

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA

DANIEL GOMES RUZA

**O IMPACTO DA PANDEMIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA
CLASSE RESIDENCIAL NO BRASIL**

JUIZ DE FORA
2021

DANIEL GOMES RUZA

**O IMPACTO DA PANDEMIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA
CLASSE RESIDENCIAL NO BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Economia, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Zanini

JUIZ DE FORA
2021

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

Ruza, Daniel Gomes.

O impacto da pandemia no consumo de energia elétrica na classe residencial no Brasil / Daniel Gomes Ruza. -- 2021.

56 p.

Orientador: Alexandre Zanini

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2021.

1. Energia Elétrica. 2. COVID-19. 3. Classe Residencial. 4. Regressão Dinâmica. I. Zanini, Alexandre, orient. II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos, principalmente às minorias sociais, que infelizmente não tiveram os privilégios econômicos e sociais que proporcionassem condições de se dedicarem ao estudo, mas que são, a todo tempo, cobrados por isso através de um discurso cruel e meritocrático. Que um dia isso mude, e que o acesso à educação seja universal.

AGRADECIMENTOS

Às três mulheres da minha vida: minha mãe, Rosana; minha avó, Eva; e minha tia, Maria Helena, que apesar das dificuldades, nunca me deixaram faltar nada, e sempre me incentivaram no estudo. A vocês, todo o meu amor e gratidão.

Ao meu eterno amigo, Rodrigo Linhares, por estar sempre ao meu lado, me apoiando nas dificuldades e comemorando nas vitórias.

Aos meus companheiros de morada Otávio Oliveira e Sávio Souza, por toda motivação e ajuda proporcionada.

A todos os professores do departamento de economia, em especial ao meu orientador e professor Alexandre Zanini, pelo conhecimento passado e pelos valores ensinados dentro e fora da sala de aula.

Sem vocês, este trabalho não seria possível. Sinto-me extremamente grato e privilegiado por ter pessoas tão especiais em minha vida.

RESUMO

Este trabalho apresenta um Modelo de Regressão Dinâmica (MRD) elaborado para mensurar o impacto da pandemia causada pela COVID-19 sobre o consumo de energia elétrica na classe residencial. Visto isso, este trabalho apresenta, em primeiro lugar, o processo histórico da evolução do Sistema Elétrico Brasileiro e um panorama geral dos efeitos da pandemia na economia e no consumo de energia elétrica residencial. Em seguida, é apresentada a metodologia a ser utilizada, explicando o conceito e como será estimado o modelo. Por fim, são apresentados os resultados obtidos através do MRD, indicando o desempenho preditivo do modelo. O modelo foi utilizado também para calcular as previsões sobre o consumo de energia elétrica nas residências, sendo os resultados comparados com as previsões dos órgãos responsáveis pelo setor, corroborando a importância da modelagem. Como resultado, as previsões indicam um aumento no consumo de energia elétrica na classe para os anos de 2021 e 2022.

Palavras-chave: energia elétrica; COVID-19; Classe residencial; Regressão dinâmica

ABSTRACT

This work presents a Dynamic Regression model designed to measure the impact of the pandemic caused by COVID-19 on household electricity consumption. In view of this, this work presents, at first, the historical process of the evolution of the Brazilian Electric System and an overview of the effects of the pandemic on economy and residential electricity consumption. Then, the methodology to be used is presented, explaining the concept and how the model will be estimated. Finally, the results obtained through the method are presented, indicating the predictive performance of the model. The model was also used to calculate forecasts on the electricity consumption in the residential class, and the results were compared with the forecasts of the parts responsible for the sector, corroborating the power of the modeling. As a result, forecasts indicate an increase in electricity consumption in the class for the year of 2021 and 2022.

Keywords: electricity; COVID-19; Residential class; Dynamic regression

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- BEN – Balanço Energético Nacional
- CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas
- CNAEE – Conselho Nacional das Águas e Energia Elétrica
- CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear
- DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- FHC – Fernando Henrique Cardoso
- FMI – Fundo Monetário Internacional
- GWh – Gigawatt-hora
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
- MME – Ministério das Minas e Energia
- MRD – Método de Regressão Dinâmica
- MWh – Megawatt-hora
- NBER – National Bureau of Economic Research
- OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
- PIB – Produto Interno Bruto
- RE-SEB – Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
- SIN – Sistema Interligado Nacional
- UE – União Europeia
- UHE – Usina Hidrelétrica
- UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelos Estruturais: Modelo Integrado.....	17
Figura 2 – Modelo de comercialização de energia no RE-SEB	18
Figura 3 – Principais agentes e suas funções.....	20
Figura 4 – Vendas de eletroeletrônicos no Brasil em 2020	28
Figura 5 – Construção de um modelo de Regressão Dinâmica.....	36
Figura 6 – Evolução das variáveis de Jan-10 à Mar-21	43
Figura 7 – Relação gráfica entre o consumo de energia elétrica residencial e as variáveis presentes no modelo	45
Figura 8 – Correlograma dos erros do modelo final.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de Energia Elétrica Residencial em GWh (1976-2020)	21
Gráfico 2 – Consumo final do setor residencial no Brasil, em toneladas equivalente de petróleo (tep)	23
Gráfico 3 – Taxa de desocupação no Brasil e nas grandes regiões, 4º trimestre de 2020	26
Gráfico 4 – Evolução da taxa de desocupação no Brasil: 1º Trimestre 2019 – 4º Trimestre 2020	26
Gráfico 5 – Crescimento do consumo de eletricidade, por classe. Cenário Referência x Cenários Alternativos	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis utilizadas para estimar o modelo final.....	42
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis presentes no modelo final.....	44
Tabela 2 – Evolução do consumo anual de energia elétrica na classe residencial (em GWh)	47

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO I – O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	14
1.1 – Histórico do setor	14
1.2 – Consumo de energia elétrica na classe residencial brasileira	20
CAPÍTULO II – OS EFEITOS DA PANDEMIA NA ECONOMIA	24
2.1 – Panorama geral da doença	24
2.2 – Efeitos da pandemia no consumo de energia elétrica residencial no Brasil	27
CAPÍTULO III – MÉTODO DE SÉRIES DE TEMPO: REGRESSÃO DINÂMICA	30
3.1 – Conceituação	30
3.2 – Estrutura dos modelos de Regressão Dinâmica	32
3.2.1 – Modelos de Regressão Cochrane-Orcutt Generalizados	33
3.3 – Construção de modelos de Regressão Dinâmica	34
3.4 – Testes usados nos modelos de Regressão Dinâmica	37
3.4.1 – Testes de verificação da “dinâmica” do modelo	37
3.4.2 – Testes para a verificação das variáveis causais	38
3.4.3 – Testes baseados na autocorrelação dos resíduos	39
CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS	41
CAPÍTULO V – CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	52

INTRODUÇÃO

O ano de 2020 foi marcado pela presença de um novo coronavírus, o SARS-CoV-2, popularmente chamado de Covid-19, caracterizada por uma síndrome respiratória aguda grave. A variante dessa doença foi constatada pela primeira vez na cidade de Wuhan, na China, ainda no final de 2019, mas devido a sua alta taxa de transmissão, logo no início de 2020 foi verificado casos em todos os continentes, podendo, portanto, ser classificado como uma pandemia. (Tozzi et al., 2020)

Vista a alta taxa de contágio da doença, todos os governos tiveram que tomar medidas urgentes para tentar conter e amenizar a situação enfrentada. Ainda que realizada a tentativa de contenção, o impacto causado pelo vírus foi grave e as consequências, imediatas. Uma das medidas adotadas para conter a propagação da doença entre os países foi o fechamento das fronteiras (Casa Civil, 2020). No tangente à situação interna, uma medida que se provou efetiva foi o distanciamento social, que por sua vez agravou a situação econômica dos países (Assis, 2020).

Um dos países que mais sofreram e ainda sofrem com a doença é o Brasil. Segundo dados da OMS (2021), o país é o terceiro maior em número de casos e segundo maior em número de mortes. Tais informações refletem no cenário econômico do país.

A fim de utilizar o consumo de energia elétrica como um indicador da atividade econômica em tempo real, Steve Cicala, professor do Departamento de Economia da Universidade de Tufts, está desenvolvendo um indicador da atividade econômica em tempo real levando em consideração o consumo de energia elétrica (NBER, 2020). Como apontado por Chen et al. (2020), o uso do consumo de eletricidade pode ser utilizado por para avaliar o impacto econômico em tempo real da Covid-19.

Segundo a Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, elaborado e publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), o setor mais impactado pela crise sanitária foi o comercial. Muito dessa queda se deve às medidas de restrição adotadas pelo Governo Federal e dos Estados para conter o avanço do novo coronavírus. Por sua vez, o setor que apresentou melhor desempenho para o ano de 2020 foi o residencial, visto uma maior permanência das

pessoas em suas residências, seja pela adoção do *home office* ou pelo respeito às medidas sanitárias.

Sendo assim, este trabalho tem como principal objetivo verificar o impacto da pandemia causada pela Covid-19 no consumo de energia elétrica da classe residencial no país, através da análise estatística aplicada a de séries de tempo utilizando o Método de Regressão Dinâmica (MRD).

Além disso, este trabalho tem como objetivo apresentar a estrutura do setor elétrico brasileiro, passando desde sua implementação até os dias atuais, como também abordar os impactos da crise sanitária sobre a economia, apresentando, por fim, o modelo utilizado para estimação do impacto na classe residencial.

A fim de atingir o objetivo, o trabalho se divide em cinco partes. A primeira, o Capítulo I, trata do histórico do setor elétrico brasileiro, apresentando ao final do capítulo sua atual estrutura. No Capítulo II será abordado os impactos da pandemia causada pela Covid-19 na economia como um todo, além dos efeitos sobre o consumo de energia nas residências brasileiras. No Capítulo III, é apresentado o método de séries de tempo que será utilizado, sendo neste caso o modelo de Regressão Dinâmica. No Capítulo IV serão analisados e discutidos os resultados obtidos no modelo obtido através do MRD, e também os dados sobre a previsão para o consumo de energia elétrica nas residências brasileiras para 2021 e 2022. Por último, o capítulo V apresenta as conclusões deste trabalho.

CAPÍTULO I – O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

1.1 – O Histórico do setor

A história do setor elétrico brasileiro começou na última década do Império no Brasil. Após voltar de uma viagem, em 1876, Dom Pedro II convidou Tomas Alva Edson a incluir aparelhos e processos voltados à utilização da eletricidade na iluminação pública. Três anos depois, em 1879, foi inaugurada a iluminação elétrica interna na Estação Central da Estrada de Ferro Dom Pedro II (atual Estação Central do Brasil), na cidade do Rio de Janeiro. Segundo Lima (1984), a organização do setor elétrico permaneceria sem grandes alterações em suas características básicas, permanecendo com pouca regulação do Estado até o final da República Velha.

Um ano depois, em 1880, a Diretoria Geral dos Telégrafos instalou a primeira iluminação externa pública no país na atual Praça da República (antiga Jardim do Campo da Aclamação), também na cidade do Rio de Janeiro (Camargo, 2005).

Em 1883 foi inaugurado o primeiro serviço de iluminação pública do Brasil e América do Sul. Na cidade de Campos dos Goytacazes foram instaladas trinta e nove lâmpadas supridas pela primeira central elétrica, que produzia, por meio de uma unidade termelétrica movida a vapor gerado em caldeira a lenha, 52KW (Gomes et al, 2002). Ainda no mesmo ano, foi inaugurada a primeira usina hidrelétrica no país, localizada em Ribeirão do Inferno, no município de Diamantina-MG, juntamente com a primeira linha de transmissão.

Em 1887, Porto Alegre passou a ser a primeira capital do país a ter um serviço permanente de fornecimento de energia elétrica exclusivo para consumidores particulares, através da produção da termelétrica Companhia *Fiat Lux*. Além do fornecimento de energia, havia também o fornecimento de todo o material demandado para a iluminação, inclusive as lâmpadas, como aponta Bicca (2010).

No ano de 1889, a Companhia Mineira de Eletricidade inaugurou a primeira hidrelétrica de grande porte do país, a Usina de Marmelos, em Juiz de Fora-MG, com dois alternadores monofásicos de 125KW, operando em 60 ciclos. Foi considerada um marco histórico na história do setor energético brasileiro pois foi a primeira usina hidrelétrica voltada especificamente para o atendimento de serviços públicos urbanos. (Memória da Eletricidade, 2001).

No mesmo ano, o país passou pela dissolução do Império e início da Primeira República, sob o comando do Marechal Deodoro da Fonseca. Dois anos depois, foi promulgada a Constituição de 1891, que estabeleceu, entre outras coisas, que as concessões para prestação de serviços de eletricidade seriam outorgadas pelas prefeituras municipais, especialmente no que tangente à distribuição, cabendo aos governos estaduais o poder com relação ao aproveitamento e à utilização das quedas d'água (Constituição, 1891).

Embora o país estivesse enfrentando uma crise monetária (Franco, 1990), o setor elétrico não parava de expandir. Sob o governo de Floriano Peixoto, foi inaugurada em 1892 a linha de bondes elétricos Flamengo-Jardim Botânico, na cidade do Rio de Janeiro, pela Companhia Ferro-Carril. Três anos depois, no governo de Prudente de Moraes, houve a implementação do serviço de iluminação elétrica em Belo Horizonte, na véspera da inauguração da cidade.

No governo de Nilo Peçanha, em específico no ano de 1909, foi fundado, no Rio de Janeiro, o Comitê Eletrotécnico Brasileiro, a primeira instituição brasileira que reuniu profissionais do ramo, um importante marco para as iniciativas de regulamentação e normatização do emprego da eletricidade. Ainda no mesmo ano, foi fundada a Companhia Brasileira de Energia Elétrica (Silva, 2011)

Após este período, somente nos anos de 1920 passaram a surgir mudanças relevantes no setor. Com a rápida expansão da produção agrícola nacional, centros urbanos e indústria nacional (Furtado, 2005), a demanda por energia elétrica aumentou, e iluminação e bondes elétricos ganharam cada vez mais espaço. Foi criado, então, a Comissão Federal de Forças Hidráulicas, primeiro órgão oficial relacionado à política do setor energético.

Durante os governos de Getúlio Vargas, diversas mudanças ocorreram no setor elétrico. A primeira delas foi estabelecer o fim da Cláusula-Ouro, impossibilitando que distribuidoras estrangeiras de energia elétrica corrigissem as tarifas de acordo com flutuações cambiais. Outra mudança foi a promulgação do Código de Águas, permitindo, entre outras coisas, que o poder público controlasse rigorosamente as concessionárias de energia elétrica pois, mesmo se tratando de propriedade privada, o uso de curso de água para aproveitamento industrial e geração de energia elétrica ficava vinculado à obtenção de concessão ou autorização do órgão federal competente (Silva, 2011), através do Decreto Nº 24.643 de 10 de julho de 1934.

Foi criado também, em 1939, o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica – CNAEE, por meio do Decreto-Lei Nº 1.285 de 18 de maio de 1939, responsável por consulta, orientação e controle quanto à utilização dos recursos hidráulicos e de energia elétrica. Além disso, em 1942, através do Decreto-Lei Nº 4.295, incorporou ao CNAEE as atribuições de estabelecer medidas de emergência relativas à indústria energética, em especial o racionamento de energia elétrica (Camargo, 2005).

Juscelino Kubitschek, então governador do estado Minas Gerais, em 22 de maio de 1952, criou, durante o segundo mandato presidencial de Getúlio Vargas, a Centrais Elétricas de Minas Gerais – CEMIG. No mês seguinte, Vargas criou a Comissão Mista Brasil – Estados Unidos, a fim de expandir a produção de energia elétrica em oito estados brasileiros. (Camargo, 2005)

Semelhante a Minas Gerais, o governo de São Paulo criou a Usinas Elétricas do Paranapanema – USELPA. Tanto ela quanto a CEMIG eram responsáveis por levar eletricidade para cidades mais afastadas da capital, visto que essas regiões eram menos lucrativas e, portanto, justificavam o desinteresse das multinacionais (Senado, 2017).

Dois anos depois, em 1954, Getúlio Vargas propôs a criação da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), mas o projeto só foi aprovado no governo Jânio Quadros, em abril de 1961, pela Lei 3.890-A e constituída apenas no ano seguinte, no Rio de Janeiro. Entre as atribuições da entidade está a promoção de estudos, projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações destinadas ao suprimento de energia elétrica do país. Além disso, contribuiu decisivamente para a expansão da oferta de energia elétrica e o desenvolvimento do país (Eletrobrás, 2021).

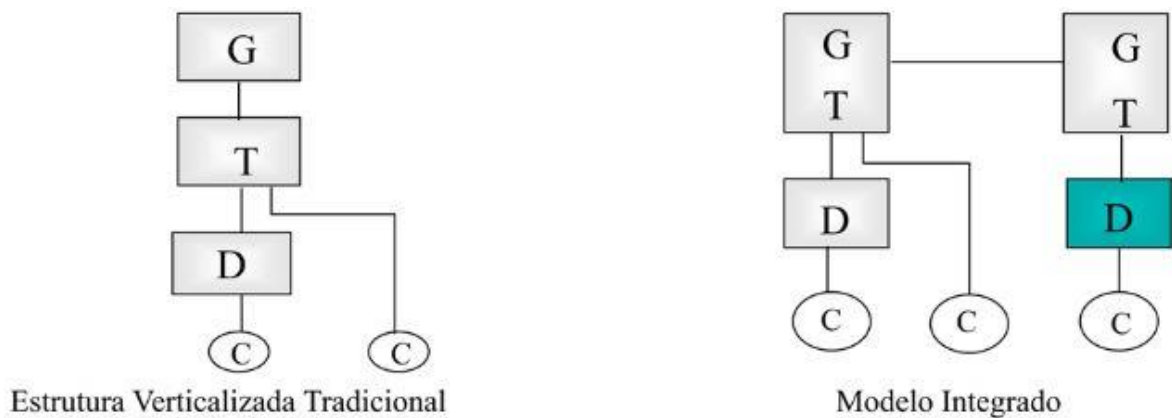
Sob a Lei Nº 3.782, de 22 de julho de 1960, foi criado o Ministério das Minas e Energia – MME, subordinando o CNAEE e a CNEN ao órgão (Silva, 2011).

Na década seguinte, em 26 de abril de 1973, os governos brasileiro e paraguaio assinaram o Tratado de Itaipu para o aproveitamento dos recursos do rio Paraná. No ano seguinte, deu-se início a construção da Usina, trabalho que durou 8 anos. Em 1982, foi

inaugurada, após mais de 50 mil horas de trabalho, a maior hidrelétrica do mundo, a Usina de Itaipu (Itaipu, 2021).

Conforme aponta Silva (2011), em meados da década de 1990, deu-se início ao Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro – RE-SEB, que tinha como objetivos a desverticalização das empresas de energia elétrica, o incentivo a competição na geração e comercialização e a manutenção da regulação sobre setores de distribuição e transmissão de energia elétrica (CCEE, 2021). A estrutura do setor antes dessa reformulação pode ser vista na Figura 1.

Figura 1- Modelos Estruturais: Modelo Integrado



Fonte: Silva (2011), apud Ramos (2011).

As alterações no modelo estrutural apresentado acima surgiram no ano de 1995, com as Leis 8.987/95 e 9.074/95. A primeira, conhecida também como Lei Geral das Concessões, estabeleceu o regime de concessão e permissão da prestação de todos os serviços públicos nos três níveis da federação, conforme aponta Rego (2007). A segunda Lei, segundo Landi (2006), estabeleceu que as concessões realizadas sem licitação após a Constituição de 1988 fossem canceladas, podendo ser submetidas à nova licitação. De maneira geral, é possível dizer que ela permitiu o início das primeiras privatizações (Silva, 2011).

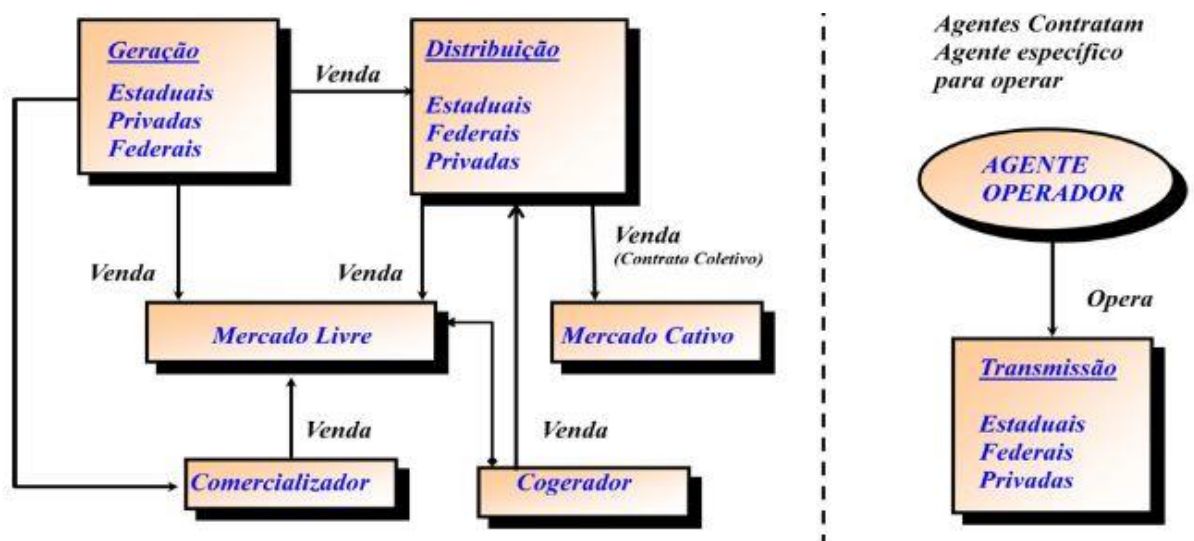
Durante o mandato de Fernando Henrique Cardoso, foi instituída, sob a Lei Nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996, a Agência Nacional de Energia Elétrica, autarquia com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, de acordo com a legislação e em conformidade com as diretrizes e políticas do governo

federal. Após a promulgação da lei, ficou extinto o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE (Silva, 2011).

Em 1998, foi regulamentado, através do Decreto Nº 2.655, o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, que tem como objetivos e responsabilidades principais estabelecer e conduzir de maneira eficiente o Mercado, promover o desenvolvimento contínuo do mesmo e tomar a corresponsabilidade pelo bom funcionamento e desenvolvimento do Setor Elétrico (ANEEL, 2001). Sob o mesmo Decreto, foi definida as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico. Dentre as atribuições do ONS, está a coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional – SIN e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização da ANEEL (ONS, 2021).

Para Silva (2011), o novo modelo estabelecido pelo RE-SEB permitiu aos agentes interagir com outros em quaisquer lugares atendidos pelo SIN, colocando um fim às reservas geográficas de mercado. Com isso, todo o sistema sofreu uma desverticalização e, de uma estrutura totalmente integrada, em que uma só empresa controlava a geração, transmissão e distribuição, houve uma grande separação, surgindo novos agentes no mercado: os comercializadores de energia. A estrutura do modelo estabelecido pelo RE-SEB pode ser vista na Figura 2.

Figura 2 – Modelo de comercialização de energia no RE-SEB



Fonte: Silva (2011), apud Ramos (2011).

Posteriormente, no final do mandato de Fernando Henrique Cardoso, a fim de mitigar os efeitos da crise energética de 2001, foi criada, em maio do mesmo ano, a Comissão de Análise do Sistema Hidrotérmico de Energia Elétrica e a Câmara da Gestão da Crise de Energia Elétrica – CGCE. Como aponta Silva (2011), a serviria para analisar o problema e identificar o desequilíbrio entre a oferta e demanda de energia elétrica no país. Já a CGCE deveria propor e implementar medidas para equilibrar a demanda com a oferta de energia.

Conforme explicitado por Landi (2006), os resultados mostraram que a maior parte das causas relacionadas ao apagão estavam associadas às mudanças implementadas pelo RE-SEB, não sendo o período de seca o principal responsável pela falta de eletricidade. No mês seguinte a instauração da CGCE, foi criado também o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico, responsável tanto pela elaboração de propostas de correções dos problemas vigentes quanto de medidas de aprimoramento do sistema como um todo.

Mais tarde, em 2003, deu-se início ao mandato de Luiz Inácio Lula da Silva. O começo do governo foi marcado pelo combate à crise energética enfrentada pelo país, sendo realizada diversas reformas para esse fim. Uma delas foi a interrupção do RE-SEB e das privatizações. Os novos estudos indicavam a incapacidade de atrair investimentos necessários para a expansão do segmento de geração e a elevação tarifária como principais causas da crise do modelo anterior (Silva, 2011).

Em julho de 2003, como destacado por Landi (2006), foi apresentada a Proposta de Modelo Institucional do Setor Elétrico, que listava diversos objetivos que deveriam ser atingidos para o pleno funcionamento do sistema. Após a aceitação por parte do governo de alguns desses objetivos, foi instituído pela Lei 10.848 de 15 de março de 2004, um novo modelo de governança conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Principais agentes e suas funções

Agentes	Funções
Conselho Nacional de Política Energética - CNPE	Homologação da política energética, em articulação com as demais políticas públicas
Ministério de Minas e Energia - MME	Formulação de políticas para o setor energético; implementação dessas políticas energéticas; e exercício do poder concedente
Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL	Mediação, regulação e fiscalização do funcionamento do sistema elétrico, envolvendo o cumprimento das normas do marco regulatório em geral e das obrigações dispostas nos atos de outorga (contratos de concessão, autorização ou permissão) dos serviços de geração, transmissão e distribuição
Empresa de Pesquisa Energética - EPE	Execução dos estudos de planejamento energético
Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE	Contabilização e liquidação de diferenças contratuais no curto prazo; e administração dos contratos de compra de energia para atendimento aos consumidores regulados
Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS	Operação integrada e centralizada do sistema elétrico interligado; e administração da contratação das instalações de transmissão
Operador dos Sistemas Elétricos Isolados – OSI	Coordenação da operação dos sistemas elétricos isolados
Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE	Monitoramento das condições de atendimento, no horizonte de cinco anos, com o objetivo de assegurar a implementação de providências com vistas a garantir a normalidade do suprimento de energia elétrica (coordenação do MME, com apoio da EPE, CCEE, da ANEEL e do ONS)
Eletrobrás	Financiamento, em caráter suplementar, da expansão do setor elétrico; exercício da função de holding das empresas estatais federais; administração de encargos e fundos setoriais; comercialização da energia de Itaipu e de fontes alternativas contempladas pelo PROINFA; e Coordenação do OSI

Fonte: Silva (2011), apud Landi (2006)

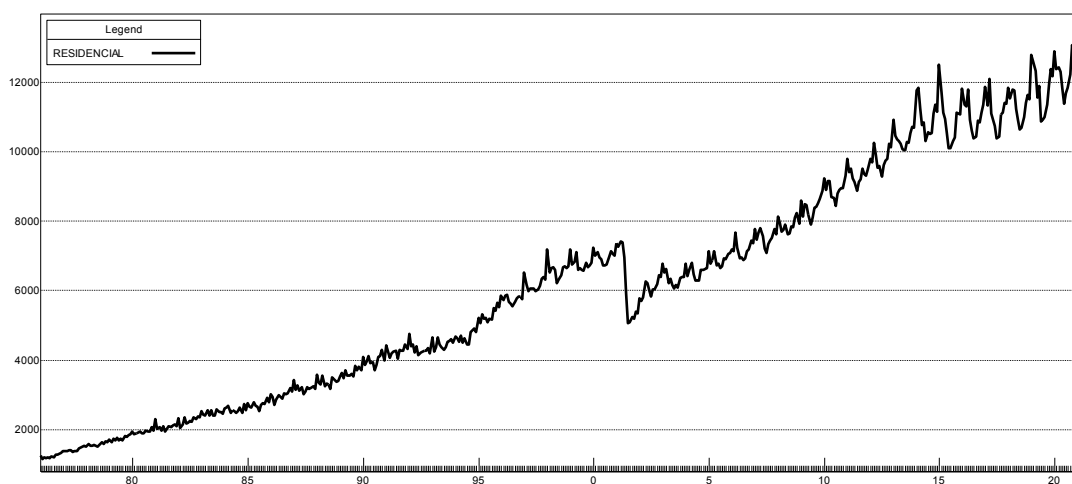
1.2 – Consumo de energia elétrica na classe residencial

Por se tratar de um ramo crucial para a economia de um país, o setor energético, em especial o de energia elétrica, demanda um acompanhamento minucioso tanto da sua produção quanto distribuição e também da estrutura de tarifas. Visto que a produção de energia elétrica deve estar sempre em consonância com a demanda – pois seu armazenamento é inviável (Farinazzo, 2012), foi criada, em 15 de março de 2004, sob a Lei Nº 10.847, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que desempenha sobretudo um papel de planejador, uma vez que dentre suas atribuições, está a coordenação, orientação e acompanhamento de atividades relacionadas aos estudos econômicos necessários à formulação de cenários que servirão de referência para a expansão da oferta e infraestrutura, além de estudos relacionados à demanda energética (EPE, 2021).

Conforme os resultados disponibilizados pelo IPEA (2021), o consumo de energia elétrica vem apresentando uma tendência sólida de crescimento no Brasil. Desde janeiro de

1976, o consumo do setor saltou de 5.661 GWh para 43.447 GWh em março de 2021, indicando um aumento de 667% (IPEA, 2021). Focando na classe residencial, que representa a segunda classe com maior consumo, atrás apenas da industrial, percebe-se que houve um aumento, no mesmo período, de 948%, passando de 1.260 GWh para 13.204 GWh. A evolução deste consumo pode ser vista no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Consumo de Energia Elétrica Residencial em GWh (janeiro de 1976 a março de 2021)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados pelo IPEADATA (2021)

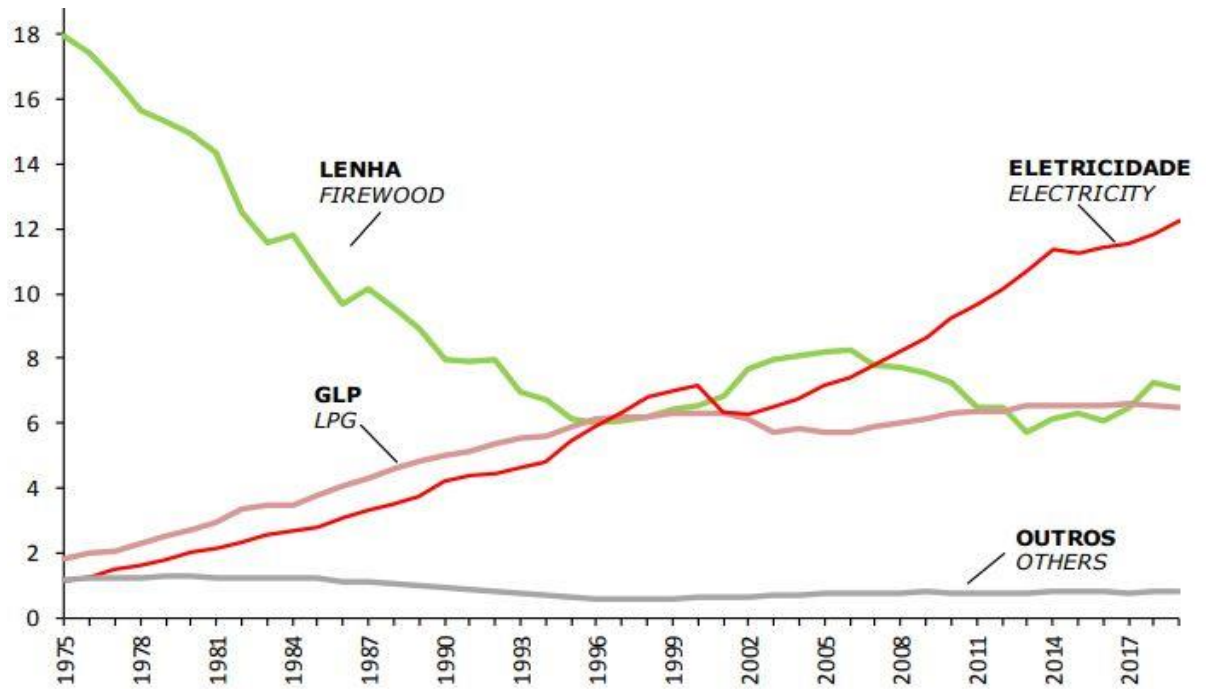
Esse aumento no consumo pode ser explicado, a princípio, por uma gama de fatores econômicos, tais como renda familiar, tarifa do serviço, número de aparelhos elétricos e eletrônicos, climatização de ambientes (resfriamento ou aquecimento), quantidade de moradores de uma casa, tempo de permanência na residência, etc. Tais aplicações trazem qualidade de vida aos seus usuários, aumentando sensações de conforto e bem-estar. Não se pode também ignorar o aumento no número de domicílios. Segundo dados do último Censo demográfico realizado pelo IBGE (2010), o *quantum* de domicílios era de 57,32 milhões. Já com os dados da PNAD Contínua divulgada em 2020, que mostra os dados do ano de 2019, o total de domicílios passou para 72,39 milhões, indicando um aumento de 26,3%. Sob essa mesma ótica, de acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN 50 anos, publicado pela EPE, “[...] a demanda residencial de energia elétrica do Brasil deverá crescer na média perto de 44,4% entre 2019 e 2030” (EPE, 2020, p. 59).

Ainda segundo o BEN 50 anos (EPE, 2020), o avanço mais significativo no consumo de energia elétrica nas residências iniciou a partir de 1995, como mostrou o Gráfico 1, em

virtude do controle inflacionário proporcionado pelo Plano Real a partir de 1994 e mantido nos períodos seguintes. Essa trajetória de crescimento foi interrompida, no entanto, pelo racionamento de energia de 2001. Contudo, algumas políticas públicas do Governo Federal corroboraram para uma retomada do crescimento da demanda residencial no país, tais como o Bolsa Família, com a transferência de renda destinada a população mais carente e o Programa Luz para Todos, instituído em 2003 pelo Decreto Nº 4.873, visando a universalização do acesso e uso de energia elétrica, sendo realizadas mais de 3,5 milhões de ligações no âmbito do programa, beneficiando 16,8 milhões de pessoas no meio rural brasileiro (Eletrobras, 2020).

Diversos são os fatores que impactaram o uso da energia no Brasil. Entre eles estão momentos de elevado crescimento econômico, grandes crises, choques e períodos de recessão (EPE, 2020). Ao longo da década de 1970 e nos anos subsequentes, o consumo nacional de energia nas residências tinha como principais fontes: lenha, eletricidade e GLP. Na época, o uso de lenha era muito comum para a cocção de alimentos, que passou a ser substituído ao longo dos anos pelo GLP e gás natural. Já a eletricidade aumentou de maneira progressiva desde o início da década de 1970, refletindo progressos na atividade econômica e melhorias na qualidade de vida da população. A variação do consumo final no setor residencial, por fonte, pode ser conferida no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Consumo final do setor residencial no Brasil, em toneladas equivalente de petróleo (tep)



Fonte: EPE, 2020.

Apresentada a evolução do setor elétrico brasileiro, com foco na classe residencial, no próximo capítulo apresentar-se-á uma discussão sobre os efeitos da pandemia na economia brasileira.

CAPÍTULO II – EFEITOS DA PANDEMIA NA ECONOMIA

2.1 – Panorama geral da doença

A crise sanitária provocada pela COVID-19 se configura como um dos maiores desafios da história recente da humanidade. Seus impactos socioeconômicos não se assemelham a nenhum outro evento de proporções globais, tais como a Grande Depressão de 1929 e a Crise Financeira Internacional de 2007-2008, como apontam diversos estudos de institutos de pesquisas como a OCDE (2020), UNCTAD (2020), FMI (2020).

O primeiro caso registrado da doença, como aponta a OMS (2020) aconteceu em novembro de 2019, na cidade de Wuhan, China e em pouco tempo se espalhou para os cinco continentes devido a sua alta capacidade de contágio (R_0) que é de 2,74, isto é, uma pessoa doente com COVID-19 contamina, em média, outras 2,74 pessoas (SBI, 2020).

Conforme o Painel Coronavírus, disponibilizado pelo Ministério da Saúde, desde o início da pandemia até 14 de março de 2021, o Brasil acumula 11.483.370 casos da doença, com uma taxa de letalidade de 2,4%, totalizando 278.229 mortos (MS, 2021). No quadro global, o país ocupa a segunda posição no maior número de casos total e de óbitos confirmados, atrás apenas dos Estados Unidos (OMS, 2021).

Segundo a Sociedade Brasileira de Infectologia – SBI, as medidas mais eficazes para reduzir a capacidade de contágio do vírus são: etiqueta respiratória, caracterizada pelo uso de máscaras de proteção; higienização das mãos com água e sabão ou álcool 70%, identificação e isolamento respiratório dos doentes afetados pela COVID-19 e uso dos equipamentos de proteção pelos profissionais da saúde (SBI, 2020).

Por se tratar de um vírus altamente infeccioso, a principal medida de combate à transmissão é o isolamento social. Contudo, a COVID-19 causa diversos impactos econômicos simultâneos, tanto sobre a oferta quanto sobre a demanda, levando a economia mundial, a princípio, a uma rápida desaceleração, como aponta Dweck *et al* (2020).

Inúmeros são os meios existentes para que a crise sanitária afete a economia. Por um lado, tem-se os fatores tanto da demanda quanto da oferta, relacionados ao contágio do vírus e às medidas de contenção do mesmo (distanciamento social, fechamento temporário de empresas

e atividades comerciais, mobilidade restrita, etc.), adotadas visando a redução na taxa de transmissão do vírus. Amitrano et al. (2020) apontam como problemas da demanda três elementos distintos:

- 1) Consumo das famílias: ocasionado pela redução da renda, por consequência da redução da jornada de trabalho, promulgada pela Lei 14.020/2020, ou a perda do próprio emprego. Além disso, a redução da mobilidade ocasionada pelo isolamento social, reduz o montante gasto. Outro ponto importante a ser destacado é a expectativa de renda futura devido ao cenário de incerteza.
- 2) Investimento privado: relacionado tanto à redução da expectativas de receitas futuras quanto à queda da receita imediata
- 3) Comércio exterior: relacionado tanto à desaceleração da produção de insumos e bens finais, como à diminuição da demanda internacional, mas também a práticas protecionistas (confisco da produção doméstica para venda exclusiva no mercado interno).

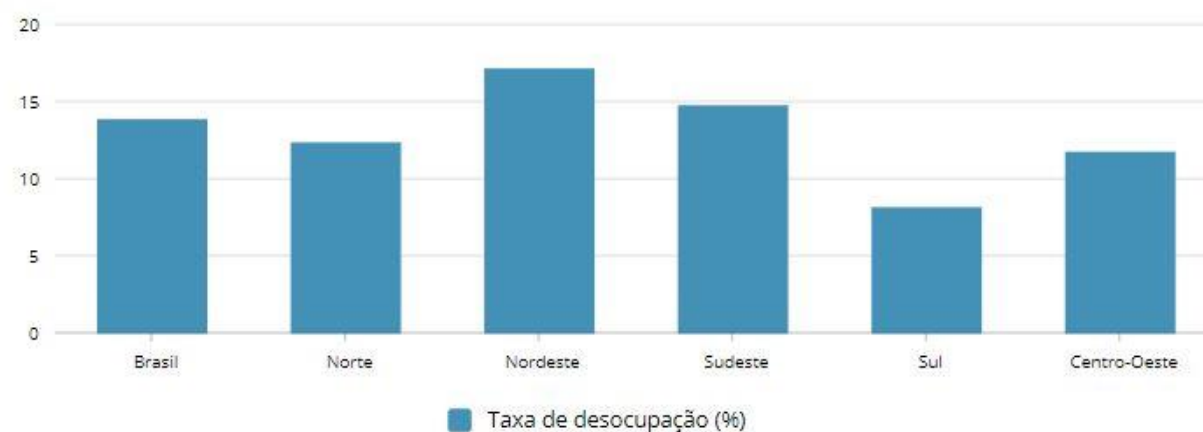
No tangente a oferta, Amitrano et al. (2020) citam como fatores os seguintes:

- 1) Oferta de trabalho: ocasionado pela redução do pessoal ocupado e das horas trabalhadas.
- 2) Produtividade do trabalho: ocasionada pelos efeitos dos sintomas da doença, bem como pelo impacto psicológico do distanciamento social. Também pode ser gerado pela perda de habilidade em decorrer de grandes períodos em situação de desemprego, ou ausência por tempos prolongados.
- 3) Cadeias produtivas: relacionado à interrupção do fluxo de insumos entre os setores, tanto a nível nacional quanto internacional.

Internalizando este problema para o país, o PIB brasileiro apresentou queda de -1,5% no primeiro trimestre de 2020, quando comparado ao mesmo período do ano anterior (IBGE, 2020). Ainda segundo o Instituto, sob a ótica da demanda, o consumo das famílias reduziu em 2,0% no 1º Trimestre/2020, sendo esta a maior queda desde 2001. Já sob a ótica da oferta, o PIB industrial recuou -1,4%, serviços -1,6%, e produção agropecuária, diferente das demais, aumentou em 0,6% (IBGE, 2020).

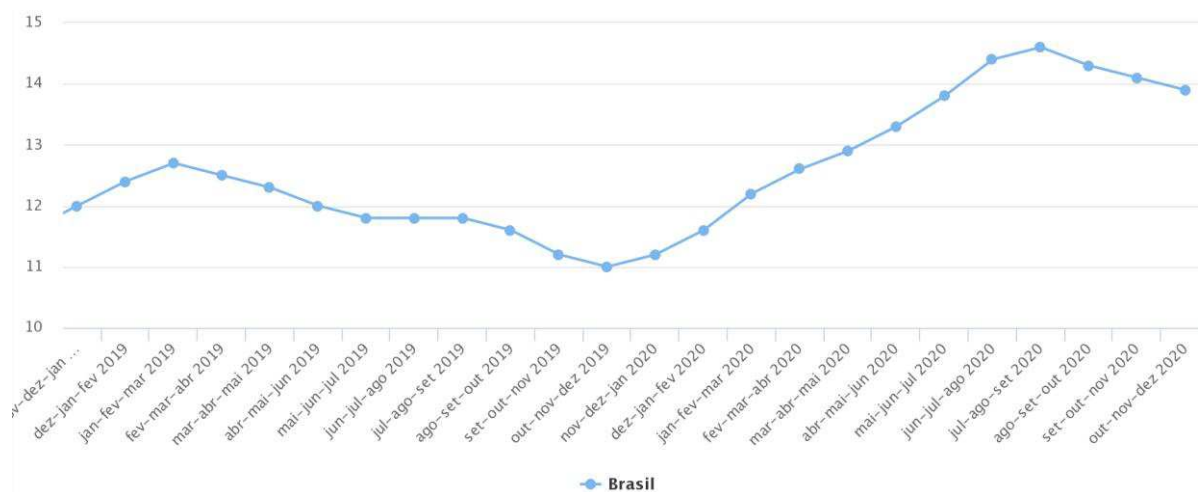
Outro ponto que merece enfoque é a taxa de desemprego. Conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Trimestral – PNADC/T divulgada pelo IBGE (2021), a taxa de desocupação no Brasil, isto é, pessoas que não estão trabalhando, mas procuram trabalho, saltou de 11% no último trimestre de 2019 para 13,9% no último trimestre de 2020. Ainda segundo o Instituto, a região com a maior taxa foi a região Nordeste, com 17,2%, e a menor, Sul, com 8,2%. Esses números podem ser vistos no Gráfico 3, que ilustra a taxa de desocupação no Brasil e nas grandes regiões, no 4º trimestre de 2020 e no Gráfico 4, que mostra a evolução da taxa de desocupação desde o primeiro trimestre de 2019 até o último trimestre de 2020.

Gráfico 3 – Taxa de desocupação no Brasil e nas grandes regiões, 4º trimestre de 2020



Fonte: IBGE – PNADC/T (2021).

Gráfico 4 – Evolução da taxa de desocupação no Brasil: 1º Trimestre 2019 – 4º Trimestre 2020



Fonte: IBGE – PNADC/T (2021)

A fim de oferecer um suporte àqueles impactados economicamente pela pandemia, seja pela perda do emprego ou por uma queda brusca na renda familiar, o Governo Federal lançou o Auxílio Emergencial. Este auxílio é um benefício concedido aos trabalhadores informais, microempreendedores individuais, autônomos e desempregados, e objetiva fornecer proteção emergencial no período de enfrentamento à crise causada pelo vírus da COVID-19 (CAIXA, 2020).

Conforme estimativas do Ministério da Cidadania (MC), o impacto do Auxílio Emergencial na economia deverá ser de 2,5% do PIB brasileiro de 2019, sendo a região Nordeste a mais afetada pelo programa, onde o benefício representa, em média, 6,5% do PIB da região. (MC, 2020). O Auxílio, como apontam os economistas Ecio Costa e Marcelo Freire (2020), possui um impacto significativo, pois tem um efeito multiplicador. Por ser um programa de transferência de renda direta, sem qualquer contrapartida do beneficiário, a população pode gastar como bem entender.

Dado o panorama geral da doença e de algumas medidas contenção do efeito do vírus, o subcapítulo seguinte visa dar também um panorama geral da doença, porém voltado para consumo residencial de energia elétrica no Brasil.

2.2 – Efeitos da pandemia no consumo de energia elétrica residencial no Brasil

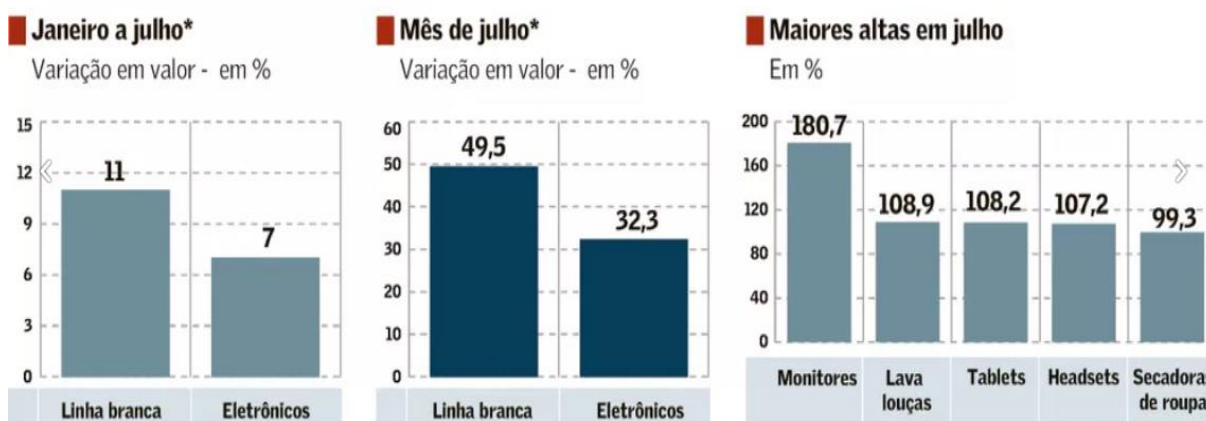
Embora indicadores econômicos como o PIB, taxa de desemprego, etc., são fontes de dados acuradas de informação, estes dados são divulgados com defasagem, isto é, mostram um panorama do que já aconteceu e não do que está acontecendo. Visando elaborar um cenário atual da economia, pesquisadores estão se voltando para a utilização dos dados do consumo de energia elétrica (FGV, 2020). Em Henderson *et al* (2012), é apontado que esses dados têm correlação positiva com a atividade econômica, além de serem úteis para estimar variáveis econômicas em países cuja confiabilidade dos dados é duvidosa. Portanto, o uso da eletricidade pode ser utilizado para avaliar o impacto econômico da Covid-19 (Chen et al., 2020), uma vez que o consumo de energia elétrica segue a atividade econômica, já que é empregada na maioria das atividades econômicas (Destek; Sinha, 2020).

No Brasil, o consumo de energia elétrica em 2020 retraiu em 1,6% em relação ao ano anterior, com quedas na classe industrial (-1,1%) e comercial (-10.5%), e crescimento de 4,1% no residencial (EPE, 2020). Este desempenho da classe residencial em grande parte se justifica

pelas consequências da pandemia da COVID-19 sobre o mercado de trabalho, pois em razão do desemprego, da redução de horas trabalhadas ou mesmo do trabalho remoto, as pessoas ficaram mais tempo em casa utilizando seus equipamentos.

Segundo um levantamento feito pela empresa de estudos de mercados Growth from Knowledge (GfK), em julho de 2020 o faturamento do varejo com vendas de eletrodomésticos e eletrônicos cresceram 49,5% e 32,3%, respectivamente, em relação ao mesmo período no ano de 2019. Ainda conforme o estudo, esse aumento deu-se pelo aumento da poupança das famílias, uma vez que serviços de lazer estavam interrompidos. Esses dados podem ser visualizados na figura 4.

Figura 4 – Vendas de eletroeletrônicos no Brasil em 2020



Fonte: GfK. *em comparação ao mesmo período do ano anterior.

Além disso, na percepção de Claubert Leite, coordenador do programa de energia do Instituto de Defesa do Consumidor – Idec, o isolamento social provocado pela Covid-19 fez com que muitos brasileiros priorizassem o conforto dentro de casa e consumissem mais energia. (Basilo, 2021).

O trabalho de Xu e Ang (2014) ajuda a compreender quais variáveis impactam, de maneira direta e indireta no consumo de energia elétrica residencial. Os autores citam como variáveis diretas: número de moradores na residência, população, condições climáticas, posse de equipamentos tecnológicos – como supracitado, e tamanho da residência. Já como variáveis indiretas: tarifa, renda familiar, hábitos e conhecimento do consumidor. Dentre elas, a variável indireta mais relevante é a renda familiar. Essas variáveis corroboram a perspectiva de que com

um aumento ou intensificação das restrições sanitárias, como o fechamento de estabelecimentos e isolamento e distanciamento social o consumo de energia elétrica residencial também aumenta.

Outro ponto que corroborou para a contínua tendência de crescimento do consumo residencial na pandemia foi a criação da Conta-Covid, estabelecida pelo Decreto nº 10350/2020. Essa Conta consiste em um empréstimo às empresas do setor elétrico que, segundo a ANEEL (2020), sofreram perda de 6,3% na arrecadação média do setor de distribuição durante a pandemia, para que os reajustes tarifários sejam diluídos ao longo de 5 anos, em comparação a 1 ano caso a conta não existisse. Do ponto de vista do consumidor, a Conta-Covid foi arranjada de maneira a evitar reajustes maiores nas tarifas de energia elétrica. Segundo a Agência, o aumento seria muito maior por efeitos como, principalmente, o reajuste no preço da energia gerada na usina de Itaipu, que acompanha a variação do dólar; a alta na remuneração das políticas públicas do setor; e o repasse de custos de novas instalações de sistemas de transmissão (ANEEL, 2020).

Visto isso, sob a perspectiva de Xu e Ang (2014), e dado o levantamento feito pela GfK e a Conta-Covid, é possível inferir que essas informações impactam, direta ou indiretamente, no consumo de energia elétrica da classe residencial.

O capítulo seguinte irá apresentar o modelo de Regressão Dinâmica, que será utilizado para verificar o impacto da pandemia causada pelo vírus Sars-CoV-2 no consumo de energia elétrica da classe residencial.

CAPÍTULO III – MÉTODO DE SÉRIES DE TEMPO: REGRESSÃO DINÂMICA

Neste capítulo será apresentado o Modelo de Regressão Dinâmica, que será utilizado para verificar o impacto da pandemia causada pelo vírus Sars-CoV-2 no consumo de energia elétrica da classe residencial. Este capítulo baseia-se integralmente em Zanini (2000).

3.1 – Conceituação

Nos modelos de regressão linear estudados comumente na literatura, supõe-se que os erros “gerados” pelo modelo possuem algumas características como: média zero, variância constante, distribuição Normal e independência (o que implica na inexistência de correlação serial).

Entretanto, na prática, ao modelar séries econômicas, os resíduos tendem a apresentar correlações positivas, e erros positivos tendem a ser seguidos por outros também positivos (o mesmo comportamento é observado para resíduos negativos). O gráfico dos resíduos *versus* o índice dos tempos revela, nesta situação, que os resíduos tendem a se agrupar em “blocos” de resíduos com o mesmo sinal.

Segundo Barros e Souza (1995), ao tentar modelar uma série temporal através de um modelo de regressão, a hipótese de independência dos ruídos não é realista, e os resultados e testes usados nos modelos de regressão não são válidos. Por exemplo, segundo os autores, algumas das consequências da autocorrelação dos resíduos são:

- 1) Os estimadores usuais por mínimos quadrados são ainda não tendenciosos, mas não têm variância mínima.
- 2) Os estimadores da variância e dos erros padrões dos coeficientes da regressão são subestimados, o que levaria à conclusão de que os estimadores são mais precisos do que na realidade.
- 3) Os intervalos de confiança para os parâmetros da regressão e os testes de hipóteses relacionados a estes intervalos perdem a validade, como uma consequência direta de 2).

Desta forma, estes três motivos implicam na necessidade de procurar procedimentos para tratar o problema de autocorrelação dos erros, pois ignorá-los leva, em geral, a inúmeras conclusões errôneas.

Em particular, dado que a hipótese de independência dos erros não é realista no contexto de séries temporais, os modelos de Regressão Dinâmica estendem os modelos usuais de regressão ao levantarem esta restrição.

Os modelos de Regressão Dinâmica combinam a dinâmica de séries temporais e o efeito de variáveis explicativas. Atenta-se que o termo “Regressão Dinâmica” não indica que os parâmetros do modelo evoluem no tempo¹. Ao contrário, a palavra “dinâmica” significa aqui um modelo de regressão no qual incluímos a estrutura de dependência de uma série temporal.

Modelos de Regressão Dinâmica devem ser usados quando existe uma estrutura de dependência entre a variável de interesse e variáveis causais e, ao mesmo tempo, quando a estrutura de correlação da série dependente (série a ser explicada) indicar que não podemos supor a independência dos erros.

Salienta-se que a estimação de parâmetros num modelo de Regressão Dinâmica é feita através de mínimos quadrados ordinários², a exemplo dos modelos de regressão usuais. Entretanto, a estimação em modelos de Regressão Dinâmica é mais complicada, e envolve um procedimento iterativo com vários estágios.

Nos modelos de Regressão Dinâmica, a variável dependente é explicada por seus valores defasados e pelos valores atuais e passados de variáveis causais ou exógenas. Atenta-se, neste momento, para uma outra distinção entre os modelos de Regressão Dinâmica e modelos de espaço de estados. Nos modelos de Regressão Dinâmica, as variáveis exógenas são tratadas como “números fixos” e não como variáveis aleatórias.

Já nos modelos de espaço de estados, as variáveis exógenas são tratadas como séries temporais, ou seja, realizações de processos estocásticos. Logo, no contexto da modelagem em espaço de estados, a estrutura de autocovariâncias e autocorrelações das séries de variáveis exógenas é uma informação de interesse, enquanto este aspecto é ignorado nos modelos de Regressão Dinâmica.

¹ Caso dos modelos de espaço de estados que usam o Filtro de Kalman (Hamilton, 1994).

² Dudewicz & Mishra (1998).

3.2 – Estrutura dos Modelos de Regressão Dinâmica

Os modelos de Regressão Dinâmica podem ser descritos pela equação:

$$\varphi(B)Y_t = \beta x_t + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

onde:

Y_t = variável dependente (endógena) no instante t

β = vetor de coeficientes das variáveis causais, que será estimado por mínimos quadrados

x_t = vetor de variáveis causais (exógenas)³ no instante t

ε_t = ruído aleatório associado ao modelo, onde supomos que os ε_t são independentes e identicamente distribuídos com densidade $N(0, \sigma^2)$

$\varphi(B)$ = polinômio autorregressivo de ordem p , isto é:

$\varphi(B) = 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p$ sendo B o operador de atraso

A estrutura do modelo de Regressão Dinâmica permite considerar como elementos x_t variáveis causais e também suas defasagens.

A presença do polinômio $\varphi(B)$ no modelo traz uma grande flexibilidade desta classe de modelos, mas, ao mesmo tempo, dificulta a procura por um modelo adequado. Observa-se que, se $\varphi(B) = 1$, não existem defasagens da variável dependente, e a interpretação do modelo é muito simples, pois as variáveis causais influenciam diretamente a variável endógena. Ao contrário, quando $\varphi(B) \neq 1$, o modelo pode ser usado para representar relações bastante complicadas.

Por fim, salienta-se que uma grande diferença entre os modelos de Regressão Dinâmica e os modelos ARIMA consiste no fato dos modelos de Regressão Dinâmica incluírem efeitos de variáveis causais através do termo βx_t . Os modelos ARIMA univariados de Box e Jenkins (1994), por sua vez, não incluem tais efeitos, e apenas o passado da série Y_t e os valores defasados da série de erros são usados na modelagem e previsão da série Y_t .⁴

Procura-se, portanto, dentro de metodologia definida, evoluir na modelagem, buscando em outras causalidades, que não somente a própria série de demanda, um melhor modelo para

³ As variáveis exógenas representadas por x_t têm seus valores determinados “fora” do modelo de regressão, enquanto a variável endógena Y_t é determinada a partir das variáveis exógenas e do ruído ε_t .

⁴ A metodologia Box & Jenkins também possui um modelo causal, o chamado modelo de Função de Transferência.

prever esta demanda. Este modelo, como já mencionado, foi o modelo de Regressão Dinâmica que pode ser considerado como um caso particular do que é conhecido na literatura como modelos de Cochrane e Orcutt generalizados.

3.2.1 – Modelos de Regressão Cochrane-Orcutt Generalizados⁵

O modelo de regressão generalizado de Cochrane e Orcutt (1949) é dado por:

$$\varphi(B)Y_t = \beta x_t + w_t \quad (3.2)$$

$$R(B)w_t = \varepsilon_t \quad (3.3)$$

Onde $R(B)$ = polinômio autorregressivo

Pode-se notar que a equação (3.2) tem a mesma forma da equação (3.1) da Regressão Dinâmica, entretanto os erros w_t apresentam uma estrutura AR dada pela equação (3.3)⁶.

Este modelo dado pelas equações (3.2) e (3.3) ainda pode ser descrito em termos de uma única equação como a seguir. Note que da equação (3.2):

$$w_t = \varphi(B)Y_t - \beta x_t \quad (3.2)$$

Substituindo esta última expressão na equação (3.3) tem-se que:

$$R(B) \cdot [\varphi(B)Y_t - \beta x_t] = \varepsilon_t \quad (3.4)$$

Desta última expressão nota-se que o modelo de regressão generalizado de Cochrane e Orcutt introduz defasagens tanto na variável dependente (Y_t) quanto nas causais. A expressão (3.4) indica também que a relação de causalidade entre Y_t e x_t não é afetada pela introdução do polinômio autorregressivo $R(B)$.

Esta última equação pode ainda ser escrita em termos de novas variáveis Y^*_t e x^*_t dadas por:

$$Y^*_t = R(B)Y_t \text{ e}$$

$$x^*_t = R(B)x_t$$

⁵ Barros e Souza (1995).

⁶ A formulação original de Cochrane e Orcutt supõe que os ruídos w_t apresentam apenas uma estrutura AR (1), ou seja, a equação (3.3) é dada por: $w_t = \alpha w_{t-1} + \varepsilon_t$ onde os ε_t são i.i.d e apresentam distribuição $N(0, \sigma^2)$.

onde $R(B)$ é chamado de “fator comum” e representa a estrutura de correlação presente no erro w_t .

A equação obtida então usando-se estas novas variáveis é:

$$\varphi(B)Y^*_t = \beta x^*_t + \varepsilon_t \quad (3.5)$$

Logo, o modelo de regressão generalizado de Cochrane e Orcutt reduz-se ao modelo de Regressão Dinâmica usual ao se considerar as novas variáveis Y^*_t e x^*_t . O modelo original de Cochrane e Orcutt tem como fator comum $R(B) = 1 - \alpha B$ e então a equação (3.5) reduz-se a:

$$\varphi(B) \cdot [Y_t - \alpha Y_{t-1}] = \beta [x_t - \alpha x_{t-1}] + \varepsilon_t \quad (3.6)$$

Salienta-se que, neste modelo, o procedimento de estimação é sequencial. A estimativa inicial de α é 0, e a partir dela estimamos β e $\varphi(B)$ por mínimos quadrados ordinários. A partir destas estimativas encontra-se um estimador de $R(B)$ através da equação $R(B)w_t = \varepsilon_t$. O polinômio estimado $R(B)$ é então usado para transformar Y_t e x_t e reestimar β e $\varphi(B)$. O processo é repetido até que se alcance a convergência dos parâmetros.

3.3 – Construção de modelos de Regressão Dinâmica

Geralmente os modelos econométricos têm uma estrutura conhecida, baseada em considerações teóricas e o problema reduz-se ao problema de estimação dos parâmetros do modelo já conhecido. Entretanto, este é raramente o caso no contexto de séries temporais, onde a estratégia é construir modelos a partir dos dados.

A estratégia usualmente empregada para construir um modelo de Regressão Dinâmica é uma estratégia *bottom-up*, isto é, partimos de um modelo simples e o refinamos e incluímos novas variáveis até encontrar um modelo apropriado. A elaboração de um modelo de Regressão Dinâmica é muitas vezes um procedimento difícil, pois é preciso não apenas escolher as variáveis a serem incluídas no modelo, mas também os *lags* (defasagens) destas variáveis.

Na definição do modelo adequado, é necessário levar em conta não só a significância dos parâmetros, mas também uma certa estrutura “lógica” do modelo. Por exemplo, vendas (ou demanda) de um produto são geralmente afetadas por seu preço. O aumento do preço, por sua vez, tende a diminuir as vendas (ou demanda), e vice-versa. Logo, se o modelo de regressão

encontrado para explicar venda pelo preço apresenta um coeficiente positivo para a variável preço, é bom desconfiar por mais bem ajustado que esteja o modelo, pois a relação apontada pelo modelo não é, em geral, verdadeira⁷. Em síntese, na escolha de um modelo de regressão, não é necessário apenas encontrar um ajuste de parâmetros adequado, mas fundamentalmente faz-se mister verificar se os coeficientes estimados são coerentes.

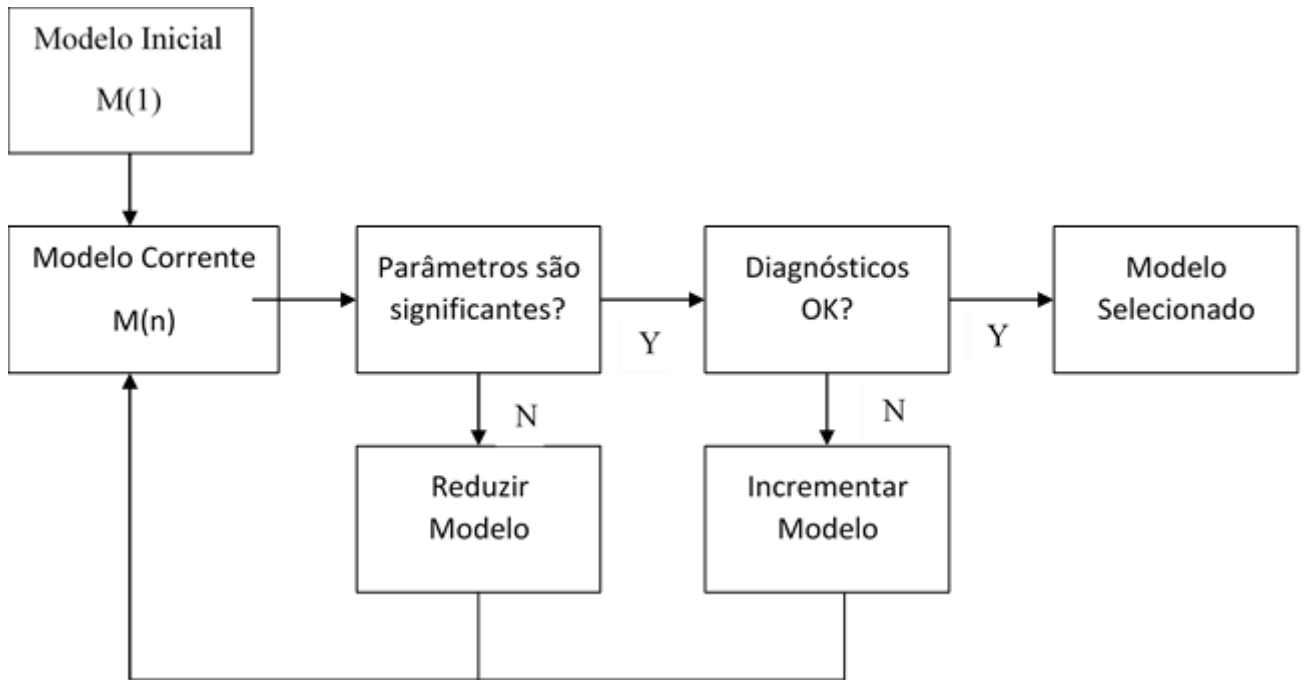
As previsões geradas por um modelo de Regressão Dinâmica dependem não só de valores passados da série, mas também dos valores previstos para as variáveis causais. Logo, para obtermos as previsões da série Y_t para $T+1$, $T+2$, $T+3$, etc, é necessário fornecer ao modelo os valores futuros do vetor de variáveis causais x_t . Se as previsões destas variáveis exógenas não forem apropriadas, o modelo de Regressão Dinâmica irá também gerar previsões inadequadas.

Isto caracteriza um aspecto importante dos modelos de Regressão Dinâmica que consiste na possibilidade de consecução de cenários ao se chegar a um modelo relacional de variáveis dependentes em relação a variáveis explicativas. Isto é, surge a possibilidade de montagem de vários cenários para as variáveis causais o que enriquece, por exemplo, qualquer trabalho de planejamento de vendas de um determinado produto.

Feitas estas considerações, o fluxograma a seguir indica, de maneira genérica, os passos usados na construção de um modelo de Regressão Dinâmica.

⁷ Na verdade, “casos estranhos” como este ocorrem na prática com certa frequência e uma possível saída é olhar para o coeficiente da variável preço com alguma defasagem, e verificar se é possível encontrar algum resultado coerente.

Figura 5 - Construção de um modelo de Regressão Dinâmica



Fonte: Zanini (2000)

Como dito anteriormente, a especificação correta de um modelo de Regressão Dinâmica envolve a precisa especificação da relação causal entre as variáveis e da estrutura dinâmica do modelo.

Nos modelos de Regressão Dinâmica podem ser usadas também variáveis de intervenção (ou variáveis *dummy*). O objetivo deste tipo de procedimento é considerar situações atípicas como, por exemplo, aumento das vendas de brinquedo no Natal e no Dia da Criança (neste caso é razoável incluir *dummies* para os meses de dezembro e outubro no modelo). O mesmo procedimento pode ser usado para levar em conta os efeitos de situações incomuns como greves e planos econômicos⁸.

Os modelos de Regressão Dinâmica incorporam ainda diretamente a sazonalidade da série ao modelo, ao invés de supor que a série será previamente dessazonalizada. Atenta-se que existem duas maneiras de tratar a sazonalidade: via *dummies* sazonais ou diretamente, através de defasagens na variável dependente ou nos erros estruturados.

⁸ Variáveis *dummies* são geralmente definidas como 1 (no período de ocorrência do fato relevante) e 0 (fora deste período).

3.4 – Testes usados nos modelos de Regressão Dinâmica

Como dito anteriormente, em Regressão Dinâmica a construção do modelo envolve vários passos até se chegar a um modelo “final”. Diversos testes da adequação de um modelo de regressão podem ser mencionados. Estes testes⁹ são aplicados em diversos estágios da modelagem da série. Temos, por exemplo:

- i) testes como o objetivo de definir a especificação do modelo explicativo;
- ii) testes visando encontrar a dinâmica do modelo, isto é, a inclusão ou não de variáveis defasadas,
- iii) testes para verificar o ajuste do modelo.

Para que se entenda um pouco melhor o modelo de Regressão Dinâmica que será apresentado para a demanda da gasolina automotiva no Brasil, será abordado de uma forma geral, como se processa o “algoritmo” dos testes na prática:

3.4.1 – Testes de verificação da “dinâmica” do modelo

Como dito anteriormente, a dinâmica de um modelo acontece através dos *lags* da variável dependente e/ou através da presença de erros estruturados num modelo de Cochrane-Orcutt. A cada momento da elaboração do modelo, são realizados testes de hipóteses¹⁰ sobre a “dinâmica” do modelo.

Em todos os casos a seguir, a hipótese nula afirma que a dinâmica do modelo está corretamente especificada, ou seja, a inclusão de outros *lags* da variável dependente ou outros erros estruturados não é necessária. A hipótese alternativa, em cada caso, representa a necessidade de inclusão de novos termos. Sendo assim tem-se:

1) Teste de defasagem da variável endógena

Suponha que a variável dependente Y_t e seus *lags* $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p-1}$ estão presentes no modelo atual. A hipótese alternativa consiste em adicionar a variável defasada Y_{t-p} ao modelo, isto é, adiciona-se o primeiro lag ainda não presente no modelo atual. Se esta variável for

⁹ A maioria dos testes empregados em Regressão Dinâmica é uma variante dos testes de Multiplicadores de Lagrange (testes LM) e são baseados na distribuição Qui-Quadrado. (Barros e Souza, 1995).

¹⁰ Dudewicz e Mishra (1988).

considerada significativa, a hipótese nula é rejeitada e deve-se adicionar a variável Y_{t-p} ao modelo.

2) Teste da defasagem sazonal da variável endógena

Este teste é semelhante ao anterior. A hipótese alternativa consiste em adicionar ao modelo atual a variável defasada até o primeiro *lag* sazonal Y_{t-pS} ainda não presente ao modelo. Se o coeficiente de Y_{t-pS} for significativo, esta variável deve ser incluída no modelo, e a hipótese nula deve ser rejeitada.

3) Teste da sequência de defasagens da variável endógena¹¹

A hipótese alternativa consiste em adicionar todos os *lags* da variável dependente que ainda não estão presentes no modelo.

4) Teste da defasagem dos resíduos

A hipótese alternativa consiste em adicionar ao modelo o primeiro termo defasado ε_{t-p} ainda não incluído no modelo atual.

5) Teste da defasagem sazonal dos resíduos

Na hipótese alternativa adiciona-se ao modelo atual o primeiro *lag* sazonal ε_{t-pS} ainda não presente no modelo.

6) Teste da sequência de defasagens dos resíduos¹²

Na hipótese alternativa adiciona-se às variáveis do modelo atual uma sequência de resíduos defasados ε_{t-1} , ε_{t-2} , ε_{t-S} onde S é o período sazonal. É importante ressaltar que, na hipótese alternativa, inclui-se apenas os resíduos ainda ausentes no modelo atual.

3.4.2 – Testes para a especificação das variáveis causais

O objetivo de todos estes testes é verificar se a inclusão de uma ou mais variáveis ainda não contempladas no modelo resulta numa melhora do ajuste. Atenta-se para o fato de que os testes para a especificação de variáveis causais não se referem à parte dinâmica do modelo, e não tratam da inclusão de *lags* da variável dependente e de erros estruturados¹³.

¹¹ Testa *lag* 1 e *lag* 12, depois testa do *lag* 2 ao *lag* 11 em bloco, para variável endógena.

¹² Testa *lag* 1 e *lag* 12, depois testa do *lag* 2 ao *lag* 11 em bloco, para os resíduos.

¹³ Estes são realizados nos testes para a “dinâmica”.

1) Teste das variáveis causais excluídas

Neste teste verifica-se a necessidade de inclusão de cada uma das variáveis (escolhidas previamente para análise) mas que ainda não estão presentes no modelo. Se quaisquer destas variáveis são consideradas significantes, deve-se incluí-las no modelo (talvez sequencialmente) e “rodar” a mesma bateria de testes para verificar se a inclusão foi vantajosa.

2) Teste de tendência temporal

Este teste corresponde à inclusão de uma variável do tipo $X_t=t$ no modelo. Esta variável é útil em casos onde a série dependente não é estacionária.

3) Teste da defasagem das variáveis exógenas (causais)

Na hipótese alternativa inclui-se um *lag* adicional das variáveis causais já presentes no modelo atual.

4) Teste para a presença de funções não lineares das variáveis exógenas

Neste teste inclui-se o quadrado de cada variável exógena já presente no modelo. Todos os quadrados das variáveis exógenas são incluídos de uma só vez e, portanto, é necessário buscar quais (ou qual) quadrados são realmente significantes.

5) Teste do fator comum

Este teste é realizado só quando o modelo inclui erros estruturados. Sob a hipótese alternativa, a autorregressão dos erros é eliminada, e todos os *lags* da variável dependente e das causais são adicionados ao modelo. Se a hipótese nula é rejeitada, existe evidência de que um modelo mais geral deveria ser considerado, ao invés do modelo de Cochrane-Orcutt. O grande problema é descobrir em que direção deve-se generalizar o modelo corrente, e não existe uma resposta única para esta questão.

3.4.3 - Testes baseados na autocorrelação dos resíduos¹⁴

Como pode ser visto, o processo de construção de um modelo de Regressão Dinâmica deve levar em conta diversos diagnósticos com o objetivo de verificar se o modelo atual é apropriado. Em particular, deve-se sempre examinar o gráfico das autocorrelações dos resíduos.

¹⁴ Podem ser feitos ainda testes para verificar a existência de variações na variância dos resíduos, ou seja, procura-se detectar a heterocedasticidade da série de resíduos.

Se estas são significantes para alguns *lags*, alguma característica da variável dependente não foi capturada pelo modelo atual. Por exemplo, no caso de dados mensais, se a autocorrelação dos resíduos é significante no *lag* 12, a observação situada num período genérico $t-12$ meses é relevante para explicar a observação no período t , e sua inclusão no modelo possivelmente resultará num decréscimo dos erros de previsão do modelo.

Segundo Barros e Souza (1995), a existência de autocorrelações significantes nos resíduos pode então indicar uma das seguintes situações: 1) deve-se incluir mais *lags* da variável dependente ou 2) deve-se incluir *lags* adicionais das variáveis exógenas já presentes no modelo ou incluir novas variáveis causais.

Enfim, é importante saber que, em qualquer das situações mencionadas, o fato dos resíduos apresentarem autorrelações significantes indica que algum tipo de estrutura presente na série Y_t não foi captada pelo modelo em consideração.

CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

Neste capítulo, será apresentado os resultados do modelo obtido através do MRD, explicado no capítulo anterior. Este método foi utilizado para estimar o impacto da pandemia causada pela COVID-19 no consumo de energia elétrica da classe residencial.

Para elaboração da base de dados, foram utilizadas séries de tempo de janeiro de 2010 à março de 2021 para todas as variáveis utilizadas na análise. A definição do intervalo amostral teve como objetivo limitar o estudo aos eventos da última década, visto que o objetivo deste trabalho é estimar o impacto de um evento recente.

Como forma de explicar o consumo de energia elétrica residencial, foi feito um *brainstorming* a fim de levantar uma série de variáveis que pudessem ser *proxy* de variáveis relevantes para o estudo, são elas: Índice de atividade econômica do Banco Central do Brasil, como *proxy* do nível de atividade econômica do país; Índice de confiança do consumidor, como uma *proxy* da expectativa econômica futura; Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA, para captar o efeito do nível geral de preços da economia; Salário mínimo real, para captar um efeito renda; Tarifa média residencial por MWh, para verifica o impacto do preço da tarifa de energia elétrica residencial; Venda de móveis e eletrodomésticos¹⁵, para captar a influência da posse de equipamentos eletroeletrônicos nas residências brasileiras sobre o consumo de energia. A variável de interesse é o consumo de energia elétrica na classe residencial (em GWh), representada por CONSUMO. O quadro 1 mostra as variáveis adotadas para estimação do modelo, bem como suas respectivas nomenclaturas.

¹⁵ Os indicadores dessas atividades são calculados considerando os percentuais de vendas de móveis e eletrodomésticos, respectivamente declarados pelos informantes da Pesquisa Mensal do Comércio – PMC, uma vez que não existem CNAEs específicos para essas atividades (IBGE, 2020).

Quadro 1 – Variáveis utilizadas para estimar o modelo

Variável	Sigla	Unid.	Proxy de	Fonte
Consumo de Energia elétrica na classe residencial	CONSUMO	GWh	-	IPEADATA(2021a)
Índice de Atividade Econômica do Banco Central	IBCBR	-	Nível de atividade econômica no Brasil	IPEADATA(2021b)
Índice de Confiança do Consumidor	ICC	-	Expectativa econômica futura	IPEADATA(2021c)
Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo	IPCA	-	Nível geral de preços	IPEADATA(2021d)
Salário Mínimo Real	SALÁRIO	R\$	Renda	IPEADATA(2021e)
Tarifa residencial média por MWh	TARIFA	R\$	Preço da tarifa	IPEADATA(2021f)
Índice de venda de móveis e eletrodomésticos	VENDAS	-	Posse de eletrodomésticos	IPEADATA(2021g)

Fonte: Elaboração própria

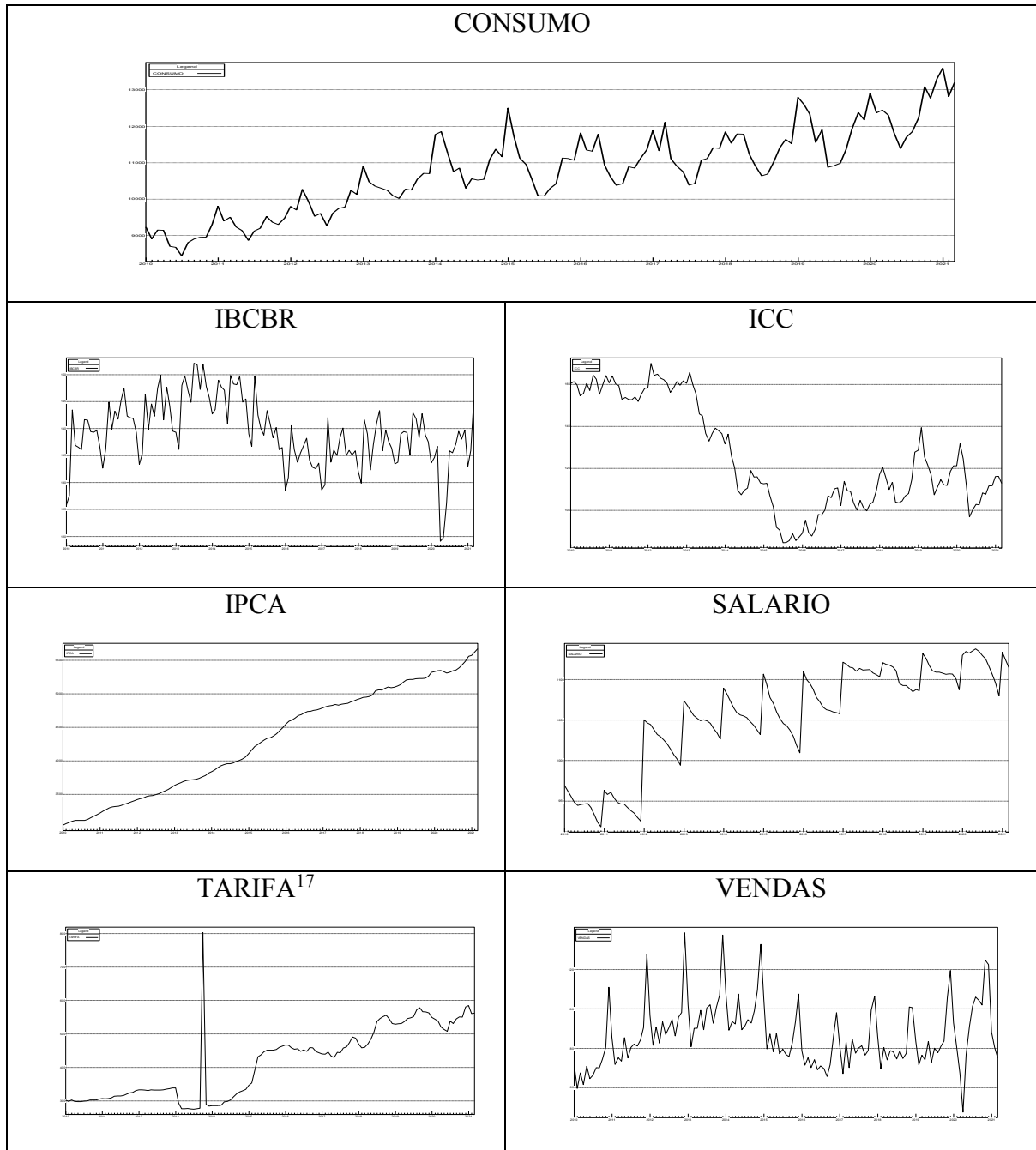
Na figura 6, pode se ver a evolução das variáveis no período delimitado, de janeiro de 2010 à março de 2021.

Em concordância ao que foi apresentado no Capítulo III, o MRD utiliza a estratégia *bottom-up*, que, conforme descrito por Zanini (2000), significa partir de um modelo simples e ir refinando-o e incluindo novas variáveis até encontrar um modelo mais apropriado. Ademais, o MRD permite também a elaboração de diversos modelos diferentes, ainda que utilizando as mesmas variáveis, o que permite que sejam criados diversos cenários para explicar uma variável de interesse.

Desta maneira, ao realizar as estimações e analisar os diagnósticos dos resíduos, dinâmica e causalidade, encontrou-se o modelo que mais se adequava ao cenário estudado. As variáveis que apresentaram as melhores estatísticas podem ser vistas na tabela 1. Estão expostos nesta tabela, também, os valores dos coeficientes estimados e de seus respectivos erro-padrão. Todas as variáveis utilizadas no modelo foram utilizadas na forma logarítmica neperiano, isto

é, utilizou-se da forma *log-log* para que os coeficientes estimados pudessem ser vistos na forma de elasticidades¹⁶.

Figura 6 – Evolução das variáveis de Jan-10 à Mar-21



Fonte: Elaboração própria. Observação: a queda brusca que ocorre na variável vendas é explicada pelo início da pandemia no Brasil.

¹⁶ Para maiores detalhes, ver Zanini (2000).

¹⁷ O valor *outlier* destacado no gráfico refere-se ao período de outubro de 2013. Para retirar o efeito deste valor discrepante, foi utilizado como substituto a média entre o valor anterior (setembro) e posterior (novembro), conforme adotado pela EPE (2014).

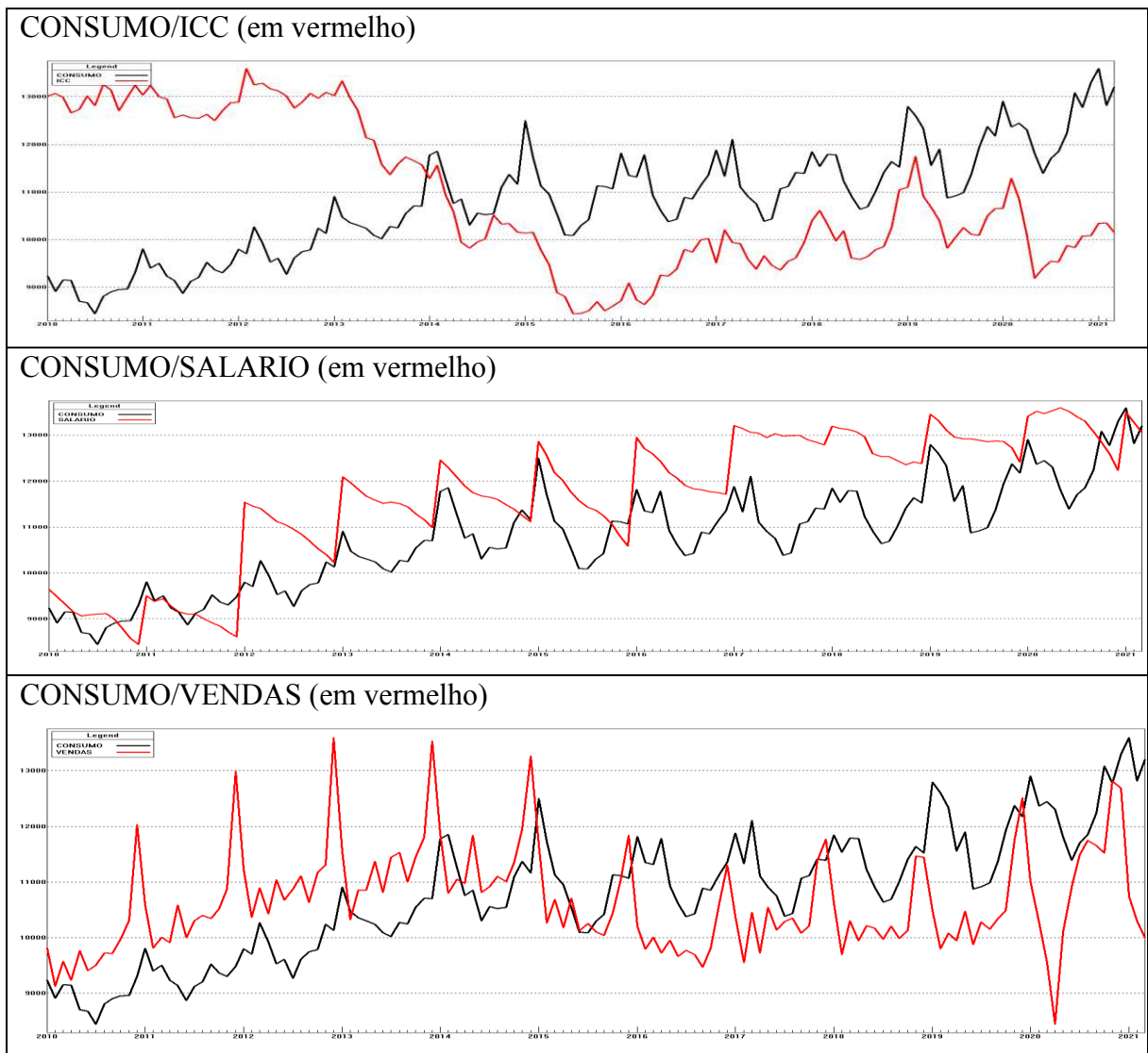
Tabela 1 – Variáveis presentes no modelo final

Variável*	Sigla	Coefficiente	Erro-Padrão**
Consumo de Energia elétrica na classe residencial	CONSUMO	-	-
Termo constante	_CONST	-1,21	0,45
Índice de confiança do consumidor	ICC	0,05	0,05
Salário mínimo real	SALARIO	0,22	0,22
Índice de venda de móveis e eletrodomésticos	VENDAS	0,06	0,06
Consumo de Energia elétrica na classe residencial em t-1	CONSUMO[-1]	0,30	0,30
Consumo de Energia elétrica na classe residencial em t-12	CONSUMO[-12]	0,60	0,60

Fonte: Elaboração própria. Observação: *Variáveis trabalhadas em escala logarítmica de base natural. **Todas as variáveis foram significantes ao nível de 5%.

Observando a tabela 1, é possível notar coeficientes de elasticidade positiva entre o consumo de energia elétrica residencial e a venda de móveis e eletrodomésticos (0,06), e o salário mínimo real (0,22), o que era esperado, uma vez que se espera um efeito positivo no consumo de energia elétrica nas residências, à medida que mais eletrodomésticos são vendidos. Isso significa que, segundo o modelo, um aumento de 1% na venda de móveis e eletrodomésticos, implica num crescimento de 0,06% no consumo de energia elétrica da classe residencial. De maneira análoga, um aumento de 1% no salário mínimo real, segundo o modelo, resulta em um aumento de 0,22% no aumento do consumo de energia elétrica residencial. Por último, é importante salientar a presença de dois componentes de “dinâmica” do modelo, sendo eles o consumo de energia elétrica na classe residencial em $t - 1$, que representa o consumo no mês anterior, e em $t - 12$, que representa o consumo em doze meses atrás. É possível ver na figura 7 a relação gráfica entre o consumo de energia elétrica residencial e as variáveis causais presentes no modelo final.

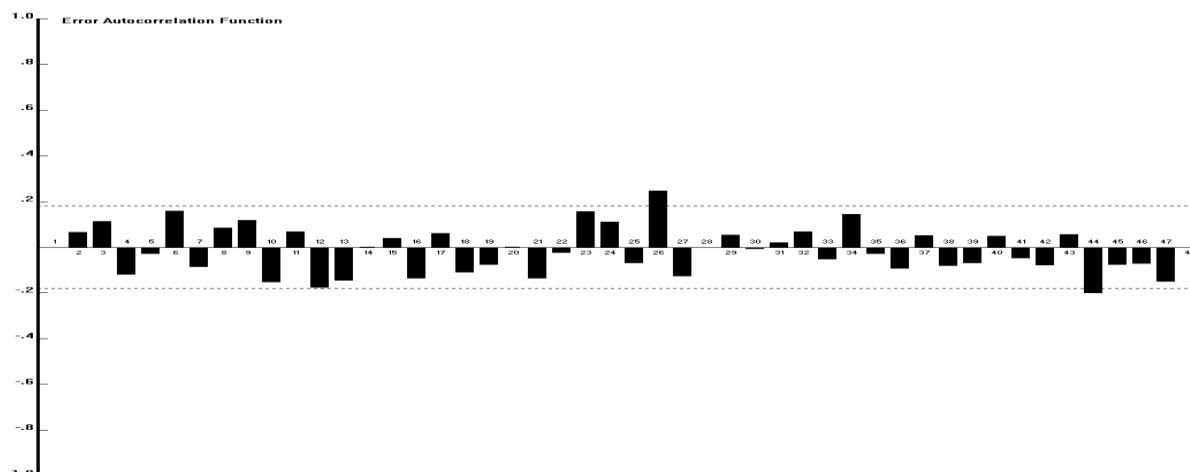
Figura 7 – Relação gráfica entre o consumo de energia elétrica residencial e as variáveis presentes no modelo



Fonte: Elaboração própria

É importante salientar que este modelo gera resíduos descorrelatados, que é uma característica necessária para sua utilização, por exemplo, para executar previsões. A figura 8 mostra o gráfico com o correlograma dos erros. Para corroborar, realizou-se o teste de Ljung-Box.

Figura 8 – Correlograma dos erros do modelo final



Fonte: Elaboração própria.

No tangente ao desempenho preditivo, o modelo selecionado apresenta um R^2 -ajustado igual a 92%, ou seja, este modelo explica 92% da evolução do consumo de energia elétrica na classe residencial. O modelo possui um erro médio absoluto percentual (MAPE) igual a 2% nas previsões para um período a frente, ou seja, para o mês seguinte.

Mencionada as características estatísticas do modelo e o desempenho preditivo, a equação 4.1 seguinte pode ser utilizada para se obter previsões futuras do consumo de energia elétrica na classe residencial, partindo de cenários variados, e combinações destes cenários, sobre a venda de móveis e eletrodomésticos, o salário mínimo real, e o índice de confiança do consumidor.

$$\ln(\text{CONSUMO})_t = -1,21 + 0,05 \ln(\text{ICC})_t + 0,22 \ln(\text{SALARIO})_t + 0,06 \ln(\text{VENDAS})_t + 0,3 \ln(\text{CONSUMO})_{t-1} + 0,6 \ln(\text{CONSUMO})_{t-12} \quad (4.1)$$

Onde:

CONSUMO: consumo de energia elétrica na classe residencial no instante de tempo t

ICC: índice de confiança do consumidor no instante de tempo t

SALARIO: salário mínimo real no instante de tempo t

VENDAS: venda de móveis e eletrodomésticos no instante de tempo t

CONSUMO_{t-1}: consumo de energia elétrica residencial no instante de tempo t-1

CONSUMO_{t-12}: consumo de energia elétrica residencial no instante de tempo t-12

A fim de explorar a capacidade preditiva do modelo, foi realizado um cálculo das previsões para o ano de 2021 (já incluindo dados reais até março de 2021) e 2022, adotando um cenário autoprotetado¹⁸ para as variáveis explicativas presentes no modelo. A tabela 2 mostra a evolução do consumo anual de energia elétrica na classe residencial, em GWh, bem como as projeções feitas para os anos de 2021 e 2022.

Tabela 2 – Evolução do consumo anual de energia elétrica na classe residencial (em GWh)

Ano	Consumo (GWh)	Variação (%)
2010	107.215	1,00
2011	111.970	4,43
2012	117.640	5,06
2013	124.883	6,16
2014	132.072	5,76
2015	131.073	-0,76
2016	132.865	1,37
2017	133.904	0,78
2018	136.018	1,58
2019	141.821	4,27
2020	148.190	4,49
2021*	152.820	3,12
2022*	155.866	1,99

Fonte: Elaboração própria. Observação: *Previsões obtidas através do modelo (4.1)

Analisando a tabela 1, e adotando um cenário autoprotetado para as variáveis explicativas presentes no modelo (4.1), projetou-se para o consumo de energia elétrica

¹⁸ As variáveis causais presentes no modelo foram projetadas no horizonte de previsão através de um método univariado escolhido através de uma competição de métodos. Para cada variável foi feita uma competição de métodos, usando uma análise recursiva fora da amostra para selecionar o método autoprotetivo vencedor. Foram utilizados os Métodos de Amortecimento Exponencial e de Box & Jenkins. Em síntese, o método vencedor foi aquele que minimizou o erro médio absoluto acumulado fora da amostra.

residencial um aumento de 3,12% no ano de 2021 em relação ao ano de 2020, e um aumento de 1,99% no ano de 2022, em relação ao ano de 2021. É importante destacar que este é apenas um dos cenários que podem ser criados, uma vez que, seguindo a estratégia *bottom-up* descrita em Zanini (2000), pode-se chegar a diversos modelos que também explicam a variável CONSUMO. Ademais, é possível ainda construir cenários diversos a partir dos limites do intervalo de confiança, uma vez que as previsões são probabilísticas. É possível também, a elaboração de cenários otimistas, pessimistas e moderados para cada uma das variáveis componentes do modelo (4.1), a partir da adoção de diferentes valores para as mesmas, utilizando sempre a equação de previsão estimada por meio do MRD.

Além do cenário descrito no presente trabalho, outros foram elaborados pela EPE, e descritos no Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030). O cenário inferior adota uma crise sanitária mais intensa, com presença de novas ondas de contágio, dificuldade na aprovação de reformas e um maior nível de desemprego e uma menor renda. Por outro lado, o cenário superior considera maior efetividade das políticas de combate ao novo coronavírus. Já o cenário referência leva em consideração o estágio atual do enfrentamento à COVID-19. O gráfico 5 mostra o crescimento do consumo de eletricidade por classe.

Gráfico 5 – Crescimento do consumo de eletricidade, por classe. Cenário Referência x Cenários Alternativos



Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 – PDE 2030 (EPE, 2020).

Se comparados os valores da projeção de consumo de energia elétrica no setor residencial obtidos através da equação (4.1), estimada através do MRD, com os valores previstos na Projeção da Demanda de Energia Elétrica do Sistema Interligado Nacional 2020-2024, elaborado e divulgado pela EPE em novembro de 2020, é possível comparar os valores obtidos pela projeção deste trabalho e da EPE são semelhantes: 152.820 GWh e 144.849 GWh

para 2021 e 155.866 GWh e 150.822 GWh para 2022, respectivamente (EPE, 2020). Portanto, nota-se que a EPE projeta um cenário com retração no consumo de energia elétrica nas residências em 2021, quando comparado com 2020, enquanto este trabalho projeta um aumento. Isso ocorreu pois a projeção feita pela EPE para o consumo levou em consideração dados até setembro de 2020, enquanto este trabalho utiliza dados até março de 2021. Entretanto, ambas projeções visam um cenário de aumento do consumo para 2022, quando comparados com o consumo de 2020.

CONCLUSÃO

Tornam-se evidentes, ao analisar o panorama global, as consequências geradas pela crise sanitária provocada pela COVID-19 sobre os meios econômico, social e político. Destacam-se também as incertezas que permeiam o cenário global, tornando difícil projeções de curto prazo sobre a economia e sociedade.

Tendo em vista essa informação, este trabalho teve como objetivo verificar o impacto da pandemia no consumo de energia elétrica da classe residencial, utilizando o MRD, e aplicando a estratégia *bottom-up* para a construção do modelo, gerando desta forma um modelo parcimonioso, isto é, com poucas variáveis e bom poder de explicação.

Descrito o objetivo, o trabalho apresentou uma introdução ao Sistema Elétrico Brasileiro, descrevendo seu processo histórico de formação e mudanças e sua estrutura atual, focando no setor residencial. Posteriormente foi descrito o panorama geral das consequências da crise sanitária sobre a economia, com ênfase novamente na classe residencial. Foi apresentado, por fim, a metodologia adotada na construção do modelo final, prosseguindo para a apresentação dos dados obtidos na modelagem.

Quanto à modelagem, após o levantamento de dados das variáveis que seriam utilizadas na análise, iniciou-se a aplicação do método de Regressão Dinâmica. Foram consideradas variáveis *proxy* para o nível de atividade econômica no Brasil, para a expectativa econômica futura, para o nível geral de preços, renda, preço da energia e posse de eletrodomésticos. Realizado os testes de causalidade e dinâmica, bem como para erros estruturados, chegou-se a um modelo com poder de explicação de 91,8% sobre a evolução no consumo de energia elétrica nas residências brasileiras, e um erro médio absoluto percentual de 2%, podendo considerá-lo um modelo com bom poder de explicação e baixo percentual de erro para previsões 1 passo à frente.

Cabe ressaltar a importância do uso do modelo no cálculo de previsões, bem como ferramenta de planejamento e de apoio à decisão, uma vez que é por meio dessas previsões que, em geral, políticas são formuladas ou reformuladas. Destaca-se também a acurácia do modelo ao projetar o consumo de energia elétrica residencial. Comparando os dados obtidos neste trabalho com os elaborados pela EPE, vê-se que ambas apresentam resultados semelhantes,

corroborando ainda mais a eficácia da modelagem. O MRD estimado neste trabalho, com um cenário autoprojeto para as variáveis explicativas presentes no modelo, indicou um crescimento médio de 2,56% no consumo de energia elétrica na classe residencial para o biênio 2021-2022.

Pode-se verificar que a pandemia da COVID-19 impactou o consumo de energia elétrica na classe residencial, o que pode ser verificado através de um aumento do consumo como reflexo de um maior tempo de permanência dos consumidores nas residências, de uma maior aquisição de equipamentos eletro-eletrônicos, dentre outros fatores. Importante observar que pesquisas que evidenciem não só a posse, mas os hábitos de consumo, podem ajudar na compreensão desta trajetória ascendente do consumo de energia elétrica na classe residencial.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **ANEEL regulamenta Conta-covid para injetar liquidez no setor e amortecer aumento nas tarifas.** Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-regulamenta-costa-covid-para-injetar-liquidez-no-setor-e-amortecer-aumento-nas-tarif-1/656877?inheritRedirect=false. Acesso em: 15 de maio de 2021;

BASILO, P. **Saiba quais são os maiores vilões da conta de luz nos lares brasileiros.** Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/07/17/saiba-quais-sao-os-maiores-viloes-da-costa-de-luz-nos-lares-brasileiros.ghtml>. Acesso em: 21 de julho de 2021.

BEZERRA, A. C. V. et al. Factors associated with people’s behavior in social isolation during the covid-19 pandemic. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 25, p. 2411–2421, 2020.

BICCA, M. F. **Dos lampiões à eletricidade: a iluminação pública em Porto Alegre.** In: Conselho em Revista, CREA-RS, Porto Alegre, ano VII, n. 67, p. 35, mar. 2010.

Braun, D. Brandão, R. **Vendas de eletrônicos superam as do ano passado.** Valor Econômico, 2020. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2020/09/21/vendas-de-eletronicos-superam-as-do-ano-passado.ghtml>. Acesso em: 15 de maio de 2021

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Auxílio Emergencial.** Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/auxilio/PAGINAS/DEFAULT2.ASPX#:~:text=O%20Aux%C3%A4Dlio%20Emergencial%20%C3%A9%20um,pandemia%20do%20Coronav%C3%ADrus%20%2D%20COVID%2019>. Acesso em: 10 de mar. de 2021.

CAMARGO, L. G. B. C. **O Setor Elétrico Brasileiro e Sua Normatização Contemporânea.** p. 358, 2005.

CHEN, S. et al. **Tracking the Economic Impact of COVID-19 and Mitigation Policies in Europe and the United States.** IMF Working Papers, v. 20, n. 125, 2020.

COSTA, E. D. F. **Estudo De Avaliação Do Programa De Auxílio Emergencial:** Uma análise sobre focalização e eficácia a nível municipal. July, 2020.

DWECK, E. (Coord.) **Impactos macroeconômicos e setoriais da Covid-19 no Brasil.** Nota Técnica. Texto para Discussão 007, IE-UFRJ, 2020.

ELETOBRAS. **Programa Luz para Todos.** Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Luz-para-Todos.aspx>. Acesso em: 02 de mar. de 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020.

_____. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2014.

_____. **Balanco Energético Nacional 2020** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020.

_____. **Balanco Energético Nacional 50 anos: cinquenta anos de estatísticas energéticas** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020.

_____. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020.

_____. **Plano Nacional de Energia 2050** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020.

_____. **Projeção da Demanda de Energia Elétrica do Sistema Interligado Nacional 2020 – 2022.** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020.

_____. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica – Maio 2020** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020.

_____. **O que fazemos** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/o-que-fazemos>. Acesso em: 13 de fev. de 2021.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. **Monitor Regulatório de COVID-19.** Disponível em: <http://www.coregmonitor.org/>. Acesso em 18 de fev. de 2021

FRANCO, G. H. B. **A primeira década republicana.** In: ABREU, M.P. (Org). A ordem do progresso – cem anos de política econômica republicana – 1889-1989. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil.** 32. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2005.

GOMES, J. P. P.; VIEIRA, M. M. F. **O Campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002.** Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, 43(2), p. 295-321, mar./abr. 2009.

HENDERSON, J. V.; STOREYGARD, A.; WEIL, D. N. **Measuring economic growth from outer space.** American Economic Review, v. 102, n. 2, p. 994–1028, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010.**

_____. **PIB cai 1,5% no 1º trimestre de 2020.** Disponível em: [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/27837-pib-cai-1-5-no-1-trimestre-de-2020#:~:text=O%20Produto%20Interno%20Bruto%20\(PIB,negativa%20de%200%2C3%25](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/27837-pib-cai-1-5-no-1-trimestre-de-2020#:~:text=O%20Produto%20Interno%20Bruto%20(PIB,negativa%20de%200%2C3%25). Acesso em: 13 de fev. de 2021

_____. **Pesquisa Mensal do Comércio – PMC.** Série Relatórios Metodológicos. Vol. 15. 5ª ed. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://ipeadata.gov.br/doc/PMC%20RELATORIOS%20METODOLOGICOS%205%20EDI%20C3%87%20C3%83O%20DE%202020.pdf>. Acesso em: 23 de jun. de 2021.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD Contínua 2020.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em 14 de mar. de 2021.

IPEADATA. Base de dados: Consumo mensal de energia elétrica – residencial (1976-2021). 2021a.

_____. Base de dados: Índice de Atividade Econômica do Banco Central (IBC-Br). 2021b.

_____. Base de dados: Índice de Confiança do Consumidor. 2021c.

_____. Base de dados: Índice de Preços ao Consumidor. 2021d.

_____. Base de dados: Salário Mínimo Real. 2021e.

_____. Base de dados: Tarifa Média por MWh – residencial. 2021f.

_____. Base de dados: Venda de Móveis e Eletrodomésticos – Varejo – real. 2021g.

_____. Base de dados: Consumo anual de energia elétrica – total (1976-2019). Brasil, 2020.

ITAIPU BINACIONAL. **Nossa História.** Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/nossahistoria>. Acesso em: 22 de fev. de 2021.

LANDI, M. **Energia elétrica e políticas públicas:** a experiência do setor elétrico brasileiro no período de 1934 a 2005. São Paulo, 2006. 219 f. Tese (Doutorado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

LIMA, J. L. **Políticas de governo e desenvolvimento do setor de energia elétrica:** do código de águas à crise dos anos 80 (1934-1984). Rio de Janeiro: Memória da Eletricidade, 1995.

LORENZO, H. C. DE. **O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: PASSADO E FUTURO.** Perspectivas: Revista de Ciências Sociais, p. 147–170, 2001.

MINISTÉRIO DA CIDADANIA. **Impacto médio do Auxílio Emergencial na economia brasileira é de 2,5% do PIB.** Disponível em: <https://www.gov.br/cidadania/pt-br/noticias-e-conteudos/desenvolvimento-social/noticias-desenvolvimento-social/impacto-medio-do-auxilio-emergencial-na-economia-brasileira-e-de-2-5-do-pib>. Acesso em: 15 de mar. de 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Painel Coronavírus.** Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>. Acesso em 14 de mar. de 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **O Modelo Institucional Do Setor Elétrico.** p. 60, 2003.

NBER – National Bureau of Economic Research. **RAPID: Electricity Consumption as a Real Time Indicator of Economic Activity.** 01 de set. de 2020. Disponível em: <https://www.nber.org/programs-projects/projects-and-centers/7878-rapid-electricity-consumption-real-time-indicator-economic-activity?page=1&perPage=50>. Acesso em: 14 de fev. de 2021.

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Evaluating the initial impact of COVID-19 containment measures on economic activity.** Disponível em:

<http://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/evaluating-the-initial-impact-of-covid-19-containment-measures-on-economic-activity-b1f6b68b/>. Acesso em 13 de fev. de 2021.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard**. Disponível em: <https://covid19.who.int/table>. Acesso em: 14 de mar. de 2021.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **O que é ONS**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons#:~:text=O%20Operador%20Nacional%20do%20Sistema,e%20regula%C3%A7%C3%A3o%20da%20Ag%C3%Aancia%20Nacional>. Acesso em: 17 de fev. de 2021.

PIRES RRC. **Os efeitos sobre grupos sociais e territórios vulnerabilizados das medidas de enfrentamento à crise sanitária da covid-19**: propostas para o aperfeiçoamento da ação pública: Nota Técnica. Brasília: IPEA; 2020. [Acesso em 20 de Fev de 2021]. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_alphacontent&view=alphacontent&Itemid=357.

REGO, E. E. **Principais condicionantes das alterações no modelo de comercialização de energia elétrica: retrospectiva e análise crítica**. 2007. 207 f. Dissertação (Mestrado) - IEEUSP. São Paulo, 2007.

ROBOCK, S.; TENDLER, J.; SILVERT, K. Electric Power in Brazil: Entrepreneurship in the Public Sector. **The Hispanic American Historical Review**, v. 50, n. 1, p. 200, 1970.

SANDRONI, P. Pandemia e a recuperação da economia. **Gv Executivo**, v. 19, n. 3, p. 58, 2020.

SBI – Sociedade Brasileira de Infectologia. **Informe da Sociedade Brasileira de Infectologia (SBI) sobre o novo coronavírus**. Mar. 2020.

SEGER, S.; MERCEDES, P.; RICO, J. A. P. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. **Revista USP**, v. 104, p. 13–36, 2015.

SILVA, Bruno Gonçalves da. **Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional**: uma análise histórica e econométrica de longo prazo. 2011, 162 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

TEMPO, L. D. O. **Reorganização ao Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**. p. 6–8, 2021.

TOZZI, et al. **Você sabe como surgiu o coronavírus SARS-CoV-2**. Secretária de Estado de Saúde de Minas Gerais, 2020. Disponível em: <https://coronavirus.saude.mg.gov.br/blog/27-como-surgiu-o-coronavirus>. Acesso em: 05 de mar. de 2021.

VILLAREAL, M. J. C.; MOREIRA, J. M. L. **Household consumption of electricity in Brazil between 1985 and 2013**. *Energy Policy*, v. 96, n. September, p. 251–259, 2016.

XU, X. Y.; ANG, B. W. Analyzing residential energy consumption using index decomposition analysis. **Applied Energy**, v. 113, p. 342-351, 2014.

ZANINI, G. **O tratado de Itaipu**. Revista da Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo, v. 69, n. 1, p. 165, 1974.

ZANINI, A. **Redes Neurais e Regressão Dinâmica: um modelo híbrido para a previsão de curto prazo da demanda de gasolina automotiva no Brasil**. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio, 2000.