

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ECONOMIA  
CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**Maurits Martijn ten Boom**

**Transição energética no Brasil: Evolução das emissões de CO2 atreladas ao  
setor energético nos próximos anos e as mudanças na matriz energética  
brasileira.**

Juiz de Fora  
2023

**Maurits Martijn ten Boom**

**Transição energética no Brasil: Evolução das emissões de CO2 nos próximos anos e as mudanças na matriz energética brasileira.**

Monografia apresentada a Faculdade de Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciências Econômicas.

Orientador: Alexandre Zanini

Juiz de Fora  
2023

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

ten Boom, Maurits Martijn.

Transição energética no Brasil : Evolução das emissões de CO2 atreladas ao setor energético nos próximos anos e as mudanças na matriz energética brasileira / Maurits Martijn ten Boom. -- 2023.

68 p.

Orientador: Alexandre Zanini

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2023.

1. Transição energética. 2. Emissões de CO2. 3. Energia Renovável. I. Zanini, Alexandre , orient. II. Título.



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

**FACULDADE DE ECONOMIA / UFJF**

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

Na data de 05/12/2023, a Banca Examinadora, composta pelos professores

1 – Alexandre Zanini - orientador; e

2 – Rosa Livia Gonçalves Montenegro,

reuniu-se para avaliar a monografia do acadêmico **MAURITS MARTIJN TEN BOOM**, intitulada: **TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL: EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO2 ATRELADAS AO SETOR ENERGÉTICO NOS PRÓXIMOS ANOS E AS MUDANÇAS NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.**

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

**ASSINATURA ELETRÔNICA DOS PROFESSORES AVALIADORES**



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Zanini, Professor(a)**, em 05/12/2023, às 19:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rosa Livia Gonçalves Montenegro, Professor(a)**, em 05/12/2023, às 20:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1612110** e o código CRC **C12B117D**.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer imensamente a minha família, a principalmente meus pais e minha irmã, pelo apoio incondicional e por sempre terem acreditado na minha capacidade, sem vocês nada disso seria possível, vocês são a base de tudo. Também gostaria de agradecer a meus amigos e colegas que me acompanharam nessa trajetória, sem vocês o caminho teria sido bem mais difícil. Também quero prestar meus agradecimentos ao Zanini pela orientação, te considero um exemplo a ser seguido não só como profissional, mas também como pessoa. Por fim, agradeço a todos os docentes que cruzaram meu caminho durante a graduação pelos conhecimentos passados.

## RESUMO

O objetivo central do presente trabalho é o de prever, com um grau de precisão satisfatório, as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil atreladas ao setor de energia até 2030 e a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira. A estratégia escolhida para atingir esse objetivo foi utilizar o método de regressão dinâmica. O primeiro passo, foi investigar a literatura, buscando compreender não só o passado do setor, como também as perspectivas para o futuro. Após compreender mais sobre a dinâmica do setor, foram escolhidas as variáveis-chave e o modelo foi estimado. Em conformidade com as projeções, até 2030 haverá um crescimento da participação renováveis na matriz energética, enquanto as emissões de CO<sub>2</sub> do setor energético sofrerão uma leve queda.

**Palavras-chave:** Transição energética. Matriz energética. Energia renovável. Emissões de CO<sub>2</sub>. Modelo de Previsão.

## **ABSTRACT**

The main objective of this monograph is to forecast, with a satisfactory degree of precision, the CO<sub>2</sub> emissions of the energy sector in Brazil and the participation of renewables within the Brazilian energy mix in 2030. The strategy chosen to achieve this goal was to use a Dynamic Regression Model to make the projections. The first step was to investigate the literature seeking to comprehend not only the past of the Brazilian energy sector, but also its future perspectives. After understanding the dynamic of the sector, the key variables were chosen and the model estimated. The model projected for 2030, a growth of renewables within the energy mix while the CO<sub>2</sub> emissions of the energy sector had a slight drop.

**Keywords:** Energy transition. Energy mix. Forecast. Brazilian energy sector. CO<sub>2</sub> emissions. Renewables.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução da participação da energia solar e eólica na matriz energética. ....	12
Gráfico 2: Comparativo entre os valores de mercado da Tesla com outras empresas de relevância no setor. ....	13
Gráfico 3: Demanda energética por fonte em 1974. ....	16
Gráfico 4: Demanda energética por fonte em 1984. ....	17
Gráfico 5: Emissões de CO2 realizadas e em relação emissões sem os investimentos na redução da dependência do petróleo. ....	17
Gráfico 6: Evolução dos preços das cotas de crédito de carbono europeias (em €/tonelada de CO2). ....	20
Gráfico 7: Investimentos previstos até 2032 no sistema de transmissão de eletricidade brasileiro. ....	24
Gráfico 8: Investimentos previstos até 2030 no sistema de transmissão de eletricidade brasileiro separados em categorias. ....	25
Gráfico 9 – Evolução dos preços dos contratos futuros do barril de petróleo. .	28
Gráfico 10: Comparativo entre as previsões geradas pelos modelos e os dados históricos de emissão de CO2 do Irã. ....	29
Gráfico 11 – Comparativo entre as projeções do modelo e os valores históricos de emissões de CO2. ....	46
Gráfico 12 – Função de Autocorrelação dos erros do modelo cujo objetivo é prever as emissões de CO2 provenientes do setor energético. ....	46
Gráfico 13 – Previsões geradas pelo modelo cujo objetivo é prever as emissões de CO2 provenientes do setor energético. ....	47
Gráfico 14 – Comparativo entre as projeções do modelo para prever a participação de renováveis e os valores históricos. ....	49
Gráfico 15 – Função de autocorrelação dos erros do modelo para previsão da participação de renováveis. ....	50
Gráfico 16 – Previsões geradas pelo modelo para prever a participação de renováveis na matriz energética em 2030. ....	51
Gráfico 17- Valores previstos em relação ao histórico da representatividade das fontes renováveis na matriz energética. ....	52
Gráfico 18 - Valores previstos para as emissões de CO2 e os valores previstos. ....	53
Gráfico 19- Reduções necessárias nas emissões de CO2 do setor de energia para que as emissões de 2030 sejam iguais a 50% das emissões de 2005. ....	54
Gráfico 20- Reduções necessárias nas emissões de CO2 totais do Brasil para que as emissões de 2030 sejam iguais a 50% das emissões de 2005. ....	55



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Projetos voltados para sustentabilidade financiados pelo BNDES. ..	18
Figura 2: Funcionamento do mercado de carbono voluntário.....	21
Figura 3: Funcionamento do mercado de carbono regulado. ....	22
Figura 4: Evolução dos custos em dólar por kwh gerado a partir das matrizes eólica e solar. ....	23
Figura 5 -Funcionamento dos benefícios dos projetos micro e minigeração de energia que solicitarem acesso junto à rede de distribuição até 2024.....	27
Figura 6: Processo de montagem do modelo. ....	35

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Correlação de Pearson para as variáveis. ....	<b>30</b>
Tabela 2 – Variáveis utilizadas no modelo para prever as emissões de CO2 atreladas ao setor de energia e suas respectivas fontes. ....	<b>42</b>
Tabela 3 – Variáveis utilizadas no modelo para prever a participação das fontes renováveis na matriz energética.....	<b>43</b>
Tabela 4- Coeficiente e significância das variáveis do modelo para prever as emissões de CO2. ....	<b>45</b>
Tabela 5 – Indicadores de desempenho. ....	<b>45</b>
Tabela 7 – Coeficiente e significância das variáveis. ....	<b>48</b>
Tabela 8 – Desempenho preditivo do modelo para prever a participação de renováveis. ....	<b>49</b>
Quadro 1 – Estratégia escolhida para a projeção de cada variável.....	<b>44</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA NO PASSADO.....	16
2.2 SITUAÇÃO ATUAL.....	18
2.3 FATORES QUE PODEM LIMITAR OU ACELERAR A TRANSIÇÃO.....	19
<b>2.3.1 Mercado de carbono</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3.2 Os impactos da eletrificação na rede de transmissão.</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3.3 A intensidade dos subsídios.</b> .....	<b>25</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
3.1 MODELOS DE REGRESSÃO.....	29
3.2 REGRESSÃO DINÂMICA.....	30
<b>3.2.1 Estrutura dos modelos de Regressão Dinâmica.</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.2 Construção de modelos de Regressão Dinâmica.</b> .....	<b>33</b>
<b>3.2.3 Testes de verificação da dinâmica do modelo.</b> .....	<b>36</b>
3.3 MÉTRICAS PARA AVALIAR O DESEMPENHO PREDITIVO.....	37
<b>3.3.1 Coeficiente de explicação <math>R^2</math>.</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3.2 MAPE.</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.3 Testes baseados na autocorrelação dos resíduos.</b> .....	<b>39</b>
3.2 MODELO LOG-LOG.....	39
<b>4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS.</b> .....	<b>41</b>
4.1 BASE DE DADOS.....	41
4.2 MODELO PARA PREVISÃO DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> .....	44
<b>4.2.1 Desempenho Preditivo.</b> .....	<b>45</b>
<b>4.2.2 Teste de Autocorrelação dos erros.</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2.3 Previsões até 2030.</b> .....	<b>47</b>
4.3 MODELO DE PREVISÃO DA PARTICIPAÇÃO DAS RENOVÁVEIS.....	48
<b>4.3.1 Desempenho preditivo.</b> .....	<b>49</b>
<b>4.3.2 Testes de autocorrelação dos erros.</b> .....	<b>50</b>
<b>4.3.3 Previsões até 2030.</b> .....	<b>50</b>
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	51
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em conformidade com as temperaturas registradas até outubro, a probabilidade de 2023 se tornar o ano mais quente em 125.000 anos é superior a 99% (COPERNICUS, 2023). É nesse contexto que acontece a vigésima oitava Cúpula do Clima de 2023 (COP28), cujo objetivo é fomentar debates, conscientizar as autoridades e viabilizar as negociações climáticas entre os países.

Para compreender o panorama atual e possibilitar negociações baseadas em dados, nas reuniões da Cúpula do Clima (COP) é utilizado como principal referência o relatório anual sobre a Lacuna de Emissões feito pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (PNUMA, 2023). O estudo tem como objetivo monitorar se as emissões de gases causadores do efeito estufa estão compatíveis ou não com os compromissos climáticos.

Com base nos dados apresentados pelo relatório de 2023, a situação é muito preocupante. A grande maioria dos países, inclusive o Brasil, não estão cumprindo as metas de descarbonização. Com base na trajetória atual, a PNUMA estimou que estamos caminhando para um aumento de 2,9 °C acima dos níveis pré-industriais, para limitar o aumento em 1,5 °C, valor desejado, seria necessário reduzir as emissões globais atuais em 42% até 2030 (PNUMA, 2023).

Dito isso, na contemporaneidade, há uma preocupação cada vez maior em relação às questões ambientais. O aquecimento global, decorrente da excessiva emissão de carbono na atmosfera, e os desequilíbrios ambientais causados, são, sem dúvida, temas muito abordados atualmente. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2014), o aumento da temperatura vem tornando eventos, como por exemplo, desastres ambientais, enchentes, secas e incêndios, cada vez mais frequentes. Além disso, com o derretimento das geleiras localizadas no Polo Norte e na Antártida, o nível do mar está subindo, causando perdas territoriais (STERN, 2006).

Um dos principais causadores desse aumento na temperatura são as fontes energéticas consideradas sujas (CERETTA et al., 2018). No Brasil, de acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de

Efeito Estufa (SEEG, 2021), o setor de energia brasileiro sozinho foi responsável pela emissão de cerca de 434,6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Vale lembrar que o Brasil é signatário do Acordo de Paris, cujo objetivo é fazer com que o aumento da temperatura média global, em relação ao período pré-industrial, não ultrapasse 2°C, de acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC, 2017). Além disso, busca-se realizar esforços para que esse aumento seja inferior a 1,5°C. Para que isso ocorra, será necessário um grande esforço por parte dos países de todo o mundo. Segundo o Centro para Pesquisa Climática Internacional (CICERO, 2018), quanto mais cedo as reduções começarem, menos drásticas elas terão que ser (ANDREW, 2018).

Com o objetivo de evitar que a temperatura aumente acima dos 2°C, ao assinar o Acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> em 43% até 2030, em comparação com os níveis de emissões de 2005, uma das metas mais ambiciosas do mundo (GONÇALVES, 2020). Posteriormente na vigésima sexta edição da Cúpula do Clima (COP26), em Glasgow, o Brasil se comprometeu a elevar a meta para 50%. Portanto, para cumprir os objetivos estabelecidas, será de grande importância promover políticas que viabilizem a redução das emissões, incluindo a transição energética (MCTIC, 2017).

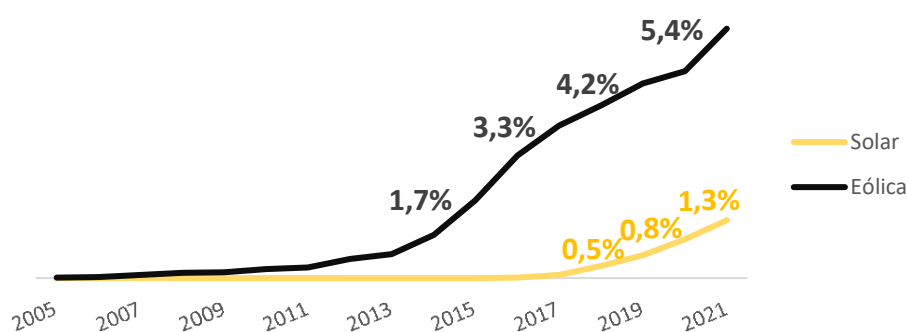
Apesar do Brasil ser um dos maiores geradores de energia hidrelétrica no mundo, ainda existe um grande espaço para mudanças. Com base nos dados do *Our World in Data*, mais de 52% da energia utilizada no Brasil em 2021 veio de fontes não renováveis, como petróleo, carvão e gás natural.

Por outro lado, fontes renováveis de energia, como a eólica e a solar, vêm ganhando cada vez mais espaço (VIEIRA, 2021). Vale lembrar do potencial não aproveitado existente no território brasileiro. Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o potencial de geração de energia eólica no Brasil é de 500 gigawatts, o que corresponde a três vezes a atual demanda por energia elétrica do país. O potencial da energia solar também é enorme, no melhor cenário, o potencial técnico de geração de energia solar pode chegar a 30 mil

GW, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2016).

Apesar do potencial inexplorado, essas fontes estão recebendo cada vez mais investimento e sendo mais utilizadas (Clima e Desenvolvimento, 2021). Nos últimos anos, é possível observar um rápido crescimento, embora ainda não representem uma porcentagem significativa da geração total de energia (Clima e Desenvolvimento, 2021). Conforme ilustrado no Gráfico 1, há um evidente aumento na participação das energias eólica e solar na matriz energética.

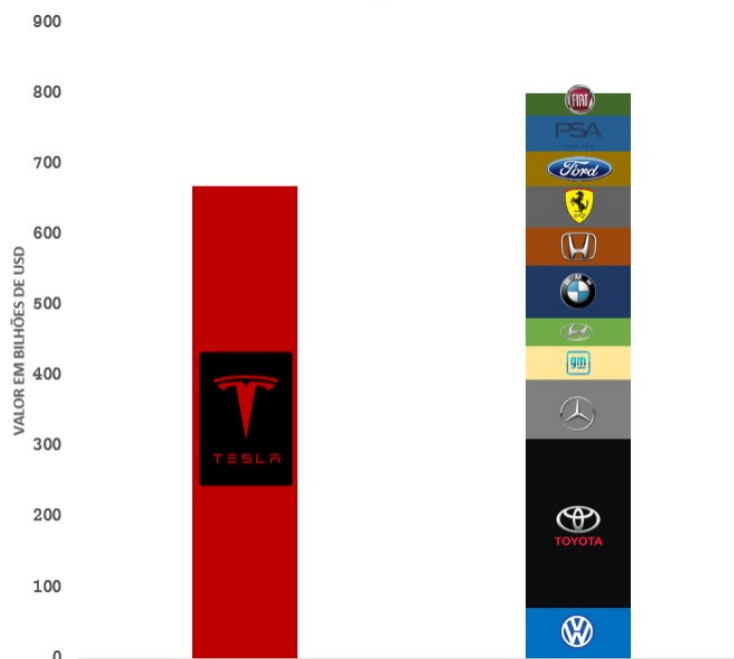
Gráfico 1: Evolução da participação da energia solar e eólica na matriz energética.



Fonte: Autoria própria com os dados do Our World in Data (2021).

Além disso, no que tange o petróleo, os carros elétricos vêm se apresentando como uma alternativa. Apesar de ainda não terem se popularizado no Brasil, em razão de seu elevado preço de compra, esse mercado está evoluindo rapidamente. Motores elétricos estão se tornando cada vez mais comuns nos países desenvolvidos, e a expectativa é que, em um futuro não muito distante, os carros elétricos se tornem acessíveis e se popularizem no Brasil (SANTOS et al., 2009). O otimismo em relação ao setor reflete nos números. A Tesla, principal montadora de veículos elétricos, possui um valor de mercado superior ao de qualquer montadora tradicional. Quando consideramos todas as montadoras tradicionais juntas, apesar de possuírem um valor de mercado superior ao da Tesla, a diferença não é grande: US\$ 670 bilhões contra US\$ 800 bilhões, conforme pode se ver no Gráfico 2 (Investing, 2023).

Gráfico 2: Comparativo entre os valores de mercado da Tesla com outras empresas de relevância no setor.



Fonte: Elaboração própria com os dados do Investing (2023).

Apesar do valor de mercado elevado, ao se comparar as receitas a Tesla com a Toyota, por exemplo, a montadora de carros elétricos perde por muito, enquanto a montadora japonesa obteve uma receita de 257,42 bilhões em 2022 de dólares, a receita da Tesla foi de apenas US\$ 53,823 bilhões no mesmo período (Investing, 2023). Nesse contexto, o valor de mercado da Tesla é sustentado pela grande expectativa de crescimento da empresa, em um cenário de intensificação do processo de transição energética nos próximos anos (SANSALONI, 2022).

Na busca pela adoção de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade, foi criada em 2021 a Frente Parlamentar de Recursos Naturais e Energia (FPRE). O objetivo será o de por meio de debates, promover políticas públicas que viabilizem, principalmente a transição energética (FPRE, 2021).

A situação futura, que tange não só as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), como também às mudanças na matriz energética, é incerta e são considerados 3 cenários (Clima e Desenvolvimento, 2021), esses cenários são utilizados como base pela FPRE. O primeiro cenário é chamado de Retomada Econômica (REF), onde as políticas atuais são mantidas e o desmatamento

aumenta até 2023, cai levemente até 2025 e permanece estável até 2030. Já o segundo cenário é o de retomada e transição justa (CMA1), a retomada econômica vêm acompanhado de uma mudança nas políticas no que tange à sustentabilidade. Por fim, no terceiro cenário (CMA2), considera, além da retomada econômica e da utilização de políticas mais agressivas, o desmatamento zero até 2030.

No cenário mais pessimista, as emissões de CO<sub>2</sub> ou equivalentes ficariam em 1,7 giga toneladas enquanto no cenário mais otimista em 0,5 giga toneladas (Clima e Desenvolvimento, 2021). Com isso, a diferença entre os cenários é bem elevada, no mais pessimista, seriam emitidos 3,4 vezes mais CO<sub>2</sub> e equivalentes quando comparado ao cenário mais otimista.

Por conseguinte, há uma evidente incerteza em relação ao futuro das emissões de gases causadores do efeito estufa e a evolução da transição energética. Sendo de grande importância, não só a título de conhecimento, como também na escolha das políticas públicas, conseguir prever com um grau de precisão satisfatório as emissões de CO<sub>2</sub> e as mudanças dentro da matriz energética., que, em conformidade com os dados do Sistema de Estimativa de Emissão de Gases (SEEG), o setor de energia é, atualmente a terceira maior gases causadores do efeito estufa, perdendo apenas para o setor Agropecuário e para a Mudança do Uso da Terra e Florestas. Uma maneira de atingir esse objetivo, é por meio de um modelo de previsão que seja fidedigno.

Nesse contexto, em razão, não só da importância do tema, como também da incerteza no que tange a transição energética e as emissões de gases poluentes na atmosfera, objetivo do presente trabalho será estimar, com um grau de precisão satisfatório, as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil atreladas ao setor de energia até 2030 e a participação de fontes renováveis de energia como hidrelétrica, solar, eólica, biocombustíveis, na matriz energética.

Dito isso, o presente trabalho auxiliará na compreensão da situação no que tange a transição energética e as perspectivas de cumprimento das metas de descarbonização. Nesse sentido, os resultados obtidos podem se mostrar muito úteis para as autoridades responsáveis pelas políticas públicas,



fornecendo informações importantes, auxiliando na compreensão do panorama atual e dos impactos futuros das políticas atuais.

Para realizar as estimativas serão montados dois modelos de regressão dinâmica (GOODRICH, 1989) por meio do *software Forecast Pro for Windows* (FPW). O primeiro modelo irá prever as emissões de CO<sub>2</sub> proveniente do setor energético enquanto o segundo modelo irá projetar a participação das fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira.

O modelo feito deve ser não enviesado e com variáveis independentes que consigam explicar as variações da variável depende, ou seja, deve possuir o indicador R quadrado elevado, além disso o modelo deverá realizar previsões fidedignas, para isso o objetivo será conseguir um erro percentual médio (MAPE) baixo.

O modelo gerado, que será abordado com mais detalhes nas próximas seções, além de não enviesado, apresentou um desempenho preditivo elevado. Os resultados obtidos preocupam, apesar de uma leve redução das emissões de CO<sub>2</sub> atreladas ao setor de energia, o valor projetado para 2030 é cerca de 147% superior a 50% das emissões de 2005. Ou seja, se considerarmos o setor de energia de maneira isolada, o Brasil está longe de cumprir a redução de emissões de CO<sub>2</sub>.

Feitas estas considerações, atenta-se que este trabalho está organizando em 5 seções: introdução, referencial teórico, metodologia, resultados e conclusão. Enquanto na introdução (Capítulo I) o problema de pesquisa foi contextualizado, no referencial teórico (Capítulo II) é fornecida a base teórica, na metodologia (Capítulo III) é apresentada a metodologia utilizada, nos resultados (Capítulo IV), os modelos e o desempenho preditivo são expostos, por fim, o Capítulo V consiste em uma análise dos resultados obtidos.

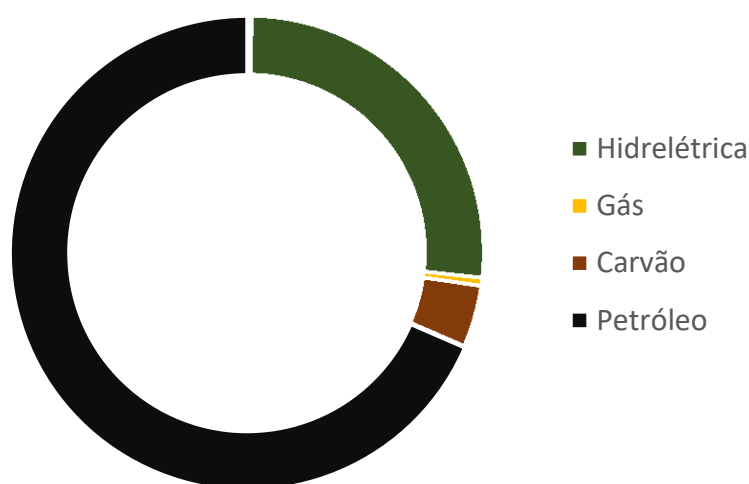
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MATRIZ ENERGÉTICA NO PASSADO

A matriz energética brasileira está constantemente em mudança. Até 1940, lenha era a principal fonte energética, respondendo por 75% de toda a energia consumida no país. Com o processo de urbanização, houve um desenvolvimento do setor elétrico e do petróleo e gás (CARVALHO, 2009).

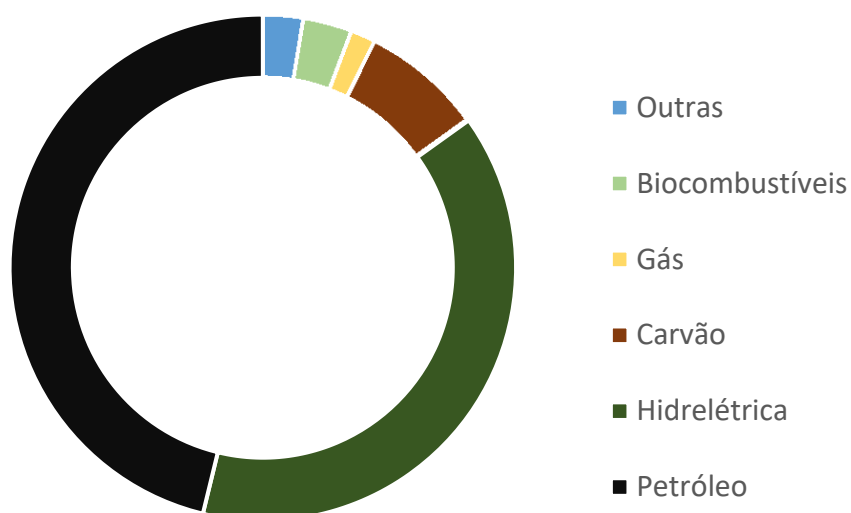
A situação foi evoluindo e, no início da década de 70, o petróleo chegou a atender uma parcela muito elevada da demanda energética brasileira, existindo uma situação de dependência externa (GIAMBIAGI et al., 2005). Com os choques de petróleo ocorridos na década de 70, o preço passou de US\$ 2,48 em 1972 para US\$ 35,69 em 1979 e, em razão da forte dependência, as consequências para a economia foram muito negativas. Para solucionar o problema, o Brasil passou a investir em pesquisa e desenvolvimento (GIAMBIAGI et al., 2005). Os Gráficos 3 e 4 ilustram essa situação de transição, em que, com os investimentos, houve uma redução considerável do petróleo na matriz energética.

Gráfico 3: Demanda energética por fonte em 1974.



Fonte: Elaboração própria com os dados do Our World in Data (2021).

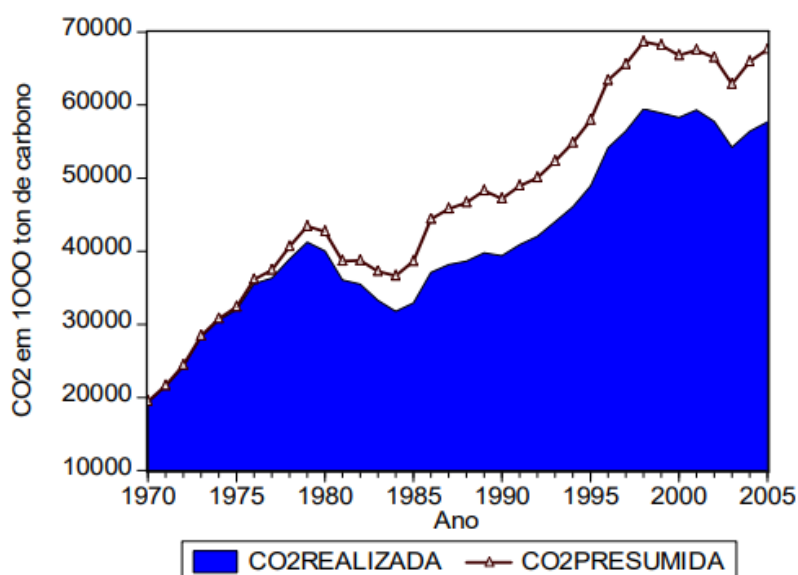
Gráfico 4: Demanda energética por fonte em 1984.



Fonte: Elaboração própria com os dados do Our World in Data (2021).

Essas mudanças na matriz energética, influenciadas pelos investimentos em pesquisa e desenvolvimento na década de 70, tiveram um impacto direto nas emissões de CO<sub>2</sub> (ANDRADE, 2009). O Gráfico 5 ilustra a relação entre o CO<sub>2</sub> que teria sido emitido caso os investimentos em pesquisa e desenvolvimento não tivessem sido realizados e o que de fato foi emitido. É possível observar que, sem os investimentos, os valores seriam superiores.

Gráfico 5: Emissões de CO<sub>2</sub> realizadas e em relação emissões sem os investimentos na redução da dependência do petróleo.



Fonte: (ANDRADE, 2009)

## 2.2 SITUAÇÃO ATUAL

Atualmente, diferentemente do que era em 1974, o principal motivador para que mudanças na matriz energética, passou a ser a questão ambiental (ANDRADE, 2009). A contribuição nacionalmente determinada (NDC) estabelece que o Brasil deve reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> em 43% até 2030, se comprometendo, inclusive a ampliar a ambição para 50% com o fim alcançar emissões líquidas neutras até 2050 (BNDES, 2021). A Figura 1 ilustra os projetos que estão sendo financiados pelo BNDES com o fim de alcançar as metas de redução da emissão e seu potencial para a redução nas emissões de CO<sub>2</sub> ao longo da vida útil do projeto, é possível observar que o foco está sendo o setor de energia, com um potencial de evitar a emissão de 88,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (BNDES, 2023).

Figura 1: Projetos voltados para sustentabilidade financiados pelo BNDES.

Setores	Toneladas de CO <sub>2</sub> em emissões evitadas*	Que equivalem a:
 Energia	88,7 milhões	Produzir a energia consumida no estado do Rio de Janeiro por 31 anos
 Mobilidade urbana	8 milhões	Um ano e meio sem carros na Região Metropolitana de São Paulo (SP)
 Florestas	499 mil	Plantar 3.333 campos de futebol
 Biocombustíveis	1.373 mil	92 dias sem carros na Região Metropolitana de São Paulo (SP)
 Resíduos Sólidos	725 mil	Plantar 5.328 campos de futebol
 Iluminação Pública	279 mil	Produzir a energia consumida no estado do Rio de Janeiro por 36 dias
 Transporte	408 mil	27 dias sem carros na Região Metropolitana de São Paulo (SP)
<b>Total dos sete setores</b>	<b>100 milhões</b>	<b>18 anos sem carros na Região Metropolitana de São Paulo (SP)</b>

Fonte: BNDES (2023).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), a transição energética no Brasil abrange diversas dimensões, incluindo aspectos sociais, econômicos, energéticos, ambientais e características específicas de cada fonte de energia, que serão consideradas no início do processo de transição e no planejamento energético de longo prazo. Para que a transição energética seja viabilizada, será necessário elevar a produção de bioenergia e energias renováveis. Além disso, políticas que promovam incentivos financeiros à descarbonização serão de muita importância (EPE, 2022).

Para atingir as ambições de redução de CO<sub>2</sub>, com base no Plano Decenal de Expansão da Energia (PDE, 2029), as fontes renováveis de energia, no cenário global deverão crescer em média 2,9% ao ano entre os anos de 2020 e 2030. No Brasil, os biocombustíveis deverão expandir de modo que representem 18% da matriz até 2030, as energias renováveis irão sair de 47% da oferta interna de energia em 2021 atingirão 50% em 2026, mas haverá uma queda para 48% de 2026 a 2031 (EPE, 2022).

## 2.3 FATORES QUE PODEM LIMITAR OU ACELERAR A TRANSIÇÃO.

### 2.3.1 Mercado de carbono

O mercado de carbono surgiu em 1997 com o protocolo de Quioto, apesar disso só foi implementado, de fato, em 2005 (IPEA, 2009). O protocolo ficou marcado pela criação de um gatilho econômico com o fim de gerar incentivos para a descarbonização, ou seja, a ideia era a de tornar a busca pela redução das emissões de gases causadores do efeito estufa, não só um ato ambientalmente responsável, como também financeiramente interessante (MAFRA, 2022).

Com base no protocolo, os países mais intensivos em emissões de Gases Causadores do Efeito Estufa (GEE) deverão comprar cotas de carbono dos países menos intensivos em gases poluidores (IPAM, 2022). Em outras palavras, os países mais emissores de gases poluentes deverão pagar pelas emissões. Outro ponto importante está no fato da oferta de créditos de carbono se reduzir a cada ano, de modo que emitir GEE se torne cada vez mais caro (KINEA, 2022).

O protocolo de Quioto foi posteriormente substituído pelo Acordo de Paris, a evolução mais significativa foi em relação a quantidade de países aptos a integrarem o mercado de carbono, que passou a ser de 195 (AMCHAM, 2022).

Após a criação a implementação do protocolo de Quioto em 2005, alguns países e blocos econômicos, começaram a implementar internamente o mercado de carbono com o objetivo de fomentar as próprias metas de descarbonização da economia (IPEA, 2009). É um mercado que está crescendo cada vez mais e pode chegar a 50 bilhões de dólares em valor até 2030 (MCKINSEY, 2021). Atualmente, o principal mercado de carbono a nível mundial é o da União Europeia (AMCHAM, 2022), o Gráfico 6 mostra a evolução dos preços das cotas de crédito de carbono do mercado europeu.

Gráfico 6: Evolução dos preços das cotas de crédito de carbono europeias (em €/tonelada de CO<sub>2</sub>).



Fonte: Financial Times (2023).

Em conformidade com a Câmara de Comércio Internacional (ICC), o Brasil tem um potencial de geração de receitas de até 100 bilhões de dólares com o mercado de crédito, além dos ganhos financeiros, também seriam observados benefícios ambientais relevantes visto que seriam reduzidas 1 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> da atmosfera (ICC, 2021).

O mercado pode ser dividido entre voluntário e regulado (BNDES, 2022). No mercado voluntário, as transações de créditos de carbono são espontâneas, em outras palavras, as metas e objetivos são definidos pelas próprias empresas e instituições, dentre essas instituições podemos destacar as empresas que buscam agir em conformidade com os princípios ESG (BNDES, 2022).

O mercado de carbono voluntário é importante para as empresas participantes uma vez que são adotados padrões de certificações dos créditos de carbono, em outras palavras é uma maneira de ratificar o comprometimento em relação as questões ambientais (IPAM 2022). A Figura 2 explica o funcionamento do mercado voluntário de crédito de carbono.

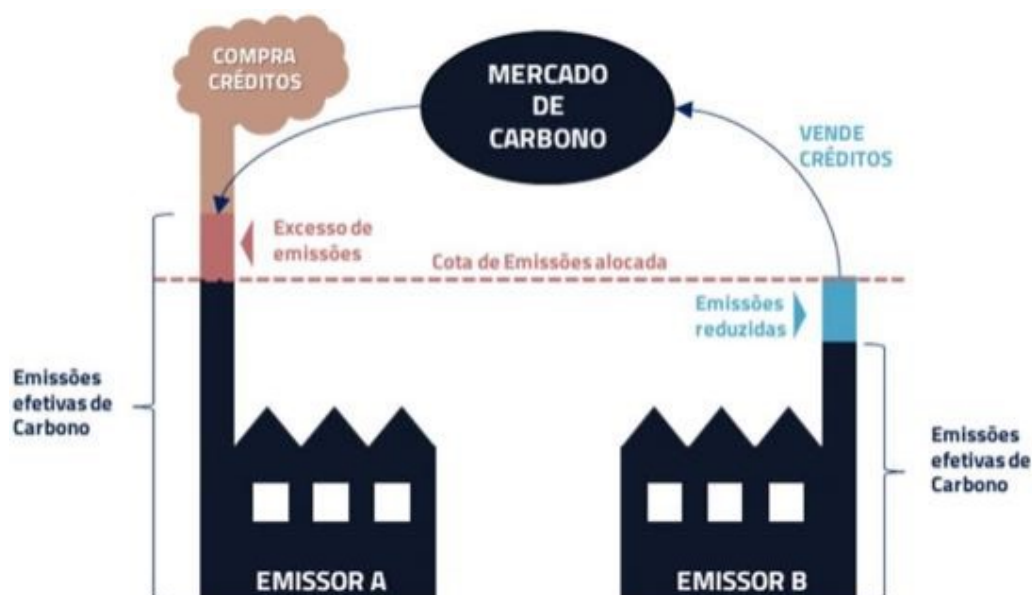
Figura 2: Funcionamento do mercado de carbono voluntário.



Fonte: BNDES (2022).

O mercado de carbono regulamentado, por sua vez, consiste na criação de mecanismos para limitar as emissões dos gases causadores do efeito estufa (GEEs), por instituições governamentais. Por conseguinte, existe um limite para as emissões de gases poluentes e, caso uma empresa ou instituição emita mais CO<sub>2</sub> do que o estabelecido, será necessário comprar créditos de empresas que emitiram menos do que o limite estabelecido (MAFRA, 2022), a Figura 3 ilustra essa dinâmica.

Figura 3: Funcionamento do mercado de carbono regulado.



Fonte: Kinea (2022).

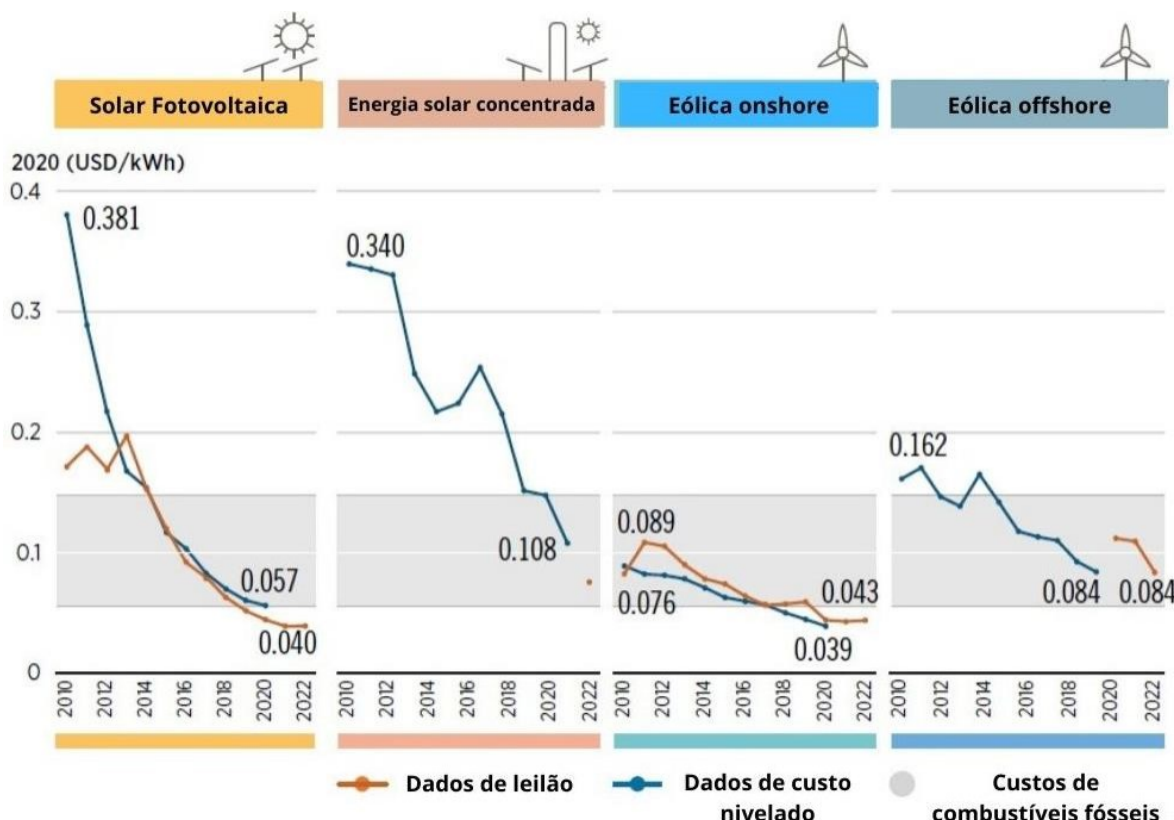
No caso do Brasil, existe apenas o mercado voluntário. Apesar disso, o país cogita, desde 2011, a implementação de um mercado regulado de carbono (DIAS, 2023). Após anos de discussão, existem fortes indícios de que finalmente sairá do papel, o governo concluiu a proposta e espera pela aprovação antes da Conferência da ONU sobre Mudanças do Clima, que acontecerá em 2025 em Belém, no Estado do Pará (Câmara dos Deputados, 2023).

Com a implementação do mercado regulamentado de CO<sub>2</sub> no Brasil, os projetos de energias consideradas limpas devem se beneficiar, uma vez que haverá mais um incentivo financeiro (LEFEVRE et al., 2022), visto que os desenvolvedores desses projetos, possivelmente emitirão menos CO<sub>2</sub> do que o máximo estabelecido. Esse fato somado ao barateamento das fontes energéticas limpas (MALAGUETA, 2022), ilustrado pela figura 4, possivelmente



tornará os projetos voltados para a transição energética financeiramente cada vez mais atrativos.

Figura 4: Evolução dos custos em dólar por kWh gerado a partir das matrizes eólica e solar.



Fonte: Malagueta (2022).

### 2.3.2 Os impactos da eletrificação na rede de transmissão.

Com o esperado aumento da geração de eletricidade proveniente de fontes renováveis e da consequente eletrificação de parte da demanda por combustíveis fósseis, existe um grande desafio no que tange a infraestrutura do sistema de transmissão de energia elétrica brasileiro (EPE, 2023).

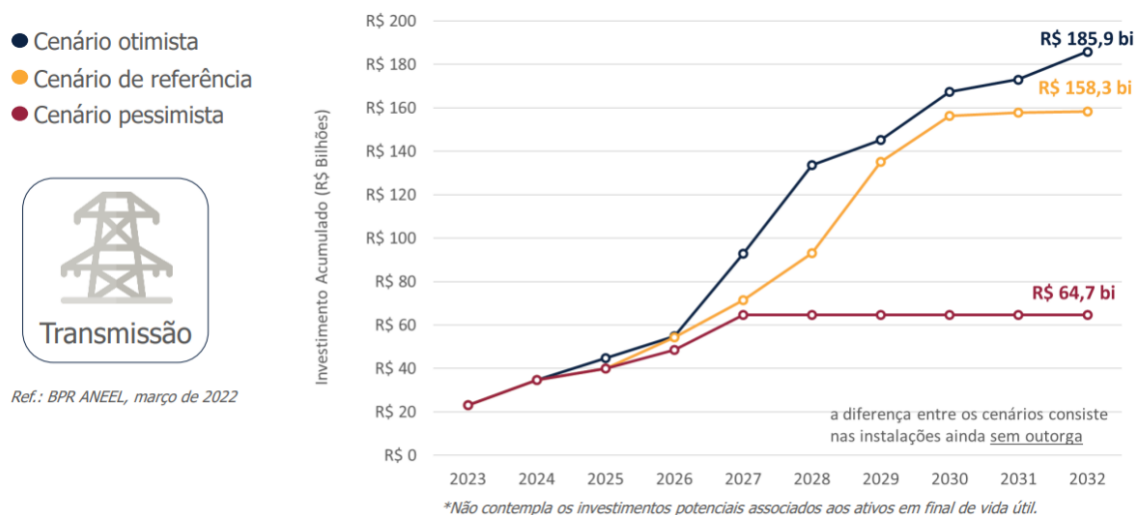
Em conformidade com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), haverá um grande crescimento da geração elétrica proveniente de fontes renováveis, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, isso acontecerá em razão do grande potencial de matrizes como eólica e solar na região. Com base no Plano Decenal de Expansão de Energia 2032, publicado pela EPE em 2023, a

capacidade instalada de geração de energia renovável nessa região sairá de 16,3 GW em 2023 para 48 GW em 2030, ou seja, um crescimento de mais de 194%.

Nesse contexto de aumento da geração elétrica, é indispensável ocorrer um melhoramento da infraestrutura, visto que rede de transmissão passará a ser mais exigida (RIBAS, 2022). Por conseguinte, para manter a confiabilidade do abastecimento de energia elétrica são esperados investimentos bilionários nos próximos com o objetivo de expandir a infraestrutura de transmissão brasileira.

O gráfico 7 ilustra os investimentos projetados para a expansão do sistema de transmissão, o cenário de referência do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032, prevê um investimento de R\$ 158,3 bilhões até 2032, resultando em um aumento de 41 mil quilômetros, o que resultaria em um crescimento de 23% das linhas de transmissão totais do Brasil. Vale ressaltar que o valor investido leva em conta tanto linhas de transmissão como subestações.

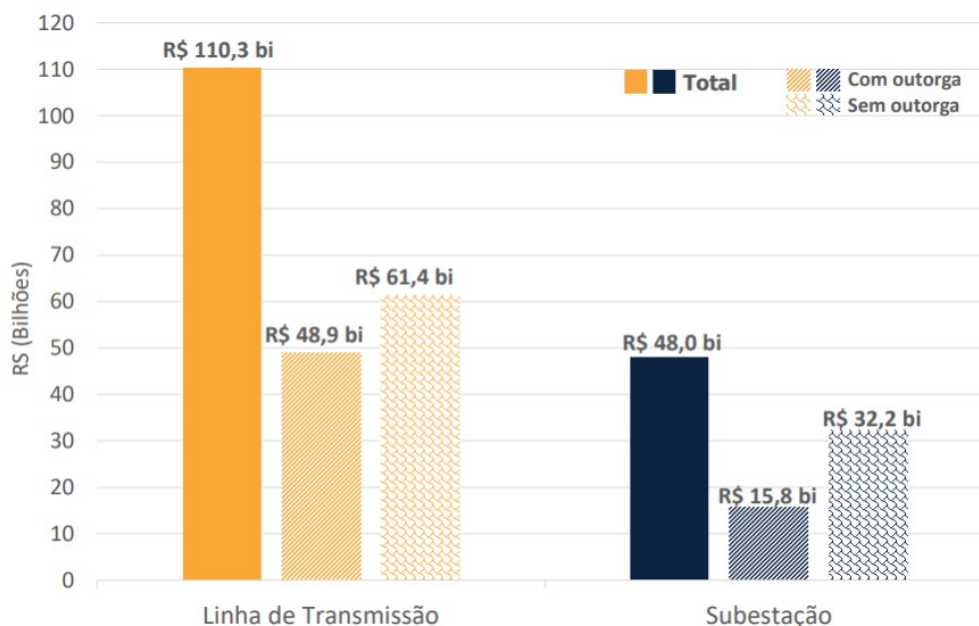
Gráfico 7: Investimentos previstos até 2032 no sistema de transmissão de eletricidade brasileiro.



Fonte: EPE (2023).

Desse valor apenas R\$ 64,7 bilhões já foram outorgados, em outras palavras, 77% do valor esperado no cenário de referência ainda é incerto. O gráfico 8 mostra os investimentos já outorgados e os ainda não outorgados para as linhas de transmissão e subestações.

Gráfico 8: Investimentos previstos até 2030 no sistema de transmissão de eletricidade brasileiro separados em categorias.



Fonte: EPE (2023).

Além da expansão da capacidade do sistema de transmissão, também será necessário a renovação da infraestrutura já existente, uma vez que há um cenário de envelhecimento do sistema de transmissão brasileiro, a tendência é que a situação se torne mais crítica nos próximos anos (EPE,2023).

Em outras palavras, para que a transição ocorra será indispensável que a infraestrutura acompanhe o aumento da geração elétrica prevista para os próximos anos. Caso o contrário, poderia haver um cenário de insegurança energética (GÖKGÖZ; GÜVERCIN, 2018).

### 2.3.3 A intensidade dos subsídios.

O setor de energia renovável passou nos últimos anos por um período de crescimento, segundo os dados do Our World in Data, a participação de renováveis na produção primária de energia saiu de 38,84% em 2014 para 48,74% em 2022.

O crescimento pode ser, em grande parte, explicado pelos subsídios proporcionados pelo Governo Federal (ABRAPCH, 2023). Os incentivos podem

ser separados em três categorias: gastos diretos, gastos tributários e outras renúncias (INESC, 2021).

Os gastos diretos consistem em destinação de recursos em benefício a intuições públicas voltadas para Pesquisa e Desenvolvimento atreladas ao setor, investimentos para a exploração e financiamento de projetos ligados a infraestrutura em benefício do setor (INESC,2021). As principais iniciativas são: Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e Conta de Consumo de Combustíveis (CCC).

Já os gastos tributários, consistem em gastos indiretos, essa classe de incentivos fornece isenções e benefícios tributários (INESC,2021). Como principais iniciativas podemos destacar Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays (PADIS), Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Infraestrutura (REIDI), incentivos a aerogeradores, fomentando o setor eólico e os incentivos ao setor de biocombustíveis.

No que tange os incentivos classificados como “outras renúncias” consistem em desonerações de caráter geral (INESC,2021). São exemplos de projetos incentivados, Sistema de Compensação de Energia Elétrica, Reserva Global de Reversão (RGR) e Uso do Bem Público (UBP).

Todavia, em função não só dos custos elevados, como também pela competitividade cada vez maior das fontes renováveis, ilustrado pela Figura 4, está sendo cogitada a retirada gradual dos incentivos fiscais (RODRIGUES, 2023).

CDE (Conta de Desenvolvimento Energético), um dos itens que compõem as tarifas de energia, a iniciativa é uma maneira de captar recursos para o financiamento de subsídios. Do orçamento de R\$ 36 bilhões projetados para 2024, um crescimento de cerca de 72% em relação a 2019 (ANEEL, 2023). R\$ 13,4 bilhões serão destinados a fontes como solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, cada R\$ 1 bi resulta, em média, em um aumento de 0,5% na conta de energia (TR SOLUÇÕES, 2023).

Boa parte dos recursos destinados a renováveis pode ser explicado pelos benefícios concedidos para fonte limpas no que tange a tarifa de uso do sistema de transmissão de energia elétrica (TUST) e a tarifa de uso do sistema de distribuição de energia elétrica (TUSD). Todavia, os benefícios resultam em custos mais elevados para consumidores, além de tornar indústrias intensivas em eletricidade pouco competitivas no mercado internacional (BORGES; SALLES, 2021).

Nesse cenário, com a conversão da MP 998/2020 em lei na Lei nº 14.120, de 2021 (Agência Senado, 2021) encerrou, de maneira gradual, os subsídios a projetos de geração de energia eólica, solar e biomassa. Além disso, também foi sancionada a Lei 14.300/22, que, por sua vez, instituiu o marco legal da micro e minigeração de energia (Agência Câmara de Notícias). Em conformidade com a nova lei, projetos que solicitarem acesso junto à rede de distribuição até 2024, continuarão usufruindo do benefício de pagarem somente pela diferença entre o consumido e o gerado (quando positiva). a figura 5 expõe o benefício de maneira visual.

Figura 5 -Funcionamento dos benefícios dos projetos micro e minigeração de energia que solicitarem acesso junto à rede de distribuição até 2024.



Fonte: Comerc Energia (2021).

Apesar dos efeitos positivos sob as tarifas para os consumidores em geral, a iniciativa reduzir os subsídios tornaria novos projetos financeiramente menos atrativos, o que diminuiria a quantidade de projetos e, por conseguinte a velocidade da descarbonização do setor de energia (INESC, 2021). Nesse contexto, é possível afirmar que as decisões políticas terão um impacto relevante na evolução da transição energética nos próximos anos.

Enquanto o setor de energias limpas tem seus subsídios ameaçados, o setor de combustíveis fósseis recebeu R\$ 118,2 bilhões de subsídios apenas em 2021 (INESC, 2021). Isso aconteceu uma vez que houve um período de forte alta nos preços do petróleo, fato esse que pressionou os preços dos combustíveis, fazendo com que o governo optasse pela desoneração de impostos (LUZ, 2023). O gráfico 9 mostra a evolução da cotação dos preços internacionais do barril de petróleo, é possível observar um movimento de forte alta nos últimos anos, principalmente no período entre 2020 e 2023.

Gráfico 9 – Evolução dos preços dos contratos futuros do barril de petróleo.



Fonte: Autoria própria com os dados do Investing (2023).

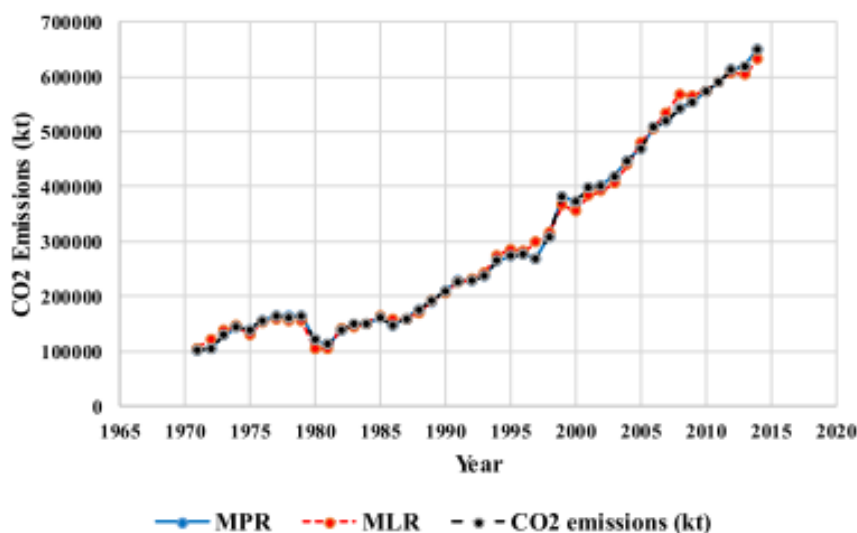
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MODELOS DE REGRESSÃO

Na literatura, apesar de não tão comuns, existem alguns trabalhos relacionados à elaboração de modelos de previsão sobre as emissões de CO<sub>2</sub> e mudanças na matriz energética. Nesse sentido, serão abordados em seguida dois modelos, um deles relacionado a previsão de emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto o outro teve como objetivo prever a matriz energética brasileira.

No que tange modelos de previsão da emissão de CO<sub>2</sub>, o estudo "Forecasting of CO<sub>2</sub> emissions in Iran based on time series and regression analysis" (HOSSEINI et al., 2020), publicado na revista ScienceDirect, desenvolveu um modelo de regressão utilizando séries temporais para prever as emissões de CO<sub>2</sub> no Irã. As variáveis utilizadas no modelo foram: população, intensidade de CO<sub>2</sub>, PIB per capita, produção de eletricidade proveniente de combustíveis fósseis, consumo per capita de energia e intensidade energética. Foram criados dois modelos: um utilizando regressão polinomial múltipla, representado pela sigla MLP, e outro utilizando regressão linear múltipla, representado pela sigla MLR. Ambos os modelos apresentaram significância estatística. O gráfico 10 ilustra o desempenho preditivo dos modelos:

Gráfico 10: Comparativo entre as previsões geradas pelos modelos e os dados históricos de emissão de CO<sub>2</sub> do Irã.



Fonte: HOSSEINI et al. (2020).

Um estudo realizado para prever a matriz energética brasileira foi o "Previsão da Produção de Fontes Renováveis e Não Renováveis Seleccionadas na Matriz Energética Brasileira" (PINHEIRO, 2020). Nesse estudo, foram utilizadas as produções energéticas das seguintes variáveis: petróleo, hidrelétrica, gás natural, lenha e cana. A estratégia adotada foi a de estimar individualmente cada variável por meio do método de um modelo auto-regressivo integrado de médias móveis (ARIMA). A Tabela 1 mostra a correlação de Pearson entre as variáveis, ilustrando a relação entre os valores históricos e previstos. O fato de os valores estarem próximos de 1 indica a existência de uma correlação forte.

Tabela 1: Correlação de Pearson para as variáveis.

Variáveis	Correlação de Pearson
PETRt	0,997
GASNt	0,998
HIDROt	0,994
LENHAt	0,928
CANAt	0,989

Fonte: Adaptado de Pinheiro (2020).

### 3.2 REGRESSÃO DINÂMICA.

O método a ser usado no presente trabalho é o de regressão dinâmica. Um modelo de regressão dinâmica permite considerar não só variáveis causais no modelo, como também suas defasagens, podendo ser utilizado quando existe uma relação de dependência entre a variável a ser explicada e as variáveis explicativas (ZANINI, 2000). É importante ressaltar que esse capítulo foi fundamentalmente baseado em Zanini (2000), Goodrich (1979) e Gujarati (2006).

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 apud ZANINI, 2000), 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. 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 tempo. 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 ordinários, 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 auto covariâncias e autocorrelações das séries de variáveis exógenas é uma informação de interesse, enquanto este aspecto é ignorado nos modelos de regressão dinâmica.

### **3.2.1 Estrutura dos modelos de Regressão Dinâmica.**

Os modelos de regressão dinâmica podem ser descritos pela seguinte equação:

$$\varphi(B)Y_t = \beta X_t + \varepsilon_t \quad (3.1.1)$$

onde:

$Y_t$  = variável dependente (endógena) no instante  $t$ .

$\beta$  = vetor de coeficientes das variáveis causais, que será estimado por mínimos quadrados.

$x_t$  = vetor de variáveis causais (exógenas) no instante  $t$ . Vale ressaltar que essas variáveis 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  $\varepsilon_t$ .

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

$\varphi(B)$  = polinômio autoregressivo 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 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  $\beta x_t$ . Os modelos ARIMA unificados de Box e Jenkins, 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  $Y_t$ .

### **3.2.2 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.

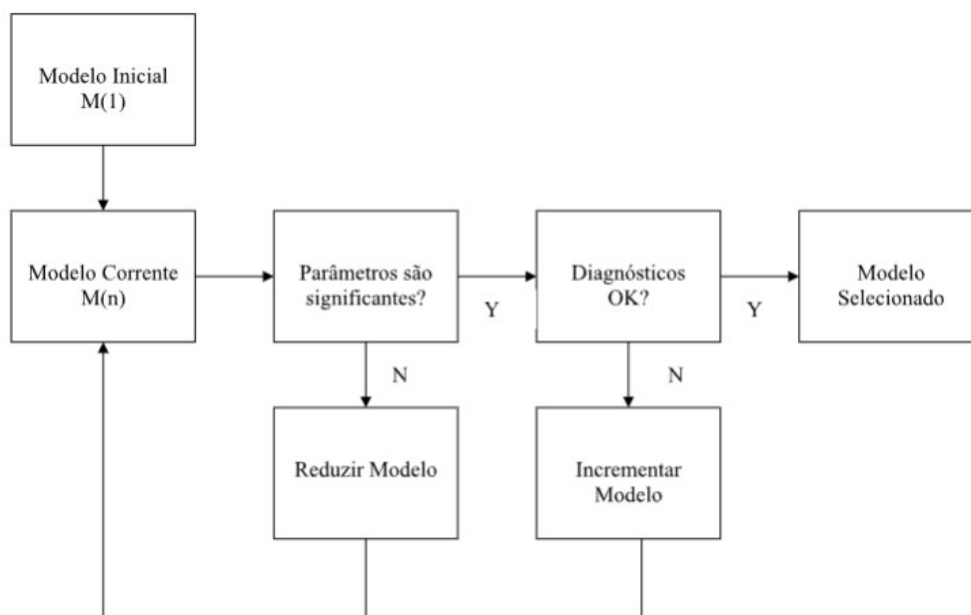
Na definição do modelo adequado, é necessário levar em conta não só a significância dos parâmetros, mas também uma certa estrutura “lógica” do modelo. Por exemplo, vendas (ou demanda) de um produto são geralmente afetadas por seu preço. O aumento do preço, por sua vez, tende a diminuir as vendas (ou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

Isso 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 essas considerações, o fluxograma a seguir indica, de maneira genérica, os passos usados na construção de um modelo de regressão dinâmica:

Figura 6: Processo de montagem do modelo.



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 econômicos<sup>1</sup>.

Os modelos de regressão dinâmica incorporam ainda diretamente a sazonalidade da série ao modelo, ao invés de supor que a série será

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

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.

### 3.2.3 Testes de verificação da dinâmica do modelo.

A cada momento da elaboração do modelo, são realizados testes de hipóteses 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.

#### 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 termos defasado  $\varepsilon_{t-p}$  ainda não incluído no modelo atual.

### 3.3 MÉTRICAS PARA AVALIAR O DESEMPENHO PREDITIVO.

É de grande importância conseguir avaliar de maneira satisfatória a performance do modelo, a partir da comparação dos valores reais e dos valores “ajustados” é possível calcular medir o desempenho preditivo do modelo gerado. No presente trabalho, foram escolhidos dois indicadores principais, o MAPE, e o coeficiente de explicação ( $R^2$  ajustado).

#### 3.3.1 Coeficiente de explicação $R^2$ .

O coeficiente de explicação  $R^2$  indica o quanto da variação total dos dados (série dependente) é explicada pelo modelo. O indicador é calculado por meio da comparação do erro do modelo em relação aos dados da variável dependente em torno da média. Dito isso, o indicador avalia em porcentagem, o quanto as variáveis explicativas foram capazes de explicar variações da variável a ser explicada. Vale ressaltar que o coeficiente consiste em um valor entre 0% e 100%, quanto mais próximo de 100% melhor o modelo. Matematicamente, o coeficiente é calculado da seguinte maneira:

$$R^2 = \left( 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (Y(t) - \hat{Y}(t))^2}{\sum_{t=1}^N (Y(t) - \bar{Y})^2} \right) \times 100 \quad (3.1.1.1)$$

Sendo:

$Y(t)$  – Valor da série temporal no período  $t$ ;

$\hat{Y}(t)$  – Valor ajustado na série temporal para o período  $t$ ;

$\bar{Y}$  - Média de  $Y$  e  $N$  é o total de observações.

O possui a tendência de superestimar o modelo, uma vez que ele sempre aumenta à medida que novas variáveis são inseridas no modelo. Já o  $R^2$  ajustado, só aumenta se a nova variável incluída de fato melhorar o modelo (ZANINI 2023). Esse indicador é calculado por meio da divisão entre o erro quadrático médio residual pelo erro quadrático médio total, posteriormente o

resultado obtido é subtraído por 1. Vale ressaltar que o coeficiente, permanecerá variando de 0% a 100%. Em conformidade com Zanini (2023), matematicamente temos que:

$$R^2_{ajust} = \left( 1 - \frac{\sum_{t=1}^N \frac{(Y(t) - \hat{Y}(t))^2}{N - k}}{\sum_{t=1}^N \frac{(Y(t) - \bar{Y})^2}{N - 1}} \right) \times 100 \quad (3.1.1.2)$$

Onde:

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

$\hat{Y}(t)$  = previsão da série temporal para o período (t);

$\bar{Y}$  = média das observações (média da série temporal);

$N$  = total de dados utilizados (total de observações);

$k$  = número de parâmetros do modelo.

### 3.3.2 MAPE.

O MAPE é definido como o erro médio absoluto percentual. O coeficiente avalia o erro médio do modelo por meio da diferença entre valores os estimados pelo modelo e os valores históricos reais, sendo equivalente às previsões um passo-à-frente. Em uma abordagem matemática, temos que:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{|Y(t) - \hat{Y}(t)|}{Y(t)}}{N} \times 100 \quad (3.3.2.1)$$

Onde:

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

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

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



### 3.2.3 Testes baseados na autocorrelação dos resíduos.

É necessário, sempre examinar o gráfico das autocorrelações dos resíduos. Se estas são significantes para alguns lags, alguma característica da variável dependente não foi capturada pelo modelo.

Para avaliar a existência de autocorrelação dos resíduos dos erros no modelo, também foi utilizado o teste de Ljung-box. O teste avalia se o modelo possui falha de ajuste, ou seja, é testado se o conjunto de auto-correlação dos erros é estatisticamente diferente de zero (VIEIRA, 2012).

São avaliadas duas hipóteses:

$H_0$  – Os resíduos não são auto-correlacionados.

$H_1$  – Ao menos uma auto-correlação é estatisticamente diferente de zero.

Vale ressaltar que no *software Forecast Pro for Windows (FPW)*, para que a hipótese nula seja aceita, o P-valor obtido no teste deve ser menor 0,95 (ao nível de significância de 5%). Em outras palavras, quando isso acontece não é possível afirmar que os erros são auto correlacionados no nível de significância em questão.

Segundo Barros e Souza (1995 apud ZANINI, 2000), caso exista autocorrelação dos erros, existem algumas maneiras de solucionar esse problema: por meio da inclusão de mais variáveis defasadas a variável a ser explicada, fazer o mesmo, porém para as variáveis independentes ou incluir novas variáveis no modelo.

### 3.2 MODELO LOG-LOG.

No presente trabalho, os modelos foram feitos por meio de uma regressão Log-Log. Em outras palavras, tanto a variável de interesse, quanto as variáveis explicativas, foram transformados em Log. Com as variáveis transformadas em Log, os coeficientes do modelo irão medir a elasticidade da variável de interesse em relação as variáveis explicativas, ou seja, o coeficiente captará a variação percentual da variável de interesse Y correspondente a uma variação percentual da variável explicativa (GUJARATI, 2006). Matematicamente tem-se que:

Considerando um modelo de regressão exponencial:

$$Y_i = \beta_1 X_i^{\beta_2} e^{u_i} \quad (3.2.1)$$

Também pode ser expresso como:

$$\ln Y_i = \ln B_i + B_2 \ln X_i + u_i \quad (3.2.1)$$

Por fim, teremos que:

$$\ln Y_i = \alpha + B_2 \ln X_i + u_i \quad (3.2.1)$$

## **4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS.**

### **4.1 BASE DE DADOS.**

O modelo feito deve ser não enviesado e com variáveis independentes que consigam explicar as variações da variável dependente, para atingir esse objetivo foram escolhidas variáveis-chave para comporem a base de dados.

No modelo cujo objetivo é prever as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do setor de energia, os dados da variável dependente foram retirados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), o sistema fornece os dados anuais das emissões de CO<sub>2</sub> de 1990 até 2022.

Após uma investigação meticulosa na bibliografia, ficou constatado que os combustíveis fósseis eram os principais causadores das emissões de CO<sub>2</sub> atrelados ao setor de energia, enquanto um aumento de fontes renováveis de energia, em detrimento dos combustíveis fósseis seriam responsáveis por reduzir as emissões do setor. Além disso, o crescimento do PIB, tende a aumentar as emissões de CO<sub>2</sub> (LIMA et al, 2016). Dito isso, foram escolhidas variáveis que captassem os maiores influenciadores das emissões de CO<sub>2</sub> atreladas ao setor de energia. Vale ressaltar que o erro defasado foi utilizado apenas para remediar o problema de autocorrelação dos erros.

Dito isso, para explicar as emissões de CO<sub>2</sub> do setor energético brasileiro foram utilizadas as seguintes variáveis: PIB do Brasil, Consumo energia (TWh) proveniente de hidrelétricas, Consumo energia (TWh) proveniente de fontes renováveis (exceto hidrelétricas), Consumo energia (TWh) proveniente do petróleo, Consumo energia (KWh) proveniente de combustíveis fósseis (exceto petróleo). As variáveis estão expressas com mais detalhes na tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis utilizadas no modelo para prever as emissões de CO<sub>2</sub> atreladas ao setor de energia e suas respectivas fontes.

<b>Variável</b>	<b>Horizonte temporal</b>	<b>Fonte</b>
Emissões (milhões de ton)	1990 - 2021	SEEG
Petróleo (TWh)	1990 - 2022	Our World in Data
Demais fósseis (TWh)	1990 - 2022	Our World in Data
Hidrelétrica (TWh)	1990 - 2022	Our World in Data
Demais renováveis (TWh)	1990 - 2022	Our World in Data
PIB do Brasil (US\$)	1990 - 2022	Our World in Data

Fonte: Autoria própria.

A escolha pela variável “Demais renováveis” se deve ao fato do uso de fontes como eólica e solar só terem ganhado relevância na matriz energética nos últimos anos, não possuindo um histórico suficientemente grande, por conseguinte, a inserção dessas variáveis de maneira individual traria prejuízos ao modelo. No entanto, em conformidade com as seções anteriores, devem ser as fontes que mais vão crescer nos próximos anos, por conseguinte, não as considerar no modelo também seria um problema.

Nesse cenário, as fontes renováveis (com exceção da hidrelétrica) foram reunidas em uma única variável, sendo posteriormente realizados os testes. No que tange a variável “demais fósseis” foi utilizada uma estratégia semelhante, com a variável foi possível simplificar o modelo, facilitando a análise dos coeficientes e a comparação com a variável “demais renováveis” sem prejuízos em relação ao desempenho preditivo.

É importante ressaltar que o *Our World in Data* é um portal de dados aberto feito pelo programa de desenvolvimento global da universidade de Oxford. São disponibilizados dados de diversos países sobre os mais variados temas como, economia, saúde, violência, meio ambiente, além de outros (ROSER, 2023).

Para a escolha das variáveis do modelo para previsão da participação de renováveis na matriz foi utilizada a mesma estratégia. Isso foi possível visto que as variáveis que explicam as emissões de CO<sub>2</sub> também conseguem explicar a participação de renováveis na matriz. O crescimento do consumo de combustíveis fósseis superior ao de renováveis seria reduziria a

representatividade de fontes renováveis na matriz, enquanto o crescimento de combustíveis fósseis menor do que o de renováveis teria o efeito contrário.

Por fim, foi utilizado o PIB defasado em dois anos, visto que, com base nos testes, o modelo teve uma performance superior. Isso possivelmente se deve aos efeitos defasados do PIB sobre a geração energética de fontes renováveis. É importante destacar que, assim como no primeiro modelo, o erro defasado foi utilizado apenas como uma estratégia para remediar o problema de autocorrelação dos erros.

Feitas essas considerações, o modelo cujo objetivo é prever a participação das fontes renováveis na matriz energética em 2030, possui as mesmas variáveis explicativas do primeiro modelo. Os dados foram extraídos da base de dados do *Our World in Data*, a base de dados possui dados anuais que vão de 1970 até 2022, com exceção do PIB que foi retirado do IBGE. A base de dados está expressa na tabela 3.

Tabela 3 – Variáveis utilizadas no modelo para prever a participação das fontes renováveis na matriz energética.

<b>Variável</b>	<b>Horizonte temporal</b>	<b>Fonte</b>
Renováveis (%)	1970 – 2022	Our World in Data
Petróleo (TWh)	1970 – 2022	Our World in Data
Demais fósseis (TWh)	1970 – 2022	Our World in Data
Hidrelétrica (TWh)	1970 – 2022	Our World in Data
Demais renováveis (TWh)	1970 – 2022	Our World in Data
PIB do Brasil (em R\$)	1970 - 2022	IBGE

Fonte: Autoria própria.

Para realizar as previsões foi necessário projetar as variáveis explicativas até 2030. Foram avaliadas 3 opções: 1- auto projeção das variáveis pelo método Box-Jenkins, 2- auto projeção das variáveis por meio do método de Amortecimento Exponencial 3- Utilizar, como base para as projeções, series históricas e projeções de instituições com credibilidade, como por exemplo a EPE e Statista. Nesse contexto, cada variável explicativa foi analisada de maneira isolada, tendo sido escolhida, dentre as opções anteriormente citadas, a estratégia que que apresentou menor erro. A única exceção foi o PIB, entre 2023 e 2026 foram utilizadas as projeções do Boletim Focus, que é divulgado

pelo banco central e consiste na mediana das expectativas das principais intuições financeiras em relação a temas como crescimento do PIB, inflação e taxa de juros. Já para o período entre 2027 e 2030 foram utilizadas as projeções do relatório de acompanhamento fiscal. A opção escolhida para a projeção de cada variável pode ser observada no quadro 1.

Quadro 1 – Estratégia escolhida para a projeção de cada variável.

<b>Variável</b>	<b>Estratégia Escolhida</b>
Petróleo (TWh)	Projeções EPE
Demais fósseis (TWh)	MAE
Hidrelétrica (TWh)	Projeções EPE
Demais renováveis (TWh)	Projeções EPE
PIB do Brasil (em R\$)	Bacen/Relatório de acompanhamento fiscal
PIB do Brasil (em US\$)	Statista

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2 MODELO PARA PREVISÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>.

Todas as variáveis foram significativas a um nível de pelo menos 99%. Portanto, existe uma chance de 99% de todas as variáveis explicativas presentes no modelo possuírem influência sob a variável de interesse, emissões de CO<sub>2</sub>.

Em conformidade com os coeficientes, as variáveis que tiveram influência positiva nas emissões de CO<sub>2</sub> foram Petróleo, emissões defasadas em dois anos, demais fósseis e PIB. Nesse cenário, com base no modelo feito, o aumento de 1% do consumo de petróleo causaria um aumento de 0,281% das emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto um crescimento de mesma magnitude para as variáveis Emissão defasada em 2 anos, Demais Fósseis e PIB causaria um aumento de respectivamente de 0,343%, 0,160% e 0,366%.

Já as variáveis que tiveram um impacto negativo nas emissões foram: Hidrelétrica. Demais Renováveis e o erro defasado em 3 anos, sendo que o aumento de 1% no consumo de energia hidrelétrica impactaria em uma redução de 0,283% das emissões, enquanto um aumento de mesma magnitude para o restante das renováveis ocasionaria uma redução de 0,087% das emissões, já para o erro defasado a redução seria de 0,576%. Vale ressaltar que o erro

defasados foi utilizado como uma medida de ajuste para remediar o problema de autocorrelação dos erros. Os valores tanto dos coeficientes, quanto da significância podem ser observados na tabela 4.

Tabela 4- Coeficiente e significância das variáveis do modelo para prever as emissões de CO2.

<b>Variável</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>Significância</b>
Log(Petróleo)	0,281	99%
Log(Hidrelétrica)	-0,283	99%
Log(Emissões[-2])	0,343	99%
Log(Demais renováveis)	-0,087	100%
Log(Demais Fósseis)	0,160	99%
Log(PIB)	0,366	100%
Erro [-3]	-0,576	99%

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.1 Desempenho Preditivo.

O modelo teve um  $R^2$  ajustado igual a 98,93%, em outras palavras, as variáveis explicativas do modelo conseguiram explicar 98,93% da variação da variável a ser explicada, emissões de CO2 provenientes do setor de energia. Outro indicador chave para compreender a performance do modelo é o MAPE, o indicador foi de 1,39% isso significa dizer que, com base nos dados históricos, o modelo errou em média 1,54% para cima ou para baixo. O valor do MAPE e do  $R^2$  ajustado podem ser observados na tabela 5.

Tabela 5 – Indicadores de desempenho.

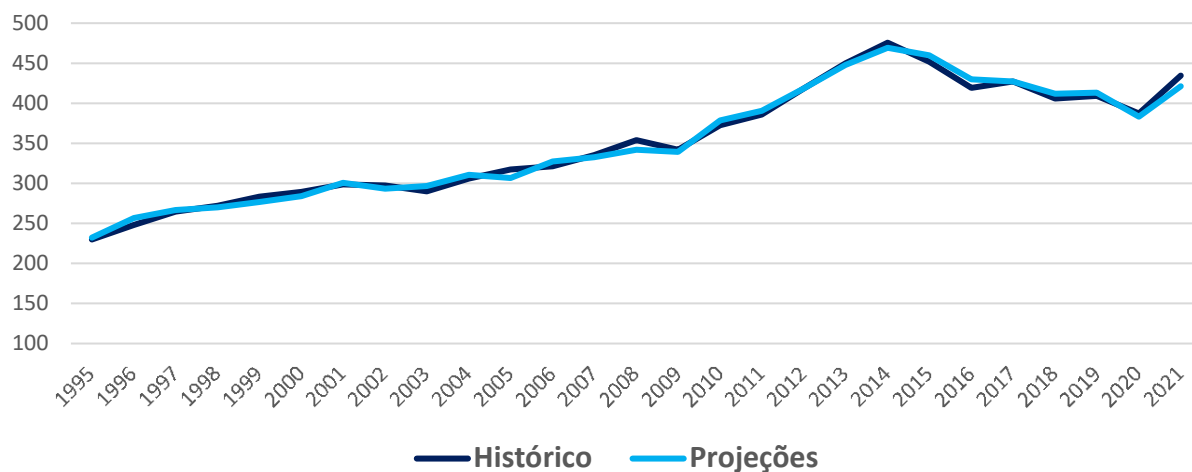
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
$R^2$ ajustado	98,93%
MAPE	1,54%

Fonte: Autoria própria.

O gráfico 11, consiste em uma comparação entre os valores históricos em relação as previsões do modelo. É possível observar que os valores são bem

próximos, fornecendo bons indícios de que as variáveis explicativas conseguem explicar as emissões de CO<sub>2</sub>.

Gráfico 11 – Comparativo entre as projeções do modelo e os valores históricos de emissões de CO<sub>2</sub>.

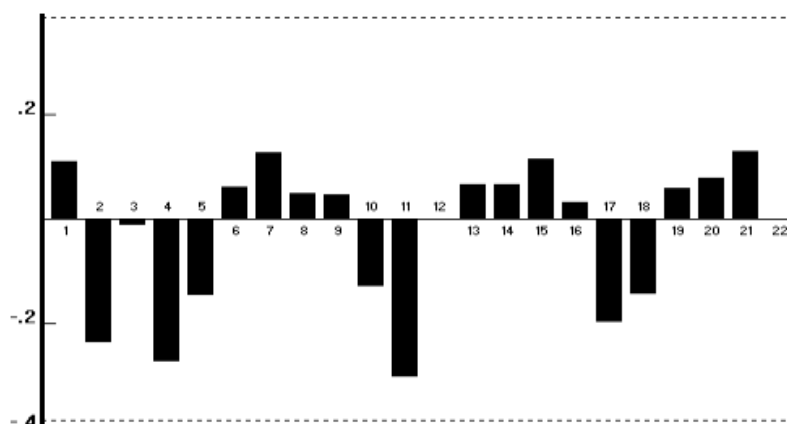


Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.2 Teste de Autocorrelação dos erros.

Em conformidade com os testes de Ljung Box, o P-valor obtido foi de 0,94, nesse contexto, quando o valor fica abaixo de 0,95 a hipótese nula é aceita, por conseguinte, é possível aceitar a hipótese de erros descorrelacionados. A ausência de autocorrelação significativa indicada pelo teste de Ljung-Box pode ser visualmente observada por meio do gráfico 12.

Gráfico 12 – Função de Autocorrelação dos erros do modelo cujo objetivo é prever as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do setor energético.



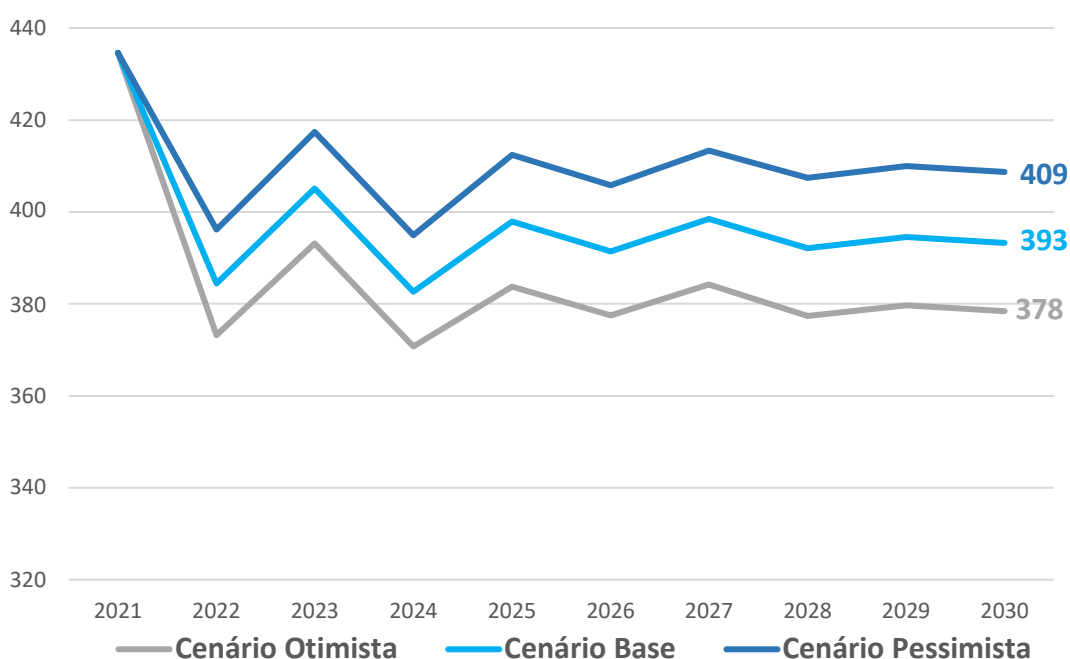
Fonte: Autoria própria.



### 4.2.3 Previsões até 2030.

Com base nas projeções do modelo, as emissões de CO<sub>2</sub> reduziriam, em relação as emissões de 2021 (último dado divulgado pela SEEG), em todos os cenários. Apesar disso, as emissões não cairiam com uma intensidade elevada, visto que as emissões ficariam relativamente estáveis a partir de 2025. O gráfico 13 mostra as projeções realizadas pelo modelo nos três cenários: Otimista, base e pessimista.

Gráfico 13 – Previsões geradas pelo modelo cujo objetivo é prever as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do setor energético.



Fonte: Autoria própria (2023).

No cenário pessimista as emissões encerrariam 2030 com queda de 6,2% em relação a 2021, enquanto nos cenários base e otimistas esses valores seriam de respectivamente 9,5% e 13,0%. De 2021 para 2022 foi possível observar uma queda mais acentuada das emissões, uma das possíveis causas foi o aumento da oferta de energia hidrelétrica em 17,7% em detrimento das usinas termelétricas, que, por sua vez, recuaram 32,3% em 2022 (EPE, 2023).

### 4.3 MODELO DE PREVISÃO DA PARTICIPAÇÃO DAS RENOVÁVEIS.

Todas as variáveis foram significativas a um nível de significância de pelo menos 96%. Portanto, existe uma chance de 96% de todas as variáveis explicativas presentes no modelo possuírem influência sob a participação das fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira.

As variáveis com impacto positivo na participação de renováveis na matriz foram: hidrelétrica, PIB defasado em 2 anos, demais renováveis, a própria variável a ser explicada defasada em 1 ano e os erros defasados em um ano. Enquanto as variáveis com impacto negativo foram Petróleo e Demais fósseis.

Ao observar os coeficientes, é possível observar que o aumento de 1% da variável hidrelétrica impactaria em um aumento de 0,716% da variável de interesse, enquanto um aumento de mesma magnitude das variáveis: Demais Renováveis, Renováveis (defasada em 1 ano), PIB (defasado em 2 anos) e Erro (defasado em 1 ano) representariam, respectivamente um aumento de 0,067%, 0,193% e 0,923%.

Por outro lado, das variáveis que tiveram impacto negativo, um aumento de 1% dessas variáveis resultaria em uma redução da variável de interesse de 0,438 no caso da variável petróleo e 0,066 no caso da variável Demais Fósseis. Os coeficientes de todas as variáveis estão expressos na tabela 6.

Tabela 6 – Coeficiente e significância das variáveis.

<b>Variável</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>Significância</b>
Log(Hidrelétrica)	0,716	100%
Log(Petróleo)	-0,438	100%
Log(Demais Renováveis)	0,067	99%
Log(Demais Fósseis)	-0,066	99%
Log(Renováveis [-1])	0,193	96%
Log(PIB [-2])	0,189	99%
Erro [-1]	0,923	100%

Fonte: Autoria Própria.

### 4.3.1 Desempenho preditivo.

O modelo teve um  $R^2$  ajustado igual a 98,99%, ou seja, as variáveis explicativas do modelo foram capazes explicar 98,99% da variação da variável a ser explicada, participação das renováveis na matriz energética. Outro indicador chave para compreender a performance do modelo é o MAPE, o indicador foi de 1,23% isso significa dizer que, com base nos dados históricos de 1965 a 2022, o modelo errou, em média, 1,23% para cima ou para baixo. Os indicadores de desempenho citados podem ser observados da tabela 7.

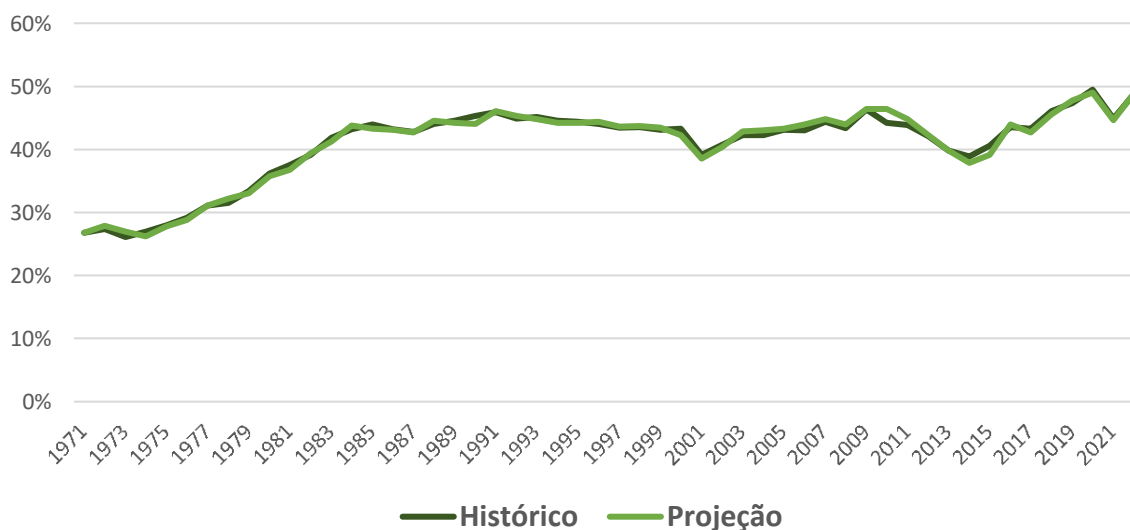
Tabela 7 – Desempenho preditivo do modelo para prever a participação de renováveis.

Indicador	Valor
$R^2$ ajustado	98,99%
MAPE	1,23%

Fonte: Autoria Própria.

O gráfico 14 representa o desempenho do modelo em relação aos valores históricos, portanto, consiste em uma comparação entre os valores históricos em relação as previsões do modelo. É possível observar que os valores estão bem próximos, indicando uma boa capacidade preditiva do modelo.

Gráfico 14 – Comparativo entre as projeções do modelo para prever a participação de renováveis e os valores históricos.

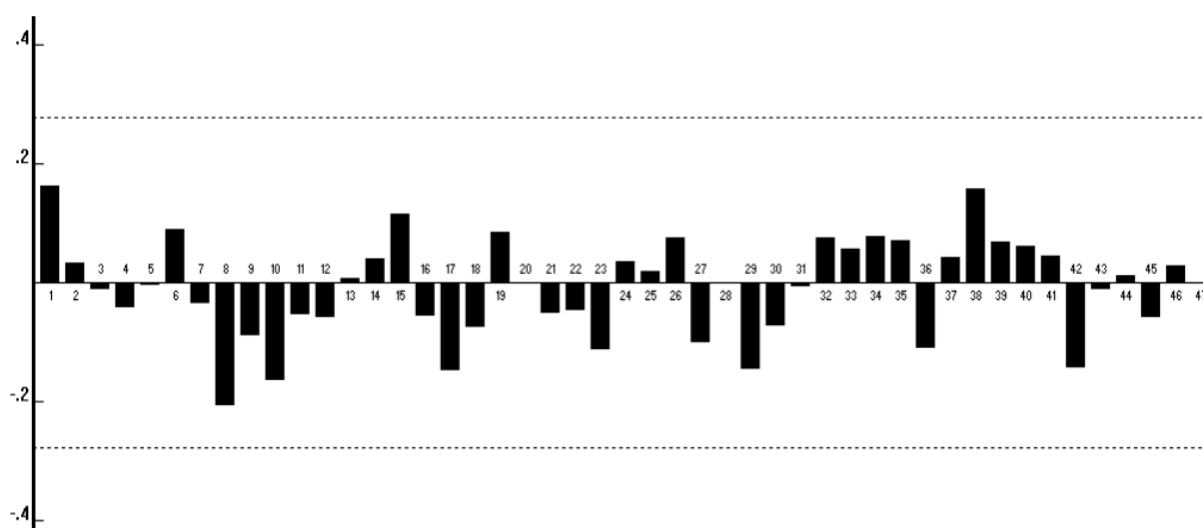


Fonte: Autoria própria.

### 4.3.2 Testes de autocorrelação dos erros.

Os valores obtidos no teste de Ljung-Box indicaram ausência de autocorrelação dos erros. O valor obtido foi de 0,258, vale lembrar que valores abaixo de 0,95 indicam a aceitação da hipótese nula. A função de autocorrelação dos erros corrobora os valores observados no teste de Ljung-Box. A ausência de uma autocorrelação dos erros significativa, indicada pelo teste de Ljung-Box, pode ser visualmente observada por meio do gráfico 15.

Gráfico 15 – Função de autocorrelação dos erros do modelo para previsão da participação de renováveis.

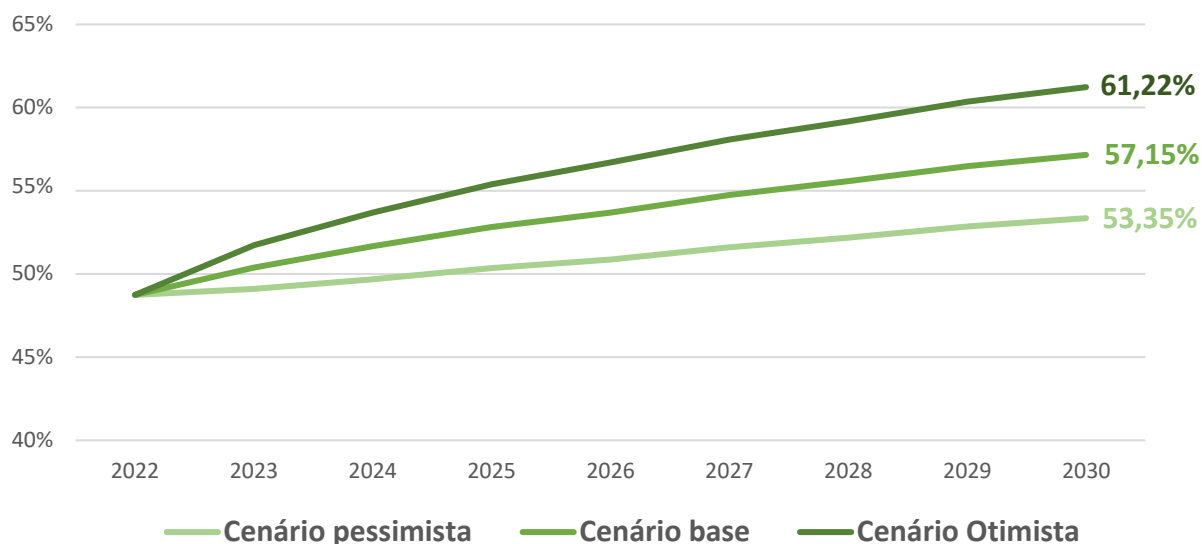


Fonte: Autoria própria.

### 4.3.3 Previsões até 2030.

O modelo projetou um crescimento da participação das fontes renováveis de energia na matriz energética. Em nenhum dos cenários houve queda da participação de renováveis. No cenário otimista, a variável de interesse saiu de 48,43% em 2022 e fechou 2030 em 61,22%, já no cenário base esse valor foi de 57,15%, enquanto no cenário pessimista o valor final foi de 53,35%. Os valores previstos podem ser observados no gráfico 16.

Gráfico 16 – Previsões geradas pelo modelo para prever a participação de renováveis na matriz energética em 2030.

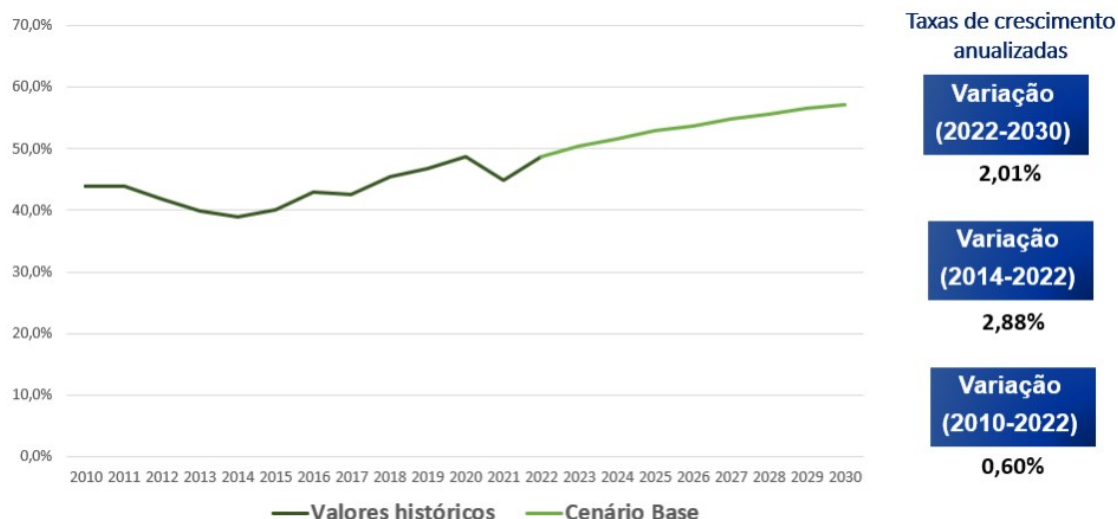


Fonte: Autoria própria

#### 4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em conformidade com as projeções do modelo, no cenário base, fontes renováveis de energia devem sair de 48,73% e atingir 57,15% da matriz energética até 2030, o que representa um crescimento anualizado de 2,01%. Em conformidade com o gráfico 17, o valor está próximo do observado entre (2015-2022), ou seja, em um horizonte temporal de mesma magnitude. Apesar disso, se considerarmos o período entre 2010 e 2022, a taxa de crescimento projetada até 2030 é bem superior aos valores históricos. Vale ressaltar que para o cenário pessimista a taxa é de 1,14%, enquanto para o cenário otimista o valor sobre para 2,96%.

Gráfico 17- Valores previstos em relação ao histórico da representatividade das fontes renováveis na matriz energética.



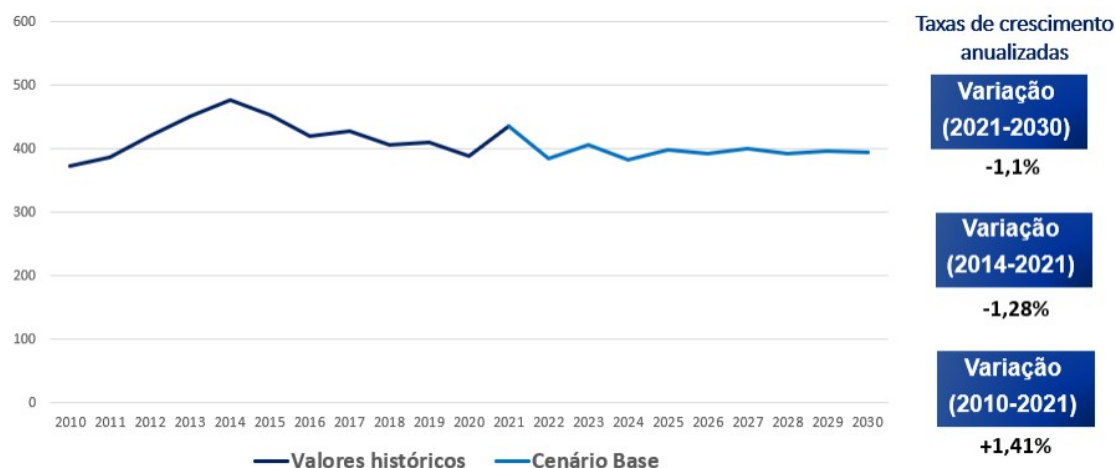
Fonte: Autoria própria (2023).

O governo brasileiro, na COP26 (Cúpula do Clima) estipulou que no ano de 2030, a participação de renováveis, deve atingir um valor mínimo entre 45% e 50%. Segundo os dados da EPE (2023), o valor é de atualmente 48%. Se levarmos em conta não só o crescimento nos últimos anos, como também as projeções elevadas de crescimento projetadas para fontes renováveis como eólica e solar (Clima e Desenvolvimento, 2021), o não cumprimento da meta parece improvável. Nesse contexto todos os três cenários do modelo projetaram uma taxa acima do valor mínimo estabelecido pelo governo.

Em relação as emissões de CO<sub>2</sub> atreladas ao setor de energia, o observado nos últimos anos foi de crescimento, visto que as emissões saltaram de 372,39 milhões de toneladas em 2010 para 434,6 em 2021 (último dado disponibilizado pela SEEG).

Porém após atingirem o topo histórico em 2014, as emissões estão em trajetória de queda, caindo a uma taxa anualizada de 1,28%. O modelo projetou, até 2030, a continuidade do movimento de queda, no entanto, com uma intensidade levemente inferior, a uma taxa anualizada de 1,10%. Se levamos em conta o período entre 2010 e 2021, é possível observar que as emissões cresceram a uma taxa de 1,41%. Os valores acima citados podem ser observados de maneira mais visual através do gráfico 18.

Gráfico 18 - Valores previstos para as emissões de CO2 e os valores previstos.



Fonte: Autoria própria.

Se no período entre 2010-2021, as emissões subiram, o mesmo não pode ser afirmado da participação de combustíveis fósseis na matriz energética. Visto que, em conformidade com os dados do Our World in Data a participação na matriz caiu de 54,93% em 2010 para 50,29% em 2022. Apesar disso, com o crescimento do consumo energético do Brasil (alta de 16,9%) entre 2010 e 2022, o consumo de combustíveis fósseis saltou de 1749 TWh para 1930 TWh em 2021. Em outras palavras, mesmo com a redução da participação na matriz energética, o consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis cresceu.

Por conseguinte, mesmo com o aumento de renováveis projetado pelo modelo para os próximos anos, segundo as projeções da EPE no plano decenal de expansão energética 2031, a oferta interna de petróleo crescerá cerca de 16% até 2030. Portanto, parte dos efeitos positivos do aumento da representatividade de renováveis nas emissões tendem a ser anulados pelo crescimento do consumo de petróleo no Brasil. Vale lembrar que em conformidade com coeficientes estimados pelo modelo, um aumento de 1% no consumo de energia proveniente do petróleo, causou um aumento de 0,281% nas emissões. Nesse cenário, o modelo previu emissões relativamente estáveis a partir de 2025.

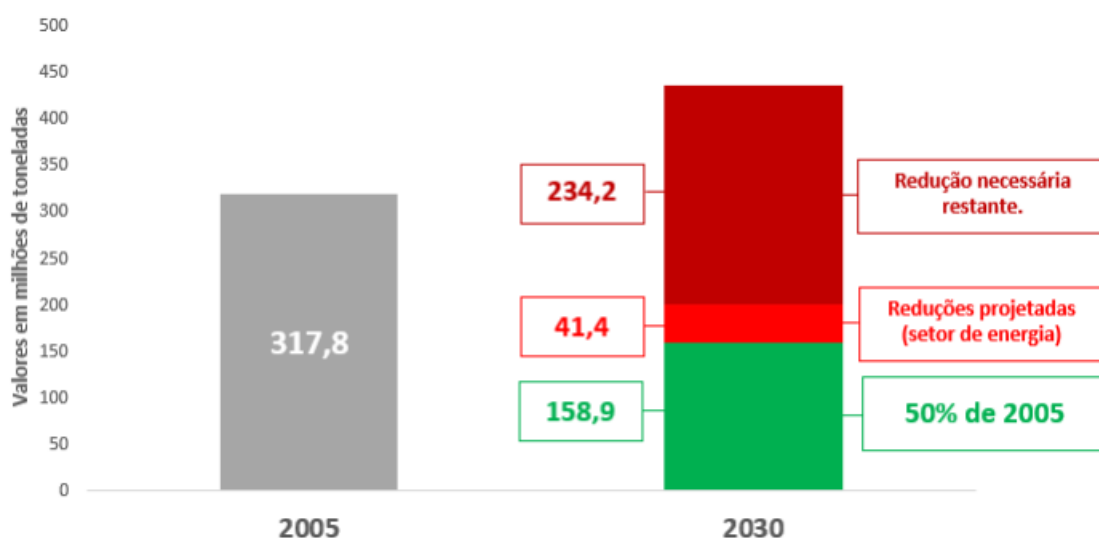
Em relação as emissões de CO2, o governo brasileiro visando uma flexibilidade maior no que tange o cumprimento da meta de 50% em relação aos

valores de 2005, anunciou na Cúpula do Clima de 2021 que optou por não adotar metas específicas por setor.

Em razão disso, não existem metas de emissões de carbono específicas para o setor de energia. Apesar disso, com o fim de entender a situação das emissões do setor de energia, os valores de interesse foram, inicialmente, analisados de maneira isolada.

O gráfico 19 compara os valores de CO<sub>2</sub> emitidos atrelados ao setor de energia em 2005 em relação a redução necessária das emissões de 2021 (última divulgação) para que as emissões atinjam o valor de 50% das emissões de 2005, vale ressaltar que as reduções projetadas pelo setor de energia estão em conformidade com o cenário referência previsto pelo modelo. É possível observar que, se levarmos em conta o observado nos últimos anos e as reduções necessárias, ilustradas no gráfico 19, não parece realista esperar que as emissões do setor de energia serão, em 2030, menores ou iguais que 50% das emissões de 2005.

Gráfico 19- Reduções necessárias nas emissões de CO<sub>2</sub> do setor de energia para que as emissões de 2030 sejam iguais a 50% das emissões de 2005.



Fonte: Autoria própria com os dados da SEEG.

A situação delicada, do setor de energia também pode ser observada em (RABELO, 2023). Segundo as projeções realizadas para as emissões de CO<sub>2</sub> do setor de energia, em todos os cenários, as emissões teriam uma leve alta,



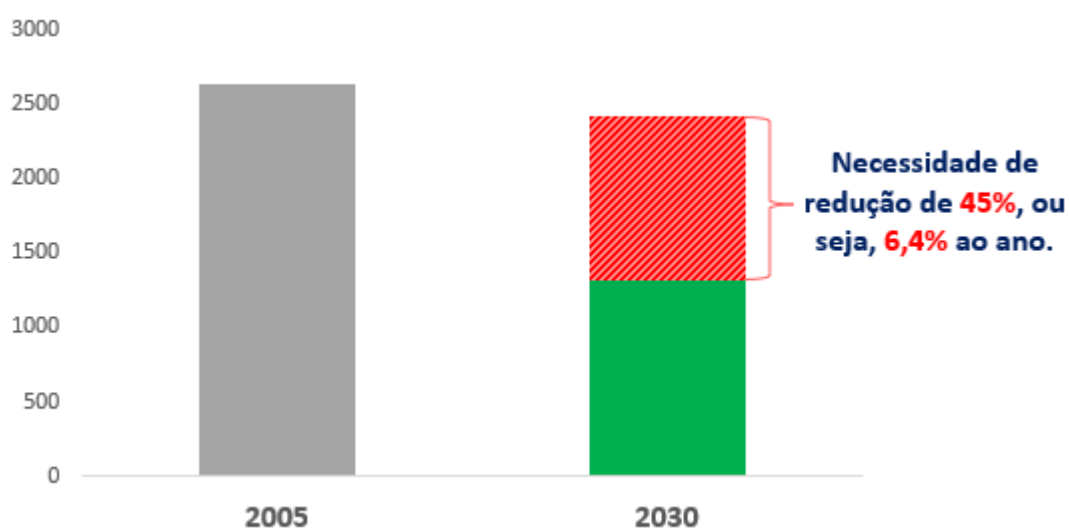
permanecendo relativamente estáveis em relação aos níveis atuais, em outras palavras, as projeções também se mostraram incompatíveis com as metas.

Além disso, o principal estudo utilizado pelos países para avaliar a situação das emissões é o relatório o relatório anual sobre a Lacuna de Emissões feito pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). A conclusão é a mesma, o Brasil não está no caminho certo no que tange as emissões de GEES (Gases Causadores do Efeito Estufa).

O gráfico 19 sugere uma situação muito ruim no que tange as emissões de CO<sub>2</sub> o cumprimento das metas de carbono estabelecidas para 2030. Todavia, se levarmos em conta uma abordagem mais ampla, ou seja, não somente limitada ao setor de energia, a situação tem uma leve melhora.

Isso acontece uma vez que, entre 2005 e 2021, conforme os dados da SEEG, as emissões provenientes de Mudanças no uso da Terra e Florestas, passou por um período de forte queda. Apesar disso, como é possível observar no gráfico 20, ainda seria necessária uma redução de 45% das emissões atuais de CO<sub>2</sub>, o que exigiria uma queda de 6,4% ao ano das emissões para que as emissões de 2030 sejam iguais a 50% das emissões de 2005.

Gráfico 20- Reduções necessárias nas emissões de CO<sub>2</sub> totais do Brasil para que as emissões de 2030 sejam iguais a 50% das emissões de 2005.



Fonte: Autoria própria com os dados da SEEG.

Segundo o Instituto De energia e Meio Ambiente (2023), o cenário para os próximos anos não é de otimismo. Com o desmatamento em crescimento e o aumento do consumo de combustíveis fósseis, apesar dos efeitos terem sido amenizados nos últimos anos em função da entrada maciça de fontes renováveis, as metas de carbono muito provavelmente serão descumpridas.

## 5 CONCLUSÃO

Existe atualmente um cenário de incerteza elevada no que tange as emissões Gases Causadores do Efeito Estufa (GEEs). Nesse contexto, em razão dos efeitos negativos ao meio ambiente, o presente trabalho teve como objetivo prever com um grau de precisão satisfatório, não só as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil atreladas ao setor de energia até 2030, como também a participação de fontes renováveis. Vale lembrar, que o setor de energia é, atualmente o terceiro maior emissor de CO<sub>2</sub> do Brasil, perdendo apenas para o setor agropecuário e pela Mudança do Uso da Terra e Florestas.

Dito isso, o primeiro passo foi estudar de maneira intensiva o setor energético, buscando compreender o passado do setor e as perspectivas para o futuro. No que tange as perspectivas para o futuro da matriz energética brasileira, a transição energética se mostrou um tema central. Nesse cenário alguns fatores que podem se mostrar de grande relevância para os desdobramentos de processo nos próximos anos, como por exemplo os subsídios, que tendem a diminuir, os custos cada vez menores das fontes renováveis, o mercado de carbono e a infraestrutura de transmissão e distribuição de energia elétrica.

Posteriormente, foram investigados outros trabalhos com objetivos semelhantes. Por fim foram definidas as variáveis chaves a serem utilizadas no modelo. Feito isso, foram utilizadas as estratégias expostas na metodologia para a estimação do modelo de regressão dinâmica para elaboração dos modelos. Ambos os modelos apresentaram um MAPE abaixo de 2% e um R<sup>2</sup> acima de 98%, todas as variáveis foram significativas a um nível de significância de pelo menos 96%, além disso, ambos os modelos passaram no teste de Ljung-Box. Por conseguinte, foram fornecidos bons indícios no que tange à capacidade preditiva do modelo.

Em seguida, antes de realizar as previsões, foi necessário projetar as variáveis explicativas até 2030. Foram avaliadas 3 opções: 1- auto projeção das variáveis pelo método Box-Jenkins, 2- auto projeção das variáveis por meio do método de Amortecimento Exponencial 3- Utilizar, com base para as projeções, series históricas e projeções de instituições com credibilidade. O método escolhido foi o de menor erro.

Feito isso, foram projetadas até 2030 as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do setor energético e a participação de fontes renováveis na matriz. Em conformidade com as projeções do modelo gerado, a participação de fontes renováveis na matriz sairia de 48,75% e fechariam 2030, no cenário base, em 57,15%, valor bem superior ao mínimo estabelecido pelo governo, de 45 a 50%.

No que tange as emissões de CO<sub>2</sub> previstas a situação foi menos animadora, visto que as emissões caíram cerca de 10% nos próximos anos. Nesse cenário, mesmo com o aumento das renováveis, as emissões diminuiriam de maneira limitada. Vale lembrar que o Brasil está comprometido a reduzir suas emissões em 50% em relação as emissões do ano de 2005. Nesse contexto, analisando o setor energético de maneira isolada, as emissões de CO<sub>2</sub>, fechariam 2030 147% acima, quando comparados a 50% das emissões de 2005.

Uma explicação para isso, é o aumento do consumo energético. Uma vez que, com o aumento do consumo de energia, mesmo com a redução de participação na matriz energética, ainda sim haveria um aumento no consumo de combustíveis fósseis, anulando parte dos benefícios do crescimento das renováveis na matriz. Em outras palavras, mesmo com a redução da participação na matriz energética, o consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis cresceria.

Esse cenário é semelhante ao que vem sendo observado nos últimos anos visto que, entre 2010 e 2022, a participação de combustíveis fósseis na matriz caiu de 54,93% em 2010 para 50,29% em 2022. Todavia, com o aumento do consumo energético em 16,9%, o consumo de combustíveis fósseis saiu de 1749 TWh para 1873 TWh em 2022. Nesse cenário, houve um aumento das emissões de CO<sub>2</sub> do setor em relação aos níveis observados em 2010.

Por conseguinte, em conformidade com os resultados, a descarbonização da matriz energética brasileira não está ocorrendo da maneira que deveria. O Brasil segue aumentando o consumo de combustíveis fósseis e as metas de descarbonização brasileiras estão ficando cada vez mais distantes. Portanto, em função dos prejuízos atrelados a intensificação o efeito estufa é evidente a necessidade de mudanças nas atuais políticas antes que os prejuízos ambientais sejam irreversíveis.

O objetivo do presente trabalho, de estimar com um grau de precisão satisfatório, as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil atreladas ao setor de energia até 2030 e a participação de fontes renováveis na matriz energética foi cumprido, visto que conforme os coeficientes analisados ambos os modelos tiveram um bom desempenho preditivo. Nesse sentido, o presente trabalho pode se mostrar importante não só título de conhecimento, como auxiliar na escolha de políticas públicas. Ademais o presente trabalho permitiu ao seu autor, compreender melhor não só a dinâmica do setor de energia brasileiro, como também sobre a elaboração de modelos de regressão dinâmica.

É importante destacar a existência de lacunas a serem preenchidas por futuros trabalhos. Uma vez que o presente se limitou ao setor de energia, não foi possível prever, levando em conta somente o setor de energia, o cumprimento das metas de descarbonização do Brasil. Visto que o Brasil não estabeleceu metas setoriais, nesse contexto, a redução limitada das emissões do setor de energia apontadas pelo modelo, poderia ser compensada por outros setores. Por conseguinte, é necessária uma abordagem mais ampla, levando em consideração todas as fontes emissoras de CO<sub>2</sub>, com o fim de obter estimativas confiáveis.

## REFERÊNCIAS

Agência Câmara de Notícias. **Lei institui marco legal da micro e minigeração de energia.** out. 2022. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/843782-LEI-INSTITUI-MARCO-LEGAL-DA-MICRO-E-MINIGERACAO-DE-ENERGIA>. Acesso em: 25 out. 2023.

Agência Câmara de Notícias. **Projeto mantém subsídios para micro e minigeração que solicitar acesso à distribuidora até 2024** set. 2023. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/917544-projeto-mantem-subsidios-para-micro-e-minigeracao-que-solicitar-acesso-a-distribuidora-ate-2024/>. Acesso em: 20 out. 2023.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída** jul. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida#:~:text=A%20Lei%2014.300%2F2022%20traz,para%20minigeradores%20das%20demais%20fontes>. Acesso em: 25 out. 2023.

Agência Senado. **Aprovada MP sobre redução de tarifas de energia e exploração privada de usina.** fev. 2021. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2021/02/04/aprovada-mp-que-preve-exploracao-privada-de-usina-e-incentiva-reducao-de-tarifas>. Acesso em: 20 out. 2023.

Agência Senado. **Frente Parlamentar de Recursos Naturais e Energia (FPRNE).** 2021.

ANDRADE, André Luiz. CO<sub>2</sub> and economic growth: An analysis for emissions from burning fossil fuels in liquid form in Brazil.. MPRA, [S. l.], p. 1-14, 13 maio 2009. Disponível em: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/15313/>. Acesso em: 1 jun. 2023.

ANDREW, Robbie. It's getting harder and harder to limit ourselves to 2°C. Center for international climate reserach, 2018. Disponível em: <https://desdemonadespair.net/2019/08/its-getting-harder-and-harder-to-limit-global-warming-to-2c-it-is-partly-this-hope-in-future-technologies-that-delays-action.html>. Acesso em: 27 março 2023.

ARORA, N.; MISHRA, I. COP26: more challenges than achievements. Springer Link, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42398-021-00212-7>. Acesso em: 19 maio 2023.

Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica (ABSOLAR). **Potencial técnico de energia solar no país pode chegar a 30 mil GW**. ABSOLAR, 20 jul. 2016. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/potencial-tecnico-de-energia-solar-no-pais-pode-chegar-a-30-mil-gw/>. Acesso em: 10 dez. 2023.

Associação Brasileira de PCH's e CGHs (ABRAPCH) . **Subsídio à expansão de fontes renováveis se tornou desnecessário**. ABRAPCH, abr. 2023 Disponível em: <https://abrapch.org.br/2023/04/subsidio-a-expansao-de-fontes-renovaveis-se-tornou-desnecessario/>. Acesso em: 30 out. 2023.

Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES). **Painel NDC: nossa contribuição para as metas de redução de emissões do Brasil**. BNDES, [S. l.], jan. 2015. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-anuncia-programa-para-aquisicao-de-creditos-de-carbono-regulares>. Acesso em: 19 maio 2023.

BORGES, Bráulio. **Estimativas dos impactos dinâmicos do setor eólico sobre a economia brasileira**. ABEEólica, fev. 2022. Disponível em: [https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Estudo-Braulio\\_final.pdf](https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Estudo-Braulio_final.pdf). Acesso em: 20 set. 2023.

BORGES, G ; SALLES, M.A **Política de Descontos para as Energias Renováveis no Brasil**. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2020. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/917544-projeto-mantem-subsidios-para-micro-e-minigeracao-que-solicitar-acesso-a-distribuidora-ate-2024/>

Câmara de Comércio Internacional (ICC). **Brasil pode ganhar até US\$ 100bi em receitas de crédito de carbono até 2030**. ICC, set. 2021. <https://www.iccbrasil.org/brasil-pode-ganhar-ate-us-100bi-em-receitas-de-credito-de-carbono-ate-2030/>. Acesso em: 15 out. 2023.

Câmara Americana de Comércio (AMCHAM). **MERCADO DE CARBONO: O QUE É, COMO FUNCIONA E QUAL O CONTEXTO DO BRASIL?** AMCHAM, 2022. Disponível em: <https://www.amcham.com.br/blog/mercado-de-carbono>. Acesso em: 10 set 2023.

CARVALHO, Joaquim. **O Declínio Da Era Do Petróleo e a Transição Da Matriz Energética Brasileira Para Um Modelo Sustentável**. 2019. Dissertação (Pós-graduação em Energia) - USP, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10062011-163905/publico/JFCTESE.pdf>. Acesso em: 10 maio 2023.

Climate e Desenvolvimento. **Cenários Para 2030**. Clima e Desenvolvimento, out 2021. Disponível em: <https://clima2030.org/wp-content/uploads/2022/08/Clima-e-Desenvolvimento-Visoes-para-o-Brasil-2030-Documento-de-Cenario-e-Politiclas-Climaticas-15-out-2021.pdf>. Acesso em: 1 ago 2023.

Climate Transparency. **TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL: Um Cenário Compatível Com o Acordo De Paris Para o Setor De Transportes Até 2050**. Climate Transparency, [S. l.], p. 1-16, 1 mar. 2020. Disponível em: <https://ibts.eco.br/src/uploads/2020/10/brazil-transport-policy-paper-pt.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

Comerc Energia. **Tudo que você precisa saber sobre Geração Distribuída Compartilhada**. Comerc, jul. 2021. Disponível em: <https://panorama.comerc.com.br/geracao-distribuida-compartilhada>. Acesso em: 15 nov. 2023.

COPERNICUS. **Surface air temperature for November 2023**. Copernicus, 8 nov. 2023. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-november-2023>. Acesso em: Acesso em: 10 nov. 2023.

COP26UK. **UN Climate Change Conference UK 2021**. United Kingdom. Disponível em: <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/07/COP26-Explained.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2023.

DIAS, João. **O PAPEL DA REGULAMENTAÇÃO DO MERCADO DE CARBONO BRASILEIRO: Metas Climáticas e Atuação na Agenda do Clima**. Dissertação (Bacharelado em Ciência Econômicas) - UFRGS, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/265302/001177499.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 out. 2023.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia/pde-2032/estudos-de-apoio/nt-energia-e-meio-ambiente-pde-2032/view>. Acesso em: 15 nov. 2023.



Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031\\_RevisaoPosCP\\_rvFinal\\_v2.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf). Acesso em: 30 maio 2023.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Rio de Janeiro: EPE, 2029. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023.

Giambiagi, Fabio. **O Setor Externo da Economia Brasileira**. In: Giambiagi, Fabio. *Economia Brasileira Contemporânea*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2021, p. 153-184.

GOODRICH, R.L.. **Applied Statistical Forecasting**. Belmont: Business Forecast Systems, 1989.

GUJARATI, D.N.. **Econometria Básica**. Campus, 2006.

Gökgöz, F; Güvercin, T. **Energy security and renewable energy efficiency in EU**. Science Direct, nov. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118305549>. Acesso 17 nov. 2023.

GUTIERREZ, Maria. **O Brasil e o mercado de carbono**. 1ª edição. Brasília: IPEA, 2020. Disponível em: [https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim\\_regional/091220\\_boletimregional3\\_cap14.pdf](https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim_regional/091220_boletimregional3_cap14.pdf). Acesso em: 20 set. 2023.

Instituto de Estudos Socioeconômicos (INESC). **SUBSÍDIOS ÀS FONTES RENOVÁVEIS: INICIATIVAS E RECOMENDAÇÕES PARA UMA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA COM JUSTIÇA SOCIOAMBIENTA**. INESC, mar. 2023. Disponível em: [https://inesc.org.br/wp-content/uploads/2023/03/nt\\_subsidios\\_renovaveis-1.pdf?x96134](https://inesc.org.br/wp-content/uploads/2023/03/nt_subsidios_renovaveis-1.pdf?x96134). Acesso em: 20 out. 2023.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. Disponível em: [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf). Acesso em: 15 maio 2023.

Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). **O que é e como funciona o mercado de carbono?** IPAM, 2022. Disponível em: <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/o-que-e-e-como-funciona-o-mercado-de-carbono/>. Acesso em: 1 set. 2023.

Investing. **Mercados Financeiros Mundiais**. Investing, 2023. Disponível em: <https://br.investing.com/markets/>. Acesso em: 12 ago 2023.

KINEA INVESTIMENTOS (KINEA). **O curioso caso dos créditos de carbono**. KINEA, mar. 2022. Disponível em: [https://www.kinea.com.br/blog/o\\_curioso\\_caso\\_dos\\_creditos-de-carbono/](https://www.kinea.com.br/blog/o_curioso_caso_dos_creditos-de-carbono/). Acesso em: 20 set 2023.

LEFEVRE, Guilherme Borba; BREVIGLIERI, Gustavo Velloso; DO SOL OSÓRIO, Guarany Ipê. **Dez recomendações para um mercado de carbono regulado no Brasil**. GV-EXECUTIVO, 2022, vol. 21, no 1.

LIMA, Yves et al. **DESACOPLAMENTO ENTRE AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> E O PIB**. CEFET, 15 dez. 2016. DOI <https://doi.org/10.32358/rpd.2016.v2.174>. Disponível em: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/167/1671522004/index.html>. Acesso em: 10 dez. 2023.

LOSEKANN, L.; BOTELHO, F. **Política energética no BRICS: desafios da transição energética**. Brasília. IPEA, 2021.

LOSEKANN, L.; TAVARES, A. **Transição energética e potencial de cooperação nos BRICS em energias renováveis e gás natural**. 1<sup>a</sup> edição. Brasília. IPEA, 2020.

LUZ, Victor. **A POLÍTICA DE PREÇO POR PARIDADE DE IMPORTAÇÃO DA PETROBRÁS E O IMPACTO NO MERCADO DE COMBUSTÍVEL DO BRASIL**. Clima. Dissertação (Bacharelado em Administração) - UFSC, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/248321/TC.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. 30 out. 2023.

MAFRA, Erich. **Mercado de carbono: entenda o passo a passo de sua construção**. FORBES, jun. 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2022/06/mercado-de-carbono-entenda-como-ele-foi-construido/>. Acesso em: 25 out. 2023.

MALAGUETA, Diego. **Energia Solar não é apenas Painel Fotovoltaico**. set. 2021. Disponível em: <https://blogdaengenharia.com/engenharia/engenharia-de-energia/energia-solar-nao-e-apenas-painel-fotovoltaico/>. Acesso em: 30 out. 2023.

McKinsey. **MERCADO voluntário de carbono tem potencial gigantesco no Brasil**. set. 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com.br/our-insights/all-insights/mercado-voluntario-de-carbono-tem-potencial-gigantesco-no-brasil>. Acesso em: 25 out. 2023.

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). **Acordo de Paris**. MCTIC, 2017. Disponível em: [https://repositorio.mcti.gov.br/bitstream/mctic/4968/2/2017\\_acordo\\_paris.pdf](https://repositorio.mcti.gov.br/bitstream/mctic/4968/2/2017_acordo_paris.pdf). Acesso em: 17 out. 2023.

ROSER, Max. **About**. Our World in Data. Disponível em: <https://ourworldindata.org/about>. Acesso em: 1 set. 2023

ROSER, M; RITCHIE, H. **Brazil: Energy Country Profile**. Our World in Data. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy/country/brazil>. Acesso em: 1 set. 2023.

PINHEIRO, Maria Beatriz. **PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS SELECIONADAS DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**. 2020. Dissertação (Pós-Graduação em Economia Rural) - UFC, [S. l.], 2020. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/51098/7/2020\\_dis\\_mbcpinheiro.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/51098/7/2020_dis_mbcpinheiro.pdf). Acesso em: 1 jun. 2023.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). A. **Relatório sobre a Lacuna de Emissões 2023**, [s. l.], ano 2023, p. 1-57, 20 nov. 2023. DOI <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43922>. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorio-sobre-lacuna-de-emissoes-2023>. Acesso em: 10 dez. 2023.

HOSSEINI, Sayed et al. **Forecasting of CO2 emissions in Iran based on time series and regression analysis**. ScienceDirect, v. 30, p. 260-267, 2019. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719301088?ref=pdf\\_download&fr=RR-2&rr=7d5dfd9509511ab3](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719301088?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=7d5dfd9509511ab3). Acesso em: 30 maio 2023.

RABELO, Nathália. **Avaliação da participação do Setor de Energia Brasileiro nas Emissões de Gases do Efeito Estufa no contexto Contribuição**

**Nacionalmente Determinada.** 2023. 80 p. Dissertação (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Faculdade de engenharia, Universidade de Brasília, Brasília, 2023. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/36181>. Acesso em: 10 dez. 2023.

RODRIGUES, Mariana. **Fim de subsídios para renováveis facilita abertura do mercado.** epbr, out. 2023 Disponível em: <https://epbr.com.br/fim-de-subsidios-para-renovaveis-facilita-abertura-do-mercado-diz-vp-da-eletobras/>. Acesso em: 30 out. 2023.

RIBAS, Filipe. **Análise do Impacto do Aumento de Geração de Energia Elétrica por Fontes Solar e Eólica No setor Elétrico Brasileiro.** Dissertação (Pós-Graduação em Administração) - UFSC, [S. l.], 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/240970/PCAD1185-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso 1 out. 2022.

SANSALONI, Lucas. **DESAFIOS DO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE EMPRESAS:** Um estudo de caso da Tesla. 2022. Dissertação (Bacharelado em Ciência Econômicas) - Insper, [S. l.], 2022.

SANTOS, Elanine. **A trama da transição energética e um dos seus protagonistas, o lítio.** São Paulo. Jornal da USP, 2021.

SANTOS, Gustavo; SANTOS, Bruno; MEDEIROS, Rodrigo; D'ARAÚJO, Roberto. **Carro elétrico, a revolução geopolítica e econômica do século XXI e o desenvolvimento do Brasil.** Oikos, p. 329-353, 1 jan. 2015. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oikos/article/viewFile/51790/28104>. Acesso em: 29 maio 2023.

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). **Painel de Dados Setoriais.** SEEG. Disponível em: [https://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission](https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission). Acesso em: 1 set. 2023.

STERN, Nicholas. Stern Review: The Economics of Climate Change. World Economics, v. 8, n. 1, p. 187-212, 2007. Disponível em: [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview\\_report\\_complete.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf). Acesso em: 5 jun. 2023.

TR Soluções. **Com a escalada tarifária, quem vai migrar para o mercado livre de energia?** set. 2021. Disponível em:

[https://www.trsolucoes.com/conteudo/articles/com\\_a\\_escalada\\_tarifaria\\_quem\\_vai\\_migrar\\_para\\_o\\_mercado\\_livre\\_de\\_energia](https://www.trsolucoes.com/conteudo/articles/com_a_escalada_tarifaria_quem_vai_migrar_para_o_mercado_livre_de_energia). Acesso em: 25 out. 2023.

VIEIRA, Ana. **Energias renováveis e sua eficiência na nova economia energética no Brasil**. UFPB, abr. 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/917544-projeto-mantem-subsidios-para-micro-e-minigeracao-que-solicitar-acesso-a-distribuidora-ate-2024/> Acesso em: 27 set. 2023

VIEIRA, Erasnilson. **Modelos de previsão utilizando séries Temporais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Estatística) - UEPB, [S. l.], 2012. Disponível em: <https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/4235/1/PDF%20-%20Erasnilson%20Vieira%20Camilo.pdf>. Acesso em: 12 out. 2023.

ZANINI, Alexandre. **Redes Neurais e Regressão Dinâmica: Um Modelo Híbrido para Previsão de Curto Prazo da Demanda de Gasolina Automotiva no Brasil**. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio. 2000.

ZANINI, Alexandre. **MODELOS DE PREVISÃO PARA SÉRIES TEMPORAIS**. Material Didático. UFJF. 2023.