predominantes no Brasil, seja pelos prazos longos de construção das usinas ou para controle no esvaziamento dos reservatórios (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é de mensurar, a partir da análise estatística de dados de séries de tempo, quais os impactos da pandemia do Covid-19 no consumo de energia elétrica no Brasil e nas regiões.

Uma das hipóteses esperadas é, devido aos efeitos do isolamento e restrições do comércio, uma queda no consumo de energia elétrica, principalmente na região sudeste que engloba maior parte do polo econômico que, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2022), é a região com maior consumo de energia elétrica do país.

Outra hipótese a ser confirmada é a possibilidade de o consumo de energia elétrica ter aumentado em alguma região em que o aumento do consumo residencial seja superior ao

comercial e industrial, devido ao fato das pessoas passarem mais tempo em casa no *lockdown*.

Objetiva-se, assim, auxiliar o processo de tomada de decisões a partir das informações geradas pela modelagem de dados. Para realizar esse estudo será utilizado o Método de Amortecimento Exponencial<sup>1</sup>, combinando análise de intervenção (ou análise de eventos) e a Modelagem em Múltiplos Níveis.

Feitas estas considerações, salienta-se que este trabalho está organizado em seis partes. Além desta Introdução, no Capítulo II apresenta-se uma revisão do mercado de energia elétrica no Brasil com foco nas regiões e alguns impactos da pandemia no setor de energia. No capítulo IIIV, pode ser vista a base de dados que será trabalhada, bem como a metodologia aplicada. No Capítulo IV é feita a análise de dados e os resultados são apresentados. No Capítulo V pode-se ver as conclusões.

---

<sup>1</sup> Montgomery (1990).

## **CAPÍTULO II – REVISÃO DE LITERATURA:**

### **2.1 Mercado de energia elétrica no Brasil com foco nas regiões: cenário histórico**

O mercado de energia elétrica brasileiro é o maior da América Latina com um consumo equivalente a 540,5 TWh no ano de 2016. Possui um parque gerado com capacidade de 153,4 GW de potência, segundo dados apresentados pela ANEEL no ano de 2017. E, além disso, tem uma estimativa de crescimento de consumo de 4% ao ano para o período compreendido entre 2015 e 2030. Insta dizer, que no país o mercado possui uma estimativa de taxa de crescimento de consumo que exige um incremento de aproximadamente 5 GW de potência ao ano, o que representaria um investimento na ordem de US\$ 6 bilhões por ano (MORENO; MANZANO; MORENO, 2019).

Atualmente o país conta com um modelo de geração de energia elétrica liberal em que a expansão da capacidade de geração é decidida a partir do mercado, em que o preço *spot* se trata da principal forma de remuneração de investimentos no setor. Porém, até meados dos anos 1990 o modelo adotado era baseado na centralização no Estado. A comercialização é fundamentada em acordos bilaterais que geralmente são firmados no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou no Ambiente de Contratação Livre (ACL), este tem se mostrado como uma alternativa potencial para a economia, pois a energia elétrica é vista como qualquer outro tipo de insumo existente na cadeia produtiva, sendo assim, é um objeto de negociação (VIEIRA, 2011).

Esse mercado livre de energia é importante para o setor no Brasil tendo em vista que é um meio pelo qual se viabiliza a escolha, a competitividade, a flexibilidade e a reversibilidade na área. Por isso, em 2019 esse modelo atendia cerca de 80% do consumo de energia utilizada no país por indústrias. Nesse caso, o mercado livre de energia proporcionou uma economia equivalente a 29%, desde 2003, quando comparado ao mercado cativo (ABRACEEL, 2019).

Diante disso, é necessário entender o panorama do setor elétrico brasileiro considerando os fatos desde a sua concepção e destacando que inúmeras foram as mudanças no desenvolvimento desse setor. Logo, até 1930 vigorava no país um setor elétrico que se desenvolveu mediante capital privado, não possuía regulação e a exploração dependia da aprovação do município em que se situava. Entre 1930 a 1980 o Estado tornou um importante

elemento no desenvolvimento do setor, o país contava com um parque gerado que cresceu cerca de 200%, havia um monopólio verticalizado, as tarifas eram reguladas a partir do custo do serviço. Além disso, nesse período foram criados Grupos Coordenadores da Operação Interligada (GCOI) e até 1970 o crescimento foi ordenado havendo acréscimo de qualidade e redução tarifária, mas a partir de 1979 o setor enfraqueceu em razão da crise de petróleo (SCHOR, 2018).

Segundo Schor (2018) a partir de 1980 houve o congelamento de tarifas, eliminou-se a remuneração garantida mínima de 10% para os concessionários, houve inadimplência generalizada bem como racionamentos nas regiões S e NE e, apagões nas regiões SE e S. Na década de 1990 foram instituídas reformas no setor elétrico com a desestatização, desverticalização e mais eficiência no setor que se tornou mais atrativo para o investimento privado e, então surgiram as concessões. O Estado normatizava e fiscalizava os serviços.

Em 1993 extinguiu-se a remuneração garantida, em 1995 surgiu o Produtor Independente de Energia (PIE), em 1996 deu-se início ao projeto de reestruturação do setor que ficou conhecido como RE-SEB cujo intuito era assegurar a oferta, estimular o investimento, reduzir riscos para os investidores, garantia de modicidade de tarifas, maximização da competição, livre acesso a produtores independentes, incentivo à eficiência, fortalecimento do órgão regulador, expansão de hidrelétricas, otimização operacional, novas funções para a Eletrobras, busca por mais qualidade no fornecimento da energia ao mercado e à modicidade tarifária. Houve ainda a criação da ANEEL ou Agência Nacional de Energia Elétrica. No ano de 1998 foi criado o Operador Nacional do Sistema (NOS) e se instaurou o Mercado Atacadista de Energia (MAE) (SCHOR, 2018).

A evolução do setor se deu no intuito de atender as demandas existentes. E por isso inúmeras transformações ocorreram ao longo do tempo a fim de proporcionar maior capacidade de geração de energia e também o atendimento de diversas áreas em todo o país. Ainda que tenham acontecido crises na geração de energia o setor tem crescido e contribuído para o desenvolvimento do país (BAJAY, 2013).

Mendonça e Dahl (1999) contam que as reformas institucionais realizadas não produziram efeito positivo na atração de investimentos para a geração de energia elétrica e então aconteceram os racionamentos, que implicaram na redução de 20% no consumo médio no



período que vigorou entre junho de 2001 e fevereiro de 2002 nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. E entre julho e dezembro de 2001 foram realizações nos estados do Pará e Tocantins que eram atendidos pelo sistema interligado ao Norte. O racionamento foi o reflexo da falta de investimentos na expansão a partir de 1980.

Contudo, a partir dos anos 2000 houve uma crise no setor e em 2004 deu-se início ao Novo Modelo que é vigente atualmente hoje, onde criou-se do ACR e o ACL, houve ainda a realização de leilões para aquisição de energia por distribuidoras, foi estipulado o conceito de lastro para agente de geração e de comercialização. O MAE foi substituído pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Entre 2014 e 2015 a crise continuou, não foram decretados racionamentos, mas houve reajuste nas tarifas. No ano de 2018 reduziram-se os requisitos mínimos para a contratação de energia no ACL para 2.000 kW vigorando a partir de janeiro de 2020. Em 2019 houve nova redução de requisitos mínimos para contratação por meio do ACL para 550 kW a partir de 1 de janeiro de 2023 e foi estabelecida a previsão de implantação do mercado varejista em 2024 (SCHOR, 2018).

De acordo com Ferreira e Silva (2021, p. 137):

Embora tenha havido esforços anteriores para universalizar o acesso à energia elétrica no Brasil, em especial o Programa de Desenvolvimento Energético nos Estados e Municípios (PRODEEM), foi a partir de 2002, com a Lei Federal 10.438 que a exclusão elétrica começou a ser enfrentada de maneira mais estruturada no Brasil. Essa lei instituiu o direito de todos os solicitantes serem atendidos pelos serviços públicos de energia elétrica.

O programa contava com concessionárias e permissionárias que atendiam o consumidor sem ônus realizando ligações a partir de extensão de rede de tensão secundária de distribuição. Além disso, foi criada a chama Conta de Desenvolvimento Energético, CDE, cuja função foi universalizar o projeto para todos. Recursos para CDE originavam-se em pagamentos provenientes de título de uso de bem público e também de multas aplicadas às concessionárias, permissionárias e autorizadas, pela ANEEL. Sendo que a partir de 2003 os agentes comercializadores de energia pagavam quotas anuais, em que os recursos eram repassados para as contas, como uma espécie de encargo social (FERREIRA; SILVA, 2021).

O programa Luz para Todos realizou em 2020 15 mil novas ligações no Norte, atendendo a 58 mil pessoas na região. No Nordeste foram realizadas 29 mil ligações somando 116 mil pessoas atendidas e foram 7 mil novas ligações no Centro-Oeste resultando em 28 mil

atendimentos. O ano acumulou em total de 3,6 m de ligações e 16,9 m de pessoas atendidas até 2020 pelo programa. Com isso, o setor de energia no país tem se expandido cada vez mais e atende regiões distantes com ligações realizadas a partir do Plano de Universalização (EPE, 2021).

Além disso, insta dizer que no ano de 2020 a geração de energia elétrica em centrais de serviços públicos e autoprodutores alcançou o patamar de 621,2 TWh, em que 82,9 % da geração de energia foi possível por conta das centrais públicas. Borges (2021, p. 202) explica que:

A energia elétrica compreende o produto de um processo adequado de uso de propriedades físico-químicas e eletromagnéticas da matéria para propiciar o funcionamento de equipamentos fornecedores de usos finais pela sociedade. Neste sentido, a energia elétrica é considerada um insumo de natureza secundária, já que é oriunda da ação primária de conversores. As conversões de energia primária em elétrica mais utilizadas atualmente são de: energia térmica, que é aquela encontrada nos combustíveis fósseis e na biomassa através das usinas termelétricas; energia atômica de minerais radioativos a partir de usinas nucleares; e potencial hídrico através das usinas hidrelétricas. O setor energético, por sua vez, compreende um conjunto de órgãos que procuram promover a utilização estratégica de diferentes fontes de energia a partir de recursos energéticos, econômicos e tecnológicos disponíveis. Neste sentido, constitui-se de um sistema aberto que estabelece relações entre seus subsistemas: elétrico, carvão, petróleo, gás e outros. Apesar deste trabalho não discutir amplamente a abordagem sistêmica, faz-se necessário destacar que o termo “sistema” no ambiente energético engloba características ecológicas, tecnológicas, sociais, econômicas e institucionais, assim como os segmentos da cadeia produtiva da energia.

O setor elétrico compreende uma área de grande importância do desenvolvimento do país e por isso possui valor estratégico. Assim, a inovação no setor tem proporcionado avanços aumentando a capacidade de geração de energia e favorecendo o desenvolvimento social e econômico do país. (BORGES, 2021)

## **2.2 Modalidades de agentes e de usuários**

Os segmentos existentes na indústria elétrica são organizados de modo que permite o funcionamento adequado do setor. Contando com quatro atividades essenciais que corresponde à geração da eletricidade, a transmissão que é o transporte da energia por longas distância e em alta tensão, a distribuição que corresponde ao transporte ramificado em centros

urbanos e rurais e em baixa tensão e, por fim o último ramo de atividade que é a comercialização referente à compra e venda (SCHOR, 2018).

A organização das atividades se modificou mediante reformas e aprimoramentos surgindo os agentes que compõem o setor e exercem as atividades relacionadas de geração, transmissão, distribuição e comercialização. Esses agentes são denominados de agentes de geração, de transmissão, de distribuição e de comercialização. Os agentes de geração têm a função de produzir a energia elétrica e são as usinas que utilizam para tal função fontes diversas como a hidráulica, solar, eólica, térmica e outras. Para o seu funcionamento devem ter outorga estatal que é concedida por regime de concessão ou de autorização e são controladas e fiscalizadas pela União e pela agência reguladora. Os agentes de transmissão fazem o transporte em larga escala da eletricidade por grandes distancias e em alta tensão. De acordo com Schor (2018, p. 26):

A atividade é exercida mediante outorga de concessão da União, obtida após licitação estatal. Os transmissores são responsáveis pela construção e/ou manutenção e operação das instalações de transmissão necessárias em determinada região do território nacional, e são remuneradas pela Receita Anual Permitida – RAP.

Agentes de distribuição, por sua vez fornecem energia elétrica que é transportada pelos distribuidores em centros residenciais urbanos e também rurais. Por isso percorrem distâncias curtas em baixas, médias e altas tensões. Esses agentes possuem a concessão de serviço público e devem construir, manter e operar a rede de distribuição da área que está sob seu monopólio (SCHOR, 2018).

E, os agentes de comercialização operam a compra e a venda da energia elétrica que é desenvolvida seja pela forma de *trader* – compra e vende energia em seu nome e lucra ou não em razão da flutuação de preços que acontece no mercado, *broker* – intermédia as negociações de compra e venda entre dois agentes sem se o representante de algum deles e o *dealer* - é um comercializador que representa uma das partes envolvidas na compra e na venda (LIMA, 2006).

Os usuários ou consumidores livres consomem uma carga igual ou superior a 2.000 kW, são atendidos por qualquer tipo de tensão e adquirem energia no ACL, o que lhes permite comprar de qualquer concessionária, permissionário ou autorizado no SIN. Tem os consumidores especiais que são aqueles reunidos em comunhão de interesse de fato ou de

direito, com carga maior ou igual a 500 kW, adquire sua energia no ambiente de livre contratação daqueles que utilizam fonte solar, eólica, biomassa ou hidráulica (SCHOR, 2018). Tem ainda os consumidores regulados ou cativos que

[...] estão condicionados ao pagamento de tarifa de energia determinada pela ANEEL, e não podem optar pelo seu fornecedor. Nessa modalidade de consumo, o fornecimento de energia dá-se pela distribuidora local, que firma contratos de adesão com os usuários. Assim, para o consumidor regulado, não é possível discutir quaisquer aspectos contratuais, sendo estes definidos pela agência reguladora. (SCHOR, 2018, p. 32).

Os consumidores potencialmente livres atendem os requisitos do consumidor livre, mas não optam por tal modalidade. São tratados como consumidores regulados. Os consumidores parcialmente livres negociam e contratam parte de sua necessidade energética pelo formado de mercado livre e são atendidos de maneira regulada pela concessionária de distribuição local em relação à outra parte da sua demanda (SCHOR, 2018).

E os consumidores do Grupo A utilizam energia com tensão de fornecimento igual ou superior a 2,3 kV ou são atendidos por sistemas subterrâneos de distribuição em tensão secundária. São divididos em A1 – tensão igual ou superior a 230 kV, A2 de 88 kV a 138 kV, A3 com tensão de 69 kV, A3a com tensão que vai de 30 kVa 44 kV, o A4 que vai de 2,3 kV a 25 Kv e o AS que utiliza tensão inferior a 2,3 Kv com utilização por sistema subterrâneo de distribuição (ENEL DISTRIBUIÇÃO, 2019).

### **2.3 Fontes de energia elétrica**

Segundo Bezerra (2019) o Brasil se destaca, no cenário mundial por contar com uma matriz de energia elétrica que é baseada, sobretudo, em fontes renováveis. Dentre essas fontes estão a hidroeletricidade e a biomassa da cana de açúcar. Além disso, existem outras fontes renováveis que tem se destacado no país como a energia eólica e a solar.

Para Lima e Machado Júnior (2016, p. 192)

A energia renovável é originada de recursos naturais, que apresentam taxa de renovação igual ou superior a taxa de utilização. As fontes de energia renováveis, em razão das características da sua geração, não produzem gases de efeito estufa e por essa razão são consideradas alternativas ao modelo francamente majoritário, baseado em combustíveis fósseis, tais como o carvão, o petróleo e o gás.

Destaca-se a grande capacidade do país na geração de energia por fontes renováveis, em que a energia solar tem se mostrado como uma importante matriz. Os níveis de irradiação solar no Brasil de um modo geral são superiores a outros países o que permite a aproveitamento desta fonte como elemento gerador de energia elétrica (NASCIMENTO, 2017).

De acordo com Kopp

O aquecimento solar, a geração de eletricidade, a climatização de ambientes exemplificam os processos e tecnologias produzidos pelo desenvolvimento científico e tecnológico. Um avanço significativo foi conseguido nas últimas décadas tanto no aproveitamento térmico para atendimento de demandas residenciais ou processos industriais, quanto para conversão em eletricidade. O aproveitamento fotovoltaico, conhecido como geração fotovoltaica de eletricidade, também apresentou um intenso desenvolvimento que está resultando em um crescimento significativo da participação da energia solar na matriz energética mundial. (KOPP 2017, p. 23)

Nesse caso, tem se destacado o campo da energia fotovoltaica que representa que é uma tecnologia que gera energia a partir da radiação solar como fonte geradora de energia elétrica. Os fótons da luz solar são convertidos em energia a partir do uso de células solares denominadas fotovoltaicas (NASCIMENTO, 2017).

As fontes energéticas renováveis correspondem a 84,2% da oferta no país. Nesse cenário, a biomassa é responsável por 9,1% da energia que é produzida de modo que representa 51 TWh. A biomassa tem capacidade de responder por 8,8% da capacidade de consumo (EPE, 2021<sup>a</sup>) A biomassa de cana de açúcar também é uma fonte de energia elétrica, sendo essa uma matéria prima utilizada na geração de energia que é vantajosa, pois é utilizado o bagaço da cana de açúcar e produz a bioenergia. Esta é uma fonte renovável, limpa e possui um custo de produção reduzido e também não gera gases poluentes. É utilizada em cerca de 17% da energia de fonte renovável gerada no país (SILVA; SILVA, 2021).

Contudo, o país ainda conta com a energia hidroelétrica como sua principal fonte de geração de energia, pois o Brasil é um dos países mais ricos no planeta em relação aos recursos hídricos. Nesse sentido, as hidrelétricas são a principal fonte de energia no país. Segundo Silva *et al.*, (2022, p. 89)

[...] neste sistema existem dois reservatórios em níveis distintos: um reservatório superior e outro inferior, localizados respectivamente, acima e abaixo da casa de máquinas. Este sistema consiste em bombear a água do reservatório inferior para o superior em períodos de menor demanda de energia, utilizando a energia extra de qualquer outra fonte geradora do

sistema. Esta água bombeada é empregada para movimentar as turbinas hidráulicas para geração em períodos de maior demanda.

Essa fonte de energia ainda dominante no país produz prejuízos ao explorar os recursos naturais de maneira inapropriada. E, também é um setor que está sujeito a problemas como a seca que pode influenciar na geração da energia elétrica.

#### **2.4 Atendimento do setor por regiões**

O setor de energia elétrica brasileiro tem a necessidade de trabalhar com planejamento a longo prazo de expansão da geração e da operação. Esse fato se dá pela grande demanda de tempo para construção de uma usina hidrelétrica, sendo esta a fonte de energia predominante no território. Segundo Bezerra (2019, p. 1):

Concernente à transmissão de energia, o Brasil necessita de extensas linhas, dada as características de sua matriz energética, com forte presença de grandes hidrelétricas distantes dos pontos de consumo. Nos últimos leilões de transmissão realizados pela ANEEL, os empreendimentos contemplados têm sido aprovados, de um modo geral, com expressivo deságio, demonstrando o sucesso do modelo adotado. Com relação ao segmento de distribuição, o mercado cativo das concessionárias e permissionárias tem encolhido nos últimos anos, em razão da migração de consumidores para o mercado livre.

Ademais, tratando-se de um país de dimensões continentais, atender a demanda territorial superando as desigualdades, é o principal desafio a ser vencido no sistema de distribuição, segundo Logística de Energia 2015 - Redes e Fluxos do Território divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2016).

Para Bezerra (2019) o mercado brasileiro de energia elétrica é de 474,8 TWh onde 66,5% é de mercado cativo e 33,5% de mercado livre, conforme dados apresentados em 2018. Ao avaliar o consumo total de energia pelas regiões brasileiras observa-se que na análise regional o Sudeste mais populosa e urbanizada do país, que no ano de 2021 consumiu 246.263.483 MWh, comportando grande parte do mercado brasileiro sendo seguido pelo Sul com o aproveitamento de 92.760.592 MWh e o Nordeste com consumo equivalente a 17,0%. A terceira região que mais consome energia elétrica por ano é o Nordeste, com a utilização de 92.760.592. Por fim, o Centro-oeste e o Norte do país apresentam as menores taxas de consumo de energia, sendo que o último representa apenas 7,26% do consumo total no Brasil

anualmente. A tabela 1 apresenta a relação de consumo no país, por região, comparando os valores entre 2017 e 2021:

**Tabela 1: Consumo de energia elétrica por região entre 2017 e 2021**

<b>Consumo de energia elétrica em MWh no Brasil entre 2019 e 2021 por região</b>		
<b>Ano</b>		2021
<b>Região Geográfica</b>	<b>Consumo</b>	<b>Participação por região</b>
Norte	36.478.760	7,26%
Nordeste	86.819.861	17,29%
Sudeste	246.263.484	49,04%
Sul	92.760.592	18,47%
Centro-Oeste	39.842.543	7,93%
<b>Total do país</b>		502.165.240
<b>Ano</b>		2020
<b>Região Geográfica</b>	<b>Consumo</b>	<b>Participação por região</b>
Norte	34.719.971	7,29%
Nordeste	81.169.727	17,03%
Sudeste	233.031.882	48,90%
Sul	88.703.026	18,61%
Centro-Oeste	38.944.303	8,17%
<b>Total do país</b>		476.568.909
<b>Ano</b>		2019
<b>Região Geográfica</b>	<b>Consumo</b>	<b>Participação por região</b>
Norte	33.086.640	6,86%
Nordeste	83.138.548	17,23%
Sudeste	238.451.059	49,42%
Sul	89.420.939	18,53%
Centro-Oeste	38.418.628	7,96%
<b>Total do país</b>		482.515.814
<b>Ano</b>		2018
<b>Região Geográfica</b>	<b>Consumo</b>	<b>Participação por região</b>
Norte	32.436.038	6,82%
Nordeste	80.498.674	16,92%
Sudeste	238.806.083	50,19%
Sul	87.173.268	18,32%
Centro-Oeste	36.850.437	7,75%
<b>Total do país</b>		475.764.500

Ano	2017	
Região Geográfica	Consumo	Participação por região
Norte	34.510.271	7,38%
Nordeste	79.731.255	17,06%
Sudeste	232.514.731	49,74%
Sul	84.997.182	18,18%
Centro-Oeste	35.721.294	7,64%
Total do país		467.474.733

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados EPE “s.d.”

Insta salientar que não houve variação neste cenário nos últimos cinco anos, tendo as regiões se mantido nas mesmas posições no ranking de consumo de energia anual. A região Sudeste, por se destacar nos prismas do consumo, desenvolveu algumas alternativas de geração para suprir sua demanda, sendo 58% da produção hidrelétrica, que responde por 24,5 GW de capacidade instalada, e os 42% restantes correspondentes à geração termelétrica a partir de diversas fontes renováveis e não renováveis, com destaque para utilização da biomassa da cana-de-açúcar (EPE, 2022).

Juntas, essas fontes respondem por mais de 88% da geração do sudeste. Tratando-se do apoio do BNDES nos projetos de geração de energia, a região supracitada recebeu em torno de 34% dos recursos deste na média do período 2003-2013, recebendo um investimento total de 77.277 milhões de reais a serem aplicados na área (FILHO; SANTOS; BARROS, 2014). A tabela 2 demonstra uma relação de projetos de energia que foram financiados pelo BNDES:

**Tabela 2: Projetos de energia financiados pela área de infraestrutura do BNDES entre 2003-2013**

Projetos de energia financiados pela área de infraestrutura do BNDES entre 2003-2013				
Segmento	Projetos	Financiamento (R\$ milhões)	Investimento (R\$ milhões)	Capacidade (MW) extensão (km)
Geração	78	14.587	32.207	6.726 M
Hidrelétrica	9	2.372	4.870	1.278 MW
Pequena central hidrelétrica	50	3.140	4.842	836 MW
Termelétrica	6	1.928	6.050	2.836 M
Termonuclear	1	6.146	14.998	1.405 M
Cogeração	11	922	1.268	343 MW
Eólica	1	80	179	28 MW



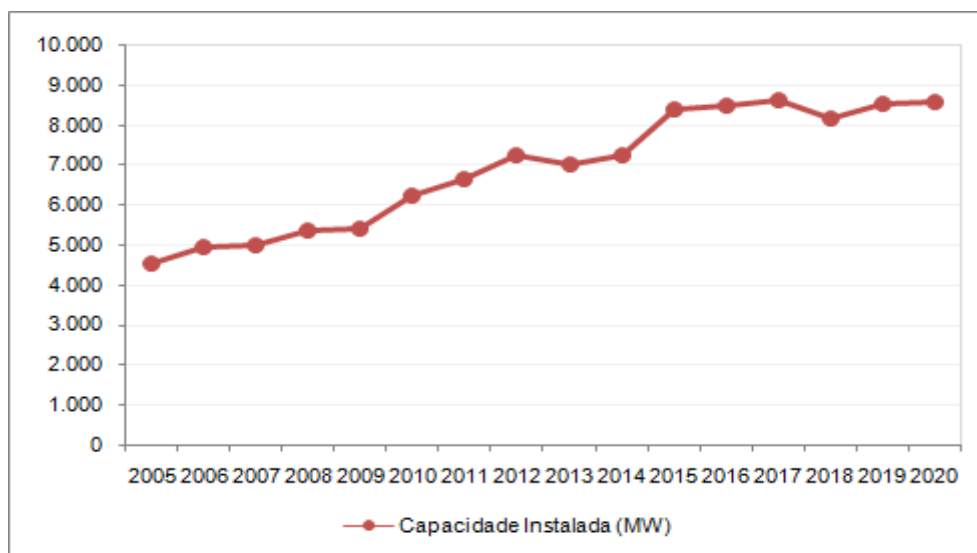
Transmissão	41	11.470	22.064	10.745 km
Distribuição	58	11.985	21.96	-
Eficiência energética	25	604	1.081	-
<b>Total</b>	<b>202</b>	<b>36.647</b>	<b>77.277</b>	<b>-</b>

Fonte: Adaptação de BNDES (2014)

Já na região Sul, destaca-se o estado do Rio Grande do Sul, onde o parque gerador opera através do Sistema Interligado Nacional de Geração e Transmissão – SIN, correspondendo 52% a hidroeletricidade, 23% a termoeletricidade e 2% a energia solar, demonstrando o avanço da utilização de fontes alternativas de energia, segundo dados divulgados no ano de 2020 no Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul.

De acordo com a EPE (2022), a capacidade instalada do Estado representava, no ano da publicação da pesquisa acima referenciada, cerca de 5% da capacidade instalada total do Brasil, apresentando crescimento notável desde o ano de 2005. Tais informações estão representadas no gráfico 1:

**Gráfico 1: Evolução da capacidade instalada de Geração Elétrica no RS 2005-2020**



Fonte: Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul (2022)

Adiante, o Nordeste bateu o recorde de geração de energia eólica em 2022, produzindo 14.167 megawatts (MW), o equivalente a 123,2% da demanda na região, aponta ONS. Dos 619 parques eólicos instalados no país, 523 estão localizados nesta região, que possui um clima favorável a produção deste tipo de energia (NEOENERGIA, 2022).

Abaixo no ranking de consumo de energia, o Centro-Oeste do Brasil, segundo a pesquisa “Matrizes Energéticas Estaduais, ano de referência 2015”, elaborado pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia (MME), é a região mais eficiente em produção de energia a partir de fontes renováveis, com destaque para o setor sucroalcooleiro, ocupando 33% da matriz energética, seguido de lenha e outras bioenergias (15,9%) e da fonte hidráulica (9%) (SIFAEG, 2021).

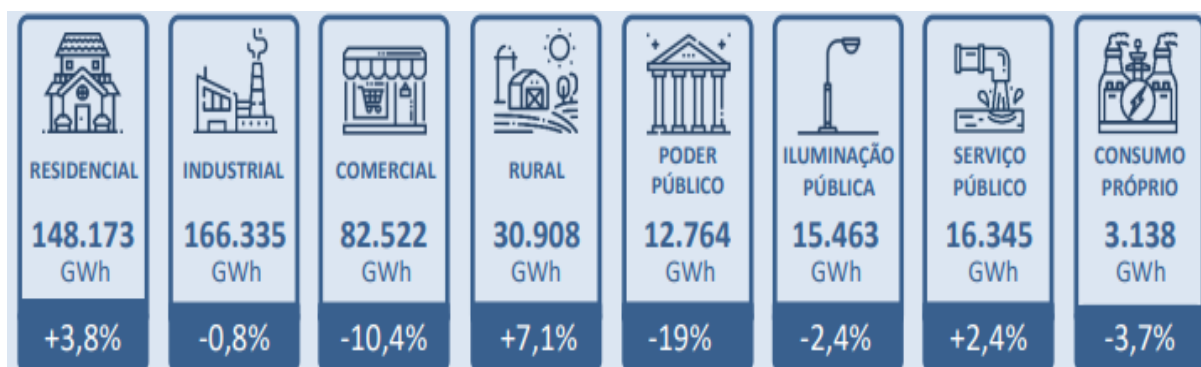
Por fim, insta mencionar que a região Norte do país é a que mais carece de estruturação na área. Através de usinas hidrelétricas, a região gera 26% da energia elétrica consumida em todo o território nacional. O desequilíbrio encontra-se na distribuição, havendo municípios da Amazônia Legal com 1 milhão de pessoas que não podem contar com luz, recebendo através de geradores, fornecimento em apenas algumas horas do dia (SUZUKI, 2022).

## 2.5 Impactos da pandemia no setor de energia

A pandemia da Covid-19 provocou importantes modificações no mercado, gerando um certo desequilíbrio em diversos setores em razão das restrições que foram impostas a todos. Assim, o fechamento de indústrias e comércios refletiu no consumo de energia elétrica, que segundo o Operador Nacional do Sistema teve uma redução nestes setores quando comparado com o mesmo período de consumo nos anos de 2018 e 2019, por exemplo (CORREA *et al.*, 2021),

A figura 1 apresenta o consumo por setor durante os períodos relacionados:

**Figura 1: Consumo de energia por classe em 2020, em relação ao ano de 2019**



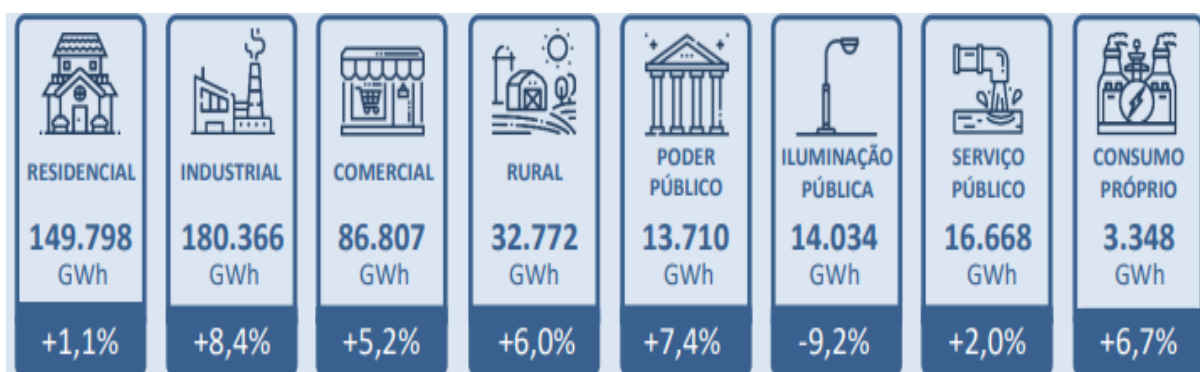
Fonte: EPE, 2021

Observando o panorama de impacto, percebe-se que no ano de 2020, o consumo total de

energia elétrica do Brasil foi de 475TWh, cerca de 1,4% menor do que no ano de 2019. Da mesma maneira, conforme figura 1, o consumo de energia por classe no ano de 2020 apresentou uma redução em relação ao ano de 2019, em cinco das oito classes, exceto à classe residencial, rural e do serviço público (EPE, 2021).

O consumo total de energia elétrica no Brasil no ano de 2021 foi 497 TWh, cerca de 4,6% maior do que o ano de 2020. Conforme visto na figura 2, o consumo de energia por classe do ano de 2021 comparado ao ano anterior apresentou aumento em sete das oito classes. (EPE, 2022)

**Figura 2: Consumo de energia elétrica por classe em 2021, em relação ao ano de 2020**



Fonte: EPE, 2022

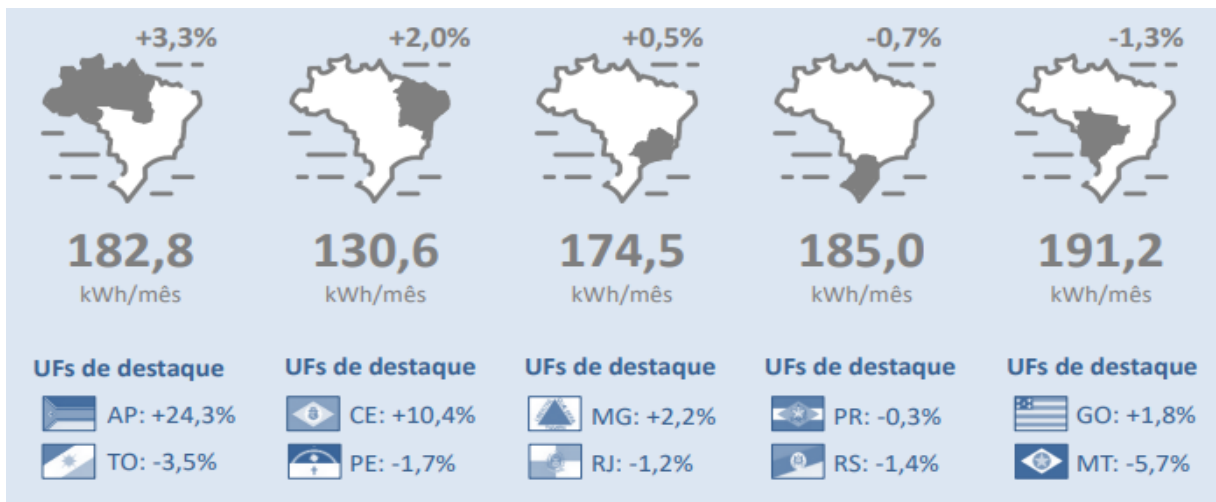
Dentre as classes observadas no anuário, é possível observar que o tipo de classe residencial é a que apresentou o maior número de unidades consumidoras de eletricidade do país, no entanto, o consumo médio residencial por região e unidade federativa (UF) expõe diferentes níveis pelo Brasil (EPE, 2022).

Conforme figura 3 durante o ano de 2021 houve variações positivas e consumo. Dentre as regiões que apresentaram maior variação positiva estão a região norte, nordeste e sudeste. Tais regiões tiveram um consumo de energia elétrica maior no ano de 2021. E, entre os setores com maior consumo está o residencial em comparação com os demais.

Por outro lado, as regiões Sul e Centro-Oeste foram as regiões que demonstraram ter uma maior variação no total de consumo de energia elétrica na classe residencial no ano de 2021, comparando-se com o ano de 2020 entre todas as regiões.

Os resultados apresentados por essas regiões variaram de forma negativa conforme pode se observar na figura 3:

**Figura 3: Consumo de energia elétrica na classe residencial em 2021, em relação a 2020**



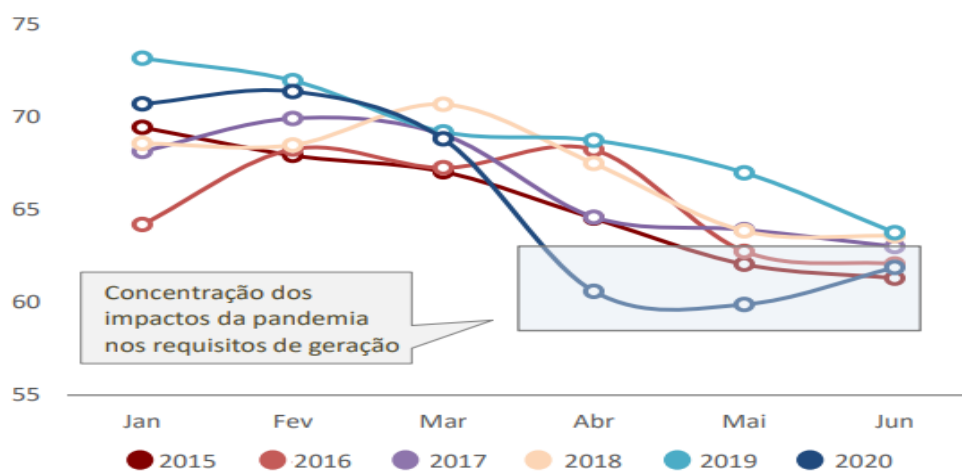
Fonte: EPE, 2022

No que concerne a carga de energia, dados divulgados pelo Ministério de Minas e Energia explicitam impactos negativos, advindos das medidas de isolamento social, principalmente no mês de abril de 2020. Conforme se observa no gráfico 2:

**Gráfico 2: Comparativo da carga de energia mensal no primeiro semestre de 2015 a 2020**

**SIN. Carga de Energia mensal no 1º semestre (GWmédio)**

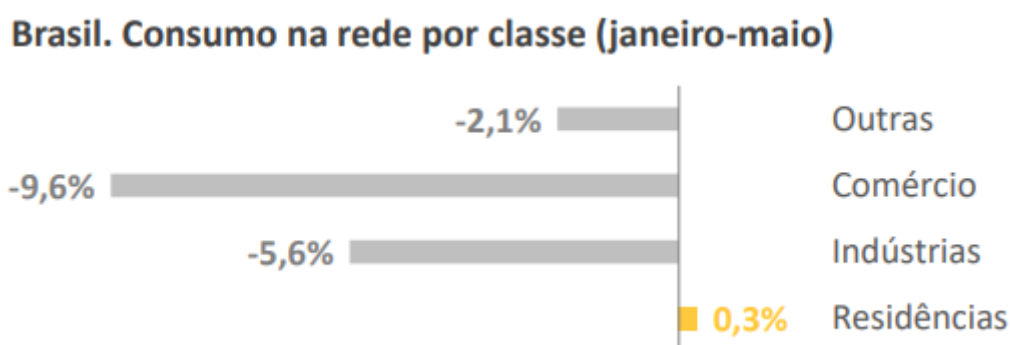
Fonte: ONS. Elaboração EPE.



Fonte: BALANÇO COVID-19 Impactos nos mercados de energia no Brasil 1º semestre de 2020 – EPE“s.d.”

As classes comerciais e industriais foram severamente impactadas pela pandemia da COVID-19, dado à paralisação de suas atividades em períodos de confinamento. Entretanto, a classe residencial teve reflexo positivo pelo mesmo motivo (EPE, 2020), conforme é demonstrado no gráfico 3:

**Gráfico 3: Consumo na rede por classe**



Fonte: BALANÇO COVID-19 Impactos nos mercados de energia no Brasil 1º semestre de 2020 – EPE “s.d”

Assim, o consumo de energia sofreu impactos originados na pandemia da Covid-19. O setor residencial se mostra como o que teve impacto considerável em razão das restrições implantadas. As restrições fizeram com que as pessoas ficassem em casa trabalhando em *home office*, alunos estudando também em casa já que as escolas ficaram fechadas e as empresas também tiveram sua atividade reduzida.

Feitas estas considerações, no próximo capítulo será apresentada a metodologia de análise a ser aplicada neste trabalho monográfico sobre os dados históricos do consumo total de energia elétrica no Brasil e em suas regiões.

## CAPÍTULO III - METODOLOGIA

### 3.1 Base de dados

Para realizar o estudo será utilizado os dados mensais referentes ao consumo de energia elétrica total Brasil e por regiões. Elaborou-se uma base de dados composta pelo período compreendido entre janeiro de 1979 e setembro de 2022. Estes dados estão disponíveis no site do IPEADATA<sup>2</sup>.

### 3.2 Método de amortecimento exponencial

A metodologia aplicada no estudo se baseia na utilização de análises estatísticas aplicadas a séries de tempo, mais especificamente o Método de Amortecimento Exponencial (MAE) com abordagens em múltiplos níveis. Ao se estimar os modelos, será feita uma análise de eventos para captar o efeito da pandemia. Adicionalmente serão feitas duas abordagens: *top-down* e *bottom-up*. Basicamente a análise *top-down* consiste em desagregar as previsões do modelo total para as regiões, ou seja, não se usam os modelos estimados para o consumo por regiões. Já a abordagem *bottom-up* consiste em agregar as previsões obtidas pelos modelos estimados para as regiões, obtendo-se assim a previsão para o consumo total Brasil. Isto significa que não é utilizado o modelo estimado para a série de consumo total. Feitas estas considerações, atenta-se que este capítulo tem como base Zanini (2012).

Como dito anteriormente, para o estudo será utilizado o Método de Amortecimento Exponencial, que é um método de previsão univariado ou autoprojeto, que através da análise dos dados históricos estima fatores como nível, tendência e sazonalidade.

Segundo Zanini (2012) uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações de uma dada variável, ordenadas segundo o parâmetro de tempo, geralmente em intervalos equidistantes, e que apresentam uma “dependência serial” (correlação) entre eles. O objetivo da análise, então, é estimar uma equação matemática que expresse a correlação dos dados históricos de forma que se possa projetá-los para um horizonte futuro.

---

<sup>2</sup> [www.ipeadata.gov.br](http://www.ipeadata.gov.br)

Feitas estas considerações, salienta-se que uma breve descrição do Método de Amortecimento Exponencial será feita a partir deste momento. Para este fim, imagine-se que o conjunto de observações  $Z_1, Z_2, \dots, Z_T$  seja uma série temporal de tamanho “T”. Considera-se agora que esta série represente o consumo de energia no Brasil cuja demanda mensal não apresenta uma variação significativa no seu nível ao longo do tempo, ou seja, não ocorrem mudanças no nível de demanda de energia com o tempo ou, se ocorre, são variações pouco significativas. Então, para este consumo, a equação de previsão pode ser representada por:

$$z_t = a(T) + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

Onde:

$z_t$  = consumo no período t (t = 1, 2, ..., T);

$a(T)$  = parâmetro representativo do nível médio da demanda no instante T;

$\varepsilon_t$  = erro de previsão  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ .

É importante observar que, dada as características deste produto (nível de demanda mais ou menos constante), a estimativa ( $\hat{a}(T)$ ) para o parâmetro “a” na equação (3.1) fornece exatamente uma previsão para o consumo. Sendo assim, salienta-se que este parâmetro pode ser estimado de diversas maneiras possíveis. Dentro de uma lógica “autoprojetiva”, poder-se-ia estimá-lo, por exemplo, através do modelo ingênuo (ou naive) e que utiliza como previsor o último dado conforme indicado pela equação (3.2) abaixo:

$$z_T(\tau) = z_T \quad (3.2)$$

Onde:

$z_T(\tau)$ : previsão para  $z_{T+\tau}$   $\tau$  passos-à-frente (ou previsão de  $z_{T+\tau}$  feita no instante T);

$z_T$  : último dado disponível;

$\tau$  : horizonte de previsão;

Outras maneiras poderiam também ser utilizadas para estimar o parâmetro “a” na equação (3.1). Poderiam ser utilizadas uma média ou uma média móvel dos dados históricos, respectivamente pelas seguintes equações:

$$\hat{a}(T) = \bar{z}_T = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T z_i \quad (3.3)$$

$$\hat{a}(T) = MM(N) = M_T = \frac{z_T + z_{T-1} + z_{T-N+1}}{N} \quad (3.4)$$

$MM(N)$  = média móvel de tamanho  $N$ .

É importante observar que, tanto na média quanto na média móvel, existe uma desvantagem que diz respeito ao fato de que todos os dados entram com o mesmo “peso”, ou seja,  $1/N$ . O método de amortecimento exponencial vem suprir esta “deficiência”, ou seja, neste método, é possível dar pesos diferenciados de acordo com a “idade” da informação. A seguir é desenvolvida esta ideia.

O objetivo consiste em montar um “sistema” o qual possa reestimar os parâmetros do modelo a cada período de tempo incorporando a informação mais recente. Sabe-se que, ao final do período  $T$ , tem-se duas informações básicas disponíveis:

- 1 - A estimativa de “a” feita no final do período anterior  $\hat{a}(T - 1)$ ;
- 2 - O último dado disponível  $Z(T)$ ;

Desta forma, o que se quer é utilizar estas informações para calcular uma estimativa atualizada do nível de venda:  $\hat{a}(T)$ . A proposta para a solução do sistema é fazer uma modificação na estimativa velha  $\hat{a}(T - 1)$  do nível por uma fração do erro de previsão resultante do uso desta estimativa para o dado mais recente. Sabendo que o erro de previsão no último período pode ser definido como  $\varepsilon_T = Z_T - \hat{a}(T - 1)$ , a formulação matemática para esta proposta está representada na equação abaixo:

$$\hat{a}(T) = \hat{a}(T - 1) + \alpha * [Z(T) - \hat{a}(T - 1)] \quad (3.5)$$

$$\hat{a}(T) = \alpha * Z(T) + (1 - \alpha) * \hat{a}(T - 1) \quad (3.6)$$

Para simplificar a notação, define-se que  $\hat{a}(T) \equiv S_T$ . Desta forma, reescrevendo a equação (3.6) acima tem-se que:

$$S_T = \alpha * Z_T + (1 - \alpha) * S_{T-1} \quad (3.7)$$

Onde:

$S_T$  = valor amortecido da série;

$\alpha$  = constante de amortecimento ou hiperparâmetro (número ente 0 e 1).

Ressalta-se que esta formulação indica a ideia básica do método de amortecimento



exponencial e indica que para se fazer uma atualização automática do parâmetro “a”, que representa o nível de consumo na equação (4.1), será feita uma combinação convexa, onde é dado um peso  $\alpha$  para o “presente” (último dado) e um peso  $(1 - \alpha)$  para o “passado” (estimativa anterior para o nível e que pode ser obtida de várias formas como, por exemplo, uma média, uma média móvel, dentre outras).

Em síntese, no método de amortecimento exponencial é possível dar pesos diferenciados para a “idade” da informação. Isto é, para séries mais “nervosas” (maior variância) pode se dar um peso maior para informações mais recentes, ao passo que para séries mais “comportadas” (menor variância) pode se ponderar de forma igual tanto dados presentes quanto dados passados. Uma extensão deste modelo pode ser feita quando se inclui parâmetros de tendência e sazonalidade para modelar o comportamento de determinada série temporal. Obviamente, são elaborados também procedimentos de atualização destes parâmetros, mas sempre conservando a ideia de dar pesos diferenciados para “presente” e “passado”, ou seja, fazendo-se:

$$\alpha * \textit{Presente} + (1 - \alpha) * \textit{Passado}$$

Como dito anteriormente, a equação (4.1) pode ser utilizada para modelar o comportamento de uma série que apresente um comportamento mais ou menos constante, ou seja, sem grandes variações no nível. Entretanto, este modelo torna-se inadequado na presença de alterações do nível da série, ou seja, na presença de um componente de tendência. Para uma série que apresente oscilações no nível com o tempo, atenta-se que um modelo mais adequado é aquele representado na equação (3.8) a seguir:

$$Z_T = (a_1(T) + a_2(T) * t) + \varepsilon_t \quad (3.8)$$

Onde:

$a_1(T)$ : parâmetro de nível no instante T;

$a_2(T)$ : parâmetro de tendência no instante T;

$t$ : variável tempo ( $t = 1, 2, \dots, T$  sendo T a quantidade de dados existentes);

$\varepsilon_t$ : é o erro de previsão  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ .

É importante salientar que um sistema de atualização paramétrica similar ao evidenciado na equação (3.7) será aplicado sobre os parâmetros da equação (3.8). Este modelo é conhecido como Modelo de Holt-2 Parâmetros. A atualização dos parâmetros pode ser feita de acordo

com as equações (3.9) e (3.10) a seguir:

$$\hat{a}_1(T) = \alpha * Z_T + (1 - \alpha) * [\hat{a}_1(T - 1) + \hat{a}_2(T - 1)] \quad (3.9)$$

$$\hat{a}_2(T) = \beta * [\hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T - 1)] + (1 - \beta) * [\hat{a}_2(T - 1)] \quad (3.10)$$

Pode-se observar que as equações acima contêm a mesma ideia de se ponderar “presente” e “passado” para se fazer a atualização dos parâmetros. Entretanto, vê-se que são usadas duas constantes de amortecimento ( $\alpha$  e  $\beta$ ), uma para o parâmetro de nível  $\hat{a}_1$  e outra para o parâmetro de tendência  $\hat{a}_2$ .

Na equação (3.9), observa-se que a atualização do parâmetro de nível é feita dando um peso  $\alpha$  para o dado real mais recente e um peso  $(1 - \alpha)$  para a última estimativa feita para o nível que é composta por:  $\hat{a}_1(T - 1)$ , estimativa feita para o nível no instante anterior ( $T - 1$ ), mais  $\hat{a}_2(T - 1)$ , que é a estimativa feita para a tendência também no instante anterior ( $T - 1$ ). Ora, “nível mais tendência (taxa de crescimento)” dá exatamente uma estimativa de um novo nível, sendo que  $(T - 1)$  indica que este cálculo foi feito no instante anterior. Em resumo, na atualização do parâmetro de nível, dá-se um peso para o último dado (que fornece uma representação real e atualizada, portanto, “presente ou recente” para o nível) e um outro peso para um valor estimado para este nível quando se estava no momento anterior (portanto, “passado”).

Já na equação (3.10), atualização do parâmetro de tendência, vê-se que é dado um peso  $\beta$  para a diferença entre a nova estimativa do nível (calculada na equação 3.9) e a última estimativa do nível (feita no instante anterior  $T - 1$ ). Ora, variação de nível é exatamente o que caracteriza um componente de tendência ou taxa de crescimento. Se é dado um peso  $\beta$  para esta estimativa “presente” do parâmetro de tendência, é dado um peso  $(1 - \beta)$  para a última estimativa da tendência feita no instante anterior ( $T - 1$ ).

Percebe-se que, como o objetivo proposto visa desenvolver um modelo autoprojeto ou univariado, é necessário que todos os “fatores” componentes de uma série sejam estimados ou “modelados”. Até o presente momento, foi possível abordar a estimativa de dois parâmetros (nível e tendência).

Entretanto, imagine-se ainda que possa existir um certo comportamento periódico da demanda, ou seja, dependendo da época do ano, existe um incremento ou decréscimo na mesma. Em séries temporais, este comportamento é o que se denomina exatamente por “sazonalidade”, ou seja, um movimento periódico (cíclico) da série no decorrer do tempo. O que se quer dizer é que a série de demanda do consumo em questão pode ainda apresentar um comportamento sazonal, ou seja, uma “influência” provocada por determinados períodos do ano sobre seu nível (incluindo obviamente a variação deste nível). Neste caso, o modelo mais adequado pode ser o expresso na equação (3.11):

$$Z_T = (a_1(T) + a_2(T) * t) * \rho_t + \varepsilon_t \quad (3.11)$$

Onde:

$a_1(T)$ : parâmetro de nível no instante T;

$a_2(T)$  : parâmetro de tendência no instante T;

t: variável tempo (t = 1, 2, ..., T sendo T é a quantidade de dados existentes);

$\rho_t$ : fator sazonal referente ao período t;

$\varepsilon_t$ : t é o erro de previsão e  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ ;

Este modelo é conhecido como Modelo de Holt-Winters. Pode-se observar que na equação (3.11) foi incluído um novo parâmetro para “captar” o efeito da sazonalidade sobre as vendas. Atenta-se que um procedimento de atualização paramétrica similar ao expresso na equação (3.7) será utilizado para atualizar sequencialmente os parâmetros deste modelo. Este procedimento pode ser visualizado nas equações (3.12) a (3.14) a seguir:

$$\hat{a}_1(T) = \alpha * \frac{Z_T}{\hat{\rho}_t(T-1)} + (1 - \alpha) * [\hat{a}_1(T-1) + \hat{a}_2(T-1)] \quad (3.12)$$

$$\hat{a}_2(T) = \beta * [\hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T-1)] + (1 - \beta) * [\hat{a}_2(T-1)] \quad (3.13)$$

$$\hat{\rho}_t(T) = \gamma * \frac{Z_T}{\hat{a}_1(T)} + (1 - \gamma) * [\hat{\rho}_t(T-1)] \quad (3.14)$$

Pela equação (3.12) acima, vê-se que o nível estimado é função da última observação, do fator sazonal estimado no instante anterior (mesmo mês do ano anterior) e estimativas anteriores do nível e tendência. Vê-se que o termo  $\frac{Z_T}{\hat{\rho}_t(T-1)}$  representa a observação no instante T dessazonalizada. Já pela equação (3.13), observa-se que a taxa de crescimento (tendência)

estimada é função dos níveis estimados em  $T$  e  $T-1$  e da taxa de crescimento estimada anteriormente. Por fim, pela equação (3.14), vê-se novamente a ideia básica do método de amortecimento exponencial de atualizar os parâmetros do modelo atribuindo pesos diferenciados à “idade da informação”, ou seja, ponderando “presente” e “passado” de forma diferenciada. Esta equação indica que o fator sazonal correspondente ao período  $T$  é função do fator sazonal correspondente ao mesmo período no ano anterior e também da última observação. Logo, observa-se que o fator sazonal correspondente a certo “mês”, por exemplo, só é atualizado uma vez por ano, ao se receber o dado referente àquele “mês”. Pode-se observar também que existem três constantes de amortecimento ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ), uma para cada parâmetro (nível, tendência sazonalidade) a ser atualizado.

Conforme apresentado por Zanini (2012), é importante ressaltar que existem procedimentos de otimização implementados nos softwares que permitem a determinação dos valores destas. Importante registrar, também, que existe apenas um valor para cada uma das constantes de amortecimento e este valor é encontrado utilizando o histórico de dados sob análise. Portanto, a constante de amortecimento pode ser definida como uma quantidade fixa que é utilizada para fazer a atualização sequencial dos parâmetros. Este conceito caracteriza o modelo obtido através do método de amortecimento exponencial como um modelo com “validade local”, ou seja, a cada instante de tempo, a cada dado real que chega, é feita uma atualização dos parâmetros do modelo com base nas equações descritas anteriormente, sendo que os fatores responsáveis por esta atualização são exatamente as constantes de amortecimento ou hiperparâmetros.

Em determinadas situações, faz-se mister intervir nos valores projetados por um modelo do tipo Holt (equação 3.8). No modelo de Holt, vê-se que são estimados dois parâmetros, um para o nível e outro para a tendência. Dependendo da “magnitude” do parâmetro de tendência, pode-se gerar previsões “explosivas” (muito altas) no horizonte de previsão. Uma maneira de se corrigir este problema, é realizar o que se denomina de damped trend. Neste procedimento, inclui-se mais um hiper parâmetro no modelo conforme a equação 3.15 a seguir. Esta equação já representa a equação de previsão. Vê-se que a função deste hiper parâmetro é reduzir a tendência no horizonte de previsão.

$$z_T = \hat{a}_1(T) + \sum_{j=1}^{\tau} \varphi^{j-1} * \hat{a}_2(T) * \tau + \varepsilon_t \quad (3.15)$$

### 3.3 Equações de previsão

De acordo com Zanini (2012), é importante entender que, na seção anterior, foram apresentados os modelos de amortecimento exponencial e as consequentes equações de atualização paramétrica. Desta forma, é importante que se tenha em mente a forma da equação que gerará as previsões. Para cada um dos casos (vendas constantes, vendas com tendência e vendas com tendência e sazonalidade), a equação de previsão é apresentada a seguir:

$$\hat{z}_t(\tau) = \hat{a}_1(T) + \varepsilon_t \quad (3.16)$$

$$\hat{Z}_t(\tau) = \hat{a}_1(T) + \hat{a}_2(T) * \tau + \varepsilon_t \quad (3.17)$$

$$\hat{Z}_t(\tau) = \hat{a}_1(T) + \hat{a}_2(T) * \tau + \varepsilon_t \quad (3.18)$$

Onde:

$\hat{a}_1(T)$ : estimativa do parâmetro de nível atualizado no instante T

$\hat{a}_2(T)$  : estimativa do parâmetro de tendência atualizado no instante  $T^{(T)}$

$\rho_{\rho(T+\tau)}$ : =estimativa do parâmetro de sazonalidade referente ao mês  $T+\tau$ , atualizado até o instante T.

$\tau$ : horizonte de previsão

O procedimento de *damped trend* pode ser também aplicado ao modelo de Holt-Winters. Portanto, a introdução do parâmetro  $\phi$  (equação 3.15) pode ser também feita na equação 3.18.

### 3.4 Avaliação do desempenho do modelo de previsão

De acordo com Zanini (2012), sabe-se que o processo de estimação de uma equação de previsão passa pela análise da estrutura de correlação dos dados históricos e da representação desta, por exemplo, através do cálculo de fatores como nível, tendência e sazonalidade. Estimados os parâmetros do modelo, o que se faz, antes de calcular as previsões, é projetar os valores históricos de forma a comparar os valores reais e os valores “ajustados”. Esta comparação fornece o nível de erro de previsão gerado pelo modelo ao se projetar os dados históricos. Este nível de erro, calculado para as previsões um passo-à-frente, ou seja, um período à frente, constitui um “indicador” do desempenho preditivo do modelo para o

horizonte futuro (caso não aconteçam grandes mudanças no processo gerador da série histórica).

Em síntese, a partir da comparação dos valores reais e dos valores “ajustados” pelo modelo, podem ser calculadas várias métricas para medir o desempenho. Estas medidas servem, então, para avaliar o desempenho do modelo estimado dentro da amostra de dados utilizados na modelagem.

### 3.4.1 MAPE (Mean Absolute Percentual Error)

O MAPE (erro médio absoluto percentual) é calculado através da diferença entre valores estimados e reais e equivale às previsões um passo-à-frente (por exemplo, para o mês seguinte) e é obtido da seguinte maneira:

$$\frac{\sum_{t=1}^N \frac{|y(t) - \hat{y}(t)|}{y(t)} \times 100}{N} \quad (3.19)$$

Onde:

$y(t)$  = valor da série temporal no período (t);

$\hat{y}(t)$  = valor ajustado da série temporal para o período (t);

N = total de dados utilizados (total de observações).

### 3.4.2 Coeficiente de explicação ajustado ( $R^2$ ajustado)

O coeficiente de explicação ajustado ( $R^2$  ajustado) tem interpretação similar ao coeficiente de explicação, ou seja, indica o quanto da variação total dos dados é explicada pelo modelo. Entretanto, faz-se uma correção tendo em vista a quantidade de parâmetros no modelo. Veja a equação a seguir:

$$R_{aj}^2 = \left( 1 - \frac{\sum_{t=1}^N \frac{(y(t) - \hat{y}(t))^2}{N-k}}{\sum_{t=1}^N \frac{(y(t) - \bar{y})^2}{N-1}} \right) \times 100 \quad (3.20)$$

Onde:

$y(t)$  = valor da série temporal no período (t);

$\hat{y}(t)$  = previsão da série temporal para o período (t);  
 $\bar{y}$  = média das observações (média da série temporal);  
 N = total de dados utilizados (total de observações);  
 k = número de parâmetros do modelo.

### 3.5 Testes de hipóteses baseados na função de autocorrelação (ACF) dos resíduos

Idealmente, se a especificação do modelo está correta, os resíduos devem ser “brancos”, isto é, não devem apresentar qualquer tipo de estrutura ou dependência. A existência de autocorrelações significantes nos resíduos revela que algum tipo de estrutura não foi devidamente considerado no modelo, de acordo com Zanini (2012).

#### 3.5.1 Portmanteau ou Ljung-Box

Ainda, segundo Zanini (2012), por meio do teste de Portmanteau ou Ljung-Box é testada a hipótese de que as “K” primeiras autocorrelações ( $\rho$ ) são nulas, isto é:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$$

Estatística usada no teste:

$$Q = \frac{T(T+2) \sum_{i=1}^k r_i^2}{(T-i)} \quad (3.21)$$

A partir do resultado do teste, é apresentada a regra de decisão, onde rejeita-se a hipótese nula (autocorrelações nulas) se “Q” é “grande” quando comparado a um percentil apropriado da densidade qui-quadrado.

Atenta-se que a metodologia supracitada foi aplicada sobre os dados do consumo total de energia elétrica no Brasil e em suas regiões. Os resultados serão apresentados no próximo capítulo.

## CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

### 4.1. Base de dados

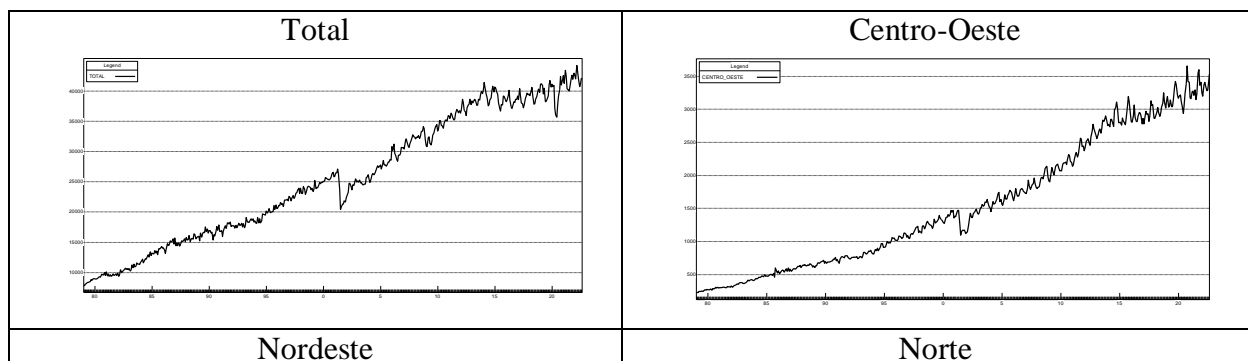
A base de dados utilizada para a realização deste trabalho compreende os dados relacionados ao consumo de energia elétrica no Brasil, em GWh, compreendendo o período de janeiro de 1979 a setembro de 2020. Desta forma, cada série histórica é composta por 525 observações. Os dados foram obtidos através do site do IPEADATA. As análises foram realizadas com a utilização do *software Forecast pro for Windows, FPW*.

Como optou-se por trabalhar com todo o histórico disponível de dados de consumo, mais especificamente o período de janeiro de 1979 a setembro de 2022, objetivando fazer uma modelagem de eventos com foco na pandemia da Covid-19, fez-se também a modelagem de um choque de oferta acontecido no início dos anos 2000. Desta forma, será modelado o impacto de dois eventos: Choque de Oferta e Pandemia.

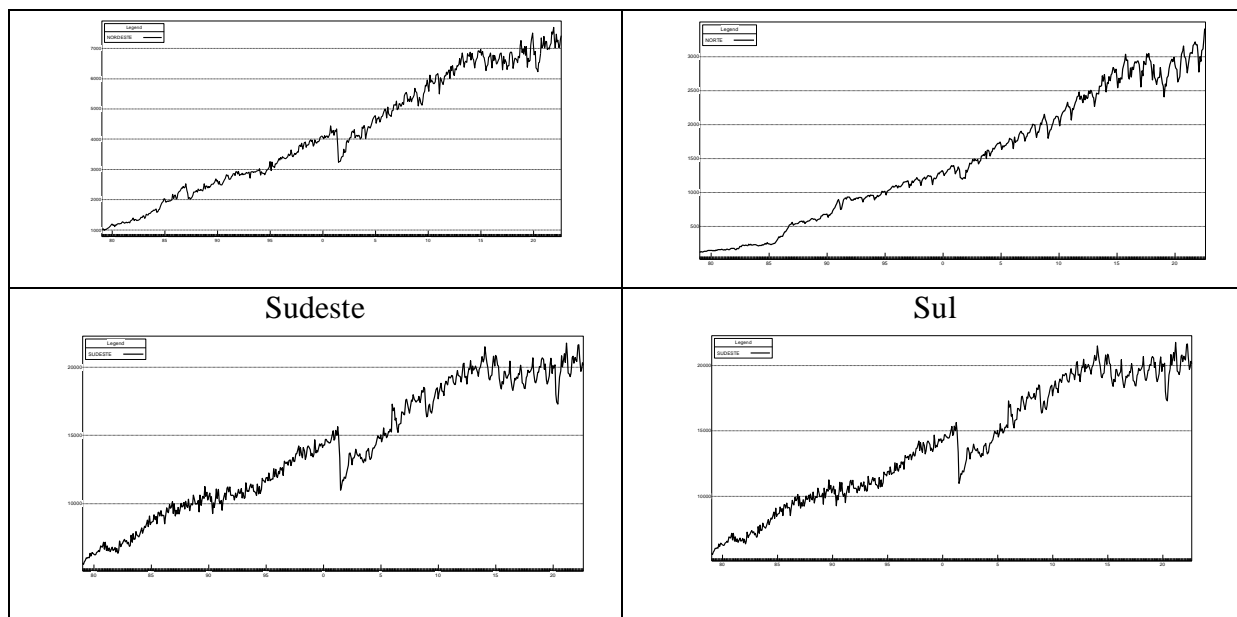
Para a modelagem de eventos, esse trabalho, para captar o feito do Choque de Oferta, considerou o período de maio de 2001 a março de 2002. Já para captar o efeito da Pandemia foi considerado o período de março de 2020 a setembro de 2020.

A seguir, na figura 4, é apresentado a série histórica do consumo em GWh do total Brasil e das 5 regiões de forma isolada, onde é possível observar os dois períodos utilizados para captação dos eventos supramencionados. Também pode-se observar um certo padrão sazonal tanto no consumo total quanto no consumo por regiões.

**Figura 4: Consumo de Energia (GWh)**







Fonte: Elaboração própria

## 4.2 Análise sem modelagem de eventos

Atenta-se que, num primeiro momento, a metodologia aplicada no Capítulo 3 será realizada sem a modelagem dos eventos. Posteriormente será incluído um parâmetro na estimação da equação de previsão que possa captar os efeitos dos dois eventos: Choque de Oferta e Pandemia. Os resultados da estimação dos modelos, sem a modelagem de eventos, podem ser vistos nas tabelas 3 e 4. Foi estimado o Modelo de Holt-Winters (equação 3.11) para todas as séries de consumo. Na tabela 3 são apresentados os parâmetros e hiperparâmetros de nível, tendência e sazonalidade. Na tabela 4 são apresentados os fatores sazonais de janeiro a dezembro para o total e regiões.

Na tabela 3 pode ser observado que tanto para o consumo total quanto para o consumo em regiões, para se estimar o parâmetro de nível, foi dado um peso maior para o presente do que para o passado. Já para estimar o parâmetro de tendência, acontece o inverso, ou seja, se pondera mais o passado do que o presente. Na estimação dos fatores sazonais, com exceção do consumo nas regiões Norte e Sul, onde se pondera mais o presente, nas demais variáveis de consumo, pondera-se mais o passado do que o presente.

**Tabela 3: Estimação Paramétrica – Sem Modelagem De Eventos**

CONSUMO	PARÂMETROS			HIPERPARÂMETROS		
	NÍVEL	TENDÊNCIA	SAZONALIDADE*	NÍVEL	TENDÊNCIA	SAZONALIDADE
TOTAL	41.956,00	57,2540	1,02210	0,77390	0,00213	0,48548
CENTRO-OESTE	3.359,00	6,0808	1,05597	0,71995	0,00296	0,33257
NORDESTE	7.454,00	11,2060	1,03120	0,71538	0,00229	0,28116
NORTE	3.280,40	6,1500	1,03761	0,81258	0,00296	0,87944
SUDESTE	20.139,00	-	1,02408	0,70713	-	0,34233
SUL	7.793,40	12,264	0,98554	0,63404	0,00262	0,54408

Fonte: Elaboração própria. Nota: \*Fator sazonal de outubro

**Tabela 4: Estimação Paramétrica – Fatores Sazonais – Sem Modelagem De Eventos**

CONSUMO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
TOTAL	1,01320	1,00110	1,02160	0,99704	0,98107	0,96665	0,97319	0,99080	1,00404	1,02210	1,01807	1,01312
CENTRO-OESTE	0,96150	0,96408	0,98693	1,00683	1,00081	0,98602	0,98266	1,01600	1,05274	1,05597	1,01246	0,97906
NORDESTE	1,01290	0,97313	1,01622	0,99482	0,99969	0,97311	0,97635	0,98710	0,99303	1,03120	1,02218	1,02260
NORTE	0,96893	0,92583	0,99086	0,97385	1,00603	1,00182	1,02228	1,04105	1,02791	1,03761	1,00783	1,00195
SUDESTE	1,01571	1,00735	1,02166	1,00135	0,97563	0,96139	0,96463	0,98495	1,00755	1,02408	1,02525	1,01338
SUL	1,06249	1,06445	1,06462	0,99819	0,95753	0,94512	0,96140	0,97766	0,97176	0,98554	1,00157	1,01976

Fonte: Elaboração própria

### 4.3 Análise com modelagem de eventos

Neste momento, importante ressaltar que foi introduzido um parâmetro na equação 3.11 que pudesse captar o feito de dois eventos. O Evento 1 corresponde ao Choque de Oferta ocorrido no início dos anos 2000. Já o Evento 2 corresponde à Pandemia. Os resultados podem ser vistos nas tabelas 5 e 6.

**Tabela 5: Estimação Paramétrica – Com Modelagem De Eventos**

VARIÁVEL	PARÂMETROS					HPERPARÂMETROS			
	NÍVEL	TENDÊNCIA	SAZONALIDADE*	EVENTO1	EVENTO2	NÍVEL	TENDÊNCIA	SAZONALIDADE	EVENTO
TOTAL	42.392,00	62,1460	1,02244	0,92830	0,99199	0,56896	0,00147	0,37763	0,99862
CENTRO-OESTE	3.380,00	5,7490	1,07392	0,88627	1,00915	0,39496	0,00134	0,35389	0,99982
NORDESTE	7.432,20	12,0650	1,03325	0,90546	0,96965	0,51400	0,00201	0,19266	0,99615
NORTE	3.294,10	5,8681	1,03471	0,97243	0,98276	0,70819	0,00142	0,37867	0,99997
SUDESTE	20.462,00	-	1,02247	0,90467	0,99869	0,53324	-	0,35714	0,99947
SUL	7.886,70	12,187	0,98017	0,97621	0,98486	0,49006	0,00122	0,38695	0,87583

Fonte: Elaboração própria. Nota: \*Fator sazonal de outubro; EVENTO1: Choque de Oferta, EVENTO2: Pandemia

**Tabela 6: Estimação Paramétrica – Fatores Sazonais – Com Modelagem De Eventos**

CONSUMO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
TOTAL	1,01989	1,00570	1,02882	1,00722	0,98211	0,95958	0,96148	0,98150	0,99767	1,02244	1,01877	1,01797
CENTRO-OESTE	0,96933	0,96622	0,98380	0,99826	0,98759	0,97655	0,96754	1,00172	1,05476	1,07392	1,02691	0,99990
NORDESTE	1,01594	0,97166	1,01547	0,99505	0,99597	0,96805	0,97144	0,98727	0,99292	1,03325	1,02736	1,02864
NORTE	0,97797	0,93421	0,99791	0,97813	1,00429	0,99462	1,01089	1,02818	1,02408	1,03471	1,01074	1,00846
SUDESTE	1,02342	1,01472	1,03514	1,01808	0,97905	0,95306	0,95157	0,97122	0,99726	1,02247	1,02140	1,01738
SUL	1,06210	1,06738	1,06618	1,01222	0,96821	0,94897	0,95590	0,97141	0,96161	0,98017	0,99862	1,01782

Fonte: Elaboração própria

Ao comparar as tabelas 3 e 4 com as tabelas 5 e 6, percebe-se uma diferença nos valores dos parâmetros de nível, de tendência e de sazonalidade, bem como no valor dos hiperparâmetros. Importante destacar que a modelagem de eventos permite informar que determinada mudança de nível, neste caso uma queda do consumo de energia, não é um movimento natural da série, mas um movimento resultante de um evento externo. Desta forma, verifica-se, por exemplo, ao se “isolar” o efeito dos eventos, que há um aumento dos parâmetros de nível. Como visto no capítulo 3, o MAE é adaptativo, ou seja, a cada dado que chega, faz-se uma atualização dos parâmetros do modelo através dos hiperparâmetros. Isto significa que naturalmente o movimento de queda do consumo seria captado com a chegada dos dados. Entretanto, a modelagem de eventos permite que se capte os efeitos de “fenômenos” não naturais na evolução natural dos dados.

Observando a tabela 5, vê-se, por exemplo, que o choque de oferta impactou o consumo de energia de 3% (Norte) a 11% (Centro-Oeste). Já a pandemia teve um impacto menor, de 1% (Total) a 3% (Nordeste). Em algumas regiões como Centro-Oeste e Sudeste o impacto foi praticamente imperceptível.

Apresentados os resultados da estimação paramétrica, na tabela 7 podem ser observados os resultados do desempenho preditivo dos modelos com análise de intervenção. Os modelos explicam, em média, 99,63% a evolução do consumo, e possuem um MAPE, em média, em torno 1,97%. Em síntese, os modelos explicam cerca de 99% da evolução do consumo e possuem em erro percentual em torno de 2%, para baixo ou para cima, para prever o próximo mês.

**Tabela 7: Desempenho Preditivo (%)**

CONSUMO	R2 ajustado	MAPE
TOTAL	99,69	1,68
CENTRO-OESTE	99,77	2,15
NORDESTE	99,71	1,71
NORTE	99,81	2,11
SUDESTE	99,16	2,27
SUL	99,65	1,92

Fonte: Elaboração própria

Antes de se apresentar as previsões dos modelos, atenta-se que foi realizado o teste de Ljung-Box para verificar a estrutura de autocorrelação dos erros. Não se observou erros correlatados.

Nas tabelas 8 e 9 pode-se observar as previsões (em GWh) geradas pelos modelos com análise de intervenção. Na tabela 8 podem ser vistas as previsões usando a abordagem bottom-up, ou seja, não é utilizado o modelo do consumo total, mas sim os modelos estimados para as regiões. Já na tabela 09, podem ser vistas as previsões obtidas através da abordagem top-down, ou seja, não são utilizados os modelos por região, mas sim o modelo estimado para o consumo total, desagregando suas previsões para cada uma das regiões.

**Tabela 8: Previsões (Em GWh) Através Da Abordagem Bottom-Up Com Modelagem De Eventos**

	CENTRO_OESTE	NORDESTE	NORTE	SUDESTE	SUL	TOTAL
out/22	3.636	7.692	3.415	20.922	7.742	43.406
nov/22	3.483	7.660	3.341	20.900	7.900	43.284
dez/22	3.397	7.682	3.340	20.817	8.065	43.301
jan/23	3.299	7.600	3.245	20.941	8.428	43.512
fev/23	3.294	7.280	3.105	20.763	8.483	42.925
mar/23	3.359	7.621	3.322	21.181	8.487	43.970
abr/23	3.414	7.479	3.262	20.832	8.069	43.057
mai/23	3.383	7.498	3.355	20.033	7.730	42.001
jun/23	3.351	7.300	3.329	19.501	7.588	41.070
jul/23	3.326	7.337	3.389	19.471	7.655	41.179
ago/23	3.449	7.469	3.453	19.873	7.792	42.035
set/23	3.638	7.523	3.446	20.406	7.725	42.737
out/23	3.710	7.841	3.487	20.922	7.886	43.846
nov/23	3.554	7.809	3.413	20.900	8.046	43.721
dez/23	3.466	7.831	3.411	20.817	8.213	43.739

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 9: Previsões (Em GWh) Através Da Abordagem Top-Down Com Modelagem De Eventos**

	CENTRO_OESTE	NORDESTE	NORTE	SUDESTE	SUL	TOTAL
out/22	3.636	7.692	3.415	20.922	7.742	43.407
nov/22	3.485	7.666	3.344	20.914	7.906	43.314
dez/22	3.400	7.690	3.343	20.838	8.072	43.344
jan/23	3.297	7.596	3.243	20.930	8.424	43.489
fev/23	3.295	7.284	3.106	20.773	8.487	42.946
mar/23	3.361	7.625	3.324	21.194	8.492	43.997
abr/23	3.421	7.493	3.268	20.870	8.084	43.136
mai/23	3.393	7.520	3.365	20.091	7.753	42.122
jun/23	3.363	7.326	3.341	19.570	7.615	41.215
jul/23	3.340	7.369	3.404	19.555	7.689	41.357
ago/23	3.469	7.512	3.473	19.988	7.837	42.279
set/23	3.663	7.576	3.470	20.549	7.779	43.037
out/23	3.737	7.899	3.513	21.076	7.944	44.169
nov/23	3.582	7.872	3.440	21.068	8.111	44.074
dez/23	3.495	7.896	3.439	20.991	8.282	44.103

Fonte: Elaboração própria

Apesar das tabelas 08 e 09 apresentarem apenas os resultados das previsões, é importante ressaltar neste momento uma vantagem de se trabalhar com modelos estatísticos aplicados à análise de séries de tempo. Não se obtém apenas um número, a previsão, mas sim um intervalo de confiança que possui determinada probabilidade de conter o valor da previsão. Isto possibilita, por exemplo, que se crie cenários diferenciados de planejamento. O limite inferior, por exemplo, poderia ser visto como um cenário “pessimista”. Já o limite superior como um cenário “otimista”. Já o valor da previsão como um cenário “esperado”.

Outra vantagem de se trabalhar com os modelos mensurando o efeito de eventos, é que, ao se calcular as previsões, pode-se fazer cenários considerando a ocorrência destes efeitos no futuro. Isto significa que, por exemplo, a partir das equações de previsão estimadas neste trabalho, poder-se-ia fazer cenários diversos considerando-se ou não a ocorrência de choques de oferta e/ou um recrudescimento da pandemia.

## CAPÍTULO V- CONCLUSÕES

O setor de energia é estratégico para todo o país e requer sempre inovação e ampliação de capacidades a fim de contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do país. Dada a relevância desta área, este trabalho monográfico visou modelar o consumo total de energia elétrica. Fez-se uma análise também por regiões.

A principal fonte de energia no Brasil é originada nas hidrelétricas que foram construídas em todo o país e atualmente respondem por 62% da capacidade de geração de energia elétrica instalada. O setor também conta com outros meios de produção de energia como as termelétricas, energia eólica e até mesmo energia solar que vem ganhando cada vez mais destaque no cenário.

Viu-se que ao longo dos tempos importantes transformações ocorreram visando ofertar um produto como maior qualidade e disponibilidade para todos. O país possui uma das maiores redes de produção de energia estando entre os 10 maiores geradores do mundo.

A energia elétrica é consumida por todos os setores da sociedade. A pandemia da Covid-19 no ano de 2020 promoveu mudanças na dinâmica social com o fechamento de escolas, indústrias, comércio e setores de serviço. Este trabalho monográfico procurou, portanto, mensurar o impacto da pandemia no consumo de energia. Por ter optado por trabalhar com as séries históricas desde o ano de 1979, o trabalho captou ainda o efeito do choque de oferta ocorrido no início dos anos 2000.

Foi utilizada a análise estatística aplicada a séries de tempo, mais especificamente o Método de Amortecimento Exponencial (MAE) com análise de eventos. Foi feita ainda uma abordagem em múltiplos níveis. Os resultados indicaram que o choque de oferta impactou o consumo de energia de 3% (Norte) a 11% (Centro-Oeste). Já a pandemia teve um impacto menor, de 1% (Total) a 3% (Nordeste). Em algumas regiões como Centro-Oeste e Sudeste o impacto foi praticamente imperceptível.

Através da realização deste trabalho, foi possível verificar que, apesar do MAE ser um método adaptativo que a cada instante de tempo atualiza os parâmetros do modelo ponderando presente e passado, ao se fazer uma análise de evento, pode-se obter uma

estimação paramétrica mais ajustada à realidade, na medida que se separa o que pode ser provocado por fenômenos que não necessariamente estão relacionados a um movimento natural os dados de consumo.

Foi possível também perceber com este trabalho que é possível se gerar cenários diferentes a partir do momento que os modelos não geram apenas uma previsão, mas sim uma probabilidade de que esta previsão estará entre um limite inferior e um limite superior. Além disto, a modelagem de eventos permite ainda fazer cenários futuros considerando ou não a ocorrência destes eventos no cenário de planejamento.

Como sugestão de trabalhos futuros, poder-se-ia utilizar outros métodos de previsão autoprojativos como, por exemplo, o método univariado de Box & Jenkins, ou métodos que utilizem outras variáveis na estimação da equação de previsão. Nestes métodos como, por exemplo, a Regressão Dinâmica, é possível estimar as elasticidades entre a variável de interesse e outras variáveis explicativas. Nestes métodos também é possível fazer análises de impactos de eventos. Desta forma, pode-se promover uma competição entre estes métodos para selecionar àquele que mais se aproxima da realidade.

Por fim, importante destacar que a utilização dos métodos de análise matemática e estatística permitem que se gere previsões através de critérios objetivos e que podem ser ferramentas que deem suporte à tomada de decisões como, por exemplo, nos trabalhos de planejamento de mercado.



## REFERÊNCIAS

ABRACEEL. **Cartilha mercado livre de energia elétrica**. Brasília: ABRACEEL, 2019.

BAJAY, Sergio Valdir. Evolução do planejamento energético na última década e desafios pendentes. **Revista Brasileira de Energia**, v. 19, n. 1, p. 255-266, 2013.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Focus – Relatório de mercado – Todas as publicações**. Disponível em: < <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus/cronologicos>> Acesso em: 15 mar. 2021

BEZERRA, Francisco Diniz. Panorama da infraestrutura no nordeste do Brasil: energia elétrica. **Caderno Setoria ETENE**, a. 4, n. 65, p. 1-20, 2019.

\_\_\_\_\_. Distribuição de energia elétrica. **Caderno Setoria ETENE**, a. 4, n. 100, p. 1-9, 2019.

BORGES, Fabricio Quadros. Estrutura institucional do setor de energia elétrica no Brasil e o desenvolvimento sustentável. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 2, n. 3, p. 198-212, 2021.

BRASIL. **Ipeadata**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

CASTRO, Nivalde de *et al.*,. **Perspectivas da economia do hidrogênio no setor energético brasileiro**. Rio de Janeiro: GESEL, 2021.

CORREA, Jheison Mota; *et al.* O impacto da pandemia no setor elétrico. **Revista Mythos**, v. 15, n. 1, p. 181-193, 2021.

ENEL DISTRIBUIÇÃO. **Especificação técnica nº 407**, 2019. Disponível em: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/rj/documentos/CNC-OMBR-MAT-19-0407-EDBR-Fornecimento%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20em%20Alta%20Tens%C3%A3o%20-%20138-69%20kV.pdf>>. Acesso em: 05 nove. 2022.

EPE. **Relatório Síntese 2022**: ano base 2021. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2022\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2022

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico de energia elétrica 2022**: ano base 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2022.

\_\_\_\_\_. **Balço Energético Nacional - BEN 2021**. Empresa de Pesquisa Energética, v. 1, n. 1, p. 268, 2021.

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico de energia elétrica 2021**: ano base 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario2021.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

\_\_\_\_\_. **Balanco Covid-19 – Impactos nos mercados de energia no Brasil: 1º semestre de 2020.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-covid-19-impactos-nos-mercados-de-energia-no-brasil-1-semester-de-2020>> Acesso em: 15 mar. 2021

FERREIRA, André Luís; SILVA, Felipe Barcellos e. Universalização do acesso ao serviço público de energia elétrica no Brasil: evolução recente e desafios para a Amazônia legal. **Revista Brasileira de Energia**, v. 27, n. 3, p. 135-154, 2021.

FILHO, G.L.T.; SANTOS, I. F. S.; BARROS, R.M. **Estimativa de custos de PCHs pelo parâmetro universal Fator de Aspecto (FA)**, 2014.

IBGE. Logística de energia 2015: **Redes e Fluxos do Território**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

KOOP, Bruno César. **Fontes alternativas de energias renováveis**. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Faculdade Anhanguera de Jaraguá do Sul, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/20622/1/BRUNO%20CEZAR%20KOPP.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2022.

LEAL, M. **Energia, parceria e liberdade**. São Paulo: Roberta Garattoni e Julia Yamaguchi ed., 2017.

LIMA, Ariadne Camargo; MACHADO JUNIOR, José Carlos. A utilização da energia solar no Brasil: comparação com outros Estados. In: CUSTÓDIO, Maraluce M (Org.). **Energia e Direito: Perspectivas para um diálogo de sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Editora Lumen Juris, 2015.

LIMA, R. G. **Comercialização de energia** – alguns conceitos e princípios in LANDAU, Elena (coord.). Regulação jurídica do setor elétrico. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2006.

MENDONÇA, A. F; DAHL, C. The Brazilian electrical system reform. **Energy Policy**, v. 27, n. 2, p. 73-83, 1999.

MONTGOMERY, D.C., JOHNSON, L.A. **Forecasting and Time Series Analysis**, New York, McGraw-Hill Book Co., 1990.

MORENO, M. A. P., MANZANO, E. S.; MORENO, A. J. P. Biomass as Renewable Energy: **World Wide Research Trends Sustainability**, v. 11, n. 863, p. 1-19, 2019.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. Energia Solar no Brasil: Situação e perspectivas. **Consultoria Legislativa, Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos**, 2017. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/32259>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

NEOENERGIA. **Energia eólica: ventos do nordeste**, 2022. Disponível em: <<https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/meio-ambiente/Paginas/energia-eolica-ventos-do-nordeste.aspx#:~:text=Dos%20619%20parques%20e%20licos%20instalados,para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20hidrel%C3%A9trica.>>. Acesso em: 05 out.

2022.

OLIVEIRA, B. H. A. M. *et al.* Um modelo de previsão do consumo residencial de energia elétrica no Brasil. **CADERNOS DO IME – Série Estatística**, v.28, n.1, p. 15-31, junho 2010.

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial#:~:text=O%20Atlas%20Socioecon%C3%B4mico%20do%20Estado,anos%20de%201998%20e%202002.>>. Acesso em: 15 set. 2022.

SANARMED. **Linha do tempo do Coronavírus no Brasil**. Disponível em: <<https://www.sanarmed.com/linha-do-tempo-do-coronavirus-no-brasil>> Acesso em: 15 mar. 2021

SCHOR, J. M. **Abertura do mercado livre de energia elétrica: vantagens e possibilidades do Retail Wheeling no Brasil**. Rio de Janeiro: Synergia, 2018.

SENHORAS, E. M. Coronavírus e o papel das pandemias na história humana. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v.1, n.1, p.31-34, janeiro 2020.

SIFAEG. **Centro-oeste avança na produção de energia limpa**, 2021. Disponível em: <<https://sifaeg.com.br/centro-oeste-avanca-na-producao-de-energia-limpa/>>. Acesso em: 10 out. 2022.

SILVA, Karoline Beatriz de Oliveira, *et al.*, Uma análise da geração de energia elétrica em usinas hidrelétricas no Brasil. **Desvendando a Engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade**, v. 4, p. 83-104, 2022.

SILVA, Maria das Dores Ivana da; SILVA, João Marcus Pereira Lima e. Geração de energia elétrica a partir da biomassa: uma aplicação do bagaço da cana de açúcar. **Revista Multi Disciplinar do Sertão**, v. 3, n. 3, p. 313-322, 2021.

SUZUKI, Shin. **Amazônia gera 26% a energia elétrica do país, mas tem 1 milhão e pessoas no escuro**, 2022. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-61654989>>. Acesso em: 20 out. 2022.

TOLMASQUIM, Mauricio Tionmo. **Energia termelétrica: gás natural, biomassa, carvão, nuclear**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VIEIRA, Pedro Eduardo de Mesquita. **O mercado de energia elétrica: o modelo de precificação da energia e o impacto na indústria eletrointensiva**, em 84 especial no setor de alumínio. 2011. 35f. Monografia de Economia da Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: <[http://www.econ.puc-rio.br/uploads/adm/trabalhos/files/Pedro\\_Eduardo\\_de\\_Mesquita\\_Vieira.pdf](http://www.econ.puc-rio.br/uploads/adm/trabalhos/files/Pedro_Eduardo_de_Mesquita_Vieira.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2022.

ZANINI, A. **Modelos de Previsão para séries temporais. Material Didático**. Juiz de Fora/MG, 2012.