

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA

JOÃO FRANCISCO MACHADO VITOR

**MENSURAÇÃO DO IMPACTO DA COVID-19 NO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO SETOR INDUSTRIAL ATRAVÉS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO
DINÂMICA**

JUIZ DE FORA - MG
2021

JOÃO FRANCISCO MACHADO VITOR

**MENSURAÇÃO DO IMPACTO DA COVID-19 NO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO SETOR INDUSTRIAL ATRAVÉS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO
DINÂMICA**

Monografia apresentada 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: Alexandre Zanini

JUIZ DE FORA - MG
2021

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

Vitor, João Francisco Machado.
Mensuração do impacto da COVID-19 no consumo de Energia Elétrica no Setor Industrial através da análise de Regressão Dinâmica / João Francisco Machado Vitor. -- 2021.
60 p. : il.

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. Setor Industrial. 4. Regressão Dinâmica. I. Zanini, Alexandre, orient. II. Título.

RESUMO

Nesta monografia é elaborado um modelo Regressão Dinâmica para a mensuração dos impactos da pandemia de COVID-19 sobre o consumo de energia elétrica no setor industrial. Para tal, apresenta-se, a princípio, o processo histórico da evolução do Sistema Elétrico Brasileiro e um panorama geral dos efeitos da pandemia na economia do Brasil. Na sequência a metodologia a ser utilizada é apresentada, explicando-se o conceito do modelo e mostrando a estratégia da estimação do mesmo.

Por fim, são apresentados os resultados obtidos através da análise de Regressão Dinâmica, indicando o desempenho preditivo do modelo. O modelo foi utilizado ainda para calcular as previsões sobre consumo de eletricidade na indústria, sendo os resultados comparados com as previsões dos órgãos responsáveis pelo setor, evidenciando o poder da modelagem. As previsões indicam uma queda do consumo de energia elétrica na classe industrial em 2020 e uma recuperação a partir de 2021.

ABSTRACT

In this monograph, a Dynamic Regression model is prepared to measure the impacts of the COVID-19 pandemic on the consumption of electricity in the industrial sector. To this end, it presents, at first, the historical process of the evolution of the Brazilian Electric System and an overview of the effects of the pandemic on the Brazilian economy. Then the methodology to be used is presented, explaining the concept of the model and showing the strategy for estimating it.

Finally, the results obtained through the Dynamic Regression analysis are presented, indicating the predictive performance of the model. The model was also used to calculate the forecasts of electricity consumption in the industry, the results being compared with the forecasts of the agencies responsible for the sector, showing the power of modeling. Forecasts indicate a drop in electricity consumption in the industrial class in 2020 and a recovery from 2021.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelos Estruturais do Setor Elétrico	16
Figura 2 - Modelo de comercialização de energia no RE-SEB.....	17
Figura 3 – Ambientes para contratação de Energia.....	20
Figura 4 - Construção de um modelo de Regressão Dinâmica	40
Figura 5 - Evolução das variáveis de janeiro/2010 até novembro/2020.....	47
Figura 6 - Relação gráfica das variáveis componentes do modelo em relação ao consumo de energia na classe industrial	50
Figura 7 - Correlograma de erros do modelo selecionado	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais agentes e suas funções.....	19
Quadro 2 - Principais diferenças de premissas entre o cenário de referência e os alternativos	32
Quadro 3 – Variáveis utilizadas para estimação do modelo	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Trajetória do consumo final energético na indústria e nos demais setores	21
Gráfico 2 – Consumo energético final por setor - %.....	21
Gráfico 3 – Evolução do consumo absoluto das fontes energéticas na indústria	22
Gráfico 4 – Consumo de eletricidade do setor industrial - %.....	23
Gráfico 5 – Participação Setorial no consumo de eletricidade.....	23
Gráfico 6 – Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte	24
Gráfico 7 - Evolução da indústria, comércio e serviços em 2020	26
Gráfico 8 - Evolução trimestral da taxa de desemprego - %	27
Gráfico 9 - Produção Industrial Anual do Brasil - variação em relação ao acumulado do ano anterior (2010-2019).....	29
Gráfico 10 - Produção Física Industrial acumulado em 2020, por seções e atividades industriais	31
Gráfico 11 - Consumo final de energia por setor	33
Gráfico 12 - Crescimento do consumo de eletricidade, por classe. Cenário de Referência x Cenários Alternativos	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Brasil: Indicadores Econômicos selecionados	28
Tabela 2 - Variação da Produção Industrial do Brasil, por grandes Categorias Econômicas (2010-2019)	30
Tabela 3 - Variação Mensal da atividade industrial no Brasil em 2020 - %	30
Tabela 4 - Variação da Produção Industrial do Brasil, por Grandes Categorias Econômicas, acumulado de 2020.....	31
Tabela 5 -Variáveis componentes do modelo final	48
Tabela 6 - Evolução do consumo de energia elétrica na classe industrial (GWh) e variação percentual	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL - Ambiente de Contratação Livre
ACR - Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN - Balanço Energético Nacional (EPE)
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CNAEE - Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
FHC - Fernando Henrique Cardoso
FMI - Fundo Monetário Internacional
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IUEE - Imposto Único Sobre Energia Elétrica
MAE – Mercado Atacadista de Energia
MME – Ministério de Minas e Energia
PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia (EPE)
PIB – Produto Interno Bruto
PIM-PF - Pesquisa Industrial Mensal – Produção Física
PMS - Pesquisa Mensal de Serviços
PMC - Pesquisa Mensal de Comércio
PND - Plano Nacional de Desenvolvimento
RE-SEB - Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
SEB – Setor Elétrico Brasileiro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO I – O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO (SEB)	13
1.1 Histórico e organização	13
1.2 O consumo de energia elétrica na classe industrial	21
CAPÍTULO II – OS EFEITOS DA PANDEMIA DE COVID-19 NA ECONOMIA BRASILEIRA	25
2.1 – A doença e o panorama geral	25
2.2 – Impacto da pandemia no setor industrial e no consumo de energia	29
CAPÍTULO III – MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA	34
3.1 – Conceituação	34
3.2 - Estrutura dos Modelos de Regressão Dinâmica	35
3.2.1 - Modelos de Regressão Cochrane-Orcutt Generalizados	37
3.3 - Construção de modelos de Regressão Dinâmica	38
3.4 - Testes usados nos modelos de Regressão Dinâmica	40
3.4.1 - Testes de verificação da “dinâmica” do modelo	41
3.4.2 - Testes para a especificação das variáveis causais	42
3.4.3 - Testes baseados na autocorrelação dos resíduos	43
CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS	45
CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	57

INTRODUÇÃO

O final do ano de 2019 foi marcado pelo surgimento de um novo coronavírus, cientificamente conhecido como SARS-CoV-2, que causa a doença popularmente conhecida como COVID-19, caracterizada por ser uma síndrome respiratória aguda grave. Os primeiros casos da doença aconteceram na cidade de Wuhan, na China. Porém, devido a alta taxa de transmissão da doença, logo no início de 2020 a doença se espalhou por todos os continentes, levando assim a declaração de um estado pandêmico (Tozzi et al., 2020).

Com a chegada inesperada da doença, todos os países tiveram que correr contra o tempo para tentar amenizar as consequências da pandemia, mas mesmo com essa tentativa de preparação os efeitos do novo coronavírus foram severos. Além das milhares de mortes, os países tiveram ainda que lidar com uma eminente crise econômica, que não tem previsão para se encerrar. Ademais, em razão da alta taxa de transmissão da doença, uma das medidas que se provaram ser mais efetivas foi a do distanciamento social, o que gerou um agravamento da situação econômica dos países (Assis, 2020).

No Brasil, que é um dos países mais afetados pela pandemia, esses efeitos não foram diferentes. Foi verificada uma queda brusca na atividade econômica do país que, somada as incertezas que rondam a pandemia, colocam-no em uma situação adversa (BBC, 2020).

Conforme Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), um dos setores que mais sentiram os efeitos da pandemia no Brasil foi o setor industrial, visto que, sobretudo nos primeiros meses pandêmicos, o nível de atividade do setor foi reduzido drasticamente, causando perdas consideráveis à indústria em geral, com fechamento de diversas fábricas e uma diminuição considerável do investimento. Entretanto, o consumo de energia elétrica durante o período da pandemia variou bastante de setor para setor, sendo possível verificar um aumento no consumo de energia elétrica em alguns deles, como na classe residencial, por exemplo.

Dito isso, ressalta-se que o objetivo principal do presente trabalho é apresentar a mensuração dos impactos da pandemia de COVID-19 sobre o consumo de energia elétrica no setor industrial, através da análise de Regressão Dinâmica. Essa análise será feita a partir da criação de um modelo com diversas variáveis, entre elas a variável de interesse que é o consumo de eletricidade na indústria, onde será aplicado o método de Regressão Dinâmica

para determinar os impactos que cada variável causal presente no modelo detém sobre a variável de interesse.

Além do objetivo principal, esta monografia também tem por finalidade apresentar a estrutura atual do setor energético brasileiro, bem como apresentar um panorama geral dos impactos da pandemia sobre a economia brasileira e apresentar o modelo a ser utilizado para a mensuração dos impactos da pandemia no consumo de energia elétrica na indústria. Este trabalho também se propõe a realizar uma previsão para o consumo de eletricidade no setor industrial para os anos de 2020 e 2021, por meio da equação de previsão obtida através do método de Regressão Dinâmica.

Feitas estas considerações, atenta-se que este trabalho está organizado em seis capítulos, os quais são iniciados por esta introdução ao trabalho a ser desenvolvido. Na sequência, o capítulo I apresenta um histórico do desenvolvimento do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) e mostra como o setor está estruturado na atualidade. Já o capítulo II aborda os efeitos gerais da pandemia de COVID-19 sobre a economia brasileira, expondo ainda as consequências da doença sobre a atividade industrial. O capítulo III, por sua vez, exhibe e explica o método que foi utilizado para realizar a mensuração dos impactos da pandemia no consumo de energia elétrica na indústria, que é o método de Regressão Dinâmica. Em seguida, no capítulo IV, serão apresentados e analisados os resultados obtidos através do método de Regressão Dinâmica, e também os dados sobre a previsão para o consumo de eletricidade na indústria para 2020 e 2021. Por fim, o último capítulo apresenta a conclusão do presente trabalho.

CAPÍTULO I – O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO (SEB)

1.1 Histórico e organização

O setor elétrico brasileiro teve sua história iniciada na última década do Império no Brasil. Em 1876, após visitar a Exposição da Filadélfia, Dom Pedro II convidou Tomas Edson a inserir em território brasileiro aparelhos e processos destinados à utilização da eletricidade na iluminação. Assim, em 1879 no Rio de Janeiro, foi inaugurada a iluminação elétrica interna na estação Central do Brasil, na época chamada Estação Central da Estrada de Ferro Dom Pedro II. Sem grandes alterações em suas características básicas, de acordo com Lima (1984), a organização do setor permanecia com pouca regulação do Estado até o final da República Velha (1889-1930), regulação essa resumida em medidas isoladas de regulamentação e de concessão de aproveitamentos hidrelétricos e fornecimentos de serviços.

Segundo Silva (2011), o governo provisório, iniciado por Getúlio Vargas após a revolução de 1930, e marcado por um caráter mais intervencionista, teve que encarar um grande desafio econômico, com diversos impactos da Grande Depressão. As dificuldades cambiais e a crise do café agravavam a situação. Para o setor energético, a base regulatória seria fundamental para a expansão da capacidade instalada de energia elétrica. A discussão do projeto do Código de Águas, iniciada em 1907 e interrompida em 1923, foi retomada em 1930, porém em um contexto diferente, já que havia uma nova visão por parte do governo, que traria as decisões relativas aos recursos naturais para a esfera federal.

Como apontado por Corrêa (2005), em 1931 foi criada uma subcomissão legislativa com a função de elaborar um novo projeto para o Código de Águas, e nesse mesmo ano foi baixado o Decreto nº 20.395, estabelecendo que qualquer ato das concessionárias de energia deveria ter autorização do governo federal. Com essa medida, a intenção era combater qualquer transferência de propriedade que pudesse dificultar a aplicação da nova lei. Em 1934 houve a publicação do Decreto nº 26.234, conhecido como Código de Águas, e que conforme Gomes *et al* (2002), “materializa o projeto intervencionista na gestão do setor de águas e energia elétrica”.

Em seguida à criação do Código de Águas, foi criado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), que conforme Silva (2011), funcionava como órgão centralizador dos estudos de energia elétrica, e tinha como atribuições manter estatísticas, organizar a

interligação dos sistemas, regulamentar o Código de Águas e examinar as questões tributárias referentes à energia elétrica. Posteriormente, em 1957, o Código de Águas foi regulamentado pelo Decreto nº 41.091, que instaurou um regime de remuneração garantida. Além disso, no início da década de 1960, houve a criação do Ministério de Minas e Energia, através da Lei 3.781/60.

Na sequência houve um período marcado pela ditadura militar, após o golpe civil-militar de 1964, e que perdurou até o ano de 1985. Como apontado por Silva (2011), o início desse período foi marcado pela busca de saneamento das finanças públicas e estabilização econômica. Já entre os anos de 1968 e 1973, ocorreu uma consolidação dessa recuperação e o Brasil viveu o chamado “milagre econômico”, e graças aos esforços do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), a reorganização da estrutura e o aumento do volume de recursos disponíveis gerados por tributos e por capital externo, o setor elétrico se expandiu.

Entretanto, conforme notado por Silva (2011), o período de 1974-1985 foi marcado pelo auge e esgotamento do modelo de crescimento vigente. Até o ano de 1979 era possível se observar significativas taxas de crescimento do PIB e do setor elétrico, porém neste ano o endividamento externo tornou-se insustentável. Entre os anos de 1980 e 1984 foram realizadas diversas tentativas de ajuste econômico que não foram bem sucedidas. Ao mesmo tempo, o setor elétrico também sofria com o endividamento externo e controle da inflação, que corrompia a base de remuneração do setor e comprometia a capacidade de investimentos.

Dessa forma, os últimos anos de ditadura foram marcados por um declínio expressivo do crescimento econômico e o setor elétrico foi prejudicado pela falta de recurso dos estados e pela alta inflação. Assim, a grande alteração política de 1985 e a frágil situação econômica da época davam indícios de que grandes alterações precisavam ser feitas nos anos seguintes para estabilização e retorno do país ao crescimento, sendo que, dentre elas, estava também a alteração da política do setor elétrico brasileiro.

O retorno do Brasil à democracia durante a década de 1980 foi um período marcado por grande instabilidade econômica, e segundo define Castro (2005, p. 116),

“Do ponto de vista econômico, o curto período que compreende a chamada “Nova República” (1985-89) ficou guardado na lembrança dos brasileiros como um conjunto de experiências malsucedidas de estabilização da inflação”.

Foi um período marcado por um conjunto de tentativas sem sucesso de combate à inflação.

No setor elétrico, a crise vivida na primeira metade da década de 1980 continuava e, de acordo com Silva (2011), a Constituição Federal de 1988 agravou ainda mais a situação ao extinguir o Imposto Único Sobre Energia Elétrica (IUEE), cujos recursos eram destinados a investimentos no setor de energia elétrica, substituído pelo ICMS, cujas alíquotas eram definidas pelos estados da federação e sem nenhuma destinação às concessionárias. Houve também a elevação da alíquota do Imposto de Renda (IR) das empresas de energia elétrica de 6% para 40%, o que aprofundou a crise do setor ainda mais. O agravamento da situação do setor elétrico tornava cada vez mais urgente a adoção de medidas de reestruturação.

Com isso, a primeira metade da década de 1990 formaria a base econômica para a reestruturação do setor elétrico. Esse período foi marcado pelos Planos Collor I e II, que visavam sobretudo o combate à inflação, mas não tiveram o sucesso esperado. Assim, o governo deu início ao Programa Nacional de Desestatização, que visava o redesenho do parque industrial, a redução da dívida pública e o uso dos recursos sequestrados pelo Plano Collor I para promoção e privatizações (Castro, 2005).

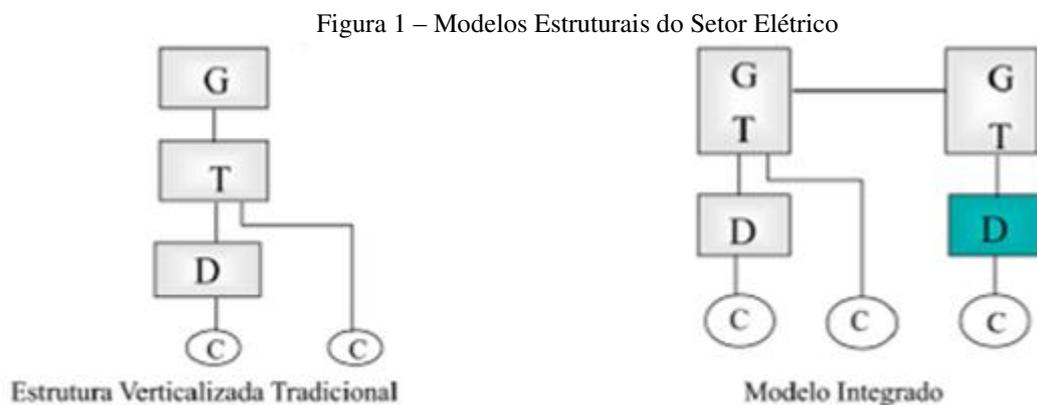
Após o *impeachment* de Collor, Itamar Franco assumiu a Presidência da República. Durante o governo Itamar, foi introduzido o Plano Real, momento em que o combate à inflação e a obtenção de estabilidade econômica foram finalmente bem sucedidos. De acordo com Castro (2005), foram diversas as causas para o sucesso desse plano, destacando-se que o cenário econômico e a estratégia adotada foram diferentes da última década.

Conforme exposto por Silva (2011), o sucesso desse plano impactou também o setor elétrico, uma vez que a apreciação cambial e a abertura comercial acabaram promovendo a deterioração das contas externas, devido à grande concorrência internacional. Portanto, com o processo de deterioração do saldo do balanço de pagamentos, houve uma aceleração do processo de privatização das empresas estatais, como uma forma de promoção da entrada de capitais no país, fazendo com que o governo contasse cada vez mais com o setor privado para a retomada dos investimentos em setores produtivos.

A enorme necessidade da estruturação de bases para o crescimento econômico do país, alinhada às condições econômicas favoráveis do momento, levaram à formulação de um novo conjunto de regras para o setor elétrico. Assim, em meados da década de 1990, foi iniciada a construção de um novo modelo institucional do sistema elétrico brasileiro, o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RE-SEB). Como apresentado por Silva (2011), é

possível afirmar que o pontapé inicial desse novo modelo foi por meio da Lei 8.631/93, que dividia as tarifas para geração e distribuição de renda.

De acordo com Gomes *et al* (2002), a condição prévia para a implementação de um novo modelo seria a desverticalização da cadeia produtiva, que deveria ser separada nas atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Até então, como pode ser visto na Figura 1, a estrutura das empresas era verticalizada, já que a mesma empresa controlava a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica em determinada região.



Fonte: Silva (2011, apud Ramos, 2011)

Em 1995 houve alterações do modelo apresentado acima por meio de duas leis aprovadas. A primeira delas, Lei 8.987/95, também conhecida como Lei Geral das Concessões, estabeleceu o regime de concessão e permissão da prestação de todos os serviços públicos nos três níveis da federação, como dito por Rego (2007). Já a Lei 9.074/95, é possível dizer, de forma geral, que pavimentou o caminho para que fossem iniciadas as primeiras privatizações, conforme Silva (2011).

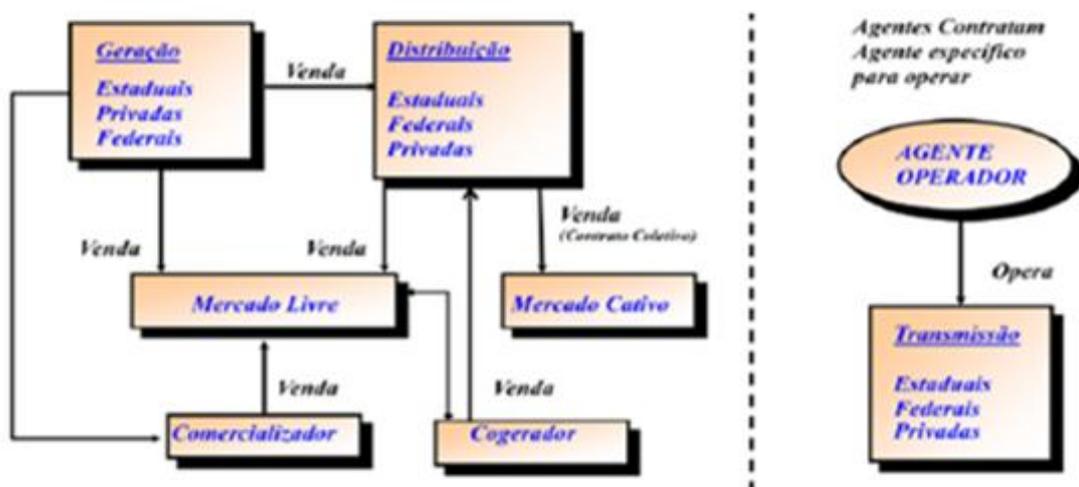
Já no final de 1996, foi promulgada a Lei 9.427/96, que dentre outros pontos, determinou a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que segundo Silva (2011) teria como função a regularização e a fiscalização da produção, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as Políticas e Diretrizes do Governo Federal. Pode-se afirmar que o processo de privatização das empresas do setor enfrentou diversas dificuldades técnicas e políticas para realização.

O estabelecimento do novo modelo pelo RE-SEB permitiu que os agentes interagissem com outros em qualquer lugar atendido pelo sistema integrado, colocando fim à

reserva geográfica de mercado (Silva, 2011). Além da desverticalização, o RE-SEB visava ainda a competição nos segmentos de geração e comercialização e uma forte regulamentação nos segmentos de transmissão e distribuição (Bandeira, 2003).

De acordo com Silva (2011), com o RE-SEB, a criação do Mercado Atacadista de Energia (MAE) e a criação do mercado livre de energia, surgiu um novo agente no setor: os comercializadores de energia. Assim, houve uma separação dessa estrutura totalmente integrada, surgindo novos agentes e formas de comercialização de energia, como pode ser verificado na Figura 2:

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



Fonte: Silva (2011, apud Ramos,2011)

Essas alterações fizeram com que o mercado ficasse mais dinâmico e competitivo, e como apontado por Silva (2008, apud Ramos, 2008), o processo de reestruturação do sistema elétrico brasileiro estava baseado no princípio de que a “eficiência no setor elétrico será assegurada através da competição, onde possível, e da regulamentação, onde necessária”.

A abertura do mercado para o setor privado e a confiança para expansão da geração são provenientes da implantação do Plano Real, e enquanto o setor elétrico se reestruturava, o governo seguia a luta contra à inflação. Assim, o governo começou a adotar medidas para conter os desvios do plano econômico. Com essa situação, surgiram também outros efeitos negativos, como o crescente desequilíbrio externo e uma séria crise fiscal, conforme apontado por Silva (2011).

Dessa forma, após o período de seca, em meados de 2001, o governo notou que os níveis dos reservatórios hídricos estavam significativamente baixos, e assim a falta de energia

elétrica deveria ocorrer em um curto prazo. Com isso, para tentar controlar os efeitos dessa crise, o então presidente Fernando Henrique Cardoso (FHC) instituiu a Comissão de Análise do Sistema Hidrotérmico de Energia Elétrica e a Câmara da Gestão de Crise de Energia Elétrica (CGCE) em 2001, visando identificar os motivos de tal crise.

Os resultados dos trabalhos, conforme aponta Landi (2006), indicaram que os efeitos pertinentes às mudanças estruturais implementadas pelo RE-SEB foram a principal razão para tal crise, não sendo o período de estiagem no início dos anos 2000 a motivação superior. Por consequência disso, foi criado também o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico que, conforme Silva (2011), tinha como missão encaminhar propostas para correção dos modelos vigentes. Além disso, como aponta Rego (2007), o Mercado Atacadista de Energia (MAE) passou a ser regulado pela ANEEL.

Em seguida, em 2002, foi iniciado o governo Lula, após o segundo mandato de FHC. Com isso, houve novas reformas econômicas e também no setor elétrico. O início do governo foi marcado pelo combate à crise de fornecimento de energia elétrica. Dessa forma, foi determinada a realização de novos estudos para o setor, interrompendo assim a implantação do RE-SEB e as privatizações. Os novos estudos identificaram a incapacidade de atrair investimentos para a expansão dos segmentos de geração e a elevação tarifária como as principais causas do declínio do modelo anterior (Silva, 2011).

Assim, como apontado por Silva (2011), após realizada a Proposta de Modelo Institucional do Setor Elétrico, que listava diversos objetivos a serem atingidos para o pleno funcionamento do sistema, e a adoção por parte do governo de algumas premissas na implementação do novo modelo, em meados de 2004 foi instituído o novo modelo de governança através da Lei 10.848, de 15 de março de 2004, que definia os agentes conforme ilustra o quadro 1:

Quadro 1 - 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: Landi (2006)

Entre as principais alterações do novo modelo pode-se destacar a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que sucedeu o antigo MAE, e a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), órgão que passou a ser responsável pela elaboração dos planos setoriais de expansão do setor elétrico. Outra mudança significativa foi a alteração no método de comercialização, que através do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, apresentou as regras gerais de negociação e contratação de energia, sendo que a contratação poderia ocorrer em Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou em Ambiente de Contratação Livre (ACL), conforme apresentado por Silva (2011) e ilustrado na Figura 3.

O ACR foi estabelecido com normas que objetivavam proteção aos consumidores de menor porte, e os principais agentes são os geradores e as distribuidoras de energia. Enquanto isso, o ACL é o ambiente no qual os geradores podem comercializar energia com os consumidores livres sem restrição de preço e quantidade vendidas. Visto como um modelo híbrido, o Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro permite o funcionamento do mercado e dos agentes privados, porém com a atuação do Estado quando necessário (Silva, 2011).

Figura 3 – Ambientes para contratação de Energia



Fonte: Silva (2011, apud Ramos,2011)

Dessa forma, como apontado por Silva (2011), o setor elétrico teve sua reforma implementada e finalizada nos anos de 2003 e 2004, o que permitiu a remoção de entraves importantes que inibiam investimentos em fontes de energia limpa, estimulando tanto a oferta quanto a demanda de energia elétrica. Assim, foi possível atingir um equilíbrio da participação de agentes públicos e privados, que por sua vez permitiu a segurança do abastecimento de energia elétrica do país de forma economicamente eficiente.

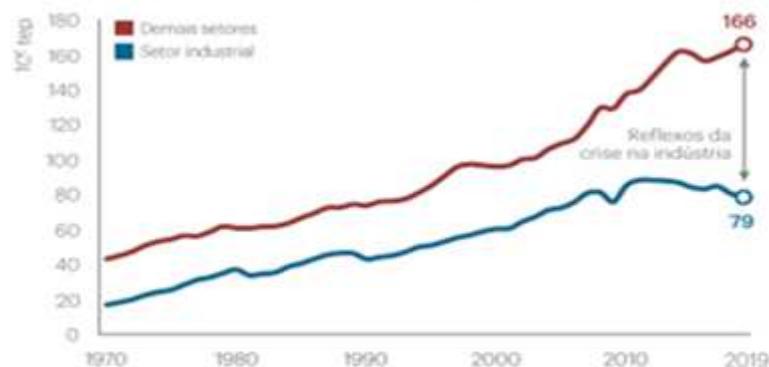
O consumo de energia elétrica pode ser analisado de acordo com oito classes: comercial, industrial, residencial, rural, iluminação pública, setor público e consumo próprio, além obviamente do consumo total. De acordo com dados extraídos do IPEADATA, em 2019, por exemplo, as classes comercial, industrial e residencial representavam, respectivamente, 19%, 35% e 29% do consumo total de energia elétrica. Estas três classes, portanto, em 2019, representaram 83% do consumo total.

Feitas estas considerações, atenta-se que o foco deste trabalho monográfico se concentra na classe industrial, cujo consumo de energia será abordado na próxima seção. Serão utilizados dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

1.2 O consumo de energia elétrica na classe industrial

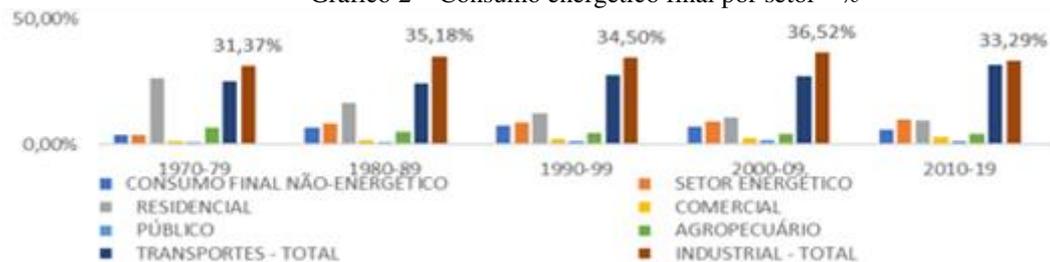
De acordo com o Balanço Energético Nacional fornecido pela EPE, que utiliza dados de 1970 até 2019, o setor industrial passou a maior parte desse período em uma constante crescente de consumo de energia. Porém, essa trajetória de crescimento foi interrompida, por um período mais significativo, a partir de 2011, quando a atividade industrial passou a apresentar taxas decrescentes. O consumo de energia pelo setor industrial, mesmo apresentando dois anos de recuperação no pós-crise de 2009, entrou em retração e não manteve a trajetória de recuperação dos demais setores. Assim, a década de 2010 foi a única que o consumo energético da indústria recuou (7,5%) ao longo dos 50 anos de dados, e com isso o setor industrial reduziu sua participação no consumo final do país, como é possível verificar nos gráficos 1 e 2 a seguir:

Gráfico 1 – Trajetória do consumo final energético na indústria e nos demais setores



Fonte: Balanço Energético Nacional 50 anos – EPE

Gráfico 2 – Consumo energético final por setor - %



Fonte: EPE – Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 – Elaboração própria

Considerando agora apenas o consumo de eletricidade pelo setor industrial, pode-se dizer que ela é utilizada, em geral, para força motriz e iluminação. Entretanto, a evolução do consumo de energia elétrica na indústria está intimamente ligada à atividade industrial como um todo, especialmente dos segmentos eletrointensivos. O período de maior crescimento da utilização da eletricidade na indústria foi entre os anos de 1970 até meados de 1980, quando o

consumo subia em média 11% a.a., o que significava um consumo quase três vezes maior que o crescimento do consumo industrial.

De 1986 até 2000, o consumo de eletricidade manteve o crescimento, mas em uma taxa inferior às registradas anteriormente, com média de 3% a.a. Assim, em 2001 houve a primeira quebra dessa trajetória de crescimento no consumo de eletricidade por parte da indústria, quando uma penosa crise hídrica causou restrições na produção de eletricidade, o que impôs ao setor industrial uma redução no consumo. Já entre os anos de 2002 e 2008, o consumo voltou a crescer, acompanhando o desempenho do setor industrial, porém sofreu uma nova queda no ano de 2009, após a crise internacional.

Já nos dois anos que seguiram a crise internacional de 2009, houve uma recuperação no consumo de eletricidade, sobretudo devido ao conjunto de medidas anticíclicas aplicadas pelo governo. Todavia, na última década houve uma retração aproximada de 3,7% no consumo de eletricidade por parte do setor industrial, o que significa metade da retração do consumo energético total apresentado pela indústria no mesmo período. Para o ano de 2019, o consumo de energia elétrica na indústria representou 21,4% do consumo total do setor. Essas variações podem ser verificadas através dos gráficos 3 e 4:

Gráfico 3 – Evolução do consumo absoluto das fontes energéticas na indústria



Fonte: Balanço Energético Nacional 50 anos - EPE



Fonte: EPE – Consumo de Energia por setor (1970-2019) – Elaboração própria

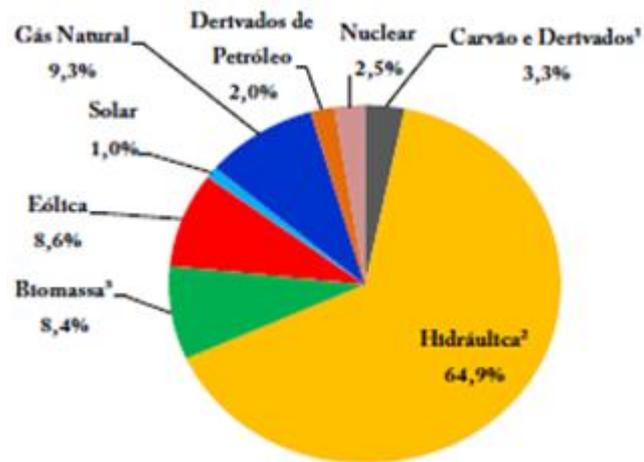
De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2020, também fornecido pela EPE, o consumo do setor industrial de eletricidade representa cerca de 35,9% do consumo total de eletricidade, o que significa uma retração de 2,44% com relação ao ano anterior, como pode ser visto no gráfico 5:



Fonte: Balanço Energético Nacional 2020 - EPE

Além disso, o BEN de 2020 informa que 64,9% da energia elétrica ofertada no Brasil é proveniente da fonte hidráulica, fato que demonstra a enorme dependência do país desse tipo de fonte, conforme gráfico 6:

Gráfico 6 – Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte



Fonte: Balanço Energético Nacional 2020 - EPE

Dessa forma, ao considerarmos os dados apresentados é possível verificar a significância que o setor industrial tem sobre o consumo de energia elétrica no Brasil, visto que é o setor que detém o maior índice de consumo de eletricidade, com cerca de 35% do consumo total.

Na sequência do presente trabalho serão apresentadas informações acerca das consequências econômicas originadas pela pandemia de COVID-19, também com foco na classe industrial, dando continuidade assim ao objetivo principal do trabalho, que é a mensuração do impacto da COVID-19 no consumo de eletricidade no setor industrial.

CAPÍTULO II – OS EFEITOS DA PANDEMIA DE COVID-19 NA ECONOMIA BRASILEIRA

2.1 – A doença e o panorama geral

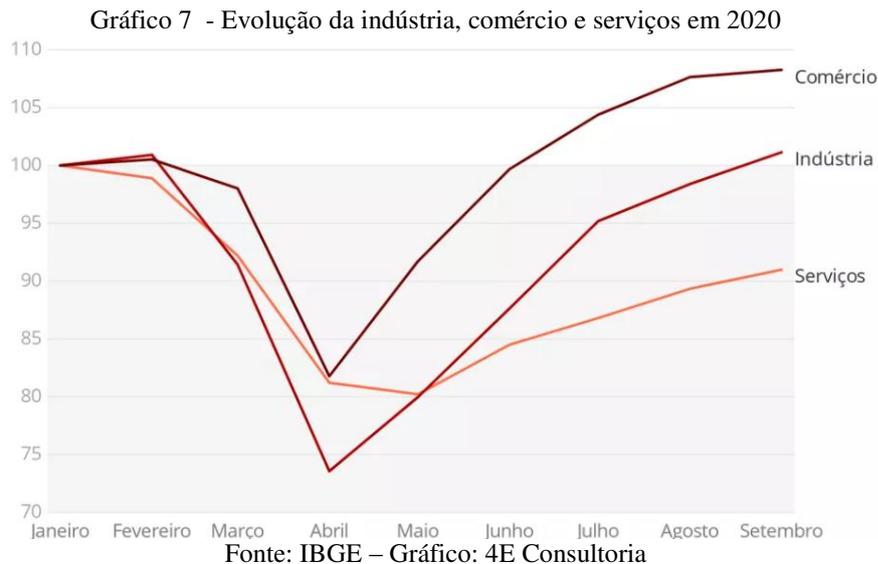
A COVID-19, doença causada pelo Coronavírus SARS-CoV-2, teve seu primeiro caso detectado em dezembro de 2019, na cidade chinesa de Wuhan, e passou a ser pandêmica a partir de março de 2020, com impactos nas áreas de saúde, social e econômica (TÁVORA, 2020). Desde então, o mundo passou a conviver com o perigo constante trazido por essa doença. Segundo o Ministério da Saúde (2021a), cerca de 80% dos pacientes são assintomáticos, enquanto os outros 20% detectados requerem atendimento hospitalar por apresentarem dificuldade respiratória, dos quais aproximadamente 5% podem precisar de suporte ventilatório.

De acordo com os dados disponibilizados pelo Ministério da Saúde (2021b), na data de 15 de janeiro de 2021, o Brasil registrava mais de 8 milhões de casos confirmados, ultrapassando os 200 mil mortos pelo novo Coronavírus, o que significa uma taxa de letalidade aproximada de 2,5%, uma das mais altas no mundo. Estes dados colocam o Brasil como o terceiro país com mais casos no mundo, atrás dos Estados Unidos e da Índia, e o segundo com mais mortes, atrás somente dos Estados Unidos.

Devido à alta taxa de transmissão da doença, a principal medida de controle dos casos é o isolamento social. Conforme Dweck *et al* (2020), a COVID-19 ocasiona impactos econômicos simultâneos, tanto sobre a oferta quanto sobre a demanda, e em um primeiro momento leva a economia mundial a uma rápida desaceleração, o que pode vir a ser uma das piores recessões da história. Ainda segundo Dweck *et al* (2020), a principal causa de tal desaceleração é a contração simultânea de ao menos três componentes da demanda final: exportações, investimentos e consumo das famílias, que são motivados pela queda no comércio internacional e o efeito negativo do isolamento social no consumo das famílias, que por sua vez ocasionam uma inevitável retração nos investimentos das empresas e famílias.

A necessidade de isolamento social para conter o aumento dos casos da doença fez com que os principais setores da economia entrassem em queda livre, sendo a indústria o setor mais prejudicado. Porém, a partir do ponto mais crítico da crise, entre meados de abril e maio,

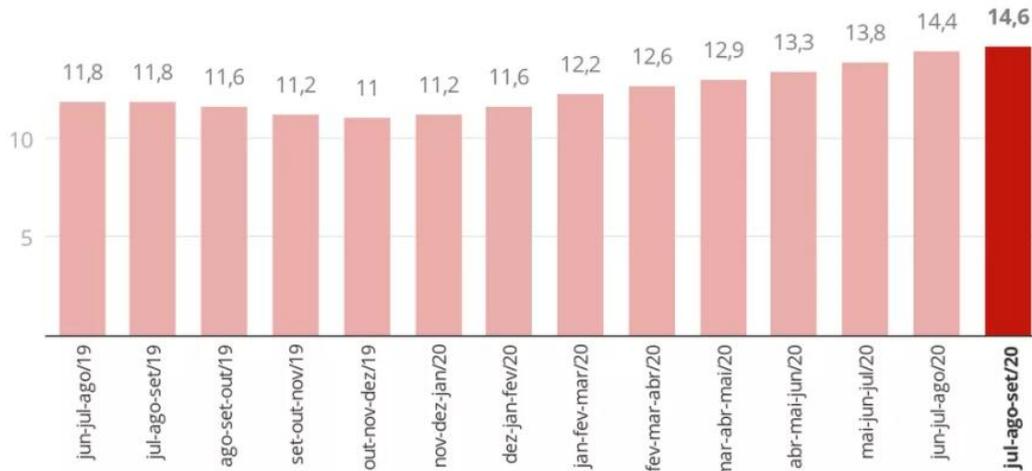
os setores tiveram retomadas diferentes, sendo o setor de serviços aquele com menor recuperação (Alvarenga *et al*, 2020). Essas informações são ilustradas pelo gráfico 7, que tem como base 100 o mês de janeiro de 2020. O gráfico 7 utiliza os dados sobre os índices de produção dos setores, obtidos através da: Pesquisa Industrial Mensal – Produção Física (PIM-PF), Pesquisa Mensal de Serviços (PMS) e Pesquisa Mensal de Comércio (PMC), todas fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).



Tal desaceleração, somada a um cenário de enormes incertezas, sejam elas sobre a duração do período de contração ou quanto à efetividade da atuação do governo na mitigação dos impactos, dificulta qualquer tipo de previsão sobre os efeitos do desemprego, do empobrecimento da população e do fechamento das empresas (Dweck *et al*, 2020). Desde o início da pandemia, pode-se observar uma piora considerável das expectativas sobre o desempenho econômico do país e, conforme aponta o *World Bank* (2020), tal recessão econômica pode vir a ser mais profunda que a crise financeira mundial de 2008-2009.

Segundo Alvarenga *et al* (2020), a taxa de desemprego, mesmo com as medidas de auxílio lançadas pelo governo, vem crescendo desde o início da pandemia e, como pode ser visto no gráfico 8, saltou para 14,6% no terceiro trimestre de 2020, com cerca de 11,3 milhões de postos de trabalhos perdidos em 12 meses e com mais da metade da população em idade para trabalhar sem ocupação.

Gráfico 8 - Evolução trimestral da taxa de desemprego - %



Fonte: Alvarenga *et al* (2020, apud IBGE,2020)

Levando em consideração agora os investimentos no Brasil, devido ao cenário de enormes incertezas, os empresários postergaram qualquer tipo de plano de expansão em 2020, sendo que a taxa acumulada para o ano de 2020 teve uma queda de 5,5% (Alvarenga *et al*, 2020). Segundo o Fundo Monetário Internacional (2020), a baixa recorde da SELIC ajudou a reduzir os custos de empréstimos do governo, mas a taxa de juros se inclinou consideravelmente, destacando as preocupações do mercado sobre os riscos fiscais. Esses riscos, em geral, são excepcionalmente grandes e multifacetados, porém as reservas internacionais elevadas, um sistema bancário resiliente e uma baixa parcela da dívida cambial podem ser fatores atenuantes importantes.

Do ponto de vista fiscal, segundo Lima *et al* (2020), com esse cenário adverso, foi necessário um auxílio por parte do governo, para mitigar a diminuição do consumo das famílias e evitar que empresas encerrassem suas atividades, que por consequência preserva os empregos e o nível de renda da população. Dessa forma, os auxílios governamentais a empresas e famílias aumentam o gasto público, que por sua vez eleva a relação da dívida em relação ao PIB, superando em 2020 a marca inédita de 90% do PIB.

Assim, no cenário pós-pandêmico, será necessário um regime mais rigoroso de austeridade fiscal para tentar retroceder essa dívida para um patamar próximo ao anterior. Além disso, de acordo com Sandroni (2020), o retorno do equilíbrio das contas públicas dependerá também da capacidade do governo de encontrar fontes de financiamento complementares, enquanto as receitas tributárias, que dependem diretamente do nível de atividade econômica, não se recuperarem.

Já do ponto de vista monetário, ao final dessa crise econômica, é esperada uma elevação da demanda e, conseqüentemente, uma pressão inflacionária. Com isso, o Banco Central deverá elevar os juros nos próximos anos, tendo como expectativa uma taxa básica de seis pontos percentuais no fim de 2023 (Lima *et al* ,2020).

De acordo com a projeção do Fundo Monetário Internacional (2020) realizada em dezembro de 2020, espera-se que a economia brasileira encolha 5,8% em 2020, seguido por uma recuperação de 2,8% para 2021. Além disso, os significativos efeitos da crise da saúde e a retirada esperada do apoio fiscal irão restringir o consumo, ao mesmo tempo que o investimento será prejudicado pela capacidade ociosa e alta incerteza. Com isso, antes de o déficit em conta corrente aumentar no médio prazo, ele deverá diminuir para -0,3% do PIB em 2020. A dívida pública, por sua vez, deverá alcançar os 100% do PIB e permanecer elevada no médio prazo. Essas informações são ilustradas pela tabela 1.

Tabela 1 - Brasil: Indicadores Econômicos selecionados

Contas Nacionais e preços	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
PIB a preços correntes	5,0	4,6	5,3	-2,6	6,3	6,5	6,3	6,2	6,2
PIB a preços constantes	1,3	1,3	1,1	-5,8	2,8	2,3	2,2	2,2	2,2
Consumo	1,4	1,7	1,3	-5,6	2,7	1,5	1,5	1,6	1,4
Investimento	2,4	3,1	3,6	-10,8	6,6	5,0	5,6	6,1	6,2
Preços ao consumidor (IPCA, fim de período)	2,9	3,7	4,3	2,0	2,9	3,2	3,3	3,3	3,3
Investimento interno bruto									
Setor privado	12,3	12,7	13,1	12,7	12,9	13,1	13,5	14,0	14,5
Setor público	2,3	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,0	2,0
Poupança nacional bruta									
Setor privado	20,4	18,6	17,2	29,6	18,7	17,3	17,4	17,7	17,9
Setor público	-6,5	-6,0	-4,9	-15,2	-5,0	-3,9	-4,2	-4,6	-4,7

Fonte: Fundo Monetário Internacional (2020)

Conforme Andrade (2021), existe a expectativa de que com o início da vacinação contra a COVID-19 haverá uma dissipação das incertezas políticas, econômicas e sociais, visto que com a anulação do risco de contágio, pessoas e empresas se sentirão mais seguras para retomar plenamente suas atividades, o que por sua vez trará um novo fôlego ao consumo e à produção.

Nesse sentido, Andrade (2021) indica ainda que um dos grandes desafios do Brasil em 2021 será o reequilíbrio das contas públicas e a manutenção do teto de gastos, e para isso serão necessários ajustes fiscais, para elevar a confiança dos investidores e reduzir as pressões sobre os juros, além de aumentar a capacidade do Estado de investir. Para tal, um passo decisivo nessa direção seria a aprovação de uma reforma administrativa, para racionalizar os gastos públicos e melhorar a qualidade dos serviços que são prestados à população. Uma reforma tributária também seria crucial para a retomada econômica.

Dito isso, o intuito da próxima seção também será verificar os impactos econômicos da pandemia, porém com foco voltado para o desempenho do setor industrial.

2.2 – Impacto da pandemia no setor industrial e no consumo de energia

Em um contexto pré-pandêmico, o desempenho do setor industrial na década de 2010 foi, com exceção do ano de 2010, crítico, conforme se pode ver no gráfico 9. É importante salientar que o resultado do ano de 2010 só foi possível devido à recuperação das atividades econômicas após a crise mundial que ocorrera nos anos anteriores (Mattei *et al*, 2020).

Gráfico 9 - Produção Industrial Anual do Brasil - variação em relação ao acumulado do ano anterior (2010-2019)



Fonte: Mattei *et al* (2020) apud PIM-PF (IBGE,2020); Elaboração: NECAT-USFC

Ainda durante a década de 2010 foi possível verificar que essa queda no nível geral de produção ocasionou a perda de competitividade desse setor, e conforme a tabela 2, os bens representantes da parcela industrial de maior complexidade e competitividade, que são os Bens de Capitais e os Bens de Consumo Duráveis, foram os que apresentaram as maiores retrações durante a década, conforme informa Mattei *et al* (2020).

Tabela 2 - Variação da Produção Industrial do Brasil, por grandes Categorias Econômicas (2010-2019)

Bens de Capital	-33,3%
Bens Intermediários	-15,6%
Bens de Consumo Duráveis	-24,2%
Bens de Consumo semiduráveis e não duráveis	-6,5%

Fonte: Mattei *et al* (2020) apud PIM-PF (IBGE,2020); Elaboração: NECAT-USFC

Conforme Mattei *et al* (2020), passado esse panorama inicial, observa-se que o cenário em que a indústria brasileira iniciou o ano de 2020 não era favorável. Porém, em janeiro de 2020, a produção industrial deu pequenos espasmos de crescimento, que se dissiparam logo em fevereiro. Esse desempenho positivo no início de 2020 compensou parcialmente as perdas acumuladas dos meses anteriores, sendo que o resultado geral já era negativo e os indícios eram de que os impactos sobre o setor seriam expressivos.

Pois bem, a partir de março de 2020, as consequências passaram a ser sentidas e o setor passou a recuar, e como pode ser visto na tabela 3, os resultados se oscilaram bastante nos meses seguintes, tendo seu ponto mais baixo no mês de abril de 2020. Segundo o IBGE (2020), as perdas excessivas nos meses de março e abril foram meramente compensadas pelos resultados dos meses de maio a setembro.

Tabela 3 - Variação Mensal da atividade industrial no Brasil em 2020 - %

Mês	No Mês (com ajuste sazonal)	Mesmo mês ano anterior	No ano	Doze meses
Janeiro	1	-0,9	-0,9	-1
Fevereiro	1	-0,3	-0,6	-1,2
Março	-9,4	-3,8	-1,7	-1
Abril	-19,5	-27,6	-8,3	-2,9
Maiο	8,7	-21,8	-11,3	-5,4
Junho	9,6	-8,8	-10,9	-5,6
Julho	8,6	-2,7	-9,6	-5,6
Agosto	3,6	-2,5	-8,6	-5,7
Setembro	2,6	3,4	-7,2	-5,5

Fonte: Mattei *et al* (2020) apud PIM-PF (IBGE,2020); Elaboração: NECAT-USFC

Além disso, mesmo com alguns resultados positivos nos meses de julho a setembro de 2020, as variações acumuladas das produções das grandes categorias foram negativas, sendo a classe de Bens de Consumo Duráveis a mais afetada, como pode ser visto na tabela 4. Apesar

dos resultados positivos para certos meses, todos foram piores se comparados com os resultados de 2019 (Mattei *et al*, 2020).

Tabela 4 - Variação da Produção Industrial do Brasil, por Grandes Categorias Econômicas, acumulado de 2020

Bens de Capital	-17,9%
Bens Intermediários	-3,1%
Bens de Consumo Duráveis	-26,7%
Bens de Consumo semiduráveis e não duráveis	-7,6%

Fonte: Mattei *et al* (2020) apud PIM-PF (IBGE,2020); Elaboração: NECAT-USFC

Levando em consideração os resultados acumulados dos segmentos industriais até setembro de 2020, é possível observar que os mais afetados foram os segmentos de impressão e reprodução de gravações (-37,9%) e o segmento de veículos automotores e carroceria (-37%), sendo os segmentos de produtos do fumo (7,4%) e produtos alimentícios (5,8%) aqueles com melhor resultado, como pode-se verificar no gráfico 10.

Gráfico 10 - Produção Física Industrial acumulado em 2020, por seções e atividades industriais



Fonte: Mattei *et al* (2020) apud PIM-PF (IBGE,2020); Elaboração: NECAT-USFC

Dessa forma, por mais que não se esperasse um desempenho positivo da indústria para o ano de 2020, fica claro o impacto que a pandemia trouxe ao setor. Conforme Mattei *et al* (2020), esses resultados decorrem, principalmente, da forte queda na utilização da capacidade instalada durante os meses mais agudos da pandemia, e por isso verificou-se que todos os meses obtiveram resultados piores se comparados com o mesmo período do ano anterior.

Em relação ao consumo de energia, considerando agora o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2030, divulgado pela EPE, são claras as incertezas provenientes aos impactos da pandemia de COVID-19 no consumo energético. Dessa forma, qualquer tipo de previsão para o futuro estará sujeita a esses efeitos. Assim, espera-se uma das maiores recessões do histórico recente, com um início de recuperação a partir de 2021 e uma maior estabilidade a partir de 2022, sendo esperada ainda uma expansão média de 3,2% a.a. para o setor industrial, visto que no médio e longo prazo os efeitos do aumento da renda das famílias e o crescimento mais concreto do setor deverão gerar um aumento da demanda para esse setor.

Esse cenário pode ser considerado como referência para as projeções. Porém, o nível de incertezas é altíssimo, e por isso foram considerados alguns cenários alternativos para a realização do PDE 2030. O cenário inferior adotou a premissa de uma crise mais intensa e prolongada, com uma alta probabilidade de segunda onda de contaminação da COVID-19. Já o cenário superior prevê um crescimento mais forte, considerando que as políticas adotadas para o combate à crise foram efetivas, reduzindo assim os impactos. Esses cenários são ilustrados no quadro 2:

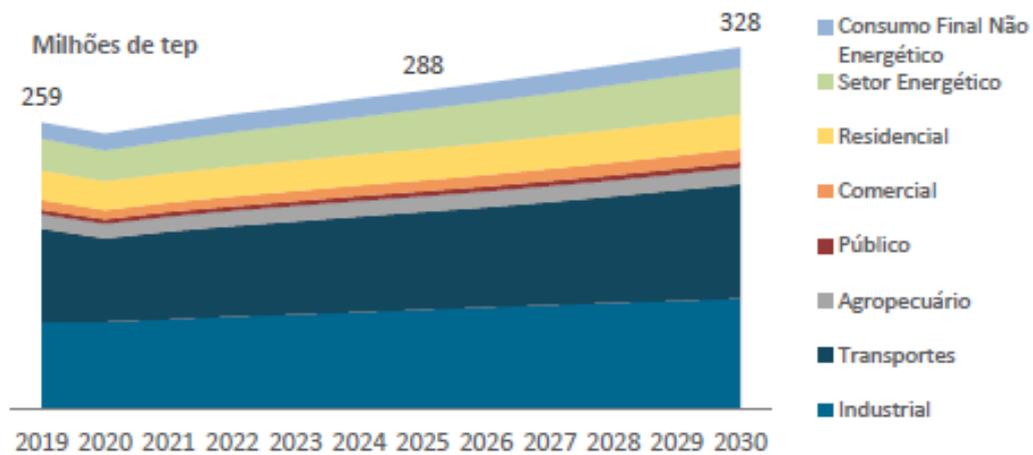
Quadro 2 - Principais diferenças de premissas entre o cenário de referência e os alternativos

PONTOS CRÍTICOS	CENÁRIO INFERIOR	CENÁRIO REFERÊNCIA	CENÁRIO SUPERIOR
Duração da pandemia e velocidade da retomada	Duração longa ou reincidência ("duas ondas"), retomada lenta	Duração média e recuperação rápida	Duração média e recuperação acelerada
Efetividade das políticas anticrise e confiança	Dificuldade de implementação das políticas e lenta recuperação da confiança	Políticas são suficientes e estimulam o crescimento da confiança	Políticas são muito efetivas e aceleram a recuperação da confiança
Aprovação de reformas e ambiente de negócios	Dificuldade na aprovação de reformas	Aprovação de reformas importantes ao longo do horizonte	Aprovação de reformas importantes já no curto prazo
Produtividade total dos fatores (PTF)	Fraco crescimento	Crescimento gradual	Forte crescimento
Contas Públicas	Dificuldade de realização de ajuste fiscal	Ajuste fiscal com redução gradual da relação DLSP/PIB	Ajuste fiscal com redução significativa e rápida da relação DLSP/PIB

Fonte: PDE 2030 – EPE

Ainda que sejam esperados resultados negativos em termos de consumo final de energia nos setores impactados pela pandemia, entre 2020 e 2030 não há projeção de mudanças significativas dos setores de consumo final. No setor industrial, por sua vez, espera-se que haja redução do nível de ociosidade e que a participação no consumo final de energia até 2030 mantenha-se relativamente estável, por volta de 31%, como ilustrado no gráfico 11:

Gráfico 11 - Consumo final de energia por setor



Fonte: PDE 2030 – EPE

Feitas estas considerações, atenta-se que o principal objetivo deste trabalho monográfico é mensurar o impacto da pandemia da COVID-19 no consumo de energia elétrica na classe industrial através da análise de Regressão Dinâmica. No capítulo seguinte serão então apresentadas informações sobre o método de Regressão Dinâmica.

CAPÍTULO III – MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA

O intuito do presente capítulo é apresentar o Modelo de Regressão Dinâmica. Tal modelo será utilizado para realizar a mensuração do impacto da pandemia de COVID-19 no consumo de energia na classe industrial, que é o objetivo principal deste trabalho. Este capítulo foi baseado 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.

3.2 - Estrutura dos Modelos de Regressão Dinâmica

Os modelos de Regressão Dinâmica podem ser descritos pela equação:

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

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

² Dudewicz & Mishra (1998).

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 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 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.

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:

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

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

onde $R(B)$ é chamado de “fator comum” e representa a estrutura de correlação presente no erro w_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 $N(0, \sigma^2)$.

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:

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

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.

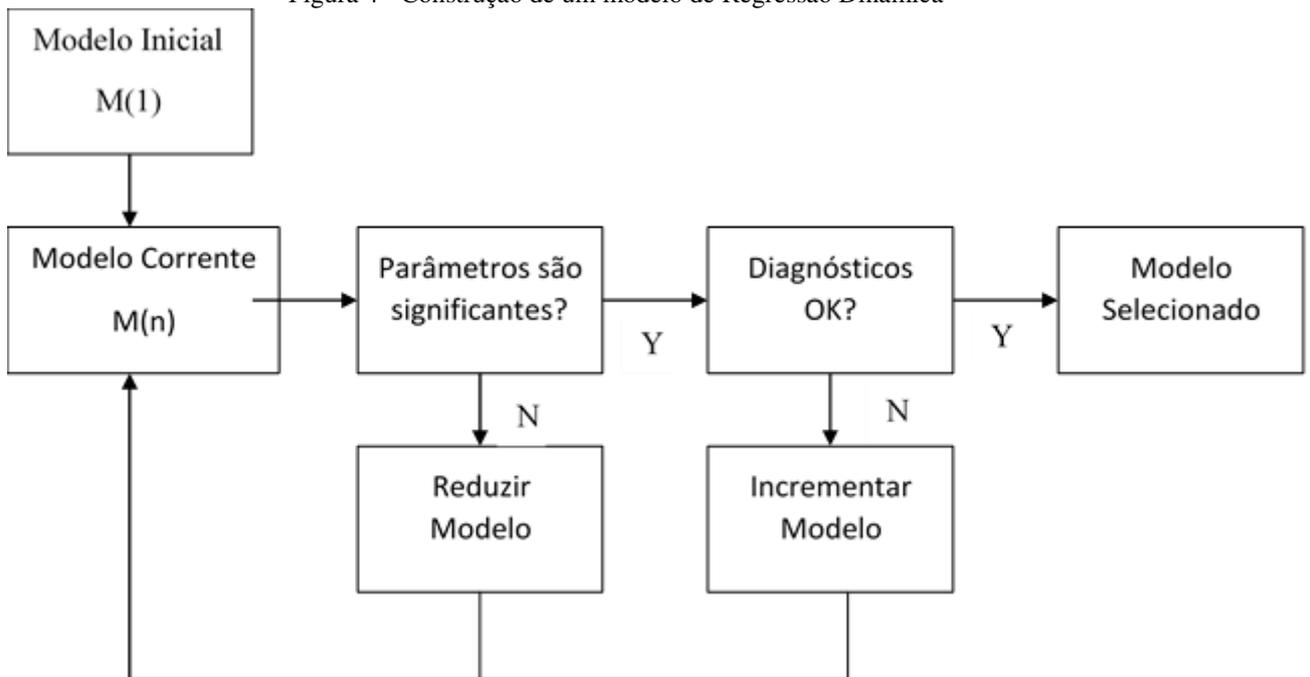
As previsões geradas por um modelo de Regressão Dinâmica dependem não só de valores passados da série, mas também dos valores previstos para as variáveis causais. Logo, para obtermos as previsões da série Y_t para $T+1$, $T+2$, $T+3$, etc, é necessário fornecer ao modelo os valores futuros do vetor de 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 4 - 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.

3.4 - Testes usados nos modelos de Regressão Dinâmica

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

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

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).

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 endógena

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 resíduos

Na hipótese alternativa adiciona-se às variáveis do modelo atual uma sequência de resíduos defasados $\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \varepsilon_{t-S}$ 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 estruturados¹¹.

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

¹¹ Estes são realizados nos testes para a “dinâmica”.

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 resíduos¹²

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. Se estas são significantes para alguns *lags*, alguma característica da variável

¹² 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.

dependente não foi capturada pelo modelo atual. Por exemplo, no caso de dados mensais, se a autocorrelação dos resíduos é significativa 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

Como dito anteriormente, o objetivo principal do presente trabalho é mensurar os impactos da COVID-19 no consumo de energia elétrica do setor industrial brasileiro. Para realizar tal mensuração, foi utilizado o método de Regressão Dinâmica, que foi explicado no Capítulo III. Dessa forma, este capítulo tem o intuito de apresentar os resultados do modelo, obtidos através do método de Regressão Dinâmica.

Para a estimação do modelo, foram utilizadas séries temporais com dados de janeiro de 2010 a novembro de 2020¹³ para todas as variáveis utilizadas no modelo, que são indicadas no quadro 3. A definição desta amostra de dados tem por base o interesse de estudar os acontecimentos da última década, e também a disponibilidade das variáveis explicativas utilizadas na modelagem que, em sua grande maioria, estavam disponíveis em todo o período amostral.

Importante ressaltar que, para explicar o consumo de energia elétrica na classe industrial, elencou-se um conjunto de variáveis que pudessem ser *proxy* de fatores como o nível de atividade no setor industrial (horas trabalhadas na indústria, utilização da capacidade instalada, pessoal empregado na indústria, índice de produção industrial), do nível de atividade da economia brasileira (índice de atividade econômica do Banco Central), nível de preços da economia (IPCA), preço (tarifa média na indústria) e renda (rendimento médio real na indústria e massa salarial real na indústria). Além disto foi utilizada uma variável *dummy*¹⁴ como uma variável de intervenção para captar o efeito da pandemia. Todas estas variáveis foram submetidas aos testes descritos no Capítulo III. A variável de interesse é o CONSUMOEEIND, que indica o consumo de Energia Elétrica do setor industrial (em GWh). Na figura 5 é possível visualizar a evolução das variáveis ao longo do período analisado.

¹³ É importante salientar que a variável referente a tarifa média por MWh na indústria (TARMED) era a única que tinha dados apenas até outubro/2020. Dessa forma, os dados do mês de novembro foram autoprotetados por meio do método de amortecimento exponencial, que foi o método escolhido através de uma competição de métodos onde se avaliou o desempenho preditivo, fazendo-se uma análise recursiva fora da amostra.

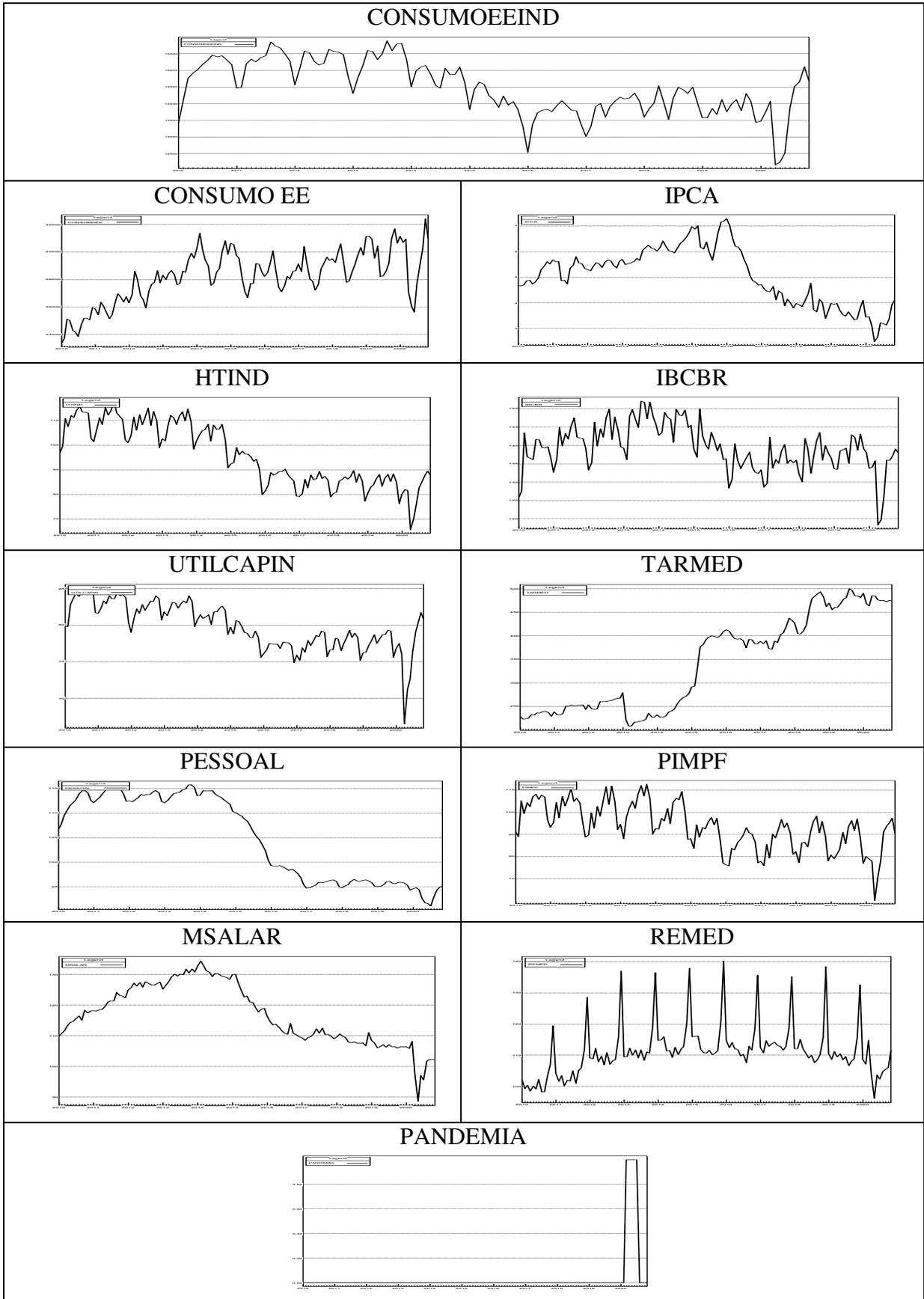
¹⁴ Variável dicotômica que assumiu valores 1 no período de março a julho de 2020 e 0 nos demais meses.

Quadro 3 – Variáveis utilizadas para estimação do modelo

Variável	Sigla	Proxy	Fonte
Consumo de Energia Elétrica na indústria	CONSUMOEEIND	-	IPEADATA (2021a)
Horas trabalhadas na Indústria	HTIND	Nível de atividade na indústria	IPEADATA (2021b)
Índice de Atividade Econômica do Banco Central	IBCBR	Nível de atividade econômica no Brasil	BCB-Depec (2021)
Expectativa média de Inflação - IPCA	IPCA	Nível de preços da economia	IPEADATA (2021c)
Massa salarial real – indústria	MSALAR	Renda	IPEADATA (2021d)
Variável <i>Dummy</i> de ocorrência da pandemia	PANDEMIA	Intervenção para captar efeito pandemia	-
Produção industrial – Produção física da indústria geral	PIMPF	Nível de atividade na indústria	IPEADATA (2021e)
Pessoal empregado na indústria	PESSOAL	Nível de atividade na indústria	IPEADATA (2021f)
Rendimento médio real na indústria	REMED	Renda	IPEADATA (2021g)
Tarifa média por MWh na indústria	TARMED	Preço	IPEADATA (2021h)
Utilização da capacidade Instalada na indústria - %	UTILCAPIN	Nível de atividade na indústria	IPEADATA (2021i)

Fonte: Elaboração própria

Figura 5 - Evolução das variáveis de janeiro/2010 até novembro/2020



Fonte: Elaboração própria

Conforme apresentado no capítulo 3, o modelo de Regressão Dinâmica utiliza a estratégia de *bottom-up*, que significa, de acordo com Zanini (2000), partir de um modelo simples e ir sequencialmente refinando-o e incluindo novas variáveis ou dinâmica até encontrar um modelo final. Além disso, este método permite a montagem de diversas estruturas ou modelos diferentes e, ao se chegar nos modelos finais, é possível ainda gerar cenários diferentes para as variáveis presentes nos modelos, fazendo combinações destes diversos cenários. Desta forma é possível gerar vários cenários futuros para a variável de interesse, neste caso, o consumo de energia elétrica na classe industrial.

Dito isso, utilizando o método de Regressão Dinâmica, após a realização dos diagnósticos de resíduos, causalidade e dinâmica, chegou-se ao modelo selecionado, que inclui as variáveis expostas na tabela 5. Nesta mesma tabela, pode-se ver os coeficientes estimados bem como seu erro padrão. É importante salientar que todas as variáveis utilizadas no modelo passaram por uma transformação logarítmica, ou seja, trabalhou-se na forma LOG-LOG para que os coeficientes de elasticidade já pudessem ser lidos na forma do coeficiente de elasticidade¹⁵.

Tabela 5 -Variáveis componentes do modelo final

Variável*	Sigla	Coefficiente	Erro padrão**
Consumo de Energia Elétrica na indústria	CONSUMOEEIND	-	-
Termo constante	CONST	2,07	0,54
Índice de Atividade Econômica do Banco Central	IBCBR	0,20	0,06
Expectativa média de Inflação - IPCA	IPCA	-0,05	0,01
Tarifa média por MWh na indústria	TARMED	-0,03	0,01
Utilização da capacidade instalada na indústria - %	UTILCAPIN	0,74	0,08
Consumo de Energia Elétrica na indústria em T=-1	CONSUMOEEIND[-1]	0,27	0,05
Consumo de Energia Elétrica na indústria em T=-12	CONSUMOEEIND[-12]	0,10	0,05

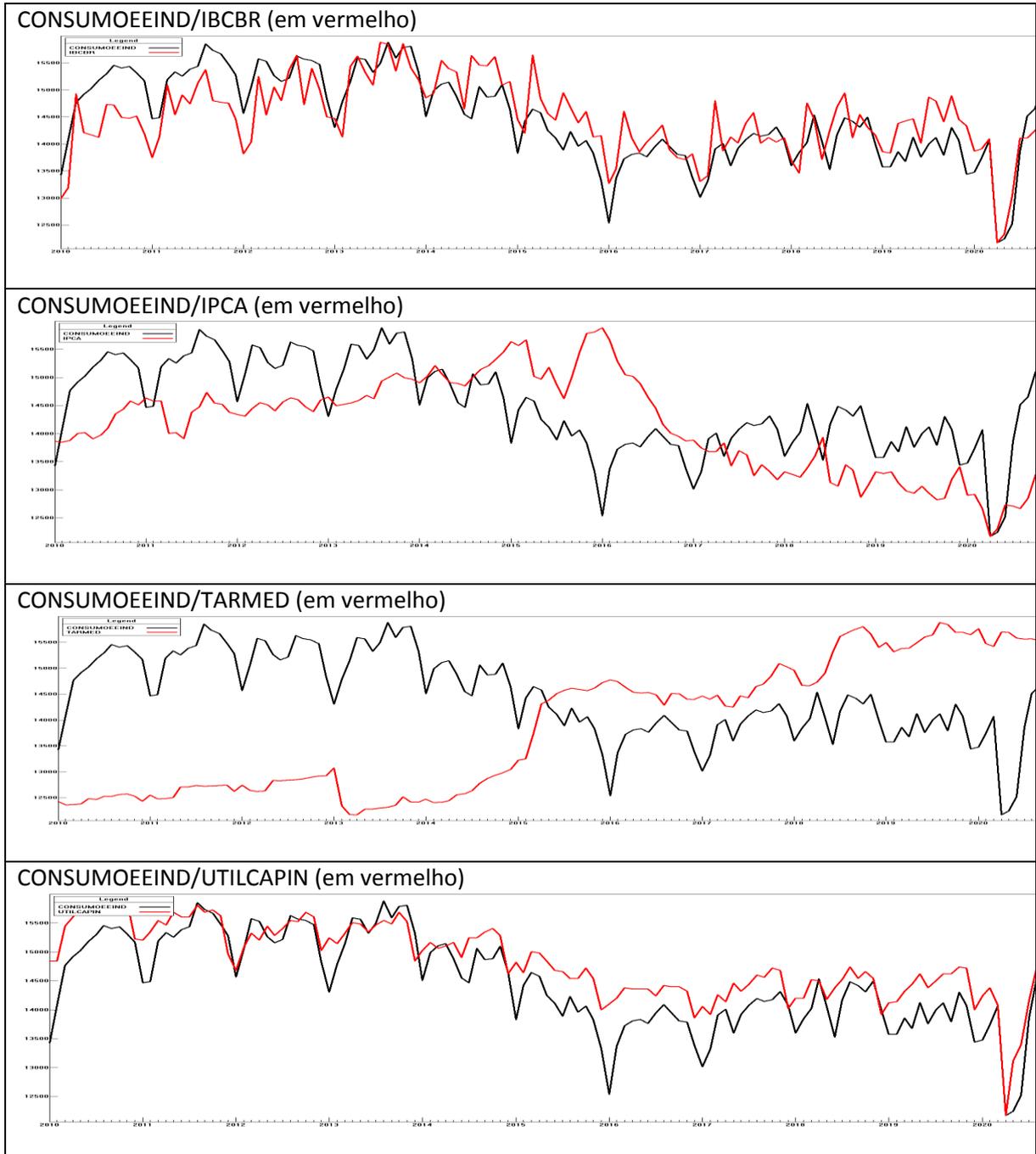
Fonte: Elaboração própria Observação: *As variáveis foram trabalhadas em escala logarítmica. **Todas as variáveis foram significantes ao nível de 5%. Apenas a variável consumo em t-12 foi significativa a 7%.

¹⁵ Para mais detalhes, ver Zanini (2000).

Com base na tabela 5, pode-se ver coeficientes de elasticidade positiva entre o consumo de energia elétrica na indústria com o índice de atividade econômica (0,20) e com a utilização da capacidade instalada (0,74) o que era esperado, dado que se espera um efeito positivo do nível de atividade econômica da economia brasileira e, em especial, do setor industrial, no consumo de energia nesta classe. O modelo indica que um aumento de 1% no índice de atividade econômica no Brasil, implica num incremento de 0,20% no consumo de energia na classe industrial; já está mesma variação marginal na utilização da capacidade instalada, impacta em 0,74% o consumo de energia na classe industrial. Por outro lado, vê-se uma elasticidade negativa do consumo de energia na classe industrial com a variável tarifa (-0,03) e com o nível de preços geral da economia (-0,05). Variações marginais nestas variáveis impactam em 0,03% e 0,05% o consumo de energia elétrica na classe industrial. Por fim, é importante observar dois componentes de “dinâmica” do modelo, quais sejam o consumo de energia em $t - 1$ (consumo de energia do mês anterior) e em $t - 12$ (consumo de energia em doze meses atrás). A relação gráfica entre o consumo de energia na classe industrial e as variáveis causais presentes no modelo podem ser visualizadas na figura 6.

Importante ressaltar, em particular, que se verificou, através dos testes de causalidade, que a variável “pandemia” deixou de ser significativa a partir da inclusão de outras variáveis *proxy* do nível de atividade no setor industrial como, por exemplo, a utilização da capacidade instalada. Isto significa dizer que estas variáveis conseguiram expressar bem a relação entre a queda do nível de atividade no setor industrial no consumo de energia elétrica nesta classe.

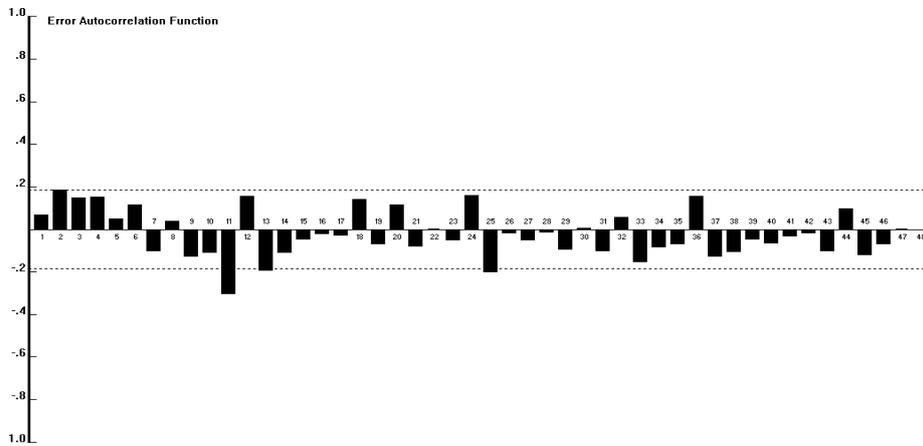
Figura 6 - Relação gráfica das variáveis componentes do modelo em relação ao consumo de energia na classe industrial



Fonte: Elaboração própria

Apresentada a estrutura do modelo de Regressão Dinâmica estimado, atenta-se que este modelo gera resíduos descorrelatados, o que é uma característica necessária para sua utilização, por exemplo, para obter previsões. O gráfico com o correlograma dos erros pode ser visto na figura 7 abaixo.

Figura 7 - Correlograma de erros do modelo selecionado



Fonte: Elaboração própria

Quanto ao desempenho preditivo, ressalta-se que o modelo estimado possui um R^2 ajustado de 92%, o que significa dizer que este modelo explicar 92% da evolução do consumo de energia elétrica no setor industrial. Além disto, este modelo tem um erro médio absoluto percentual (MAPE) de 1,2%, ou seja, este modelo erra em média, para cima ou para baixo, 1,2% nas previsões para o mês seguinte. Vê-se que se obteve um modelo parcimonioso, ou seja, com poucas variáveis e bom poder de previsão.

Apresentadas as características estatísticas do modelo (fidedignidade estatística advinda dos testes sobre correlação dos resíduos), o desempenho preditivo do modelo, a equação 4.1 a seguir pode ser perfeitamente ser utilizada para se obter previsões futuras do consumo de energia elétrica na classe industrial a partir de cenários diversos, e combinações destes cenários, sobre o nível de atividade econômica no Brasil, o nível de atividade na indústria, a tarifa de energia na classe industrial e o nível de preços na economia.

$$\ln(C)_t = 2,07 + 0,20 \ln(IBC)_t - 0,05 \ln(IPCA)_t - 0,03 \ln(TM)_t + 0,74 \ln(UT)_t + 0,27 \ln(C)_{t-1} + 0,10 \ln(C)_{t-12} \quad (4.1)$$

Onde:

C: consumo de energia elétrica na classe industrial em t

IBC: índice de atividade econômica no Brasil em t

IPCA: inflação medida pelo IPCA em t

TM: tarifa média de energia na classe industrial em t

UT: utilização da capacidade instalada em t

C_{t-1} : consumo de energia elétrica na classe industrial em t-1

C_{t-12} : consumo de energia elétrica na classe industrial em t-12

Para demonstrar a importância deste tipo de abordagem no planejamento de mercado, neste caso, em particular, no consumo de energia na área industrial, foi feito um cálculo das previsões para os anos de 2020 (já computando dados reais até novembro de 2020) e 2021, adotando-se um cenário autoprojeto¹⁶ para as variáveis explicativas presentes no modelo. O resultado desta previsão pode ser verificado na tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Evolução do consumo de energia elétrica na classe industrial (GWh) e variação percentual

Ano	Consumo (GWh)	Variação
2010	179.479	-
2011	183.576	2,3%
2012	183.431	-0,1%
2013	184.619	0,6%
2014	178.221	-3,5%
2015	169.141	-5,1%
2016	164.009	-3,0%
2017	166.759	1,7%
2018	169.463	1,6%
2019	166.298	-1,9%
2020*	165.191	-0,7%
2021*	171.455	3,8%

Fonte: Elaboração própria

Observação: *Previsões obtidas através do modelo de Regressão Dinâmica

De acordo com a tabela 6, adotando-se um cenário autoprojeto para as variáveis explicativas, quais sejam, índice de atividade econômica no Brasil, utilização da capacidade instalada, tarifa de energia na classe industrial e nível de preços na economia, projeta-se uma queda no consumo de energia elétrica na classe industrial de 0,7% em 2020, incorporando ainda os efeitos da pandemia no consumo, e um crescimento de cerca de 4% no ano de 2021. Salienta-se que este é apenas um dos cenários que podem ser construídos, ou seja, um cenário obtido a partir da autoprojção das variáveis explicativas e utilizando ainda apenas o valor estimado ou calculado pela equação 4.1. É possível ainda montar cenários alternativos a partir dos limites do intervalo de confiança, dado que as previsões são probabilísticas. Além disto

¹⁶ Para cada variável foi feita uma competição de métodos, usando uma análise recursiva fora da amostra para selecionar o método autoprojeto vencedor. Em síntese, o método vencedor foi aquele que minimizou o erro médio absoluto acumulado fora da amostra.

podem ser obtidos outros cenários a partir da adoção de diferentes valores para as variáveis explicativas. Por exemplo, poder-se-ia fazer cenários pessimistas, moderados e otimistas para cada uma das variáveis presentes na equação de previsão e ainda promover a combinação destes cenários, sempre utilizando a equação de previsão estimada através do método de análise via Regressão Dinâmica para calcular as previsões. Desta forma, a estimação de modelos de previsão constitui uma ferramenta importante para gerar informações que subsidiem o processo de tomada de decisões como, neste caso, quanto ao planejamento do mercado de energia elétrica no Brasil, em particular, na classe industrial.

Além disso, levando em consideração as previsões apresentadas pela EPE no Plano Decenal de Expansão De Energia 2030 (PDE 2030), espera-se uma redução do nível de ociosidade na utilização da capacidade instalada na indústria no período pós pandêmico. Essa ociosidade é, em grande parte, proveniente dos grandes impactos sofridos pela indústria por causa dos efeitos negativos das crises econômicas dos últimos anos, que geraram, inclusive, impactos no consumo de eletricidade no setor industrial. Assim, espera-se que o processo gradual de recuperação da confiança dos agentes, apresentando um movimento entre “V” e “U” e que, conseqüentemente ocorra uma retomada no consumo industrial já no curto prazo. Entretanto, para o ano de 2020 esperam-se resultados negativos em termos de consumo de eletricidade no setor industrial.

O PDE 2030 apresentou ainda alguns cenários alternativos para o consumo de eletricidade, onde o cenário inferior considera uma crise sanitária de caráter mais intenso e prolongado, com a presença de novas ondas de contágio, dificuldades na aprovação de reforma, um maior nível de desemprego e uma menor renda. Já o cenário superior, considera-se uma maior efetividade das políticas de combate à crise do novo coronavírus. Assim, tendo como base esses cenários, espera-se um crescimento do consumo de eletricidade no setor industrial, conforme o gráfico 12.

Gráfico 12 - Crescimento do consumo de eletricidade, por classe. Cenário de Referência x Cenários Alternativos



Dessa forma, se comparados os valores da projeção de consumo de energia elétrica no setor industrial obtidos pela equação de previsão estimada através do método de análise via Regressão Dinâmica com os valores previstos no PDE 2030, vê-se que, apesar das grandes incertezas trazidas pela pandemia, ambas as projeções preveem uma queda no consumo de eletricidade no setor industrial para o ano de 2020, e uma retomada já no curto prazo, sendo essa retomada mais acentuada nos primeiros anos pós pandêmicos e com uma estabilidade no crescimento para os anos seguintes.

CONCLUSÕES

São evidentes as consequências mundiais geradas pela pandemia de COVID-19, sejam elas no meio econômico, social e político. Porém, há que se destacar também as incertezas que rondam a atualidade, que dificultam qualquer previsão econômica de curto prazo e, possivelmente, esse cenário só irá se estabilizar após a vacinação em massa da população.

Levando em consideração este cenário nebuloso, o presente trabalho teve por objetivo a mensuração dos impactos do novo coronavírus no consumo de energia elétrica por parte do setor industrial, e para tal foi utilizada a metodologia da análise de Regressão Dinâmica, que aplica a estratégia *bottom-up* na construção do modelo, gerando assim um modelo parcimonioso com bom poder de explicação sobre o consumo de eletricidade na indústria.

A partir deste objetivo, foi apresentado um panorama sobre o Sistema Elétrico Brasileiro, em que se pôde ver o processo histórico de mudanças e sua estrutura atual, bem como um quadro geral das consequências da pandemia sobre a economia brasileira como um todo, partindo assim para a explicação do modelo a ser utilizado e, em seguida, para a apresentação dos resultados obtidos na modelagem.

Com relação a modelagem, após a coleta das bases de dados e definição das variáveis a serem incluídas na análise, iniciou-se a construção do modelo, tendo como base a metodologia de Regressão Dinâmica. Foram consideradas variáveis *proxy* do nível de atividade econômica no Brasil e na indústria, e fatores como nível de renda, nível de preços na economia e o preço da energia elétrica na indústria. Assim, após realizado todo o processo de testes sobre causalidade, dinâmica e erros estruturados, obteve-se um modelo final com um poder de explicação aproximado de 92% sobre as variações no consumo de energia elétrica na indústria, e um erro médio absoluto percentual de 1,2%, podendo assim considerá-lo um modelo com bom poder de explicação, um baixo percentual de erro e parcimonioso, dado que este modelo tem apenas quatro variáveis. Dessa forma, acredita-se que o objetivo principal da monografia foi alcançado. Além de se captar os efeitos da pandemia no consumo de energia elétrica na classe industrial, obteve-se um modelo que pode ser perfeitamente usado para fazer projeções e ajudar na construção de cenários futuros.

Desta forma, para destacar a importância e as vantagens de se utilizar este método como ferramenta de planejamento e suporte à decisão, utilizou-se o modelo¹⁷ para calcular as previsões de consumo de eletricidade na indústria para os anos de 2020 e 2021, e em seguida essas previsões foram comparadas com as previsões realizadas pela EPE. Pode-se ver que ambas apresentavam resultados semelhantes, confirmando ainda mais a eficiência da modelagem. Os resultados indicam uma queda do consumo de energia elétrica na classe industrial em 2020 e uma recuperação deste a partir de 2021.

Ademais, tendo em conta o cenário incerto que a pandemia traz para a atualidade, é impossível precisar qualquer tipo de previsão, visto que não se sabe por quanto tempo a pandemia continuará, o que traz incertezas sobre as consequências futuras. Importante neste momento é que foi estimado um modelo que representa a realidade do consumo de energia na classe industrial e que permite fazer o cálculo das previsões para este consumo combinando diferentes cenários sobre o nível de atividade econômica no Brasil, na indústria, no nível de preços e também no preço da energia elétrica consumida na indústria. Desta forma, é importante manter atualizada esta base de dados e monitorar, por exemplo, o desempenho preditivo deste modelo. Por fim, é possível também obviamente a aplicação de outros métodos de previsão, comparando-se seu desempenho com o do modelo obtido neste trabalho monográfico.

¹⁷ Modelo utilizado adota um cenário autoprotelado para as variáveis explicativas.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, D. *et al.* **Como a pandemia “bagunçou” a economia brasileira em 2020.** G1, 12 de dez. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/12/12/como-a-pandemia-bagunçou-a-economia-brasileira-em-2020.ghtml>. Acesso em: 14 de jan. de 2021.
- ANDRADE, R. B. **Vacina estimulará a economia em 2021.** CNI, 04 de jan. de 2021. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/artigos/robson-braga-de-andrade/vacina-estimulara-economia-em-2021/>. Acesso em: 15 de jan. de 2021.
- ASSIS, L. E. **Distanciamento Social.** Estadão, 07 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,distanciamento-social,70003542358>. Acesso em: 13 de fev. de 2021
- BANDEIRA, F. P. M. **Análise das alterações propostas para o modelo do setor elétrico brasileiro.** Consultoria Legislativa, Brasília, 2003.
- BARROS, M.; SOUZA, R. C. **Regressão Dinâmica.** Núcleo de Estatística Computacional. PUC-Rio, 1995.
- BBC. **Coronavírus: Brasil é um dos mais afetados entre 75 países onde epidemia ainda cresce.** BBC, 15 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-53047836>. Acesso em 13 de fev. de 2021.
- BCB-Depec. Base de dados: Índice de Atividade Econômica do Banco Central - IBC-BR (2010-2020). Brasil, 2021.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis, Forecasting and Control.** San Francisco, Holden-Day, 1994.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Reestruturação do Setor Elétrico Nacional – RESEB, Estágio I – Plano de Emergência** – Brasília, 1996.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Reestruturação do Setor Elétrico Nacional – RESEB, Estágio I – Relatório Sumário** – Brasília, 1996.
- CASTRO, L. B. de. Esperança, frustração e aprendizado: A história da nova república (1985-1989). In: GIAMBIAGI, F. *et al.* (Orgs.). **Economia Brasileira Contemporânea (1945-2004).** Rio de Janeiro: Campus, 2005.
- COCHRANE, D.; ORCUTT, G. H. **Application of Least Squares Regression to Relationships Containing Autocorrelated Error Terms.** Journal of the American Statistical Association, 44, p. 32-61, 1949.
- CORRÊA, M. L. Contribuição para uma história da regulamentação do setor de energia elétrica no Brasil: o Código de Águas de 1934 e o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Política & Sociedade**, n. 6, p. 255-291, abr. 2005.
- DUDEWICZ, E. J.; MISHRA, S. N. **Modern Mathematical Statistics.** Wiley, 1988.
- DWECK, E. (Coord.) **Impactos macroeconômicos e setoriais da Covid-19 no Brasil.** Nota Técnica. Texto para Discussão 007, IE-UFRJ, 2020.

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

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2020** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020

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

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica – Maio 2020** – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. **Conselho Executivo do FMI conclui consulta do Artigo IV de 2020 com o Brasil**. Washington, DC, 2 de dez. de 2020. Disponível em: <https://www.imf.org/en/News/Articles/2020/12/02/pr20362-brazil-imf-executive-board-concludes-2020-article-iv-consultation>. Acesso em: 14 de jan. de 2021.

GANIM, Antônio. **Setor elétrico brasileiro. Aspectos regulamentares, tributários e contábeis**. Rio de Janeiro: CanalEnergia, 2003.

GOMES, A. C. S. *et al.* **BNDES 50 Anos - Histórias Setoriais: O Setor Elétrico**. dez. 2002.

HAMILTON, J. D. **Times Series**. Princeton, 1994.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Mensal da Indústria (PIM)**, 2020.

IPEADATA. Base de dados Consumo anual de energia elétrica – indústria (1960-2019). Brasil, 2020.

IPEADATA. Base de dados Consumo anual de energia elétrica – comércio (1960-2019). Brasil, 2020.

IPEADATA. Base de dados Consumo anual de energia elétrica – residencial (1960-2019). Brasil, 2020.

IPEADATA. Base de dados: Consumo mensal de energia elétrica – indústria (2010-2020). Dados fornecidos por: Eletrobras. Brasil, 2021a.

IPEADATA. Base de dados: Horas trabalhadas na indústria (2010-2020). Dados fornecidos por: CNI. Brasil, 2021b.

IPEADATA. Base de dados: Expectativa média de Inflação - IPCA - taxa acumulada para os próximos doze meses - (% a.a.) (2010-2020). Dados fornecidos por: Banco Central do Brasil. Brasil, 2021c.

IPEADATA. Base de dados: Massa salarial real – indústria (2010-2020). Dados fornecidos por: CNI. Brasil, 2021d.

IPEADATA. Base de dados: Produção Industrial (Produção Física) – Indústria geral (2010-2020). Dados fornecidos por: IBGE. Brasil, 2021e.

IPEADATA. Base de dados: Pessoal empregado – indústria (2010-2020). Dados fornecidos por: CNI. Brasil, 2021f.

IPEADATA. Base de dados: Rendimento médio real - indústria (2010-2020). Dados fornecidos por: CNI. Brasil, 2021g.

IPEADATA. Base de dados: Tarifa média por MWh - indústria (2010-2020). Dados fornecidos por: Eletrobras. Brasil, 2021h.

IPEADATA. Base de dados: Utilização da capacidade instalada (%) - indústria (2010-2020). Dados fornecidos por: CNI. Brasil, 2021i.

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.

MATTEI, L *et al.* **Impactos da pandemia sobre o setor industrial Catarinense.** Santa Catarina: Necat/UFSC, 2020.

LIMA, A.V.; FREITAS, E. A. **A pandemia e os impactos na economia brasileira.** Brasília: UNB, 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Painel Coronavírus.** Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>. Acesso em: 13 jan. de 2021a.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Informações sobre o coronavírus.** Disponível em: <https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca>. Acesso em: 13 jan. de 2021b.

RAMOS, D. S. **Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro.** Material utilizado na disciplina Formação de Preços e Comercialização de Energia no Novo Ambiente do Setor em disciplina de pós-graduação da Escola Politécnica da USP, 2011, São Paulo.

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.

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

SILVA, E. F. **Principais condicionantes das alterações no modelo de comercialização de energia elétrica: retrospectiva e análise crítica.** 2008. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Poli-USP. São Paulo, 2008.

SILVA, B. G. **Evolução do Setor elétrico Brasileiro no contexto econômico nacional: uma análise histórica e econométrica de longo prazo.** São Paulo, 2011.

TÁVORA, F. L. **Impactos do novo coronavírus (Covid-19) no agronegócio brasileiro.** Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, n. 274, 2020. 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: 13 de fev. de 2021.

WORLD BANK. **Perspectivas econômicas globais.** Disponível em: <<https://www.worldbank.org/pt/publication/global-economic-prospects>>. Acesso em: 13 de jan. de 2021.

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.