

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

SABRINY PEDROSA DA SILVA

**O BIOGÁS COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE TEMPORAL DA EXPANSÃO DE
EMPREGOS “VERDES” NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL**

Juiz de fora

2024

SABRINY PEDROSA DA SILVA

**O BIOGÁS COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE TEMPORAL DA EXPANSÃO DE
EMPREGOS “VERDES” NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação
em Economia da Universidade Federal de Juiz de
Fora, como requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Marcel de Toledo Vieira

Juiz de fora

2024

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

Pedrosa, Sabriny.

O Biogás como alternativa para o desenvolvimento sustentável: Uma análise temporal da expansão de empregos "verdes" na região sudeste do Brasil. / Sabriny Pedrosa. -- 2024.

101 f.

Orientador: Marcel de Toledo Vieira

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2024.

1. Desenvolvimento sustentável; 2. Economia Ecológica. 3. Biogás. 4. Emprego Verde. 5. Transição Energética. I. Vieira, Marcel de Toledo, orient. II. Título.

Sabriny Pedrosa da Silva

O biogás como alternativa para o desenvolvimento sustentável: uma análise temporal da expansão de empregos “verdes” na Região Sudeste do Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia Aplicada. Área de concentração: Economia

Aprovada em 18 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Marcel de Toledo Vieira - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Weslem Rodrigues Faria
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Admir Antonio Betarelli Júnior
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Marcelo Aarestrup Arbex
University of Windsor

Juiz de Fora, 13/12/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Marcel de Toledo Vieira, Professor(a)**, em 08/01/2025, às 13:30, 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 **Weslem Rodrigues Faria, Professor(a)**, em 08/01/2025, às 16:51, 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 **Marcelo Aarestrup Arbex, Usuário Externo**, em 08/01/2025, às 18:29, 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 **Admir Antonio Betarelli Junior, Professor(a)**, em 08/01/2025, às 18:58, 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) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2156358** e o código CRC **9D9663D8**.

À memória da minha avó, Maria da Penha, a quem devo tudo na vida.

AGRADECIMENTOS

Acredito piamente que não exista nenhum tipo de conquista que não seja coletiva. Apesar de todos os esforços que a vida acadêmica exige, sem o apoio familiar, fraterno de amigos-irmãos, espiritual e dos professores que guiaram minha trajetória até esse momento, nada teria sido possível. Muitas foram as adversidades desse árduo caminho percorrido, uma pandemia, tragédias pessoais, doenças, lutos e a ausência gritante de minha avó. A vida seguiu seu curso não linear enquanto eu tentava concluir essa etapa da minha carreira. Infelizmente.

É difícil a tarefa de realizar o sonho do outro e desejar com tanta intensidade até que ele se torne uma parte de você. Meu avô sonhava em me ver falando inglês, hoje eu falo 4 idiomas. Minha avó desejou de todo coração que eu terminasse o ensino médio, hoje estou a um passo de obter o título de mestre em economia. E ainda assim sinto a constante pressão de honrar todo esforço e investimento que eles depositaram em mim, como se meu sucesso não fosse apenas meu, mas também uma extensão das aspirações deles. Sendo assim, hoje eles vencem e eu honro minha ancestralidade.

À memória da minha avó, Maria da Penha, sua existência era garantia da minha liberdade e criatividade. Não havia nada impossível quando você habitava nesse mundo.

Ao sorriso silencioso do meu avô, que sorria com olhos. Toda dor ficava menor no conforto do seu abraço.

Ao Ifá Ni L'orun, toda minha gratidão por me guiar nos momentos mais desafiadores desta jornada. Seu suporte religioso, acolhimento emocional e o fortalecimento que recebi foram pilares fundamentais que me mantiveram firme e centrado ao longo deste caminho.

À minha mãe, meu maior exemplo de dedicação e força, quero expressar toda a minha gratidão. Desde a infância, ela me ensinou a valorizar a cultura, a importância da educação e o poder transformador do esporte. Cada conquista minha é um reflexo do amor e da sabedoria que ela sempre compartilhou comigo. Sua influência foi e sempre será o alicerce sobre o qual construo cada etapa da minha vida.

À Luanne Cristine Bonifácio Valério, obrigada por todo amor, afeto e constante compreensão. Obrigada por encarar todas as minhas versões e acolher todas com amor.

Thalles Gago, o braço amigo que eu levo de Juiz de Fora, obrigada pela companhia, apoio e incansáveis reclamações. A vida com você é leve e talentosa.

Larissa Sousa e Márcia Karyna, não há distância suficiente que afaste o tem que ser vivido. Vocês foram e são minha fonte de alegria, coragem e apoio. Obrigada por tanto.

A vocês, que desafiam barreiras invisíveis e não reconhecidas; que suportam pressões e expectativas que limitam a liberdade e a expressão da própria força. A vocês, que lutam para reconectar-se com sua essência, seu potencial e sua verdade, sem se deixarem moldar pelos preconceitos que tentam aprisioná-las. A cada mulher que se vê subestimada, silenciada, desencorajada ou desrespeitada apenas por existir num mundo que ainda não compreende sua profundidade e seu valor, envio minha admiração e solidariedade.

Aos amores que se perderam e deixaram saudade, dor ou lições profundas — que foram reais e importantes, mas que se desvaneceram nas sombras do tempo — minha homenagem. Que essas despedidas sirvam como lembrança de que o amor genuíno, seja por outro ou por si mesma, é a força que renova e empodera. Que todos os corações partidos, ao longo do caminho, sejam portas abertas para o amor próprio e a solidariedade entre aquelas que compartilham dessas mesmas dores e alegrias.

Vocês são luz e resistência, mesmo quando se sentem em pedaços. Agradeço pela coragem de se erguerem e, ao fazê-lo, inspirarem outras mulheres, como eu, a serem fortes e a questionarem o status quo. Que essa força seja sempre lembrada e reverenciada.

A todos vocês, meu mais sincero e profundo obrigado.

*“Depois que vivo é que sei que vivi.
Na hora o viver me escapa.
Sou uma lembrança de mim mesma.
Eu me escapo de mim mesma”.*

Clarice Lispector, 1978.

RESUMO

Este trabalho buscou analisar a implementação das plantas de biogás como uma alternativa viável para o desenvolvimento sustentável, especialmente no contexto do emprego verde, focando nos estados do Sudeste do Brasil e considerando o período de 2006 a 2022. A investigação visou compreender como a implementação das plantas de biogás, proveniente da decomposição de resíduos orgânicos, pode contribuir para a geração de empregos que promovem a sustentabilidade ambiental, econômica e social. Através de uma análise temporal e geográfica, realizada com o software R, utilizando dados fornecidos pela RAIS e diversos indicadores da produção de biogás, foram observados o impacto socioeconômico da adoção do biogás em regiões específicas dos estados do Sudeste, incluindo São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo. A relevância da temática abordada neste trabalho se dá pelo crescente debate sobre fontes de energia renováveis e a necessidade de encontrar soluções que alinhem o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. O referencial teórico que norteia a hipótese da pesquisa é a perspectiva da economia ecológica sobre a produção e utilização do biogás. Ao que tudo indica, o biogás e o biometano possuem um grande potencial como vetores do desenvolvimento sustentável, contribuindo para a transição energética e a redução de combustíveis fósseis. Além disso, o emprego verde associado à cadeia produtiva do biogás demonstra-se significativo, indicando que a expansão desse setor pode impulsionar a economia de maneira inclusiva e responsável na região Sudeste.

Palavras-chaves: Desenvolvimento sustentável; Economia Ecológica; Biogás; Emprego Verde; Transição Energética.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the implementation of biogas plants as a viable alternative for sustainable development, especially in the context of green employment, focusing on the Southeastern states of Brazil and considering the period from 2006 to 2022. The research sought to understand how the implementation of biogas plants, derived from the decomposition of organic waste, can contribute to the generation of jobs that promote environmental, economic, and social sustainability. Through a temporal and geographic analysis, using data provided by RAIS and various indicators of biogas production, the socioeconomic impact of adopting biogas in specific regions of the Southeastern states, including São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, and Espírito Santo, was observed. The relevance of the topic addressed in this study stems from the growing debate about renewable energy sources and the need to find solutions that align economic development with environmental preservation. The theoretical framework guiding the research hypothesis is the perspective of ecological economics on the production and use of biogas. The findings suggest that biogas and biomethane have great potential as vectors for sustainable development, contributing to the energy transition and the reduction of fossil fuels. Additionally, the green jobs associated with the biogas production chain have shown to be significant, indicating that the expansion of this sector can boost the economy in an inclusive and responsible manner in the Southeastern region.

Keywords: Sustainable Development; Ecological Economics; Biogas; Green Employment; Energy Transition.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 - Proporção de plantas por fonte de substrato.....	35
Gráfico 3.2 - N° de plantas nos 10 estados mais significativos.....	45
Gráfico 4.1 - Nível de emprego entre as UF's da Região Sudeste.....	56
Gráfico 5.1 – Série temporal com tendência crescente	60
Gráfico 5.2 – Sazonalidade.....	60
Gráfico 5.3 – Comportamento cíclico da série temporal.....	61
Gráfico 5.4 – Plantas de biogás entre 2006-2022: São Paulo.....	70
Gráfico 5.5 – Quantidade de emprego entre 2006-2022: São Paulo.....	71
Gráfico 5.6 - Resíduos do modelo: São Paulo.....	72
Gráfico 5.7 - Ajuste do Modelo ARIMAX – São Paulo.....	73
Gráfico 5.8 - Plantas de biogás entre 2006-2022: Rio de Janeiro.....	75
Gráfico 5.9 – Quantidade de emprego entre 2006-2022: Rio de Janeiro.....	75
Gráficos 5.10 – Resíduos do modelo: Rio de Janeiro.....	76
Gráfico 5.11 - Ajuste do Modelo ARIMAX – Rio de janeiro.....	77
Gráfico 5.12 – Plantas de biogás entre 2006-2022: Minas Gerais.....	79
Gráfico 5.13 – Quantidade de emprego entre 2006-2022: Minas Gerais.....	79
Gráfico 5.14 - Resíduos do Modelo: Minas Gerais.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Fluxo circular da renda	22
Figura 3.1 – Fluxograma do processo de digestão anaeróbica.....	38

Figura 3.2 – Utilização do Biogás.....	41
Figura 3.3 - Fluxo do Biogás.....	43
Figura 3.4 - N° plantas x Volume produzido por UF's.....	46
Figura 5.1 - Estacionariedade de uma série.....	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Necessidade de remoção de elementos do Biogás.....	39
---	----

LISTA DE TABELA

Tabela 3.1 – Número de plantas de biogás em operação.....	40
Tabela 4.1 Atividades econômicas.....	53
Tabela 4.2: Comparativo entre as UF's da região sudeste.....	55
Tabela 5.1 – Índice temporal anual.....	59
Tabela 5.2 – Teste de hipóteses: São Paulo.....	73
Tabela 5.3 – Coeficiente ARIMAX – São Paulo.....	74
Tabela 5.4 -Coeficientes ARIMAX- Rio de Janeiro.....	77

LISTA DE SIGLAS

BLS – *Bureau Labor Statistic*

CBO – Classificação Brasileira de Ocupações

CEPA – *Classification of Environmental Protection Activities and Expenditure*

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CO2 – Dióxido de carbono

COP – Conferência das Partes

CReMA – *Classification of Resource Management Activities*

GEE – Gases de Efeito Estufa

GEMA – Grupo de Pesquisa de Economia do Meio Ambiente

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IOE – *International Organisation of Employers*

IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ISIC – *International Standard Industrial Classification of all Economic Activities*

ISWA – *International Solid Waste Association*

ITUC – *International Trade Union Confederation*

NAICS – *North American Industry Classification System*

NDC – *Nationally Determined Contributions*

OIT – Organização Internacional do Trabalho

ONG – Organização Não-Governamental

ONU – Organização das Nações Unidas

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

RAIS – Relação Anual de Informações Sociais

SIPD – Sistema Integrado de Pesquisas Domiciliares

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Desenvolvimento sustentável	20
2.1.1 Desenvolvimento sustentável e o Relatório Brundtland	21
2.2 Economia Verde	23
2.3 Debate entre economia ambiental x economia ecológica	26
2.3.1 Economia convencional	26
2.3.2 Economia ambiental como desdobramento do convencional	29
2.3.3 Economia Ambiental	31
2.3.4 Economia Ecológica	34
3 BIOGÁS	33
3.1 Biogás x Biometano	33
3.1.1 Substratos para produção de biogás	34
3.1.2 Produção, purificação e digestão do biogás	37
3.1.3 Aplicações energéticas do biogás	40
3.2 Panorama do biogás no Brasil	44
3.2.1 Dados do Biogás	45
4 EMPREGO VERDE	48
4.1 Conceitos e Definições	48
4.2 Classificações	50
4.2.1 Eurostat	50
4.2.2 OIT	51
4.2.3 NAICS	52

4.3 Atividades econômicas	54
4.3.1 Classificação Brasil	55
4.4 Emprego verde no Sudeste brasileiro	56
5 METODOLOGIA	60
5.1 Natureza dos dados	60
5.1.1 Análise inicial da série	61
5.2 Introdução à teoria de séries temporais	61
5.2.1 Tendência	61
5.2.2 Sazonalidade	62
5.2.3 Ciclo	63
5.2.4 Estacionariedade	63
5.3 Modelo de análise	64
5.3.1 Modelo de regressão linear temporal	66
5.4 Modelo para o Estado de São Paulo	69
5.5 Modelo para o Estado do Rio de Janeiro	74
5.6 Modelo para o Estado de Minas Gerais	78
5.7 Modelo para o Estado do Espírito Santo	76
6 RESULTADOS DO MODELO	86
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

A motivação deste trabalho decorre da necessidade premente de soluções sustentáveis para enfrentar os desafios ambientais e econômicos contemporâneos. A região Sudeste, um dos centros econômicos mais dinâmicos do Brasil, enfrenta intensos problemas relacionados à gestão de resíduos e à busca por fontes de energia renováveis. O estudo desse tema é crucial, pois a transição para uma economia de baixo carbono¹ pode resultar em um aumento significativo na geração de emprego, especialmente em setores como energia solar, eólica e biomassa. Além disso, essas iniciativas promovem a inclusão social e o desenvolvimento regional, contribuindo para um futuro mais sustentável e justo.

O biogás surge como uma alternativa viável que não apenas contribui para a mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos orgânicos, mas também promove o desenvolvimento econômico sustentável por meio da criação de empregos verdes. Este estudo pretende investigar a viabilidade do biogás como ferramenta de transformação econômica e ambiental no recorte temporal de 2006 a 2022, evidenciando seu papel potencial na promoção de um futuro mais sustentável e equilibrado para a região.

Além disso, a análise temporal da expansão de empregos verdes proporcionará uma compreensão mais detalhada das tendências e impactos dessa tecnologia ao longo do tempo, permitindo a identificação de fatores que impulsionam ou limitam o crescimento dessa alternativa sustentável. O estudo, portanto, tem relevância significativa para a construção de uma economia verde robusta e para a melhoria da qualidade de vida na região Sudeste, alinhando-se com as metas globais de sustentabilidade e inovação.

A metodologia estatística adotada neste trabalho envolve o uso do modelo ARIMAX (AutoRegressive Integrated Moving Average with eXogenous variables) para analisar a expansão de empregos verdes relacionados ao biogás na região Sudeste do Brasil. O ARIMAX é uma extensão do modelo ARIMA que incorpora variáveis exógenas,

¹ Os países em desenvolvimento aumentaram a sua importância como emissores de GEE e têm sido chamados a se posicionarem em relação à mitigação da mudança climática. A fim de cumprir com a meta definida no Acordo de Paris, 2015, de limitar o aumento da temperatura média da Terra em 1,5 °C, faz-se tentar diminuir a emissão, ou seja, chegar a uma emissão zero de gases de efeito estufa, até 2050, e, como forma alternativa para alcançar tal fato, a utilização de energia renovável foi vista como uma das soluções. Ver Magalhães (2013).

permitindo uma avaliação mais precisa dos impactos externos, como políticas públicas e tendências de mercado, sobre a variável de interesse. A aplicação desse modelo permitirá examinar como fatores específicos e dinâmicos afetam a criação de empregos verdes ao longo do tempo, oferecendo uma visão detalhada das relações entre a adoção do biogás e o desenvolvimento sustentável. A escolha do ARIMAX se justifica pela sua capacidade de captar a estrutura temporal dos dados e a influência de variáveis externas, essencial para entender o papel do biogás na evolução dos empregos verdes.

Para tanto, esta dissertação foi construída e dividida em quatro capítulos. O primeiro introduz o arcabouço conceitual do desenvolvimento sustentável e suas implicações conceituais para o debate entre Economia ambiental e Ecológica, além de algumas considerações sobre a economia convencional. Em seguida, é abordado o Biogás e suas particularidades, aplicações e participação na matriz energética brasileira, com destaque na região sudeste para que se cumpra o objetivo proposto pela pesquisa. O terceiro capítulo é dedicado a conceituação e classificação do que chamamos de “emprego verde”. Por fim, será apresentado a metodologia de análise dos dados e os resultados do modelo ARIMAX para os estados da região sudeste dentro do recorte geográfico estipulado.

2 – REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar as diferentes abordagens econômicas que influenciam o conceito de desenvolvimento sustentável, destacando as distinções e intersecções entre a economia ecológica, economia ambiental e a economia verde. O capítulo busca esclarecer como cada uma das vertentes compreende e aborda a relação entre economia e meio ambiente. Tais apontamentos servem como fio condutor da hipótese de que a implementação de plantas produtivas de biogás e biometano e sua posterior utilização como biocombustível e geração de energia, são exemplos práticos dos ideais pautados pela economia ecológica, ou seja, servem como incentivo e fomento as discussões socioambientais no Brasil.

2.1 Desenvolvimento sustentável

A busca pelo desenvolvimento sustentável tornou-se imperativo no discurso global sobre o crescimento econômico e a gestão ambiental. À medida que o mundo enfrenta os grandes desafios das mudanças climáticas, do esgotamento dos recursos e da degradação ecológica, a necessidade de uma mudança de paradigma no sentido de práticas industriais mais sustentáveis nunca foi tão premente. Nesse sentido, a compreensão conceitual do que viria a ser o desenvolvimento sustentável, amplamente difundido nos atuais debates econômicos e ambientais, pode ser considerado como uma prioridade.

Conforme aponta a literatura econômica, a partir da década de 1960 há uma crescente preocupação com as questões ambientais dado as expressivas taxas de crescimento da economia mundial no período². Nesse contexto, aflora-se as terminologias da economia ambiental e ecológica. Segundo Andriucci (2009), o vínculo entre questões ambientais e econômicas ocorreu por três razões específicas, a primeira seria o aumento da poluição em nações desenvolvidas, especialmente nos Estados Unidos e Japão. O segundo motivo está ligado à elevação dos preços do petróleo entre 1973 e 1979, que gerou um debate sobre a sustentabilidade desse recurso natural. O terceiro, fundamental para essa conexão entre ambiente e economia, foi o relatório intitulado “Os Limites do Crescimento”³, que destaca que, se a população e a economia continuassem a crescer, o

² Desde a década de 1970, a questão ambiental vem sendo discutida nos fóruns da Organização das Nações Unidas (ONU), assim como tratados de cooperação que buscam mitigar a crise ambiental dentro da lógica capitalista. O protocolo de Kyoto, assinado em 1997 por 84 países, é um exemplo dessas iniciativas, com o objetivo de reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

³ Os Limites do Crescimento é uma obra publicada em 1972 que analisou as consequências do rápido aumento da população mundial, levando em conta os recursos naturais finitos, sendo encomendada pelo

meio ambiente não conseguiria atender a essa crescente demanda por produção e consumo, resultando em diversos impactos negativos sociais, ambientais e econômicos. (Oliveira, 2017)

Cabe destacar aqui, que os primeiros debates sobre meio ambiente na Organização das Nações Unidas (ONU) aconteceram na década de 1970, em meio a Guerra Fria. Em 1972 foi realizada a Conferência de Estocolmo na Suécia⁴, que tinha como objetivo principal debater sobre a degradação ambiental ocasionada pela atuação do homem sobre a natureza. A Conferência reuniu 112 países e deu origem a Declaração de Estocolmo que traz uma visão global de como a questão ambiental deve ser enfrentada. É nesse documento que aparece pela primeira vez o princípio de que a natureza deve ser preservada para atender as necessidades das gerações atuais e futuras, bem como o princípio de que um meio ambiente equilibrado é direito de todos.

Os pontos destacados por Andriucci (2009) ajudaram a fazer com que o sistema econômico passasse a considerar a interação entre economia e natureza. Assim, surgem a economia ambiental e a economia ecológica. Anos depois, a economia verde também ganha destaque. Essas três abordagens focam em analisar a relação entre o sistema econômico e o ecológico.

2.1.1 Desenvolvimento sustentável e o Relatório Brundtland

O conceito de desenvolvimento sustentável utilizado mundialmente fora apresentado pela primeira vez, oficialmente, em um documento internacional, no Relatório Brundtland⁵ ou Nosso Futuro Comum, que foi publicado em 1987, fruto do trabalho da Comissão Mundial Sobre Desenvolvimento. Após este momento, o termo "desenvolvimento sustentável" com as características expostas neste documento

Clube de Roma. O estudo foi apresentado pela primeira vez em reuniões internacionais realizadas em Moscou e no Rio de Janeiro durante o verão de 1971.

⁴ De acordo com Dias (2017, p.11): “Esse evento é considerado como um marco de fundamental importância no processo de internacionalização do debate e divulgação dos problemas relacionados ao meio ambiente. Também houve o fortalecimento do papel das ONGs (organizações não governamentais) voltadas à proteção ambiental, o que impulsionou muitas destas entidades em direção a um contexto de maior destaque nas décadas seguintes”.

⁵ O Relatório Brundtland foi publicado em 1987, pela Comissão Mundial Sobre Desenvolvimento, que é um órgão da ONU. O trabalho foi liderado pela médica e ex-primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, e, juntamente com ela, participaram também especialistas em diversas áreas. Brundtland foi escolhida para liderar a Comissão, pois era médica com especialização na área da saúde pública e, naquela época, realizava pesquisas e estudos considerados pioneiros na área da saúde, meio ambiente e desenvolvimento humano.

aparecem com frequência em vários outros que tratam de assuntos relacionados ao meio ambiente.

O Relatório Brundtland possui cerca de 430 páginas, segmentado em três importantes seções: I – Preocupações Comuns; II – Desafios Comuns; III- Esforços comuns. o Relatório aborda praticamente, se não todos, quase todos os aspectos da vida econômica, política e social que deveriam ou devem sofrer algum tipo de alteração para que se possa atingir o objetivo do dito Desenvolvimento Sustentável. Nessa perspectiva, o documento expressa a tentativa de atribuir uma nova perspectiva a ideia de desenvolvimento. (Sobrinho, 2008)

O documento aponta que Desenvolvimento Sustentável é aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988, p. 46).

É possível notar a aparente preocupação com a preservação da natureza, mas sem permitir que isso interfira com o que deveria ser o objetivo maior de todas as nações: desenvolver-se. Assim, de acordo com o raciocínio apresentado no Relatório, desenvolvimento sustentável é conceituado da seguinte maneira:

“Em essência, desenvolvimento sustentável é um processo de mudança no qual a exploração de recursos, a direção de investimento, a orientação do desenvolvimento tecnológico e mudanças institucionais estão todas em harmonia e realça tanto o potencial presente quanto futuro de atender as necessidades humanas e suas aspirações”. (ONU, 1987, p. 43)

As discussões e preocupações com as questões ambientais evoluíram de maneira gradual, conforme os indicadores de urgência foram se tornando mais evidentes e previsíveis. Com o avanço das pesquisas e a crescente visibilidade das crises climáticas, como a poluição e o aquecimento global, a urgência em abordar essas questões se intensificou e desencadeou iniciativas como a chamada economia verde.

2.2 Economia Verde

A economia verde emergiu em um contexto difícil, durante a crise financeira de 2008, graças ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)⁶. O objetivo dessa iniciativa era destacar novas oportunidades para a adoção de práticas mais sustentáveis e criar um plano global que facilitasse a transição da economia tradicional para uma economia mais verde. Além disso, um ponto importante foi que a economia verde se tornou um dos temas centrais da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a "Rio+20", refletindo a urgência dessa transformação. (Oliveira, 2017)

Assim como o relatório Brundtland serviu como pontapé inicial para a disseminação conceitual do termo desenvolvimento sustentável, a economia verde surge a partir do relatório chamado “Rumo à economia verde: caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza”. No núcleo do conceito proposto, o documento apresenta a economia verde como:

[...] um modelo econômico que resulta em “melhoria do bem-estar da humanidade e igualdade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente riscos ambientais e escassez ecológica”. Em outras palavras, uma economia verde tem baixa emissão de carbono, é eficiente em seu uso de recursos e é socialmente inclusiva. Em uma economia verde, o crescimento de renda e emprego deve ser impulsionado por investimentos públicos e privados que reduzam as emissões de carbono e a poluição, aumentem a eficiência energética e o uso de recursos e impeçam a perda da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (PNUMA, 2011, p.17).

Essa descrição da economia verde apresentada no relatório é apenas uma das várias interpretações do termo encontradas na literatura acadêmica. O interessante dessas conceituações proposta pela ONU é que essas transformações em geral foram fruto dos diferentes contextos político-econômicos de cada momento, bem como respostas aos discursos contra hegemônicos construídos por movimentos sociais.

Em Jacobi e Sinisgalli (2012), a economia verde se fundamenta em três aspectos principais: I) baixa emissão de carbono, uso mais eficiente dos recursos naturais e inclusão social. Apesar de suas propostas se fundamentarem no documento da PNUMA,

⁶A UNEP, United Nations Environment Programme (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente –PNUMA) foi criada em 1972 na já mencionada conferência das nações unidas, ONU, sobre o meio ambiente em Estocolmo.

eles afirmam que, sob a ótica dos movimentos sociais, a economia verde é percebida como uma nova máscara para o sistema econômico atual. Embora possa aprimorar o uso dos recursos naturais, a visão capitalista de privatização da natureza continuaria inalterada. Dessa forma, a economia verde seria uma forma de eco-capitalismo⁷, destinada a converter bens comuns, como água e ar, em mercadorias passíveis de apropriação privada.

Um aspecto importante destacado por Jacobi e Sinisgalli (2012) é que a economia verde tem como objetivo principal a implementação de ações que tendem a favorecer um desenvolvimento sustentável. Em outras palavras, essa economia seria uma ferramenta para promover esse modelo de desenvolvimento. Diniz e Bermann (2012) também apoiam essa visão, explicando que a origem da economia verde está ligada ao conceito de desenvolvimento sustentável, um termo mais antigo que fundamentou essa nova abordagem. No entanto, os autores observam que ainda não existe um consenso sobre a economia verde, e a discussão continua em andamento.

A relação entre economia verde e desenvolvimento sustentável, abordada pelos autores mencionados, é igualmente ressaltada por Almeida (2012). A autora critica severamente a economia verde, argumentando que ela é apenas uma nova etiqueta para conceitos já existentes relacionados ao desenvolvimento sustentável. Almeida afirma que se trata da "reiteração de velhas ideias, sob uma nova roupagem" (2012, p. 97). Essa perspectiva é corroborada por Cechin e Pacini (2012), que compartilham uma visão semelhante, sustentando que a economia verde busca permitir que tanto países desenvolvidos quanto em desenvolvimento continuem seu crescimento econômico, sendo, portanto, uma reinterpretação de ideias anteriores. Misoczky e Böhm (2012) também concordam que há uma continuidade entre as propostas expressas na Rio 92 e da Rio + 20⁸, argumentando que, enquanto o desenvolvimento sustentável foi uma solução temporária para a exploração ambiental promovida pelo capital, a economia verde representa um ataque mais direto e radical à natureza.

⁷ O eco-capitalismo propõe que a iniciativa privada e as inovações tecnológicas podem contribuir para a solução de problemas ecológicos, ao mesmo tempo em que geram lucro. No entanto, esse modelo é frequentemente criticado por ser uma forma de commodificação da natureza, onde bens comuns, são transformados em produtos comercializáveis. Ver mais em: Pezzey, J. C. V., & Anderies, J. M. (2003)

⁸ Ambas as conferências destacaram a importância de integrar as dimensões social, econômica e ambiental do desenvolvimento, embora tenham sido criticadas por falta de ação concreta e efetiva na implementação das propostas discutidas. Rio 92, ocorreu em junho de 1992, no Rio de Janeiro. E a Rio +20, aconteceu em junho de 2012, também no Rio de Janeiro.

De todo modo, é possível inferir através das argumentações apresentadas, que economia verde procura equilibrar o crescimento econômico, a qualidade ambiental e a inclusão social. O modelo proposto defende a promoção de inovações, enfatizando a importância de políticas em vez de depender exclusivamente das dinâmicas de mercado, desafiando assim a perspectiva neoclássica liberal (ALMEIDA, 2012). Os princípios da economia verde incluem a promoção de setores com baixo índice de degradação ambiental, visando ao aumento de empregos e renda.

2.3 Debate entre economia ambiental x economia ecológica

Para dar continuidade na temática proposta, faz-se necessário tecer alguns pontos fundamentais acerca do debate entre as vertentes ambiental e ecológica sob a perspectiva econômica no intuito de fundamentar a hipótese de que a produção biogás seria uma ferramenta de desenvolvimento sustentável com raízes na economia ecológica. O debate entre economia ambiental e economia ecológica é de grande importância, pois ambas as disciplinas visam fornecer soluções para o desenvolvimento sustentável (Striani, 2020).

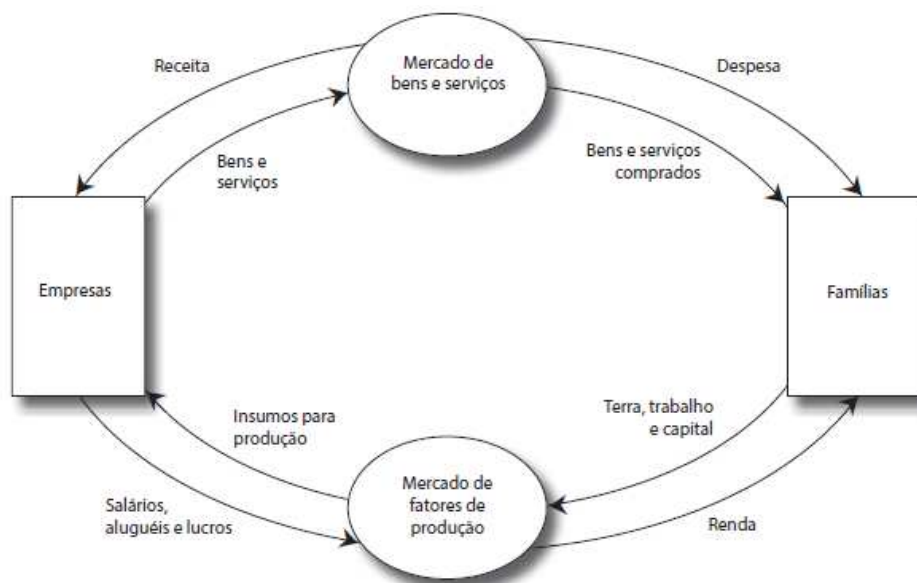
2.3.1 Economia convencional

Antes de adentrar no debate proposto, é necessário observar, mesmo que modo breve, as práticas econômicas atuais e suas implicações para o meio ambiente. A chamada economia convencional se caracteriza por ignorar a interconexão entre os sistemas ecológicos, as atividades de produção e o consumo. Para os economistas, os fluxos monetários operam em um sistema fechado, onde o dinheiro circula entre produtores e consumidores, além de empresas e indivíduos. Dentro desse modelo, o meio ambiente é tratado como uma "externalidade" (CAVALCANTI, 2010). Em Cavalcanti (2010: 68) o autor afirma:

“Na ciência da economia convencional, o meio ambiente não aparece nunca – como sugere uma consulta aos livros-texto normalmente utilizados (caso de Mankiw, 2004, o mais listado deles no mundo inteiro, atualmente). Há momentos, porém, em que falar do meio ambiente é importante no modelo. Um ajuste então se faz na forma de inclusão do meio ambiente como apêndice da economia atividade, a qual continua sendo vista como o todo dominante; nesse caso, o ecossistema possui a essência de um almoxarifado ou dispensa, podendo até ser pensado como um penduricalho”.

O trecho extraído pode parecer simplista em primeiro momento, contudo, revela cruamente o tratamento da ciência econômica convencional para com o meio ambiente. É a ciência econômica posta em prática durante séculos. Esse reducionismo para com o meio ambiente pode ser facilmente exemplificado, conforme apontado por Chechin (2010) pelo fluxo circular da renda⁹ (figura 2.1).

⁹

Figura 2.1 Fluxo circular da renda

Fonte: Chechin (2010)

Esse diagrama, em sua versão mais simplificada, ilustra a circulação de produtos, insumos e dinheiro entre empresas e famílias nos mercados de fatores de produção e de bens e serviços. As empresas produzem bens e serviços utilizando insumos classificados como trabalho, terra e capital, conhecidos como os três fatores de produção. As famílias consomem todos os bens e serviços produzidos pelas empresas, adquirindo-os nos mercados de bens e serviços. Nos mercados de fatores de produção, são vendidos os insumos necessários à produção, comprados pelas empresas. Nesse mercado, as famílias recebem salários, aluguéis e lucros como remuneração pelos fatores de produção: trabalho, terra e capital. (Chechin: 2010)

Tal alicerce epistemológico clássico no ensino da economia convencional oferece uma visão completamente equivocada de qualquer economia, tratando-a como um sistema isolado que não troca energia ou matéria com o ambiente externo. Representa apenas a circulação interna de dinheiro e bens, sem considerar a absorção de energia e

materiais, nem a liberação de resíduos. Se a economia não gerasse resíduos e não necessitasse de novas entradas de matéria e energia, ela funcionaria como um motor perpétuo, capaz de produzir trabalho indefinidamente usando a mesma energia e os mesmos materiais, funcionando como um reciclador perfeito. (Chechin: 2010)

Isto significa dizer que a Economia Convencional desconsidera, tradicionalmente, as leis da termodinâmica, especialmente o princípio da entropia, que afirma que a energia se degrada e a matéria se dispersa com o uso. Isso implica que a produção econômica não pode ser perpetuamente sustentável, uma vez que os recursos naturais são finitos e a capacidade do ambiente de absorver resíduos é limitada.

Sistemas fechados importam e exportam energia, mas não fazem o mesmo com matéria. Nesses sistemas, a matéria circula internamente sem entradas ou saídas. Em contraste, sistemas abertos trocam tanto matéria quanto energia com o meio ambiente. Sistemas isolados, por sua vez, não realizam trocas de energia ou matéria. Um exemplo de sistema isolado é o Universo, enquanto o planeta Terra exemplifica um sistema fechado. A economia, por sua vez, é um exemplo de sistema aberto¹⁰ no qual serve de entrada para materiais de qualidade, mas também como saída de resíduos. (Chechin: 2010)

Nas palavras de Cavalcanti (2010:56):

“Como explica Georgescu-Roegen (1971, p.1), os fundadores da ciência econômica tinham como única aspiração enquadrá-la nos parâmetros da mecânica. Na física, a mecânica conhece apenas locomoção, e esta, além de reversível, não contempla mudança de qualidade, o contrário do que acontece na natureza, em que prevalecem fenômenos irreversíveis. Admitir que o fluxo circular da renda seja o único aspecto que interessa da vida econômica equivale a admitir que, na economia, o que importa é o fato de que dinheiro passa de mão em mão, continuamente, e não sofre mudança qualitativa (salvo o desgaste das cédulas que o representam)”

Diante de tais constatações, é possível inferir que a saída para Economia convencional no que tange ao olhar para as questões ambientais, deu-se através dos

¹⁰ Quem primeiro mostrou que o pressuposto básico da economia convencional é incompatível com a física foi Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994). E a partir da década de 1970 a preocupação com as questões energéticas e ambientais cresceram de forma exponencial.

próprios mecanismos microeconômicos. Internalizando a questão e eventualmente desdobrando-se na criação da chamada Economia Ambiental.

2.3.2 Economia Ambiental como um desdobramento do convencional

Para compreender o tratamento da natureza na tradição ortodoxa da Economia, é crucial considerar o conceito de externalidade. Segundo Thomás e Callan (2017), as externalidades são vistas como falhas de mercado, fenômenos externos que podem ser internalizados através do sistema de preços para corrigir essas falhas. Isso reflete a visão neoclássica da Economia, onde os mercados livres, baseados no modelo do fluxo circular, são fundamentais para a alocação eficiente de recursos, eliminando ineficiências pela formação de preços (Thomás e Callan, 2017).

No contexto dessa abordagem, as soluções de mercado são consideradas notáveis porque consumidores e produtores agem de forma hedonista, buscando maximizar seu próprio interesse sem necessariamente motivações filantrópicas. Thomás e Callan (2017) afirmam que "o reconhecimento da eficiência e das implicações para o bem-estar de um equilíbrio competitivo destaca o que está em jogo quando algo perturba o funcionamento do mercado" (p. 65). No entanto, a intervenção governamental se faz necessária para corrigir essas falhas e manter o mercado próximo da condição ótima.

A persistência de problemas ambientais, de acordo com Thomás e Callan (2017), ocorre porque eles violam os pressupostos de um mercado perfeito, resultando em falhas de mercado onde os mecanismos de incentivo falham em operar eficientemente, exigindo intervenção governamental (Thomás e Callan, 2017, p. 65). A poluição é frequentemente vista como uma dessas distorções que podem surgir devido a falhas de mercado, afetando o equilíbrio ecológico.

Para lidar com essas falhas de mercado, políticas ambientais precisam identificar suas causas no sistema de formação de preços. Thomás e Callan (2017) argumentam que "encontrar as falhas do mercado subjacentes e regular as condições fundamentais permitirá que as forças de mercado trabalhem para encontrar uma solução" (p. 65). As falhas de mercado incluem informações imperfeitas, concorrência imperfeita, externalidades e a existência de bens públicos, todos desafiando o ideal de um mercado perfeito (Thomás e Callan, 2017).

Em suma, a Economia Ambiental dentro da abordagem neoclássica destaca como as falhas de mercado impactam questões ambientais, destacando a importância da intervenção governamental para corrigir distorções e promover o bem-estar social através de políticas eficazes.

2.3.3 Economia ambiental

Durante as décadas de 1960 e 1970, uma preocupação crescente com o meio ambiente começou a emergir, como mencionado anteriormente. Nesse contexto, passaram a surgir questionamentos sobre como o sistema econômico poderia auxiliar na mitigação ou resolução desse problema. A partir dessa inquietação, abriu-se espaço para o desenvolvimento da economia ambiental (BALLESTERO, 2008). Conforme afirmado por Pearce e Turner (1995), a economia ambiental busca incentivar um crescimento econômico que promova o bem-estar social e, ao mesmo tempo, preserve a quantidade necessária de recursos naturais para sustentar a economia, garantindo sua continuidade. Esses estudiosos também apontam duas diretrizes fundamentais para a sustentabilidade do sistema econômico: primeiro, o uso de recursos naturais deve respeitar os limites de regeneração dos ecossistemas; segundo a quantidade de resíduos lançados no ambiente não deve ultrapassar sua capacidade de absorção ou decomposição (Oliveira, 2017).

Para Pearce e Turner (1995), essas regras são essenciais para garantir a permanência dos recursos no ciclo econômico e para manter um padrão mínimo de vida digna. Além disso, a sustentabilidade desses recursos exige que elementos não renováveis sejam substituídos por opções renováveis, como substituir o petróleo pela energia solar, e que o uso de recursos naturais seja feito de maneira eficiente. A economia ambiental, portanto, promove a gestão adequada dos sistemas ecológicos, e, a partir da economia neoclássica, surgiu como uma subdisciplina conhecida como economia ambiental (PEARCE; TURNER, 1995; MÍGUEZ, 2002).

Contudo, Andriucci (2009) oferece uma visão diferenciada, referindo-se ao conceito de "economia ambiental neoclássica", que, segundo ela, é a corrente mais relevante derivada da economia ambiental. Para essa perspectiva, o sistema econômico deve exercer controle sobre a natureza, sendo que pesquisas para reduzir os impactos ambientais devem ser realizadas apenas quando tais efeitos afetarem negativamente a economia. Nesse sentido, observa-se uma divergência entre autores. Mesmo com essas diferenças, uma característica da economia ambiental é amplamente aceita entre estudiosos. De acordo com Cavalcanti (2010), Cavalcanti (2004), Carrasco (2008),

Naredo (2001), Míguez (2002) e Vázquez (2011), o propósito da economia ambiental é atribuir valor monetário aos recursos naturais, analisando questões ambientais sob uma perspectiva econômica. Nesse contexto, o meio ambiente é valorizado não por suas características intrínsecas, mas pelo seu valor econômico potencial (Oliveira, 2017).

Para Ballesteros (2008), a economia ambiental considera que os problemas ambientais podem ser resolvidos com a privatização dos recursos naturais. A falta de valor monetário e de direitos de propriedade dos recursos naturais resulta na sua degradação, mas, ao definir valores e proprietários, esses recursos passam a ser mais valorizados.

Na perspectiva de Fernandez (2011), a solidariedade entre gerações atuais e futuras, um princípio da sustentabilidade, não está presente na economia ambiental. Nessa abordagem, os recursos naturais só têm valor se forem úteis ao ser humano; caso contrário, não são incluídos na perspectiva econômica. Míguez (2002) concorda com essa visão, observando que a economia ambiental trata a natureza como um bem instrumental. A economia ambiental, portanto, vê os ecossistemas como "depósitos" para o capital, onde se busca recursos sempre que necessário.

Na visão de Cavalcanti (2010), a economia ambiental considera o crescimento infinito possível, visão corroborada por Ballesteros (2008), que defende que o crescimento sustentável pode ocorrer nessa perspectiva. Segundo Ballesteros (2008), a economia ambiental atua em quatro níveis:

1. Nível macroeconômico: Foca na relação entre desenvolvimento e meio ambiente, buscando promover o crescimento econômico e social junto com a proteção dos recursos ambientais, incluindo progresso tecnológico e o aprimoramento humano.

2. Nível setorial: Trata de relações internacionais e considera que empresas que investem em questões ambientais ganham competitividade no mercado global, incluindo os custos ambientais nas decisões empresariais.
3. Nível microeconômico: Acentua a responsabilidade das unidades de produção, nas quais quem polui deve arcar com os custos ambientais, incentivando a internalização de custos e a inovação tecnológica para evitar danos ambientais.
4. Nível global: Preocupa-se com desastres ambientais transfronteiriços, considerando que impactos como mudanças climáticas, desertificação, contaminação da água e perda da biodiversidade têm efeitos econômicos elevados para toda a sociedade.

Além dos níveis de atuação, Ballesterro (2008) detalha quatro ferramentas da economia ambiental: limites de contaminação estabelecidos pelo mercado, incentivos econômicos como impostos, valorização dos recursos naturais e análises de custo-benefício. A economia ambiental propõe três funções principais: valoração econômica dos recursos ambientais, avaliação econômica dos impactos negativos no ambiente e uso de instrumentos econômicos nas análises (BALLESTERO, 2008).

2.3.4 Economia Ecológica

A economia ecológica teve seu surgimento impulsionado pelas preocupações ambientais que ganharam destaque na década de 1960, mas foi na década de 1980 que essa área se consolidou como uma corrente acadêmica, sobretudo com a criação da International Society for Ecological Economics (ISEE) e da revista *Ecological Economics*, em 1988 (FERNANDEZ, 2011). Georgescu-Roegen, matemático e economista romeno, é uma referência central na economia ecológica.

Para Georgescu (1971), a economia não é um sistema isolado, como sustentam os economistas convencionais, mas sim um subsistema inserido no ecossistema. Nesse sistema, recursos materiais e energéticos são transformados em bens e serviços, que eventualmente se convertem em resíduos. Esse ciclo, que ocorre no sistema econômico, é semelhante ao metabolismo dos seres vivos, que consomem e descartam resíduos no ambiente, acelerando o processo entrópico. Em vez de criar riqueza, a economia converte recursos de baixa entropia (recursos naturais) em alta entropia (poluição e resíduos).

Ainda em concordância com Georgescu (1971), além do fluxo circular dos recursos, existe também um sistema "digestivo" que limita a economia, já que os recursos do planeta são finitos. Isso torna o crescimento econômico contínuo inviável a longo prazo. Cechin e Veiga (2010) acrescentam que Georgescu defende um processo de decrescimento voluntário, sugerindo que reduzir o consumo de recursos antes que eles se esgotem aumenta as chances de sobrevivência da economia.

Outro influente economista ecológico é Herman E. Daly, ex-aluno de Georgescu-Roegen, que, no entanto, propõe um conceito de "estado estacionário" em vez de decrescimento. Daly (2004) afirma que a economia pode continuar a se desenvolver sem precisar expandir materialmente. Ele compara essa ideia a uma biblioteca que, ao alcançar sua capacidade máxima, substitui livros antigos por novos, priorizando qualidade sobre quantidade (CECHIN; VEIGA, 2010).

Cavalcanti (2010) parte do pressuposto que a economia ecológica estuda a relação entre sociedade, natureza e economia, requerendo novas formas de uso e conservação dos recursos naturais e sugerindo uma transformação no modelo de crescimento econômico. Essa abordagem busca integrar as bases biofísicas dos sistemas naturais e econômicos, orientando-se para uma independência conectada entre eles.

Nesse sentido, a economia ecológica entende a economia como uma parte de um sistema mais amplo, que é a natureza. Essa visão é uma extensão das ideias de Georgescu e é compartilhada por diversos autores influentes no debate atual. Cabe salientar que a economia ecológica fornece uma estrutura valiosa para a gestão ambiental e a promoção da sustentabilidade, alinhando-se ao pensamento de que a sustentabilidade exige a preservação dos recursos naturais.

Portanto, é possível afirmar que a economia ecológica busca compreender a relação entre economia e meio ambiente, a fim de formular políticas que reduzam os impactos ecológicos. Essa abordagem considera todos os custos de produção, indo além do aspecto monetário, e rejeita a noção de crescimento econômico ilimitado. Para Cechin e Veiga (2010), a “escala” da economia em relação ao ecossistema define o limite ideal para o crescimento, pois o aumento do sistema econômico a partir de certo ponto traz mais custos do que benefícios para o bem-estar humano.

A economia ecológica é transdisciplinar, abrangendo áreas da ecologia, economia e outras ciências, proporcionando uma visão integrada das questões ambientais (BARKIN et al., 2012). Barkin et al. (2012) identificam três visões na economia ecológica: uma abordagem conservadora que enxerga a economia como um subsistema da natureza, uma visão crítica que contesta a sustentabilidade do sistema econômico tradicional, e uma perspectiva radical que rejeita o crescimento econômico como objetivo central.

Por fim, admite-se que economia ecológica questiona a ideia de crescimento econômico contínuo defendida pela economia convencional. Esse modelo oferece uma abordagem transdisciplinar com foco nos sistemas ecológicos e promove uma visão de sustentabilidade baseada em uma economia de escala controlada (Oliveira, 2017). A

economia verde surge como uma alternativa que une crescimento econômico e preservação ambiental, promovendo empregos "verdes" e reduzindo impactos negativos. Neste cenário, o biogás aparece como uma alternativa promissora para o desenvolvimento sustentável, ampliando a matriz energética e criando oportunidades de emprego. A análise da expansão dos empregos verdes na região Sudeste do Brasil evidencia o potencial do biogás para promover transformações econômicas e ambientais, fortalecendo uma economia sustentável.

3 BIOGÁS

Neste capítulo, abordaremos o biogás, desde sua definição e composição até suas diversas aplicações. Iniciaremos com uma introdução ao biogás, explicando sua formação a partir da decomposição de matéria orgânica e sua constituição, composta majoritariamente por metano e dióxido de carbono. Em seguida, exploraremos as principais aplicações do biogás, destacando seu potencial como fonte de energia renovável. Além disso, será analisado o panorama atual do biogás no Brasil, evidenciando o crescimento desse setor no país e os desafios enfrentados.

3.1 Biogás x Biometano

O biogás e o biometano são tipos de energia renovável produzidos pela decomposição de materiais orgânicos, como resíduos, efluentes e outras formas de biomassa. Esses recursos possuem um potencial significativo nas esferas econômica, ambiental e social. A utilização energética do biogás derivado desses materiais desempenha um papel crucial na promoção da sustentabilidade e da eficiência energética em setores econômicos importantes. O biogás é uma fonte versátil de energia renovável, e seu uso envolve a conversão da energia química nele contida. No setor energético, pode ser empregado para a geração de energia elétrica e térmica. Além disso, a possibilidade de processamento para biometano torna o biogás um recurso energético altamente flexível. Isso é especialmente relevante no contexto brasileiro, considerando a dependência do gás natural importado, a limitada rede de distribuição, o potencial de crescimento da frota de veículos movidos a gás natural e o aumento da demanda doméstica por gás (PROBIOGÁS, 2016).

Antes de avançar na definição conceitual do objeto de pesquisa tratado nesta seção da pesquisa, é de suma importância destacar, prematuramente, as diferenças entre o biogás e biometano. Ambos são relacionados, contudo possuem importantes distinções:

- 1) **Biogás:** É uma mistura de gases produzida pela decomposição anaeróbia (ausência de oxigênio) de matéria orgânica, como resíduos agrícolas, esgoto, esterco, e resíduos sólidos urbanos. Sua composição é variável, mas geralmente contém cerca de 50% a 70% de metano (CH_4), 30% a 40% de dióxido de carbono (CO_2), além de traços de outros gases, como vapor d'água, sulfeto de hidrogênio

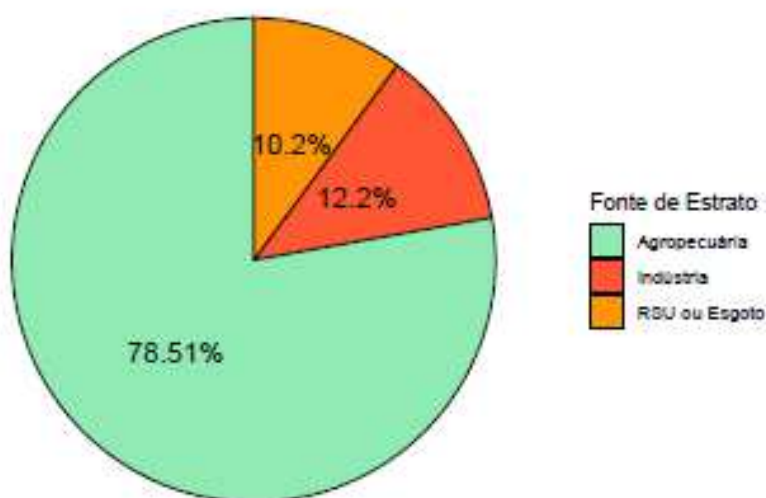
(H₂S), e nitrogênio (N₂). O biogás pode ser utilizado diretamente em processos de combustão para geração de energia térmica ou elétrica. O biogás obtido por digestão anaeróbica de resíduos orgânicos possui um teor de energia entre 20 e 25 MJ/Nm³ (4.780 a 6.000 kcal/ m³). (EPE, 2014).

- 2) **Biometano:** É o resultado do processo de purificação do biogás. Durante essa purificação, o dióxido de carbono e outros gases indesejados são removidos, deixando um produto com alta concentração de metano, geralmente acima de 95%. Devido à sua pureza, o biometano pode ser utilizado de forma semelhante ao gás natural, seja na injeção em redes de gás natural, seja como combustível veicular. (EPE, 2014).

Em suma, o biometano é uma forma refinada do biogás, com maior concentração de metano e maior valor calorífico, o que permite sua utilização em aplicações mais amplas e com maior eficiência. Tecnicamente, o nome biogás é dado a mistura gasosa, combustível, resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica. A proporção de cada gás na mistura depende de muitos parâmetros, como o tipo de biodigestor e o substrato a digerir. De qualquer maneira, esta mistura é essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono, enquanto alguns subprodutos, como amônia, sulfeto de hidrogênio e fosfatos, são liberados. O biogás pode ser proveniente de diversas formas de substratos orgânicos, como: resíduos sólidos ou líquidos, de origem rural, urbano ou industrial. (Costa, 2006)

3.1.1 Substratos para a produção de biogás

Há uma grande variedade de substratos que pode ser empregada como matéria-prima para a produção de biogás. Uma das hipóteses assumidas na introdução deste trabalho é que o biogás, para preencher todas as condições de sustentabilidade desejadas, deve ser produzido a partir de resíduos de outros processos e não com uso direto de plantas cultivadas para o fim de produzir energia. As matérias-primas potenciais são produzidas principalmente pelos setores agropecuário, sucroalcooleiro, pela indústria de alimentos, a indústria farmacêutica, o setor residencial e comercial e o setor de saneamento básico de água de esgotos.

Gráfico 3.1: Proporção de plantas por fonte de substrato

Fonte: Elaboração própria.

O gráfico de proporção acima indica que a maior parte das plantas (78,51%) utiliza substratos provenientes da agropecuária, o que demonstra a predominância de resíduos agrícolas e pecuários como matéria-prima para a produção de biogás no Brasil. A indústria contribui com 12,2% das plantas, sugerindo a utilização de resíduos industriais no processo. Por fim, 10,2% das plantas utilizam resíduos de RDU (Resíduos de Urbanos e Domésticos) ou esgoto como fonte de substrato. Isso destaca a diversidade de fontes utilizadas para geração de biogás, com predominância do setor agropecuário.

Segundo os dados da Associação Brasileira de Biogás, o Brasil se destaca como um importante produtor agrícola e alimentício, especialmente na criação e exportação de aves, suínos e bovinos. No entanto, o processo de produção e processamento de carne, em conjunto com as agroindústrias, resulta em grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos. Estes resíduos precisam ser adequadamente tratados e descartados para prevenir a degradação ambiental e a contaminação dos produtos destinados ao mercado (PASQUAL; BOLLMANN; SCOTT, 2017).

Os resíduos gerados pelas agroindústrias de suínos, bovinos e aves são bastante significativos no país, mas ainda são pouco aproveitados em larga escala para a produção

de biogás. A implementação e operação dessas práticas são principalmente afetadas pelo desenvolvimento econômico e cultural da região, além de apresentarem variações em termos de estrutura, custos e métodos de utilização (BAHRS; ANGENENDT, 2019).

Em grandes quantidades, os resíduos podem causar efeitos ambientais adversos ao solo, às fontes de água e à vegetação. No entanto, esses resíduos têm um alto potencial para a geração de biogás e conversão em energia. Eles podem ser utilizados na própria instalação onde foram produzidos (DA SILVA et al., 2019) ou em sistemas de geração distribuída (GD)¹¹.

O setor agrícola é o maior responsável pelas usinas de biogás, concentrando 78% do total em funcionamento. Em contraste, o setor industrial e o de Resíduos Sólidos e Efluentes Sanitários possuem, respectivamente, 13% e 9% das instalações. Apesar de dominar o número de usinas, o setor agropecuário contribui com apenas 11% do volume diário total de biogás (CIBIOGÁS, 2021). De acordo com os dados fornecidos pela ABRELPE (2022), 61% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, correspondendo a cerca de 46.412.091 toneladas por ano, são destinados a locais de descarte que atendem às normas ambientais, conforme definido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)¹², que considera o depósito de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários como uma forma adequada de disposição¹³ (BRASIL, 2010).

Estimativas feitas pela ABRELPE (2022) indicam que, considerando: i) um cenário onde 42.141.039,68 toneladas por ano de resíduos vêm de aterros sanitários sem aproveitamento energético e 4.271.051,32 toneladas por ano são de aterros com

¹¹ Os sistemas de geração distribuída (GD) referem-se à produção de energia elétrica próxima ao ponto de consumo, geralmente por meio de fontes renováveis, como energia solar, eólica e biogás. Esse modelo permite maior eficiência energética, redução de perdas na transmissão e menor impacto ambiental. A GD tem ganhado relevância como parte das estratégias de transição energética e sustentabilidade, sendo incentivada por políticas públicas que visam diversificar a matriz energética e descentralizar a produção elétrica (ANEEL, 2023).

¹² A lei nº 12.305/2010 é um complemento a lei nº 11.445/07 lei da política Nacional de Saneamento básico que veio para complementar e detalhar o gerenciamento dos resíduos sólidos. A PNRS é um marco legal dos resíduos sólidos, cujo objetivo é atribuir responsabilidade aos geradores e do poder público no sentido de regulamentar os instrumentos econômicos para correto direcionamento dos descartes. Ver mais em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>.

¹³ De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza pública e resíduos especiais (ABRELPE), o Brasil apresenta um potencial competitivo para a produção de biometano oriundo dos aterros sanitários, figurando assim como um dos protagonistas mundiais no setor de energia limpa.

aproveitamento energético; e ii) as metas estabelecidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), particularmente a meta 8, que visa que até 2040, mais de 60% do biogás gerado em processos de digestão anaeróbica e aterros sanitários será utilizado energeticamente, com potencial para fornecer eletricidade a 9,5 milhões de residências (BRASIL; MMA, 2022, p. 154); as emissões de gases de efeito estufa no setor de resíduos sólidos urbanos poderiam diminuir de 86.503.183,25 para 56.350.054,06 toneladas de CO₂ equivalente, resultando em uma redução de aproximadamente 35%.

Embora a utilização de aterros sanitários para geração de energia promova a sustentabilidade ambiental e ajude a avançar na agenda climática global, ainda existe um significativo desperdício do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos. De acordo com os dados mencionados, menos de 10% dos resíduos depositados em aterros sanitários no Brasil são destinados para fins energéticos (ABRELPE, 2022), o que demonstra que a contribuição dos resíduos sólidos urbanos para a matriz energética é ainda bastante limitada. Além disso, é importante notar que o Brasil depende fortemente de usinas hidrelétricas, sendo a principal fonte de energia elétrica no país a hidráulica (EPE, 2022), o que implica uma dependência das chuvas para garantir uma alta produção no setor.

Assim, a utilização de fontes alternativas de geração de energia elétrica, como o aproveitamento do biogás em aterros sanitários, seria fundamental para descentralizar a produção de energia, aumentar o uso de fontes renováveis e gerenciar resíduos sólidos urbanos com baixas emissões de gases de efeito estufa¹⁴.

3.1.2 Produção, Purificação e digestão do biogás

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico no qual a biomassa é decomposta por ação bacteriana na ausência de oxigênio, resultando na produção de um gás misto contendo metano, dióxido de carbono e outros gases em menor quantidade, conforme descrito por Demirbas (2001). A produção de biogás por meio da digestão anaeróbia de material orgânico é uma tecnologia amplamente difundida globalmente, permitindo a recuperação de energia, como mencionado por Coelho et al. (2018).

¹⁴ Há uma extensa discussão sobre as vantagens para o desenvolvimento de projetos para a expansão do biogás e biometano proveniente de aterros sanitários, contudo, existem inúmeras barreiras e entraves para a difusão desse processo. Ver mais em: Teixeira et al., 2024. Acesso: [PRFol_216049_TD n. 159_A hora do biometano no Brasi.pdf](#).

Esse processo é complexo devido à diversidade e interações dos microrganismos envolvidos, sendo crucial compreender as interações dos diferentes biomas presentes no processo de biometanização para manter o desempenho do sistema, como ressaltado por Luo (2016). A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos segue quatro etapas metabólicas sequenciais (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese), sendo conduzida por diferentes microrganismos em cada etapa, incluindo bactérias, arqueias, fungos e protozoários (Coelho et al., 2018).

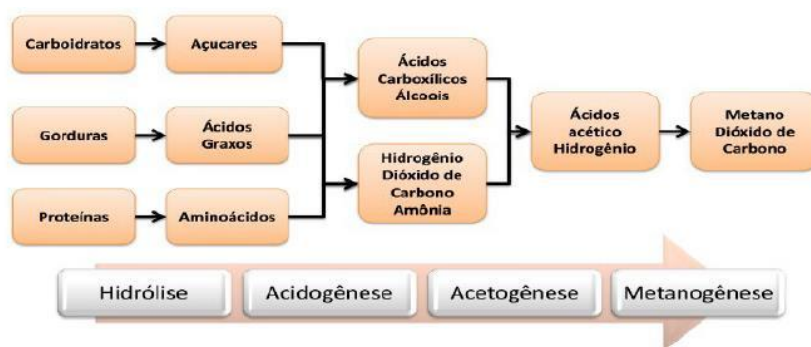
Na digestão anaeróbia, o processo se inicia com a hidrólise, considerada o primeiro passo, no qual proteínas, gorduras e polímeros de carboidratos são decompostos em ácidos graxos mais simples, resultando na formação de aminoácidos, açúcares, ácidos graxos e compostos insolúveis de celulose (Abbasi, Taussef e Abbasi, 2012; Siddiki et al., 2021).

A acidogênese é a segunda etapa do processo, na qual ocorre a formação de ácidos voláteis de cadeia curta (Coelho et al., 2018). Nesse estágio, os produtos solúveis em água são degradados em ácidos orgânicos de cadeia curta, álcoois, aldeídos, amônia, dióxido de carbono e hidrogênio, que são elementos intermediários essenciais para a produção de metano (Siddiki et al., 2021).

A acetogênese representa a terceira etapa, na qual os produtos da fase anterior são oxidados, resultando na produção de dióxido de carbono, hidrogênio e ácido acético (Abbasi, Taussef e Abbasi, 2012).

Por fim, na quarta fase, denominada metanogênese, o ácido acético e o hidrogênio formados na etapa de acetogênese são convertidos em metano pelos microrganismos metanogênicos (Stams e Plugge, 2009).

Figura 3.1 – Fluxograma do processo de digestão anaeróbica



Fonte: EPE 2014

Quanto a pureza do biogás é fundamental para determinados usos, uma vez que a presença de certos componentes residuais pode afetar seu desempenho (Andriani et al., 2014). A purificação do biogás envolve a remoção de contaminantes e impurezas como sulfeto de hidrogênio, vapor de água, siloxanos e compostos orgânicos voláteis, dependendo da origem do biogás (Irena, 2018). O biogás possui ponto de ignição de 700°C e poder calorífico de 5,0 a 7,5 kWh/m³, pode ser utilizado em aplicações semelhantes ao gás natural, mas requer purificação para remover componentes nocivos e atender a exigências específicas de algumas aplicações (Demirbas, 2009; Iclei, 2010). Para utilização em caldeiras, microturbinas e motorgeradores, apenas os processos de desumidificação, dessulfatização e controle de impurezas se fazem necessários, pois cada aplicação tem sua característica (Coelho et al., 2018)

O Quadro 3.1 mostra que os compostos devem ser removidos do biogás, de acordo com as aplicações usuais.

Quadro 3.1: Necessidade de remoção de elementos do Biogás

Aplicação	H ₂ S	CO ₂	H ₂ O
Microturbinas	10.000 ppm	Não	Sim
Motores combustão interna	545-1742 ppm	Não	Sim
Caldeiras	<250 ppm	Não	Não
Combustível veicular	5 ppb	Recomendável	Sim
Rede de gás natural	2 -15 ppb	Sim	Sim

Fonte: Kunz, Steinmetz e Amaral (2022).

Conforme explicado por Ryckebosch et al. (2011), o tratamento do biogás tem como objetivo limpar e purificar o biogás para remover componentes prejudiciais, ajustar o valor calorífico e a densidade relativa, levando em consideração o índice de Wobbe¹⁵. No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é responsável por definir a composição do biometano para garantir sua compatibilidade com o gás natural (GN).

3.1.3 Aplicações energéticas do biogás

O biogás possui diversas formas de utilização para atender às demandas locais. Durante os anos 90, no Brasil, o modelo predominante de aproveitamento do biogás era a queima em “flare”¹⁶, sem gerar energia, e a contabilização dos créditos de carbono (Lopes, 2002). As principais formas de aplicação do biogás incluem a geração de calor, a produção de energia elétrica para consumo próprio ou venda do excedente, a geração combinada de calor e energia e a substituição de combustível em veículos (Hakawati, 2017). Podendo também ser utilizado como substituto do GLP¹⁷ (Dey e Thonson, 2022).

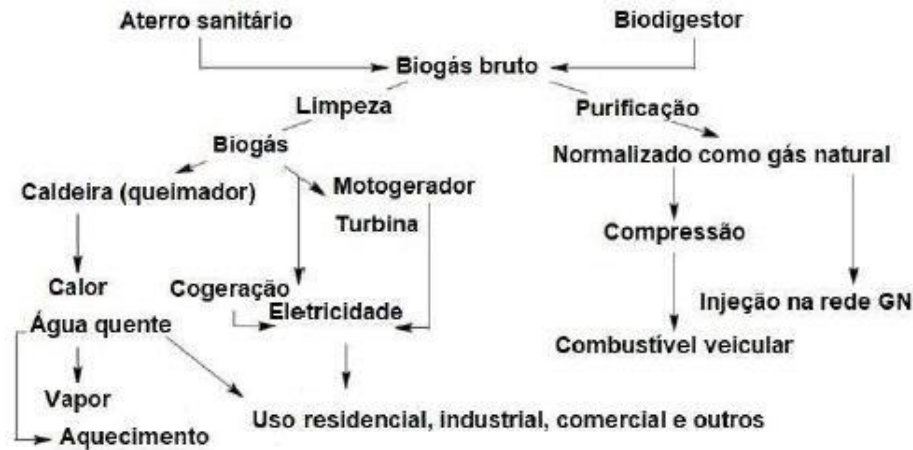
¹⁵ O índice de Wobbe é um fator importante para garantir que o biometano possa ser utilizado em equipamentos que trabalham com gás natural. Ele mede a relação entre o poder calorífico e a densidade do gás. De acordo com a ANP, o índice de Wobbe do biometano deve estar entre 40 e 53 MJ/m.

Ver mais em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/ee/78/ee78f794-84fc-4b8b-8aec-5ce5be3c74f0/estudo_especificacao_do_gas_natural_new.pdf.

¹⁶ A queima em flare é um processo utilizado principalmente na indústria de petróleo e gás para a combustão controlada de gases residuais e excedentes, resultantes de operações de extração, processamento e transporte. Esse método é empregado para evitar a liberação direta de gases poluentes e perigosos na atmosfera, especialmente em situações de segurança, quando a pressão ou a composição dos gases precisa ser aliviada. Embora a queima em flare ajude a prevenir riscos, ela ainda gera emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e outros poluentes atmosféricos. Estudos indicam que a queima em flare contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa, levando a debates sobre sua eficácia e alternativas mais sustentáveis para o manejo de gases industriais (Silva, 2021; International Energy Agency, 2020)

¹⁷ O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) é uma mistura de hidrocarbonetos, principalmente propano e butano, que é extraído de reservatórios de petróleo e gás natural. Utilizado como combustível para cozinhar, aquecer ambientes e em processos industriais, o GLP é armazenado sob pressão em estado líquido, facilitando o transporte e a distribuição (ANP, 2023).

Figura 3.2 – Utilização do Biogás



Fonte: Adaptado de Al Seadi et al. (2008)

De acordo com Sun (2015), o biogás apresenta uma variedade de usos potenciais, tais como a produção direta de calor em fogões e caldeiras, a ativação de motores de combustão interna para gerar eletricidade (motogeradores), o emprego de turbinas e microturbinas a gás na geração de energia elétrica, a combinação de produção de eletricidade e calor em sistemas Combinados de Calor e Energia (CHP), a purificação do biogás para produzir biometano para ser injetado em redes de gás natural, a utilização como combustível em veículos e a aplicação em células de combustível.

Iclei (2010) sugere que o biogás, através de tecnologias apropriadas, pode ser utilizado para aquecimento, geração de vapor, secagem de matérias, iluminação de vias e espaços públicos, além de geração de energia elétrica e movimentação.

Segundo Coelho et al. (2018), o biogás purificado para biometano pode ser utilizado na produção de hidrogênio através do processo de reforma, mas esta tecnologia ainda se encontra em fase de desenvolvimento, não estando pronta para aplicação comercial.

A aplicação de biogás mais utilizada no Brasil é a produção de energia elétrica, com 86% do número total de plantas em operação, consumindo cerca de 2,08 bilhões de Nm³/ano, o que equivale a aproximadamente 72% do total de biogás produzido no país (Cibiogás, 2023).

A predominância do uso para a produção de eletricidade está relacionada a questões financeiras e à limitada extensão da rede de gás natural no Brasil, o que restringe a injeção de biometano a determinadas áreas (Coelho et al., 2018).

Tabela 3.1 – Número de plantas de biogás em operação

Principal aplicação	Agropecuária	Indústria	Saneamento	Total
Elétrica	647	37	79	763
Mecânica	6	0	0	6
Térmica	29	63	4	96
Biometano	4	8	8	20
Total	686	108	91	885

Fonte: CIBIOGAS (2023)

A matriz energética brasileira é composta majoritariamente por fontes não renováveis, cerca de 55,3% e 44,7% da energia é proveniente das fontes renováveis, sendo a participação do biogás apenas 1,4% (BEN, 2022). Ou seja, o potencial energético da biomassa é pouco explorado atualmente no país, apesar de ser uma fonte alternativa de energia limpa, além de contribuir para preservação ambiental, reduzir o consumo de fontes fósseis de energia e auxiliar na geração de renda (FREITAS et al., 2019; FERREIRA et al., 2018).

Desde 2012, o Brasil inclui o biogás como uma forma de geração distribuída (GD) de acordo com a regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015). Como pode ser observado na figura 4 abaixo, as aplicações energéticas do biogás são diversas e abrangem várias áreas, aproveitando sua capacidade de gerar energia de forma sustentável. Algumas das principais aplicações incluem:

1. Geração de Energia Elétrica: O biogás pode ser utilizado em motores a combustão, microturbinas ou células a combustível para produzir eletricidade. Essa

energia pode ser usada localmente, em instalações agrícolas e industriais, ou injetada na rede elétrica, contribuindo para a diversificação da matriz energética.

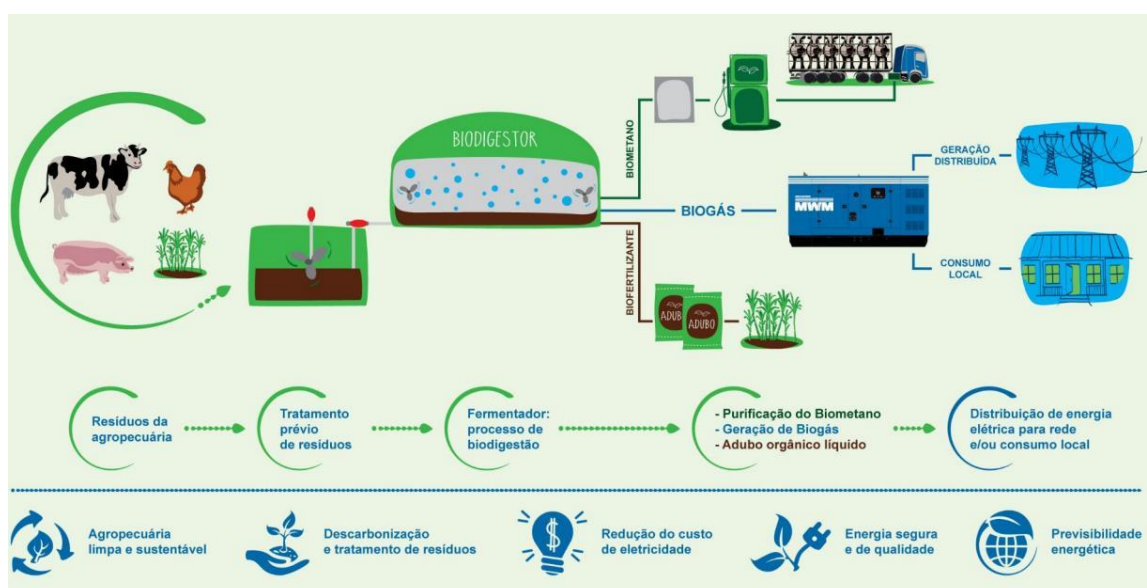
2. Produção de Calor e Cogeração: O biogás pode ser queimado para produzir calor, que é útil em processos industriais, aquecimento de ambientes ou aquecimento de água. Na cogeração, o biogás é utilizado para gerar simultaneamente eletricidade e calor, aumentando a eficiência energética total do processo.

3. Biometano: Quando o biogás passa por processos de purificação, onde os contaminantes e o dióxido de carbono são removidos, ele se transforma em biometano. Esse biocombustível renovável pode ser usado de forma semelhante ao gás natural, seja para veículos movidos a gás (como ônibus e caminhões), seja para injeção na rede de distribuição de gás natural.

4. Uso como Combustível para Veículos: O biometano pode ser utilizado como combustível para veículos adaptados, especialmente no transporte público e em frotas de empresas, promovendo a redução de emissões de gases poluentes em comparação aos combustíveis fósseis tradicionais.

5. Injeção na Rede de Gás Natural: O biometano purificado pode ser injetado na rede de distribuição de gás natural, ampliando a oferta de gás renovável e sustentável e ajudando a substituir fontes fósseis na matriz energética.

Figura 3.3 - Fluxo do Biogás



Fonte: GEF Biogás Brasil, 2023.

3.2 Panorama do biogás no Brasil

A trajetória do biogás no Brasil ilustra sua relevância como uma alternativa energética capaz de promover o desenvolvimento sustentável e contribuir para a economia verde. Com origens que remontam aos esforços de diversificação energética na década de 1970, o biogás evoluiu de uma resposta às crises do petróleo para uma solução estratégica na mitigação das emissões de gases de efeito estufa e na substituição de combustíveis fósseis, conforme aponta (Martinez et al., 2021).

Observar a evolução do setor é essencial para entender a cadeia de valor do biogás, que abrange desde a produção e processamento da biomassa até a geração de energia e biocombustíveis, permitindo explorar seu potencial de transformar resíduos em recursos, reduzir impactos ambientais e gerar benefícios econômicos para comunidades e indústrias.

O impulso ao uso do biogás no Brasil começou na década de 1970, em resposta aos choques no preço do petróleo promovidos pela Opep, já que o país dependia fortemente de importações para atender sua demanda energética. O governo lançou iniciativas como o Projeto de Difusão do Biogás, executado pela Emater, para promover a energia alternativa. Contudo, a falta de mão de obra especializada e de equipamentos adequados dificultou o progresso do programa, limitando a eficácia e a durabilidade dos biodigestores (KARLSSON et al., 2014) (Milanez et al., 2021).

Nos anos 1980, com o Programa de Mobilização Energética, o governo incentivou a construção de biodigestores, mas problemas técnicos e falta de conhecimento resultaram em baixa eficiência e elevados custos. A Emater do Paraná estimou cerca de três mil biodigestores em operação em 1984, mas as dificuldades para manter o uso do biogás, somadas à falta de confiança nos sistemas, levaram ao abandono gradual dessa tecnologia (CIBIOGÁS, 2020) (Milanez et al., 2021).

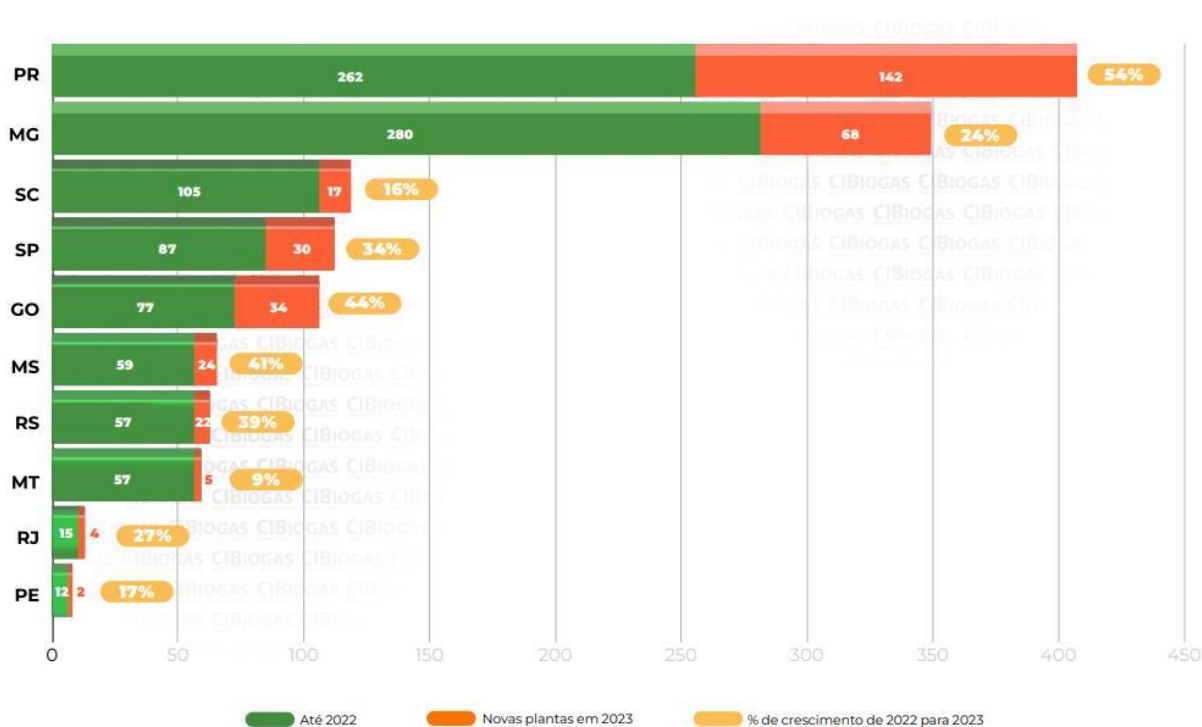
O interesse pelo biogás foi retomado na década de 1990, impulsionado pela crescente preocupação ambiental com as mudanças climáticas e o aquecimento global. A queima de biogás, incluída em projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, ajudava a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), embora o biogás nem sempre fosse usado para gerar energia. Mesmo com essa abordagem, a falta de integração dos produtores rurais e a inviabilidade econômica levaram ao novo declínio do uso da

biodigestão (MARIANE, 2018; MILANEZ et al., 2018). A produção de biogás, no Brasil, mais que duplicou nos últimos cinco anos. Ao todo, foram produzidos 2,88 bilhões de m³/ano, para aproveitamento energético, em 2023, um crescimento de 110% em relação aos volumes de 2018, de acordo com levantamento de mercado do Centro Internacional de Energias Renováveis e Biogás (CIBiogás). (Milanez et al., 2021)

3.2.1 Dados biogás no Brasil

O número de plantas em operação, no país, totalizou 885 unidades no ano passado, um aumento de 15% – ou 114 novas plantas – na comparação com 2022. Apesar do crescimento, o mercado brasileiro de biogás ainda dá seus primeiros passos: o volume produzido em 2022 representa cerca de 26% do potencial de curto prazo.

Gráfico 3.2 - N° de plantas nos 10 estados mais significativos



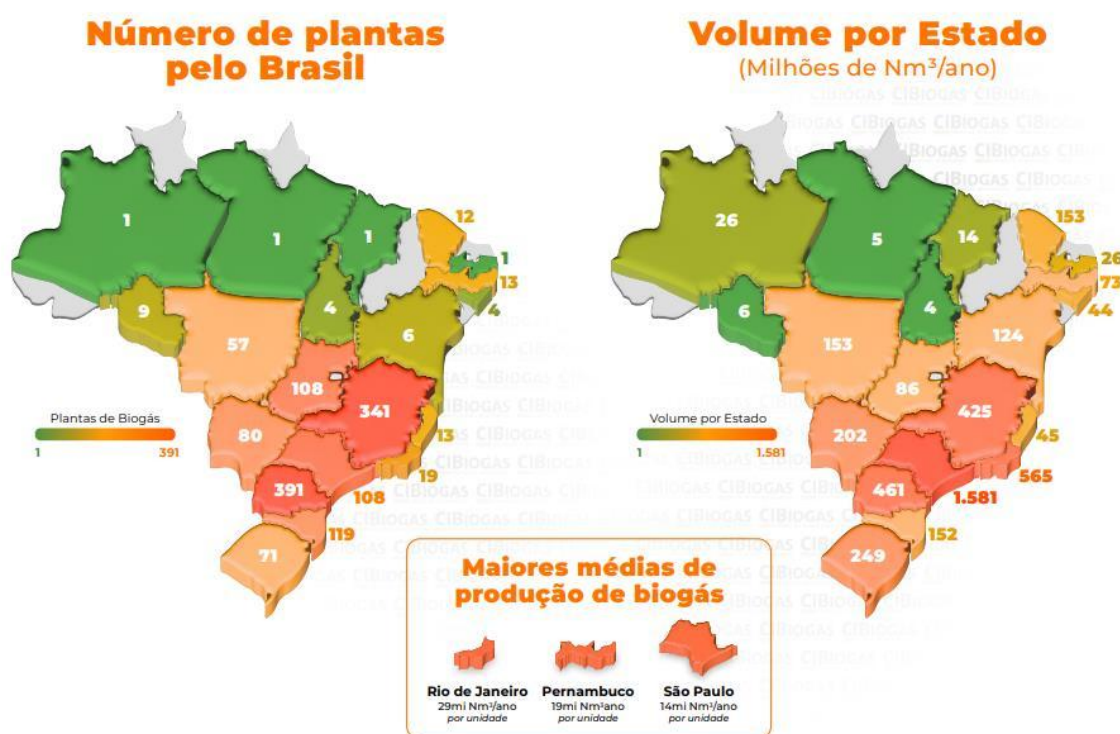
Fonte: CIBiogás 2023.

Como pode ser observado no gráfico 3.2, os estados são classificados por ordem de número de plantas, e os mais significativos geralmente são aqueles com

maior atividade agrícola e pecuária, ou com políticas públicas mais favoráveis ao uso de energias renováveis. Estados como Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo tendem a liderar em número de plantas, devido à forte presença do setor agropecuário e agroindustrial, onde os resíduos de produção podem ser utilizados para gerar biogás.

Com o início da operação das plantas que atualmente estão em fase de implementação e reformulação, a previsão é que ocorra um acréscimo de cerca de 574 milhões Nm³/ano de biogás, o que corresponde a um crescimento de aproximadamente 20% na produção nacional.

Figura 3.4 N° plantas x Volume produzido por UF's.



Fonte: CIBiogás 2023.

O número de plantas de biogás no Brasil e o volume de biogás produzido por estado nem sempre seguem uma correlação direta, conforme pode ser observado na figura 3.4. Estados com mais plantas de biogás podem não ser necessariamente os que produzem

o maior volume, pois o tamanho e a capacidade de cada planta variam significativamente. Em estados como Paraná, São Paulo e Santa Catarina, há uma maior concentração de plantas de biogás, em grande parte devido à presença de indústrias agrícolas e pecuárias que geram resíduos orgânicos em grande quantidade. Isso faz com que esses estados tenham mais instalações para processamento de biogás. (CIBiogás, 2023)

Por outro lado, o volume de biogás produzido depende do tipo de resíduo processado e da eficiência das plantas. Estados com menos plantas, mas com instalações de maior capacidade ou tecnologia avançada, podem produzir volumes comparáveis ou até superiores. (CIBiogás, 2023)

Em conclusão, é possível inferir que o biogás, com suas propriedades naturais versáteis, múltiplas fontes de substratos e diversas aplicações energéticas, representa uma oportunidade significativa para o Brasil ampliar sua exploração nesse segmento. O crescimento exponencial do setor reflete o potencial do biogás em agregar valor à cadeia produtiva, promovendo a transformação gradual da matriz energética nacional e contribuindo para os objetivos de mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Ao aproveitar essas características e expandir a infraestrutura necessária, o país pode acelerar a transição para uma economia mais sustentável e verde, aproveitando o biogás como um pilar estratégico na busca pelo desenvolvimento sustentável e pela segurança energética.

4 – EMPREGO VERDE

Neste capítulo, será explorado a temática do emprego verde, um conceito emergente que busca aliar a geração de empregos à promoção da sustentabilidade ambiental. O conceito de emprego verde será analisado, abordando como essas noções contribuem para a preservação dos recursos naturais e a mitigação das mudanças climáticas. Será examinado as diferentes classificações de emprego verde fornecidas por organismos internacionais, como a Organização Internacional do Trabalho (OIT), o Sistema de Classificação de Atividades Econômicas dos Estados Unidos (NAIC) e a Classificação Estendida de Produtos e Atividades (CEPA). Além disso, o capítulo oferecerá uma visão de como os dados relacionados ao emprego verde se comportaram nos estados do Sudeste do Brasil entre 2006 e 2022, evidenciando as tendências do ponto de vista regional. Esta análise fornecerá uma compreensão abrangente de como o emprego verde está evoluindo e quais são suas implicações para o desenvolvimento sustentável na região.

4.1 Conceito e definições

O conceito de Empregos Verdes surgiu em 2007 através da colaboração entre o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a Organização Internacional do Trabalho (OIT) e a Confederação Sindical Internacional (CSI). No ano seguinte, a Organização Internacional dos Empregadores (OIE) também passou a adotar o termo. Empregos verdes são caracterizados pela promoção da preservação ambiental por meio de novas abordagens no mercado de trabalho, com a economia verde agindo em prol da redução gradual dos impactos ambientais.

Na literatura sobre a temática, o emprego verde é constantemente associado a noção de emprego decente. A OIT definiu o emprego decente¹⁸ em 2009 como aquele que oferece melhores oportunidades para que tanto mulheres quanto homens

¹⁸ Segundo o IPEA, o conceito de trabalho decente se apoia em quatro pilares: os direitos e princípios fundamentais do trabalho, a promoção do emprego de qualidade, a extensão da proteção social e o diálogo social. Ver https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=802%3Acatid%3D28#:~:text=%C3%89%20trabalho%20adequadamente%20remunerado%2C%20exercido,social%20e%20o%20di%20logo%20social.

possam desempenhar atividades produtivas em condições de dignidade, igualdade, segurança e respeito humano. Esse tipo de emprego atende às aspirações profissionais das pessoas, abrangendo oportunidades e salários justos, direitos, participação e reconhecimento, equilíbrio entre vida profissional e pessoal, crescimento individual, justiça e igualdade de gênero.

O conceito de Empregos Verdes, que fundamenta a Iniciativa Empregos Verdes da OIT¹⁹, busca integrar as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental. No entendimento de Bonelli e Lazzareschi (2016), os Empregos Verdes permitem aumentar a eficiência no consumo de energia e matérias-primas, limitar as emissões de gases de efeito estufa, minimizar resíduos e poluição, proteger e restaurar ecossistemas e contribuir para a adaptação às mudanças climáticas. Neste contexto, é nítida a tentativa de acelerar a transição para uma economia descarbonizada e ecológica, que não só pode ajudar a mitigar as mudanças climáticas, mas também funcionar como um motor de crescimento ao gerar numerosos empregos verdes em diversos setores, tendência já observada tanto em países desenvolvidos quanto em economias emergentes.

Sugahara (2012) aponta que, embora não existam parâmetros sólidos e amplamente reconhecidos que provem que negócios sustentáveis são mais lucrativos, diversos estudos e evidências sugerem que a "economia verde" tem impulsionado o crescimento dos empregos verdes. Para a OIT, empregos verdes são definidos como aqueles que refletem as transformações nas economias, empresas, ambientes de trabalho e mercados laborais em direção a uma economia sustentável com baixa emissão de carbono. Esses empregos ajudam a mitigar o impacto ambiental das empresas em diversos setores, reduzindo a necessidade de energia e matérias-primas, prevenindo emissões de gases de efeito estufa, e diminuindo resíduos e poluição. Além disso, contribuem para a restauração de serviços ecossistêmicos como água limpa e proteção da biodiversidade. Empregos verdes podem surgir em todos os

¹⁹ A Iniciativa Empregos Verdes da Organização Internacional do Trabalho (OIT) é um programa que tem como objetivo promover a transição para uma economia sustentável, a igualdade e as oportunidades. A iniciativa busca envolver governos, trabalhadores e empregadores em um diálogo sobre políticas e programas que criem uma economia favorável ao meio ambiente. Ver mais em: <https://www.ilo.org/>.

setores e regiões, abrangendo desde trabalhos manuais até os mais especializados (Sugahara, 2010).

4.2 Classificações

A Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e a Classificação Estendida de Produtos e Atividades (CEPA) fornecem uma estrutura essencial para entender a diversidade de empregos verdes. A CNAE, por exemplo, categoriza atividades que incluem a gestão de resíduos, a energia renovável e a eficiência energética, que são cruciais para o desenvolvimento sustentável. Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) Contínua, “o crescimento dos empregos verdes nas regiões metropolitanas do Sudeste reflete uma mudança significativa nas prioridades econômicas e ambientais” (IBGE, 2022). Este crescimento é evidente em setores como a energia solar e a gestão de resíduos sólidos, que têm visto um aumento na demanda por profissionais qualificados.

4.2.1 Eurostat

Conforme Bakker e Young (2011), a classificação elaborada pelo Eurostat – Escritório Estatístico da União Europeia – a Classificação de Atividades de Proteção e Despesas Ambientais (em inglês, "Classification of Environmental Protection Activities and Expenditures", CEPA, 2000) organiza atividades, produtos, despesas correntes e outras transações relacionadas à proteção ambiental. O objetivo da CEPA (2000) é estabelecer uma estrutura estatística ambiental para os países da União Europeia.

As atividades de proteção ambiental são definidas pela Eurostat (2020) como atividades econômicas destinadas a prevenir, reduzir ou eliminar a poluição ou qualquer outra degradação ao meio ambiente, além de medidas para restaurar o meio ambiente após a degradação. Os produtos de proteção ambiental, por sua vez, correspondem a bens e serviços projetados e produzidos para fins de proteção ambiental e produtos adaptados para serem “mais limpos”. Os gastos com proteção ambiental estão relacionados a gastos com atividades e produtos ambientais, englobando: i) insumos para atividades de proteção ambiental; ii)

investimentos; iii) despesas das famílias com produtos de proteção ambiental; e iv) transferências para proteção ambiental.

No que diz respeito à estrutura da classificação, o primeiro dígito da CEPA indica as classes ambientais, que variam de 1 a 9. O segundo e o terceiro dígito são usados para detalhar a classificação dentro dessas classes. Os países devem ajustar-se a essa estrutura conforme suas prioridades de política pública e a disponibilidade de dados.

4.2.2 OIT

Ainda em conformidade com Bakker e Young (2011), O relatório sobre empregos verdes para o Brasil, elaborado pela Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2009), visa abordar os riscos das mudanças climáticas, proteger o meio ambiente natural e assegurar um trabalho decente com foco no bem-estar. De acordo com o relatório, para alinhar o crescimento econômico e o desenvolvimento com a estabilização climática e um padrão ambiental sustentável, será necessário adotar uma mudança radical em direção a um desenvolvimento limpo e economias verdes com baixas emissões de carbono globalmente. O relatório observa que, em muitos casos, os custos ambientais e de saúde já superam os benefícios econômicos gerados.

A OIT define “empregos verdes” como aqueles que minimizam o impacto ambiental de empresas e setores econômicos a níveis sustentáveis, contribuindo para a preservação ou recuperação da qualidade ambiental (OIT, 2009). No entanto, o conceito de emprego verde não é absoluto, apresentando várias “nuances” e evoluindo ao longo do tempo. Além disso, evidências mostram que empregos verdes não garantem necessariamente condições de trabalho decentes, como no setor de reciclagem, onde as condições podem ser precárias. Portanto, o relatório destaca a importância de associar emprego verde a trabalho decente, que é definido como promover oportunidades para que mulheres e homens tenham atividades produtivas em condições de liberdade, igualdade, segurança e dignidade. Trabalho decente atende às aspirações das pessoas em termos de oportunidades, renda, direitos, participação, reconhecimento, estabilidade familiar, desenvolvimento pessoal, justiça e igualdade de gênero (OIT, 2009).

A análise da OIT (2009) divide as atividades econômicas em dois grupos. O primeiro grupo abrange atividades que reduzem os gases de efeito estufa e preservam a qualidade ambiental, incluindo seis setores: produção e manejo florestal; geração e distribuição de energia renovável; saneamento, gestão de resíduos e riscos ambientais; manutenção, reparação e recuperação de produtos e materiais; transportes coletivos e alternativos aos rodoviários e aeroviários; e telecomunicações e teleatendimento. O segundo grupo inclui atividades extrativistas e dependentes da qualidade ambiental, com quatro setores: extração mineral e indústrias de base; construção, comercialização, manutenção e uso de edifícios; agricultura, pecuária, caça, pesca e aquicultura; e turismo e hotelaria.

4.2.3 NAICS

Na ausência de uma classificação americana específica para atividades verdes, o Federal Register designou ao Bureau of Labor Statistics (BLS) a tarefa de categorizar as atividades econômicas com potencial verde, permitindo o monitoramento estatístico dos impactos das políticas ambientais sobre empregos verdes. Para alcançar isso, o BLS utilizou o método de identificar, dentro de cada setor do Sistema de Classificação da Indústria Norte-Americana (NAICS), os produtos (bens e serviços) que são considerados verdes, agrupando-os conforme sua função e setor dentro da economia verde.

O Bureau of Labor Statistics (BLS) adota duas metodologias diferentes. A primeira é a abordagem de produto, que identifica os estabelecimentos que fabricam bens e serviços verdes e contabiliza os empregos gerados. A segunda é a abordagem de processo, que identifica estabelecimentos que utilizam práticas ambientalmente corretas em sua produção e contabiliza os empregos relacionados (Federal Register, 2010). A abordagem de produto foca nos empregos associados à produção de bens e serviços específicos, sem levar em conta o impacto ambiental dos processos produtivos. Em contraste, a abordagem de processo enfatiza a introdução de medidas para mitigar impactos ambientais dentro do processo produtivo. Essa abordagem é aplicável a todas as indústrias e cada uma requer estratégias distintas para contabilizar o número de empregos criados. O BLS analisa os dados de empregos de acordo com os setores definidos pelo NAICS e procura identificar empregos verdes potenciais com base nas atividades verdes observadas no NAICS.

Utilizando o Sistema de Classificação da Indústria Norte-Americana (NAICS), o BLS define dois tipos principais de agrupamento: um baseado nas funções das atividades e outro que identifica os setores verdes. O BLS classifica as atividades que produzem bens verdes em quatro funções principais:

- I) Bens e serviços verdes diretos: atividades que estão diretamente ligadas à proteção e manutenção ambiental, como cultivo de produtos agrícolas orgânicos e manejo florestal certificado.
- II) Bens e serviços verdes indiretos: atividades que utilizam recursos naturais para criar outros produtos, como a indústria que transforma produtos agrícolas orgânicos ou fabrica bens a partir de recursos naturais.
- III) Insumos especializados para a produção de bens e serviços verdes: inclui recursos como tecnologia, equipamentos ou matérias-primas usadas no processo produtivo para reduzir impactos ambientais, como a produção de adubo orgânico ou filtros de gás para minimizar a poluição.
- IV) Distribuição de bens e serviços verdes: abrange a cadeia logística responsável pela comercialização de bens e serviços verdes diretos e indiretos. (BAKKER E YOUNG, 2011)

O BLS organiza as atividades econômicas em setores "verdes" da seguinte forma:

- I) Energias renováveis: pesquisa e desenvolvimento (P&D), produção e distribuição de energia a partir de fontes renováveis, como hidrelétrica, eólica, solar, geotérmica e biocombustíveis.
- II) Eficiência energética: P&D, implementação de tecnologias e práticas para conservar energia, como a produção de produtos ecoeficientes e a melhoria da eficiência energética em processos produtivos.
- III) Redução de gases de efeito estufa (GEE): P&D e aplicação de tecnologias e métodos para reduzir GEE, além da geração de energia nuclear e mitigação das emissões de GEE na produção de energia com combustíveis fósseis.
- IV) Redução da poluição e limpeza: P&D e aplicação de tecnologias para reduzir a emissão de poluentes e remover resíduos e poluentes do meio ambiente.
- V) Reciclagem e redução de resíduos: P&D e implementação de práticas para a coleta e reciclagem de efluentes líquidos e águas poluídas.

- VI) Agricultura e conservação de recursos naturais: P&D e adoção de tecnologias para reduzir os impactos ambientais da produção agrícola, como a conservação do solo e da água e o manejo sustentável das florestas.
- VII) Educação, conscientização pública e treinamento: atividades voltadas para a regulamentação ambiental, treinamento na aplicação de tecnologias e práticas verdes. (BAKKER E YOUNG, 2011)

4.3 Atividades econômicas

Na Figura 4.1, podemos observar o agrupamento de atividades econômicas que podem incorporar novos padrões de produção e serem direcionadas para atividades verdes, destacamos: Extração mineral e indústria de base, Construção, comercialização, manutenção e uso de edifícios, Agricultura, pecuária, caça, pesca e agricultura e por fim, turismo e hotelaria.

Tabela 4.1 Atividades econômicas

AGRUPAMENTOS DE ATIVIDADES ECONÔMICAS	2006	2007	Var.%	2008	Var.%
Extração mineral e indústrias de base	414.851	432.537	4,26	457.335	5,73
Construção, comercialização, manutenção e uso de edifícios	2.224.376	2.500.829	12,43	2.861.913	14,44
Agricultura, pecuária, caça, pesca e agricultura	1.280.118	1.036.927	-19,00	1.328.376	28,11
Turismo e hotelaria	998.662	1.075.573	7,70	1.162.645	8,10
Totais anuais de empregos oferecidos nessas atividades	4.918.007	5.045.866	2,60	5.810.269	15,15
Estoques anuais de empregos formais (E.F.)	35.155.249	37.607.430	6,98	39.441.566	4,88
Diferenças entre as taxas de crescimento do emprego			-4,38		10,27
Participação dessas atividades nos estoques de E.F. (%)	13,99	13,42	-4,09	14,73	9,79

Fonte: OIT Brasil, 2009

Esses quatro tipos de atividades econômicas não são totalmente “verdes”, apesar de gerarem muitos novos Empregos Verdes ao adotar padrões mais sustentáveis na produção de bens e serviços. Isso ocorre porque, além de serem grandes empregadores, essas atividades são também grandes emissores de carbono e consomem vastamente energia e recursos ambientais, que nem sempre são renováveis. O impacto ambiental desses processos de produção é negativo para o meio ambiente, mesmo com tentativas de mitigação através de práticas mais verdes. Os empregos criados para atender essas demandas só serão considerados verdes se também oferecerem condições de trabalho decente.

No Brasil, 20 dos 35 setores foram classificados como parcialmente verdes, e há iniciativas que promovem a inclusão de trabalhadores verdes, como o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), a Etiqueta de Eficiência Energética em Edificações do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal (CEF), promovidos pelo Governo Federal. Além disso, o conceito de empregos verdes abrange três aspectos interligados, buscando uma integração sustentável entre o mercado de trabalho, a produção de energia e as questões ambientais.

~

4.3.1 Classificação Brasil

Com o intuito de dar seguimento a temática proposta na presente pesquisa, faz-se necessário mencionar pelo tipo de classificação como forma de critério para a análise dos dados que será exposta no capítulo 4. Em concordância com Bakker e Young (2021), a CEPA apresenta a caracterização de emprego verde mais adequada dado o viés setorial. Diante disso, fora extraído da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) os grupos de atividades relacionados à preservação ambiental ou que dependem de medidas intrassetoriais, tecnológicas, no processo produtivo, para minimizar os impactos ambientais. Contudo, como pode ser observado nas conceituações e classificações expostas, ainda existem muitos debates e dificuldades na conceituação do Emprego verde.

4.4 Emprego verde no Sudeste brasileiro

O panorama do emprego verde no Sudeste do Brasil reflete uma tendência crescente em direção à sustentabilidade e ao desenvolvimento econômico inclusivo. Segundo o Relatório da Organização Internacional do Trabalho (OIT), o emprego verde é caracterizado por funções que contribuem para a proteção do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida das gerações futuras. O Sudeste, como um dos centros econômicos mais robustos do país, tem visto um aumento significativo em ocupações verdes, impulsionado por políticas estaduais e iniciativas privadas voltadas para a economia circular e a redução de emissões.

De acordo com o relatório “Green Jobs: Towards Sustainable Development” da OIT, “as transições para economias verdes oferecem oportunidades de emprego em setores emergentes e sustentáveis, refletindo a capacidade das regiões de adaptarem suas economias a novos padrões ambientais” (OIT, 2021).

A Região Sudeste concentra a maior parte dos empregos verdes gerados no Brasil entre 2007 e 2015. Isso se deve ao grande peso que atividades econômicas relacionadas à infraestrutura e aos meios de transportes têm na consecução para uma economia verde (OIT, 2009b). Segundo os dados da GEF Biogás, a região sudeste produz anualmente 238 mil novos empregos direto, indireto e induzido, reduz em 251 milhões de toneladas de CO₂ equivalente e possui o potencial de produção do biogás de 35,3 bilhões m³.

Tabela 4.2: Comparativo entre as UF's da região sudeste

UF	Produção m ³	Redução GEE	Empregos
São paulo	24,8 bi	163 mi	118 mil
Rio de Janeiro	0,8 bi	7 mi	14 mil
Minas Gerais	9 bi	75 mi	96 mil
Espirito Santo	0,7 bi	6 mi	10 mil

Fonte: Elaboração própria.

Observando a relação emprego verde x produção de biogás, segundo os dados da CIBiogás (2023), na região Sudeste do Brasil, a produção de biogás varia significativamente entre os estados, refletindo diferentes níveis de desenvolvimento no setor. São Paulo destaca-se como o principal produtor, impulsionado pela forte atividade agroindustrial, especialmente na cana-de-açúcar e suinocultura, com muitas plantas operando para tratamento de resíduos e geração de energia. Minas Gerais também mostra crescimento, com foco em biogás oriundo de atividades agropecuárias, como a suinocultura e a produção de leite. Em contraste, Rio de Janeiro e Espírito Santo apresentam volumes menores de produção, com iniciativas mais limitadas, concentradas em aterros sanitários e algumas indústrias. Esses estados ainda não alcançaram o mesmo nível de desenvolvimento e investimento em biogás comparado aos outros dois²⁰.

A redução de gases de efeito estufa (GEE) e a geração de empregos também variam entre as unidades federativas. São Paulo lidera na mitigação de emissões de GEE, devido ao uso de biogás para substituir combustíveis fósseis, e na geração de empregos, com oportunidades na construção e manutenção de plantas de biogás. Minas Gerais contribui para a redução de GEE em áreas rurais, especialmente por meio do uso de biodigestores em fazendas, gerando empregos locais. Em Rio de Janeiro e Espírito Santo, o impacto na redução de GEE e na criação de empregos ainda é mais modesto, refletindo o menor número de plantas e investimentos em infraestrutura. Apesar dessas diferenças, todos os estados têm potencial para expandir suas iniciativas, especialmente se houver mais incentivos e políticas públicas voltadas para o desenvolvimento do biogás.

²⁰ Sobre os incentivos políticos e marcos regulatórios, ver em: **CIBiogás**. *Biogás no Brasil: Cenário e Perspectivas*. Centro Internacional de Energias Renováveis, 2023. Disponível em: <https://www.cibiogas.org>. Acesso em: 25 out. 2024.

Gráfico 4.1: Nível de emprego entre as UF's da Região Sudeste

Fonte: Elaboração própria.

Como pode ser observado no gráfico 4.1, São Paulo é o estado que mais se destaca, com um setor robusto que emprega uma variedade de profissionais, desde a construção e operação de usinas de biogás até o fornecimento de serviços técnicos e de consultoria. O crescimento da agroindústria e a forte presença de resíduos orgânicos impulsionam a demanda por mão de obra qualificada, gerando oportunidades em diversas áreas, como engenharia, biotecnologia e gerenciamento de resíduos.

Minas Gerais, embora em um estágio de desenvolvimento mais avançado em comparação com os outros estados, ainda não atinge o mesmo nível de geração de empregos que São Paulo. No entanto, o estado tem se esforçado para expandir seu setor de biogás, especialmente nas áreas rurais, onde o uso de biodigestores em pequenas propriedades está se tornando mais comum. Isso resulta na criação de empregos locais, mas em menor escala. Por outro lado, Rio de Janeiro e Espírito Santo enfrentam desafios em relação à geração de empregos no setor, com iniciativas ainda incipientes e um número limitado de plantas. A falta de investimento e políticas específicas para o desenvolvimento

do biogás nessas unidades federativas pode restringir a criação de novas oportunidades de trabalho, limitando o potencial do setor para impulsionar a economia local²¹.

Diante do exposto, é possível concluir que a conceituação e classificação dos empregos verdes são essenciais para entender a dinâmica e os impactos do trabalho no contexto da economia sustentável. A classificação da CEPA (Classificação Econômica das Atividades Ambientais) oferece uma estrutura para identificar atividades que promovem a proteção ambiental e a eficiência no uso dos recursos, destacando o papel dos empregos verdes na transição para uma economia mais sustentável.

A análise revelou que a região Sudeste do Brasil se destaca com os maiores níveis de empregos verdes, o que pode ser atribuído a fatores como a maior concentração industrial e urbana, que gera demanda por tecnologias limpas e serviços ambientais; a existência de políticas públicas e investimentos direcionados à sustentabilidade; e uma infraestrutura mais desenvolvida para pesquisa, inovação e capacitação profissional. Esses fatores favorecem a implementação de práticas sustentáveis e a expansão de setores voltados para a economia verde, consolidando o Sudeste como líder na geração de empregos verdes no país.

²¹ Sobre incentivos e desafios enfrentados pelo setor do Biogás, ver mais em: **MARTINS, E. D.; COSTA, R. D.** "Biogás: Oportunidades e Desafios nas Políticas Públicas Brasileiras." *Revista de Políticas Públicas e Sustentabilidade*, vol. 4, n. 1, 2023, p. 18-34.

5 - METODOLOGIA ESTATÍSTICA

Como já fora definido anteriormente, o trabalho desenvolvido tem como objetivo analisar e modelar dados do número de empregos verdes na região Sudeste durante os anos de 2006 a 2022 e tecer uma correlação com número de plantas implementadas na região. Com essa finalidade, foram utilizadas diversas fontes de dados como RAIS, CNAE, C BIOGÁS, ANEEL, PNAD. Cabe ressaltar que o software R fora utilizado para análise e modelagem dos dados.

5.1 Natureza dos dados

Os dados sobre o número de empregos verdes foram extraídos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). A RAIS é um relatório que compila informações socioeconômicas, solicitado anualmente pela Secretaria de Trabalho do Ministério da Economia do Brasil a pessoas jurídicas e outros empregadores. Instituída pelo Decreto nº 76.900, de 23 de dezembro de 1975, a RAIS reúne uma ampla gama de dados, incluindo o ano de admissão e demissão dos trabalhadores, salários, e o código CNAE 2.0, que é uma classificação da área de atuação do emprego exercido, criada pelo IBGE.

Para determinar o número de empregos verdes, foi realizada uma classificação específica baseada no código CNAE 2.0, fundamentada em estudos prévios (como o de Braga, 2014). A classificação identifica setores da economia que se alinham com práticas e atividades sustentáveis, contribuindo para a formação de uma economia verde. Os dados utilizados foram obtidos a partir do site BaseDosDados²². Já a quantidade de plantas foi retirada do dashboard elaborado pela equipe do CIBiogás, chamado de Biogás Map acessível em: [BiogasMap/bi](https://biogasmap.bi).

²² Pode ser acessado em: basedosdados/rais.

5.1.1 Análise inicial da série

Os dados coletados possuem índice temporal anual, ou seja, cada observação nessa série temporal representa valores para cada ano durante o período de análise. O conjunto de dados final apresentou a seguinte estrutura:

Tabela 5.1 – Índice temporal anual

ano	estado	num_plantas	num_observations
2006	ES	0	295619
2007	ES	0	312339
2008	ES	0	349493
2009	ES	0	341322
2010	ES	0	360393
2011	ES	0	375403

Fonte: Elaboração própria.

5.2 Introdução a teoria de séries temporais

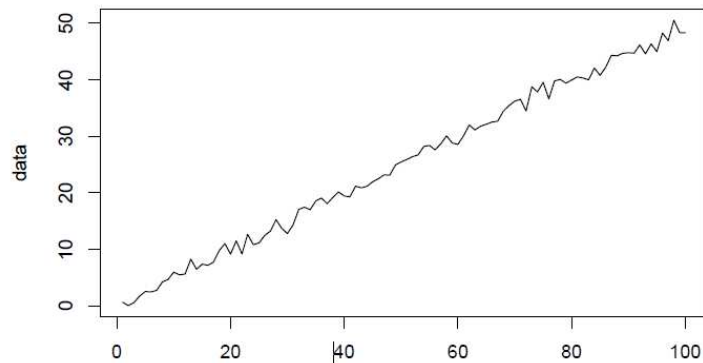
Antes da análise dos dados, certas definições a respeito da teoria de séries temporais devem ser explicitadas para um melhor entendimento do trabalho. Uma série temporal é um conjunto de observações que são coletadas ao longo de um índice específico de tempo, onde considera-se que existe algum tipo de correlação temporal entre os dados. No caso da série estudada, tal índice de tempo é diário. Segundo Chatfield (2004), “uma série temporal é uma sequência de dados que representa a evolução de um fenômeno ao longo do tempo”, o que enfatiza a importância de entender essa estrutura para a análise. Para o estudo da correlação da série, três conceitos fundamentais são construídos: Tendência, Ciclo e Sazonalidade.

5.2.1 Tendência

A tendência de uma série temporal é definida com base em seu crescimento/decrescimento em um determinado período. Isto é, para esse período estabelecido, a tendência indica se a série cresce, decresce ou permanece estável. Séries que apresentam algum tipo de tendência de crescimento ou decrescimento normalmente são **não-**

estacionárias, tal conceito ainda será abordado, mas se destaca por ser um requisito para a etapa de modelagem. O seguinte gráfico indica uma série temporal com tendência de crescimento:

Gráfico 5.1 – Série temporal com tendência crescente

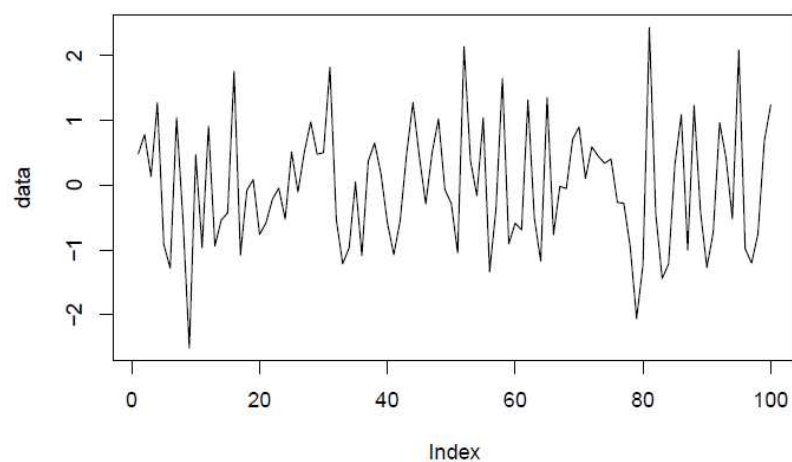


Fonte: Elaboração própria

5.2.2 Sazonalidade

A sazonalidade refere-se aos padrões ou flutuações que se repetem em intervalos regulares ao longo do tempo. Esses padrões são influenciados por fatores sazonais, como o clima, eventos festivos, ou ciclos econômicos, e são previsíveis e consistentes em suas ocorrências. O seguinte gráfico indica uma série temporal sem tendência, mas com comportamento sazonal.

Gráfico 5.2 – Série temporal com sazonalidade



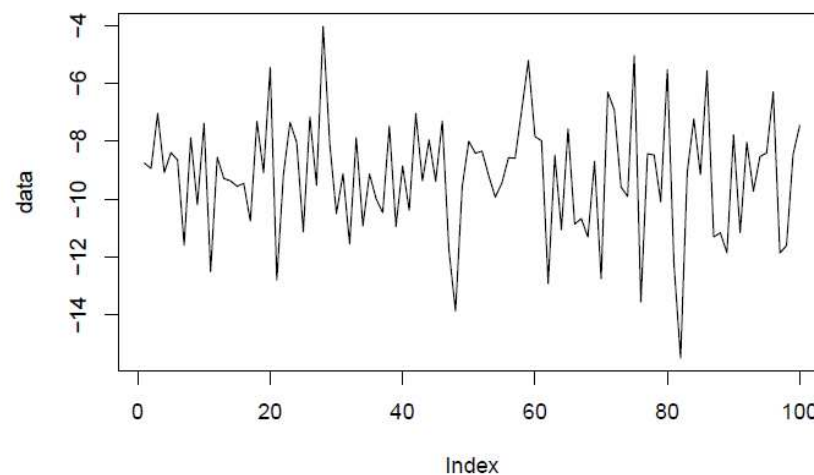
Fonte: Elaboração própria.

5.2.3 Ciclo

Os ciclos são oscilações que ocorrem em intervalos não necessariamente regulares e são geralmente mais longos que os padrões sazonais. Esses ciclos são frequentemente influenciados por fatores econômicos, financeiros ou empresariais, e podem durar vários anos. A principal diferença entre a característica de ciclo e de sazonalidade é o fator regular da sazonalidade, onde é possível fixar um índice sazonal indicando o tempo, por exemplo, sazonalidade semanal, mensal, semestral ou etc.

O seguinte gráfico indica uma série temporal sem tendência, mas com comportamento cíclico. Diferenciar um ciclo de sazonalidade não é uma tarefa trivial, onde outras técnicas para análises de séries temporais são utilizadas, como funções de autocorrelação e autocorrelação parcial, testes de hipóteses e outros.

Gráfico 5.3 – Comportamento cíclico da série temporal



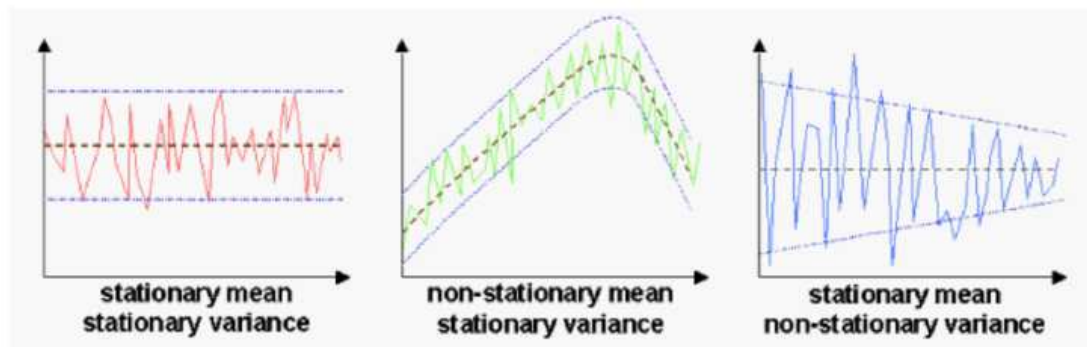
Fonte: Elaboração própria

5.2.4 Estacionariedade

Outro conceito importante que deve ser estudado com atenção é o de **Estacionariedade**. Refere-se a uma propriedade estatística de uma série onde suas características essenciais não mudam ao longo do tempo. Em outras palavras, uma série temporal é considerada estacionária se suas propriedades estatísticas, como média, variância e autocorrelação, são constantes ao longo do tempo. A estacionariedade é uma

condição importante para muitos modelos estatísticos e de aprendizado de máquina usados na análise de séries temporais, como o modelo ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average). Estes modelos assumem que os dados são estacionários, ou pelo menos aproximadamente estacionários, para fazer previsões precisas.

Figura 5.1 - Estacionariedade de uma série



Fonte:

5.3 Modelo de análise

Apesar do objetivo do estudo ser em sua centralidade estudar a relação entre as variáveis número de empregos verdes e número de plantas de biogás, os dados trabalhados possuem uma natureza temporal, onde essa natureza não pode ser deixada de lado no momento de escolha do melhor modelo para o trabalho. Dessa forma, levando em consideração que o trabalho deseja estudar a relação entre variáveis explicativas e resposta levando em consideração possíveis correlações temporais de uma série temporal, o modelo utilizado foi o ARIMAX (Autorregressivo Integreado de Médias Móveis com Variáveis eXógenas)

Cabe destacar que o modelo ARIMAX foi selecionado neste estudo devido à sua capacidade de incorporar variáveis exógenas, diferenciando-se do modelo ARIMA tradicional, que considera apenas as dependências internas da série temporal. A escolha do ARIMAX permitiu incluir variáveis como a produção de biogás e indicadores econômicos regionais, oferecendo uma análise mais completa dos fatores externos que influenciam o emprego verde. Em comparação com modelos como o SARIMA, que é

eficaz para capturar sazonalidades, ou modelos não lineares, o ARIMAX foi considerado mais adequado por sua flexibilidade em integrar variáveis explicativas de maneira linear. A seleção dos parâmetros foi realizada com base em testes de significância e ajuste para capturar tanto as relações temporais quanto o efeito das variáveis exógenas sobre a série, maximizando a precisão do modelo.

Tal modelo é uma extensão ao modelo ARIMA e comporta a adição de variáveis. Assim como uma grande parcela de outros modelos temporais, tal classe é escrita acompanhada por seus parâmetros, onde no caso de um ARIMA, tem-se os parâmetros Autorregressivos, Diferenciação (Integrado) e de Médias Móveis, formando assim um ARIMA (p, d, q) . Esses indicam a ordem das 3 diferentes parcelas do modelo:

(i) **Autorregressiva**, que busca capturar a relação linear entre uma observação e um número fixo de observações passadas, refletindo a influência das próprias observações passadas na atual;

(ii) **Integrado**, representa o número de diferenciações necessárias para tornar a série estacionária;

(iii) **Médias Móveis**, que busca modelar o erro a cada defasagem, permitindo capturar padrões não capturados pela parcela autorregressiva. Assim um modelo ARIMAX (p, d, q) é um modelo ARIMA (p, d, q) com adição de variáveis exógenas. O modelo ARIMAX possui 2 parcelas principais:

- Parcela ARIMA

– Essa parcela busca captar correlações temporais da série trabalhada via modelo ARIMA. Um modelo ARIMA (p, d, q) possui a seguinte estrutura estatística:

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q} + e_t \quad (1)$$

onde y_t é o valor da série no tempo t , ϕ é o termo autorregressivo possuindo p elementos, e_t é o resíduo do modelo do tempo t e θ é o termo de médias móveis possuindo q elementos. O modelo pode ser reescrito em forma de somatório, facilitando sua escrita:

$$y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i e_{t-i} + e_t \quad (2)$$

5.3.1 Modelo de regressão linear temporal

Essa parcela busca modelar as variáveis explicativas exógenas utilizadas no modelo, e possui uma forma semelhança com uma regressão linear simples, porém possuindo uma indexação temporal. Dado k variáveis explicativas exógenas, a parcela descrita possui a seguinte estrutura:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1,t} + \beta_2 x_{2,t} + \dots + \beta_k x_{k,t} + e_t \quad (3)$$

Onde β_0 é o intercepto do modelo, e $\beta_1 \dots \beta_k$ são coeficientes de pesos estimados para as variáveis $X_1 \dots X_k$. O modelo pode ser reescrito em forma de somatório, facilitando sua escrita

$$y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_{i,t} + e_t \quad (4)$$

A partir dessas 2 parcelas, o modelo ARIMAX (p, d, q) é construído, tendo a seguinte estrutura estatística

$$y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_{i,t} + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i e_{t-i} + e_t \quad (5)$$

No contexto do nosso estudo, apenas uma variável exógena foi definida e, portanto, o modelo tem a seguinte estrutura:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1,t} + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i e_{t-i} + e_t \quad (6)$$

A etapa de exploração e modelagem buscou estudar detalhadamente a região sudeste, organizando e limpando os dados para cada estado da região. Assim, um modelo específico para cada estado foi construído, onde pode-se estudar de separadamente o comportamento individual de cada estado. Assim, 4 modelos ARIMAX foram construídos. É importante destacar o fluxo adotado no processo de modelagem:

- **Passo 1 - Estimar modelo**

– Nesse passo a ordem (p, d, q) de cada modelo é definida e os coeficientes são estimados

• **Passo 2 - Análise de Resíduos**

– Com o modelo já estimado, devemos analisar se ele respeita as pressuposições de um modelo ARIMAX, sendo elas: os resíduos são não correlacionados e a média dos resíduos segue distribuição de média 0

• **Passo 3 - Visualização do Ajuste do Modelo**

– Nessa etapa o valor real da série versus o valor ajustado é plotado, onde verificamos o grau de qualidade do ajuste

• **Passo 4 - Interpretação dos coeficientes estimados**

– Um dos passos mais importantes do trabalho, conclusões sobre relações entre as variáveis estudadas são realizadas.

Em séries temporais, a seleção das ordens dos parâmetros (p, d, q) continua sendo um tema de debate relevante e atual. A abordagem mais tradicional envolve a visualização e análise da Função de Autocorrelação (FAC) e da Função de Autocorrelação Parcial (FACP). Embora esse método seja útil, ele pode se tornar exaustivo e sujeito a erros especialmente quando se trata de construir modelos complexos com múltiplos parâmetros. A complexidade aumenta à medida que mais parâmetros precisam ser ajustados, tornando a análise visual pouco prática e extremamente subjetiva.

Nesse contexto Hyndman e Khandakar (2008) sugerem uma maneira automática de seleção de ordens de parâmetros via critérios de informação: AIC ou BIC. O método proposto busca uma ordem de parâmetros que minimize o AIC ou BIC.

Critérios de informação são ferramentas estatísticas usadas para comparar e selecionar modelos que melhor descrevem um conjunto de dados. Eles balanceiam a qualidade do ajuste do modelo aos dados com a complexidade do modelo, penalizando a inclusão de muitos parâmetros para evitar o sobreajuste. Os dois critérios mais utilizados são o AIC e BIC. O Critério de Informação de Akaike (AIC) possui a seguinte forma:

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (7)$$

onde k é o número de parâmetros do modelo e L é a função de verossimilhança do modelo ajustado. O AIC penaliza modelos com mais parâmetros, balanceando entre a qualidade do ajuste e a simplicidade do modelo. Menores valores de AIC indicam modelos preferíveis. Já o Critério de Informação Bayesiano (BIC) possui a seguinte forma:

$$BIC = k \ln(n) - 2 \ln(L) \quad (8)$$

onde n é o número de observações e k e L são os mesmos que no AIC. O BIC penaliza ainda mais a complexidade do modelo do que o AIC, especialmente com muitas observações. Assim como no AIC, menores valores de BIC indicam modelos melhores.

Tanto o AIC quanto o BIC são usados para comparar diferentes modelos ajustados aos mesmos dados. O modelo com o menor valor de AIC ou BIC é considerado o melhor. Ambos os critérios penalizam a inclusão de mais parâmetros. O BIC tem uma penalização maior que o AIC quando o número de observações é grande.

No contexto do trabalho, dado um baixo número de observações utilizadas (2006 a 2022 - 17 observações) a métrica de seleção de ordem de parâmetro utilizada é uma extensão ao AIC, chamada de AIC Corrigido ou apenas AICc. Essa métrica é o AIC com a adição de uma correção por tamanhos amostrais baixos. O AICc possui a seguinte forma:

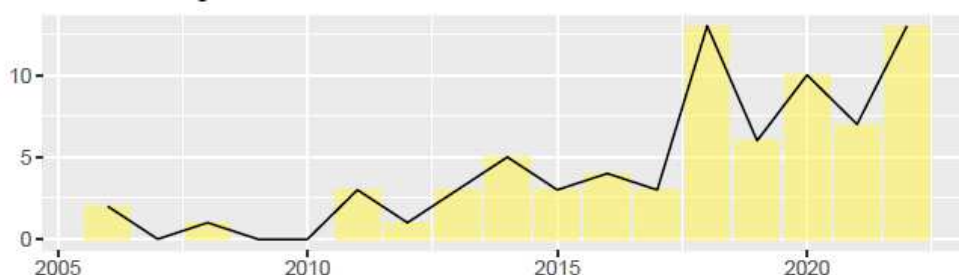
$$AICc = AIC + \frac{2k^2 + 2k}{n - k - 1} \quad (9)$$

Note que para valores grandes de n , o AICc converge para o AIC, ou seja $\lim_{n \rightarrow \infty} AICc = AIC$.

5.4 Modelo para o Estado de São Paulo

O primeiro estado analisado foi o de São Paulo, ele apresentou os seguintes comportamentos em relação ao número de plantas de biogás e quantidade de empregos verdes ao longo dos anos de 2006 a 2022.

Gráfico 5.4 – Plantas de biogás entre 2006-2022: São Paulo



Fonte: Elaboração própria

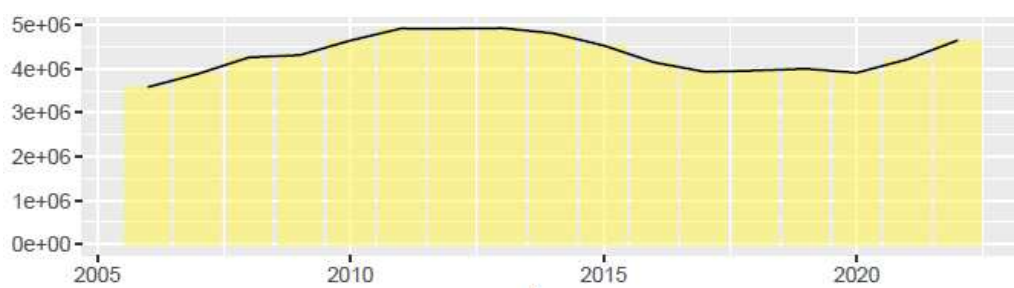
A variação no número de plantas de biogás em São Paulo entre 2006 e 2022 reflete um conjunto de fatores econômicos, sociais e ambientais que impulsionaram o crescimento desse setor no estado. Em 2006, o desenvolvimento de biogás ainda estava em estágios iniciais, com um número limitado de instalações, principalmente focadas em projetos experimentais ou de pequeno porte. No entanto, ao longo dos anos, uma série de políticas públicas e iniciativas privadas começou a promover a expansão do uso de biogás, resultando em um aumento significativo no número de plantas.

Entre 2010 e 2022, o crescimento pode ser atribuído a vários fatores, como a crescente conscientização sobre a sustentabilidade e a gestão de resíduos, além da valorização das energias renováveis. O incentivo governamental, como linhas de crédito e subsídios para projetos de biogás, contribuiu para tornar esses investimentos mais atrativos. Além disso, a forte presença do setor agroindustrial em São Paulo, com grandes produtores de açúcar, etanol e proteína animal, gerou uma quantidade considerável de resíduos orgânicos, que passaram a ser utilizados na geração de biogás. Esse aumento na capacidade de processamento, junto com avanços tecnológicos em biodigestores,

facilitou a implementação de plantas maiores e mais eficientes, refletindo um crescimento consistente na infraestrutura de biogás no estado.

Como resultado, o número de plantas de biogás em São Paulo cresceu substancialmente, acompanhando a tendência global de busca por fontes de energia mais limpas e a necessidade de soluções para a gestão de resíduos. A combinação de fatores econômicos, ambientais e sociais fez de São Paulo um exemplo de sucesso no desenvolvimento do setor de biogás no Brasil.

Gráfico 5.5 – Quantidade de emprego entre 2006-2022: São Paulo



Fonte: Elaboração própria

A variação na quantidade de empregos verdes em São Paulo entre 2006 e 2022 pode estar intimamente ligada ao crescimento das indústrias de energia renovável e sustentabilidade, incluindo o setor de biogás. Inicialmente, em 2006, os empregos verdes eram limitados e focados em setores como reciclagem e agricultura sustentável.

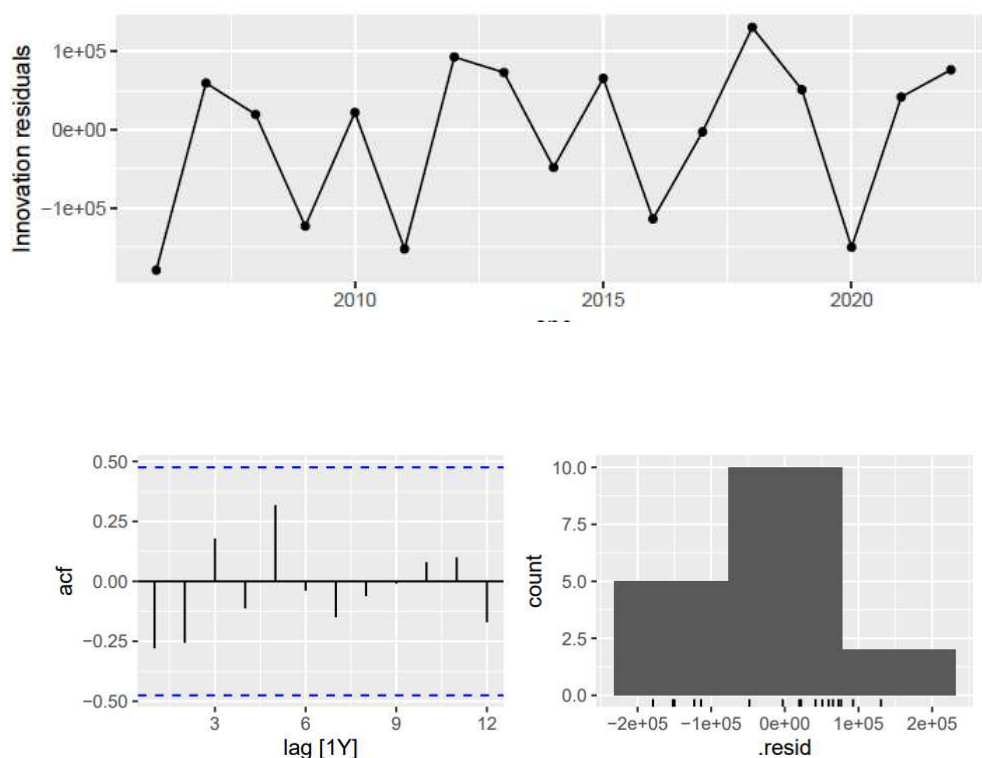
Entre 2010 e 2022, diversos fatores contribuíram para o aumento dos empregos verdes no estado. O crescimento das energias renováveis, como a solar, eólica e, em particular, o biogás, levou à criação de novas oportunidades de trabalho em várias áreas. Isso inclui a construção, operação e manutenção de plantas de biogás, além de empregos em pesquisa e desenvolvimento, consultoria ambiental e serviços de engenharia.

Ao aplicar o método de busca de modelo que minimiza o AICc, o modelo final retornado para o estado de São Paulo foi um ARIMAX (4, 0, 0), ou seja, um modelo

ARIMA com variável exógena, possuindo 4 parcelas autorregressivas, sem diferenciação e sem parcela de médias móveis. Como pode ser observado no histograma dos resíduos abaixo, a distribuição dos resíduos apresenta uma forma aproximadamente normal, sugerindo que as pressuposições do modelo foram respeitadas. A ausência de assimetria e curtose significativa indica que os resíduos não apresentam padrões de autocorrelação, o que é desejável em um modelo de séries temporais, pois válida a suposição de que os erros são ruídos branco.

Além disso, o teste de independência aplicado aos resíduos revelou um p-valor elevado, confirmando que não há evidências de autocorrelação significativa. Isso fortalece a confiança na qualidade do ajuste do modelo ARIMAX, permitindo inferir que ele captura adequadamente as dinâmicas da série temporal.

Gráfico 5.6 - Resíduos do modelo: São Paulo



Fonte: Elaboração própria

Em modelo ARIMAX busca-se analisar se os resíduos possuem média 0 e são não correlacionados.

1. Através do histograma construído podemos observar a centralidade dos resíduos no valor 0.

2. Através da Função de Autocorrelação (ACF) vemos que nenhum resíduo apresentou correlação significativa e, portanto, a hipótese de que eles são não correlacionados não é rejeitada para corroborar com essa afirmação, o teste de Ljung Box foi aplicado, possuindo as seguintes hipóteses:

Tabela 5.2 - Teste de hipótese

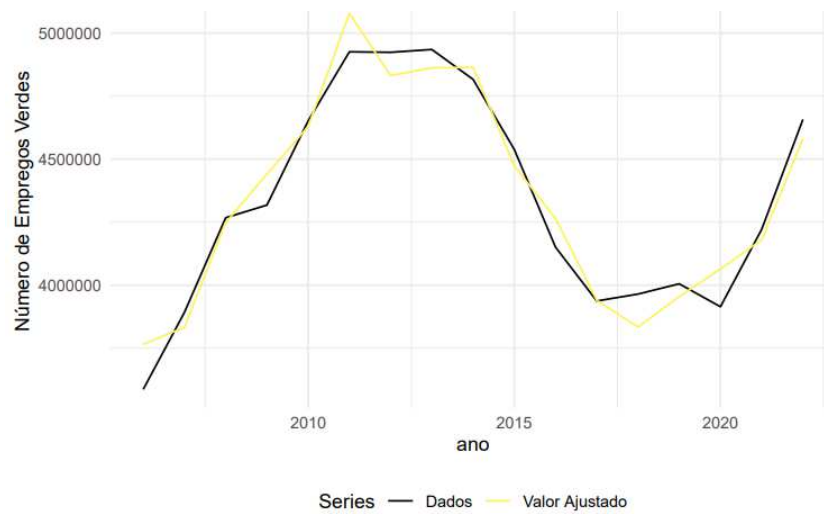
H_0 : Resíduos são não-correlacionados

H_1 : Resíduos são correlacionados

Parameter1	Parameter2	z	df	p
Resíduos		7.98	10	0.630

Fonte: Elaboração própria

Após a aplicação do teste, o cálculo de um p-valor igual a 0.6304 indica que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese de independência entre os resíduos. Essa confirmação sugere que os resíduos não estão correlacionados, o que é um requisito fundamental para a validade de modelos de séries temporais, como o ARIMAX.

Gráfico 5.7- Ajuste do Modelo ARIMAX – São Paulo

Fonte: Elaboração própria

O modelo teve os seguintes coeficientes estimados:

Tabela 5.3 - Coeficientes ARIMAX- São Paulo

term	estimate	std.error	statistic	p.value
ar1	1.161	0.163	7.127	0.000
ar2	-0.879	0.289	-3.047	0.007
ar3	0.984	0.215	4.580	0.000
ar4	-0.871	0.108	-8.082	0.000
num_plantas	-1799.226	3602.114	-0.499	0.624
intercept	4408075.821	47900.409	92.026	0.000

O modelo final possui a seguinte equação:

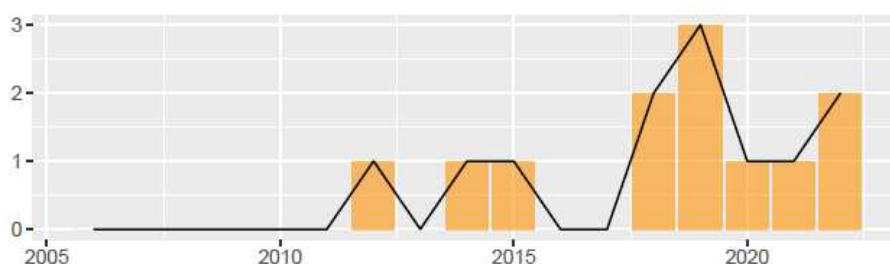
$$y_t = 4.408.075,82 - 1.799,23x_{1,t} + 1,16y_{t-1} - 0,88y_{t-2} + 0,98y_{t-3} - 0,87y_{t-4} \quad (10)$$

Os dados sugerem que, para o estado de São Paulo, a hipótese de correlação entre o número de plantas produtivas de biogás e o emprego verde é negativa. Isso significa que, embora possa haver um aumento no número de plantas de biogás, isso não está necessariamente associado a um aumento proporcional nos empregos verdes. Em outras palavras, pode haver uma situação em que o crescimento das plantas não resulta em uma quantidade correspondente de novas oportunidades de trabalho em setores relacionados ao biogás, indicando que outros fatores podem estar influenciando a geração de empregos nessa área.

5.5 Estimação de modelo para o Estado do Rio de Janeiro

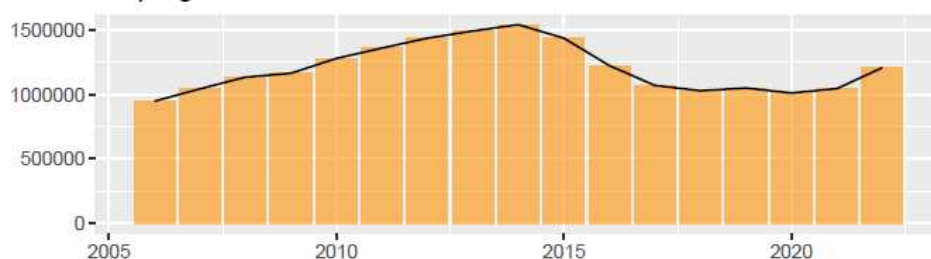
O segundo estado analisado foi o Rio de Janeiro, e os seguintes comportamentos em relação ao número de plantas de biogás e quantidade de empregos verdes no período de 2006 a 2022 foram os seguintes:

Gráfico 5.8 – Plantas de biogás entre 2006-2022: Rio de Janeiro



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 5.9 – Quantidade de emprego entre 2006-2022: Rio de Janeiro



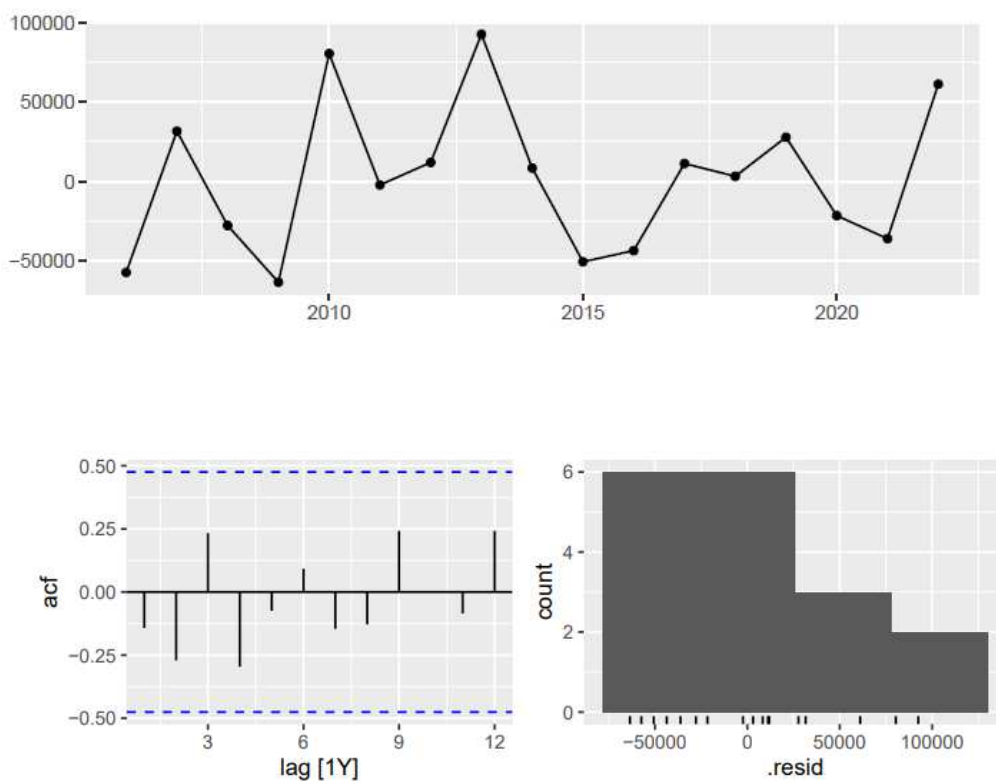
Fonte: Elaboração própria

Ao aplicar o método de busca de modelo que minimiza o AICc, o modelo final retornado para o estado do Rio de Janeiro foi um ARIMAX (2, 0, 0), ou seja, um modelo ARIMA com variável exógena, possuindo 2 parcelas autorregressivas, sem diferenciação e sem parcela de médias móveis. A análise dos resíduos indica que eles têm média próxima de zero e variância constante, características desejáveis que sugerem que o modelo se ajustou bem aos dados.

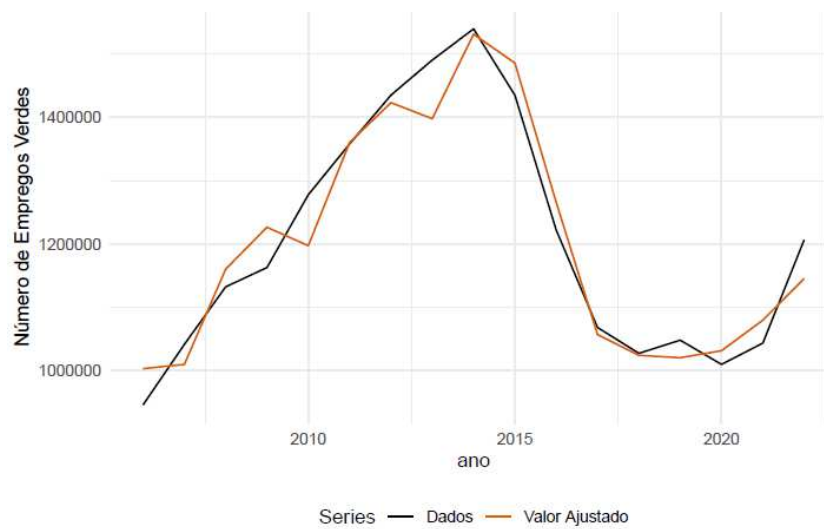
Adicionalmente, ao examinar o gráfico dos resíduos, observa-se uma distribuição que se aproxima da normalidade, com uma forma simétrica, o que é um sinal positivo para a validade do modelo. Não foram identificados padrões evidentes nos resíduos, sugerindo que não há autocorrelação significativa entre eles. Isso foi corroborado por testes estatísticos, como o teste de Ljung-Box, que apresentou p-valores elevados, indicando que a hipótese de independência dos resíduos não pode ser rejeitada.

Essa ausência de autocorrelação sugere que o modelo ARIMAX (2, 0, 0) é adequado para capturar as dinâmicas subjacentes da série temporal analisada. O ajuste eficaz do modelo também reforça a capacidade preditiva, permitindo que ele seja utilizado para inferir tendências futuras e avaliar o impacto de variáveis exógenas sobre o comportamento da série.

Gráficos 5.10 – Resíduos do modelo: Rio de Janeiro



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 5.11 - Ajuste do Modelo ARIMAX – Rio de Janeiro

Fonte: Elaboração própria

O modelo teve os seguintes coeficientes estimados:

Tabela 5.4 -Coeficientes ARIMAX- Rio de Janeiro

term	estimate	std.error	statistic	p.value
ar1	1.652	0.102	16.123	0.000
ar2	-0.876	0.097	-8.989	0.000
num_plantas	30968.416	9605.000	3.224	0.005
intercept	1197080.504	52217.709	22.925	0.000

Fonte: Elaboração própria

O modelo final possui a seguinte equação:

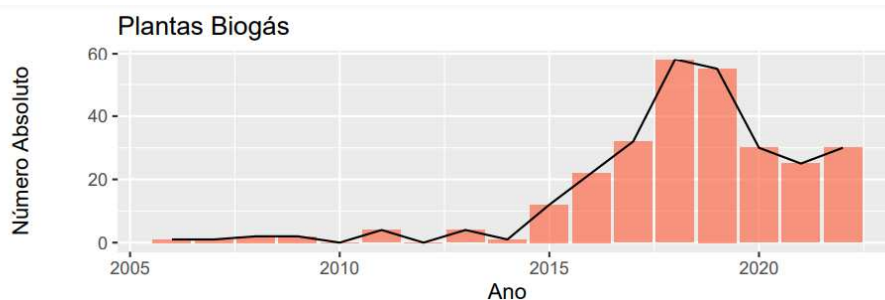
$$y_t = 1.197.080,504 + 30.968,416x_{1,t} + 1,652y_{t-2} - 0,876y_{t-2} + e_t \quad (11)$$

Como pode ser observado na tabela abaixo, a variável num_plantas possui um p-valor inferior a 0,05, o que indica que no estado do Rio de Janeiro a hipótese de correlação entre o número de plantas produtivas de biogás e o emprego verde é estatisticamente significativa ao nível de 1%, indicando uma evidência muito forte de que essa relação não é devida ao acaso. Podendo sugerir que existe uma relação positiva entre o número de plantas de biogás e a geração de empregos verdes, indicando que um aumento no número de plantas produtivas pode estar associado a um aumento na quantidade de empregos disponíveis nesse setor.

5.6 Estimação do modelo para o Estado de Minas Gerais

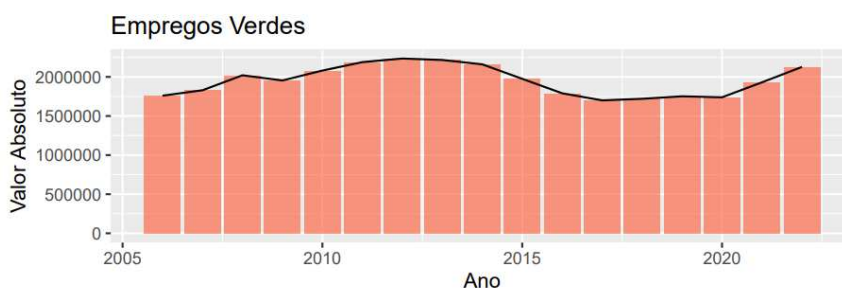
O terceiro estado analisado foi o de Minas Gerais, no período proposto as variáveis número de plantas de biogás e emprego verdes apresentaram as seguintes respostas aos modelos:

Gráfico 5.12 – Plantas de biogás entre 2006-2022: Minas Gerais



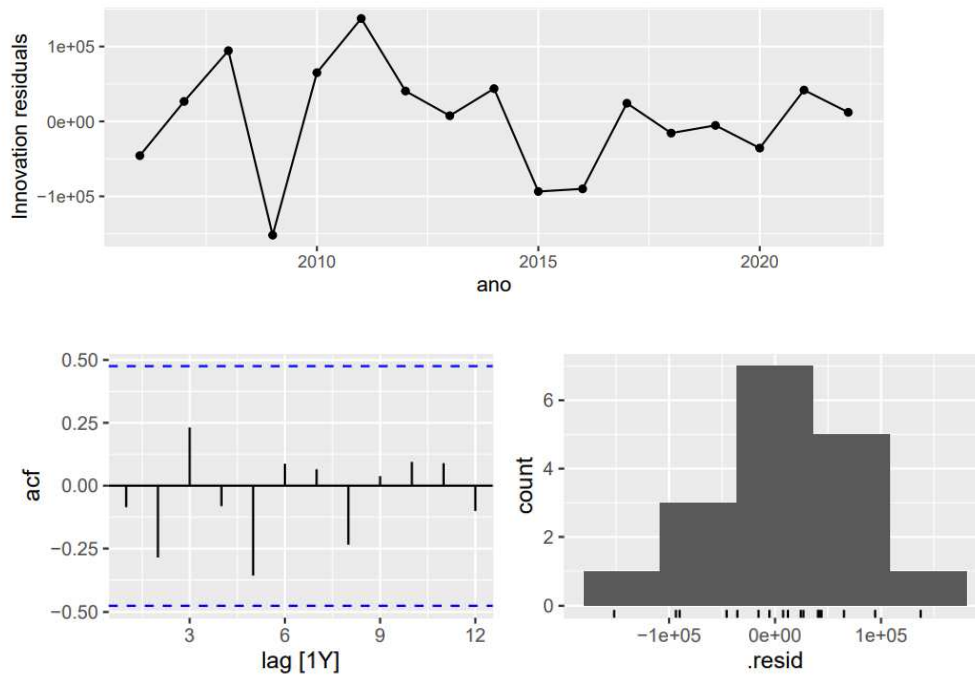
Fonte: Elaboração própria

Gráfico 5.13 – Quantidade de emprego entre 2006-2022: Minas Gerais



Fonte: Elaboração própria

A partir do método de busca de modelo que minimiza o AICc, o modelo final retornado para os estados de Minas Gerais foi um ARIMAX (4, 0, 0), ou seja, um modelo ARIMA com variável exógena, possuindo 4 parcelas autorregressivas, sem diferenciação e sem parcela de médias móveis. Essa configuração sugere que o comportamento da série temporal é fortemente influenciado por suas próprias observações passadas, com quatro defasagens significativas contribuindo para a explicação das dinâmicas da variável dependente. O modelo apresentou os seguintes resíduos:

Gráfico 5.14- Resíduos do Modelo: Minas Gerais

Fonte: Elaboração própria

Em modelo ARIMAX busca-se analisar se os resíduos possuem média 0 e são não correlacionados.

1. Através do histograma construído podemos observar a centralidade dos resíduos no valor 0.

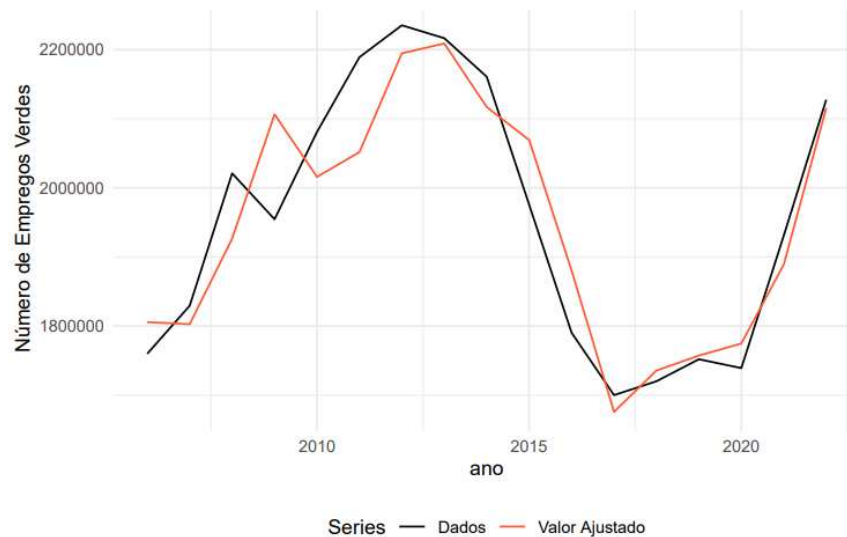
2. Através da Função de Autocorrelação (ACF) vemos que nenhum resíduo apresentou correlação significativa e, portanto, a hipótese de que eles são não correlacionados não é rejeitada. Para corroborar com essa afirmação, o teste de Ljung Box foi aplicado, possuindo a seguintes hipóteses:

Tabela 5.3 - Teste de hipótese H_0 : Resíduos são não-correlacionados H_1 : Resíduos são correlacionados

Parameter1	Parameter2	z	df	p
Resíduos		9.55	10	0.481

Fonte: Elaboração própria

Após a realização do teste, obteve-se um p-valor de 0,6304, indicando que a hipótese de independência entre os resíduos não pode ser rejeitada. Dessa forma, é razoável supor que os resíduos não estão correlacionados, o que sugere que as premissas foram atendidas e o modelo ARIMAX estimado é considerado válido. Para avaliar o ajuste do modelo em relação aos dados, foi elaborado o gráfico a seguir:

Gráfico 5.15 - Modelo de Ajuste ARIMAX – Minas Gerais

Fonte: Elaboração própria

O modelo teve os seguintes coeficientes estimados:

Tabela 5.5 - Coeficientes ARIMAX- Minas Gerais

term	estimate	std.error	statistic	p.value
ar1	1.056	0.186	5.676	0.000
ar2	0.148	0.330	0.447	0.661
ar3	-0.586	0.202	-2.896	0.010
num_plantas	3635.130	1540.756	2.359	0.031
intercept	1914835.152	53652.693	35.689	0.000

Fonte: Elaboração própria.

O modelo final possui a seguinte equação:

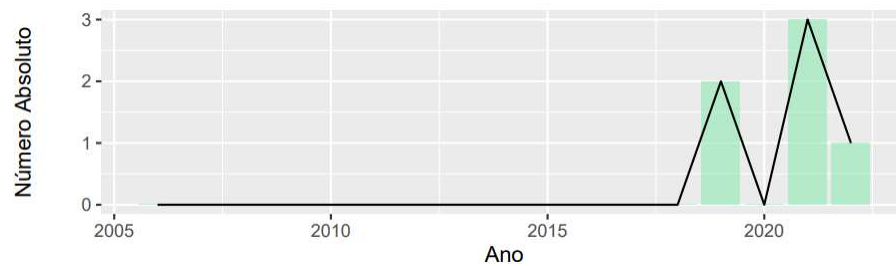
$$y_t = 1.914.835,152 - 3.635,130x_{1,t} + 1,056y_{t-1} + 0,148y_{t-2} - 0,586y_{t-3} \quad (12)$$

O p-valor de 0,031, o que indica que, no estado de Minas Gerais, a hipótese de correlação entre o número de plantas produtivas de biogás e o emprego verde é significativa apenas ao nível de 5%. Isso sugere que existe uma relação estatisticamente relevante entre essas duas variáveis, embora o sinal negativo dessa correlação indique que, à medida que o número de plantas de biogás aumenta, a quantidade de empregos verdes pode não estar acompanhando essa expansão de forma proporcional.

5.7 Estimação do modelo para o Espírito Santo

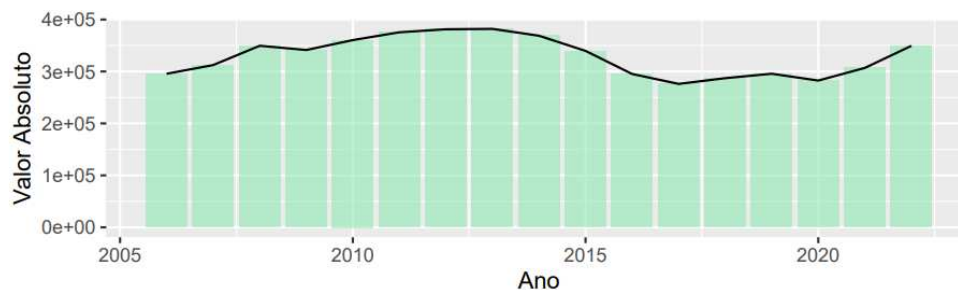
O último estado analisado foi o Espírito Santo, ele apresentou os seguintes comportamentos em relação ao número de plantas de biogás e quantidade de empregos verdes ao longo dos anos de 2006 a 2022.

Gráfico 5.16– Plantas de biogás entre 2006-2022: Espírito Santo



Fonte: Elaboração própria

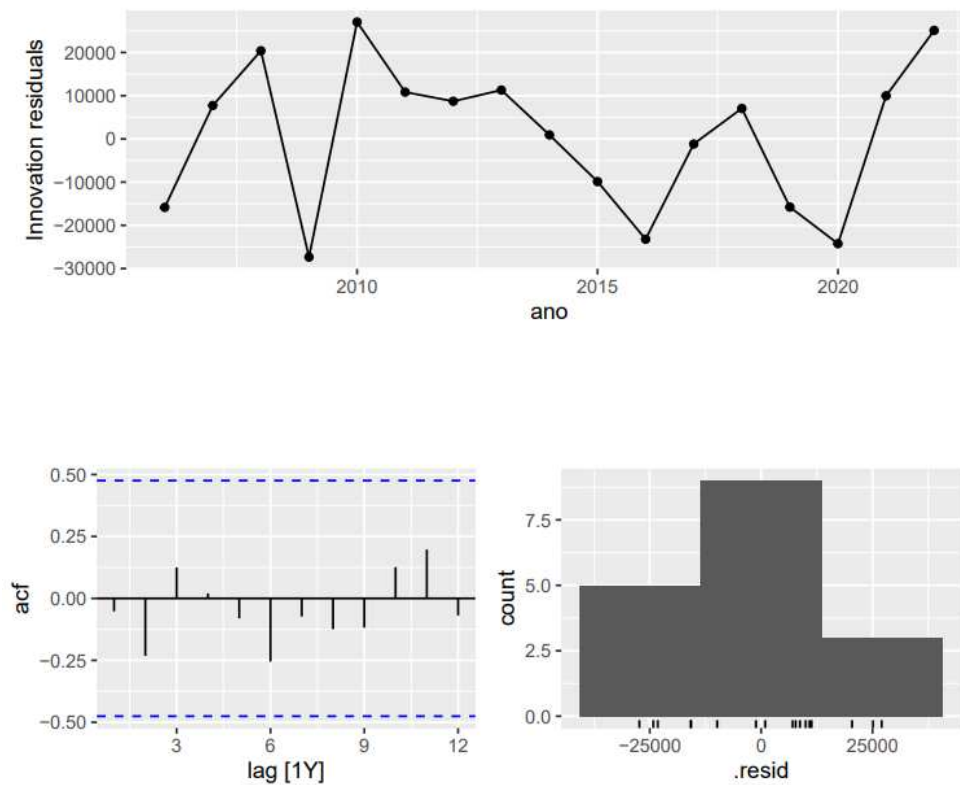
Gráfico 5.17 – Quantidade de emprego entre 2006-2022: Espírito Santo



Fonte: Elaboração própria

Ao aplicar o método de busca de modelo que minimiza o AICc, o modelo final retornado para os estados de Espírito Santo foi um ARIMAX (3, 0, 0), ou seja, um modelo ARIMA com variável exógena possuindo 3 parcelas autorregressivas, sem diferenciação e sem parcela de média móvel. O modelo apresentou os seguintes resíduos:

Gráfico 5.18 - Resíduos do Modelo: Espírito Santo



Fonte: Elaboração própria

Em modelo ARIMAX busca-se analisar se os resíduos possuem média 0 e são não correlacionados.

1. Através do histograma construído podemos observar a centralidade dos resíduos no valor 0.

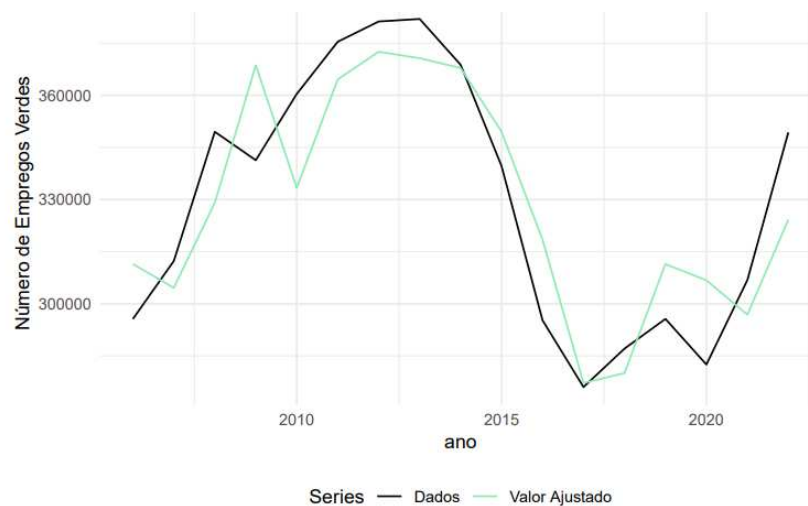
2. Através da Função de Autocorrelação (ACF) vemos que nenhum resíduo apresentou correlação significativa e, portanto, a hipótese de que eles são não correlacionados não é rejeitada. Para corroborar com essa afirmação, o teste de Ljung Box foi aplicado, possuindo as seguintes hipóteses:

Tabela 5.2 - Teste de hipótese H_0 : Resíduos são não-correlacionados H_1 : Resíduos são correlacionados

Parameter1	Parameter2	z	df	p
Resíduos		5.69	10	0.841

Fonte: Elaboração própria

Após a execução do teste, o p-valor encontrado foi de 0,8409, indicando que a hipótese de independência entre os resíduos não pode ser descartada. Assim, é plausível afirmar que os resíduos não exibem correlação. Com isso, as premissas foram atendidas e o modelo ARIMAX estimado é considerado válido. Para avaliar o grau de ajuste do modelo aos dados, foi gerado o gráfico a seguir:

Gráfico 5.19 Ajuste do Modelo ARIMAX – Espírito Santo

Fonte: Elaboração própria

O modelo teve os seguintes coeficientes estimados:

Tabela 5.4 - Coeficientes ARIMAX- Espírito Santo

term	estimate	std.error	statistic	p.value
ar1	1.358	0.200	6.777	0.000
ar2	-0.652	0.195	-3.335	0.004
num_plantas	1925.387	2702.901	0.712	0.486
intercept	332299.883	13835.143	24.019	0.000

Fonte: Elaboração própria

O modelo final possui a seguinte equação:

$$y_t = 332.299,883 - 1.925,387x_{1,t} + 1,358y_{t-1} - 0,652y_{t-2} + e_t \quad (13)$$

Como pode ser observado na tabela acima, a variável num_plantas possui um p-valor de 0,486, o que indica que no estado do Espírito Santo a hipótese de correlação entre o número de plantas produtivas de biogás e o emprego verde é negativa e estatisticamente não significativa. Esse resultado sugere que, apesar de haver um número de plantas de biogás no estado, não existe uma relação direta entre o aumento dessas instalações e a geração de empregos verdes. Esse p-valor elevado implica que a correlação observada não é forte o suficiente para afirmar que um incremento no número de plantas leva a um aumento correspondente no emprego verde.

6 RESULTADOS DO MODELO

Ao analisar o coeficiente β_1 estimado para a variável número de plantas de biogás, nota-se que apenas para os estados Rio de Janeiro e Minas Gerais essa variável se mostrou significativa a uma significância de 5%, ou seja, apenas para os estados citados esse coeficiente estimado foi significativamente diferente de 0. Isso mostra que para os demais estados a criação de novas plantas de biogás não possui impacto significativo para geração de novos empregos verdes.

Já para o Rio de Janeiro e Minas Gerais, a criação de uma nova planta de biogás implica em média na geração de 30.968 e 3.635 novos empregos verdes respectivamente. Para um nível de significância de 1% (modelo tem apenas 1% de probabilidade de errar o verdadeiro valor do coeficiente), apenas o estado do Rio de Janeiro apresentou uma estimativa significativa. Lembrando que a hipótese de correlação entre o número de plantas de biogás e a geração de empregos verdes no estado do Rio de Janeiro é estatisticamente significativa ao nível de 1%, indicando uma evidência muito forte de que essa relação não é devida ao acaso.

Assim, novamente vemos a importância da criação de novas plantas de biogás para geração de empregos verdes no estado, onde a correlação entre essas 2 variáveis é tão forte que apenas ele dentre os 4 estados do sudeste apresentou tal conclusão utilizando uma significância estatística de 1%.

A interpretação dos coeficientes estimados revela que o impacto da expansão de plantas de biogás sobre a geração de empregos verdes variou significativamente entre os estados do Sudeste. No caso do Rio de Janeiro, a alta geração de empregos verdes per capita pode estar associada a fatores regionais, como a maior concentração de investimentos em infraestrutura sustentável e políticas estaduais de incentivo à economia verde, o que potencializa o efeito das novas plantas. Em contrapartida, em estados onde a correlação entre o número de plantas e a geração de empregos verdes foi menos significativa, possíveis explicações podem incluir a variabilidade na qualificação da mão de obra local, diferenças no tamanho e capacidade de cada planta, além de fatores econômicos e regulatórios específicos de cada estado que podem ter influenciado a absorção de novos postos de trabalho.

Embora esta pesquisa não explore detalhadamente os diversos fatores sociais, políticos e econômicos que afetam as variáveis analisadas, é necessário correlacionar os resultados da modelagem com causas potenciais que expliquem os achados e apontem direções para futuras investigações.

Os resultados da análise apontam que, no contexto da região Sudeste do Brasil, apenas os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro apresentam uma relação estatisticamente significativa entre o número de plantas de biogás e a criação de empregos verdes, especialmente relevante para o Rio de Janeiro em níveis de significância mais rigorosos. Isso indica que, enquanto a expansão de plantas de biogás tem implicações diretas e positivas na geração de empregos ambientais nesses dois estados, o mesmo não se observa de maneira consistente para São Paulo e Espírito Santo.

Uma possível explicação para essa variabilidade é o estágio de desenvolvimento das políticas estaduais de incentivo à energia renovável e sustentabilidade, que têm sido mais promissoras em Minas Gerais e Rio de Janeiro, com programas específicos voltados para o uso de biogás em cadeias produtivas e na mitigação das emissões de gases de efeito estufa, o que estimula o mercado de empregos verdes (MALVEZZI et al., 2021).

Outro ponto que pode explicar a diferença observada é o perfil econômico e a infraestrutura energética de cada estado. O Rio de Janeiro, por exemplo, possui uma estrutura industrial diversificada e uma economia parcialmente voltada para a indústria de petróleo e gás, setores que têm passado por uma transição gradual para incorporar fontes mais limpas e alternativas, como o biogás, para reduzir as emissões (PINTO; FONSECA, 2022).

Isso gera uma demanda maior por trabalhadores capacitados em tecnologias de biogás, uma vez que se trata de uma mudança tecnológica e estrutural significativa. Já em Minas Gerais, o agronegócio e a mineração são atividades importantes, e a adoção de plantas de biogás para o tratamento de resíduos agrícolas e industriais se torna atrativa, estimulando novos investimentos e a criação de empregos ambientais nessa área (SILVA; REZENDE, 2020).

Por fim, a ausência de significância estatística em São Paulo e Espírito Santo pode estar relacionada à saturação de outras tecnologias de geração distribuída de energia

renovável nesses estados, como a energia solar fotovoltaica, que recebeu maior incentivo e investimento ao longo da última década. Em São Paulo, por exemplo, o uso do biogás pode estar sendo ofuscado pelo investimento em energia solar, o que diminui a correlação entre o número de plantas de biogás e os empregos verdes, diferentemente do que ocorre no Rio de Janeiro, onde a expansão desse setor é mais recente e impulsionada por políticas regionais (SANTOS et al., 2023).

Essa diversificação regional reflete as políticas e o contexto econômico de cada estado, resultando em impactos variados na geração de empregos sustentáveis conforme o desenvolvimento de tecnologias específicas.

Em conclusão, a pesquisa buscou modelar a variável emprego verde por meio do número de plantas produtivas de biogás, utilizando uma abordagem de correlação temporal com o modelo ARIMAX. A análise focou na região Sudeste, entre 2006 e 2022, e revelou que, nesse contexto específico, apenas o estado do Rio de Janeiro apresentou significância para a hipótese proposta. Os resultados indicam que a criação de uma nova planta de biogás gera, em média, 30.968 e 3.635 novos empregos verdes, respectivamente, o que ressalta a importância do investimento em energias renováveis como uma estratégia eficaz para fomentar o desenvolvimento sustentável e a criação de empregos na região.

Esses achados reforçam a hipótese de uma correlação entre o número de plantas de biogás e a geração de empregos verdes, especialmente no estado do Rio de Janeiro, onde a relação é estatisticamente significativa ao nível de 1%. Isso indica uma evidência muito forte de que essa relação não ocorre ao acaso, conferindo alta confiança na existência de um vínculo real entre essas variáveis. No entanto, é importante destacar que o nível de significância não mede a intensidade da correlação, mas sim a probabilidade de que essa relação exista. Essa interpretação sugere que, ao validar a hipótese, os resultados contribuem para a formulação de políticas públicas que promovam a sustentabilidade e acelerem a transição energética, oferecendo direções concretas e confiáveis para o planejamento de políticas de geração distribuída.

O maior impacto das plantas produtivas de biogás no Rio de Janeiro pode ser atribuído a fatores como a estrutura econômica local, a demanda por energia renovável, e

políticas públicas específicas que incentivam a sustentabilidade. Além disso, a presença de resíduos orgânicos em quantidade significativa e a proximidade com centros urbanos podem facilitar a viabilidade econômica e operacional das plantas, gerando mais empregos verdes em comparação a outros estados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa buscou demonstrar que o biogás e o biometano têm um potencial significativo para impulsionar o desenvolvimento sustentável e a transição energética no Sudeste do Brasil. A análise temporal e geográfica dos empregos verdes associados a essa indústria na região sugere que uma expansão do setor pode não apenas aumentar a segurança energética, mas também gerar benefícios socioeconômicos, como a criação de novos postos de trabalho sustentáveis.

O Brasil, com um dos maiores potenciais de produção de biogás do mundo, devido à grande disponibilidade de resíduos agroindustriais e orgânicos, é particularmente favorável a essa expansão (CUNHA; SANTOS, 2018). Esse cenário reforça a importância de políticas públicas que incentivem o investimento em biogás e biometano, como subsídios fiscais para infraestrutura de plantas e regulamentações que integrem fontes renováveis à matriz energética nacional (LIMA et al., 2020).

A criação de um marco regulatório mais robusto pode facilitar a implementação de tecnologias limpas, promovendo não só a diversificação da matriz energética, mas também a geração de empregos verdes e a redução das emissões de gases de efeito estufa (MALVEZZI et al., 2021).

No entanto, o modelo ARIMAX utilizado apresentou algumas limitações que devem ser abordadas em pesquisas futuras, especialmente no que diz respeito às políticas de estímulo e financiamento da produção de biogás na região Sudeste e no Brasil. Como já mencionado, o incentivo ao biogás é uma tendência recente no cenário econômico brasileiro, e a expansão do setor tem sido gradual.

Nesse contexto, o número limitado de observações — apenas 17 pontos de dados — constitui uma das principais limitações do modelo. A escassez de dados temporais robustos dificulta a obtenção de estimativas precisas e a análise de relações mais complexas entre as variáveis. A literatura sobre modelos de séries temporais, como o ARIMAX, sugere que um número maior de observações é crucial para aumentar a confiabilidade dos resultados e permitir a identificação de padrões de longo prazo (HAMILTON, 1994). Além disso, o período de análise (2006-2022) é relativamente curto, considerando a natureza gradual do desenvolvimento de políticas públicas e da

infraestrutura necessária para o crescimento do setor de biogás. Essa limitação temporal impede uma avaliação mais abrangente das tendências do mercado e das possíveis reações do setor às políticas públicas, como os incentivos fiscais e os programas de financiamento, que ainda estão em fase de consolidação no Brasil (SILVA et al., 2020).

Com isso, pode-se dizer que o biogás pode ser compreendido como um mecanismo da economia ecológica, uma vez que sua produção envolve a reutilização de resíduos orgânicos, alinhando-se aos princípios dessa abordagem que busca promover um modelo de desenvolvimento sustentável e integrado com a questão ambiental e climática. A economia ecológica enfatiza a necessidade de soluções que combinem eficiência produtiva com o reaproveitamento de recursos e a implementação de tecnologias que resolvam problemas ambientais (Daly, 2004; Misoczky & Böhm, 2012).

Nesse sentido, a expansão do biogás não só contribui para a gestão de resíduos, mas também para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, um desafio central das políticas climáticas globais, como destacam as diretrizes internacionais (Cavalcanti, 2010). O biogás representa uma alternativa eficiente e limpa, ao mesmo tempo em que pode ser uma estratégia crucial para alcançar as metas climáticas do Brasil, que se comprometem a reduzir as emissões de carbono na matriz energética.

A expansão dos empregos verdes por meio da implementação de plantas de biogás é, de fato, uma tarefa de longo prazo, mas plenamente viável. A criação de novos postos de trabalho sustentáveis não acontece de forma imediata, dado o caráter gradual da transição energética e o amadurecimento das tecnologias envolvidas. Contudo, à medida que mais plantas de biogás forem implementadas, observa-se um aumento no número de empregos associados à construção, operação e manutenção dessas unidades, além de oportunidades relacionadas ao desenvolvimento e comercialização de tecnologias de biogás.

A literatura confirma que a criação de empregos verdes é um processo contínuo que se consolida ao longo do tempo, especialmente com o amadurecimento das políticas públicas e do setor (Thomás & Callan, 2017). Além disso, a diversificação energética proporcionada pela adoção do biogás é crucial para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, ajudando o Brasil a se posicionar de forma mais competitiva no

mercado global de energia renovável (Fernandez, 2011). Esse movimento é especialmente importante em um cenário global que busca por fontes de energia mais limpas e sustentáveis, onde o biogás surge como uma alternativa promissora para os desafios energéticos e ambientais.

A relevância desta pesquisa reside em seu potencial de fornecer insights estratégicos para o desenvolvimento do setor de biogás, com implicações diretas para a formulação de políticas públicas voltadas para a transição energética e o crescimento de um mercado de trabalho verde. Os resultados deste estudo podem servir como base para a criação de políticas que incentivem o aumento da geração de empregos verdes, como a implementação de programas de capacitação em tecnologias de biogás e incentivos fiscais para empresas que adotam práticas sustentáveis.

Dessa forma, o estudo contribui não apenas para a promoção da sustentabilidade, mas também para a construção de um futuro mais resiliente e inclusivo, inspirando ações concretas que possam consolidar o biogás como uma peça-chave na estratégia de transição energética do Brasil. Além disso, a pesquisa abre caminho para investigações futuras, proporcionando um maior entendimento sobre o impacto do biogás na economia verde e sua relação com a sustentabilidade ambiental.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, T.; TAUSSEF, A. L.; ABBASI, S. A.; SIDDIKI, A. Z.; et al. *Biogas production: A comprehensive review on the processes and technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 7, p. 4207-4223, 2012.

Adrien Labaye. ICLEI and Global Climate Change: a local governments' organizational attempt to reframe the problem of global environmental change. Political science. 2010.

ANDRIANI, P.; MANGIATTI, M.; LUCAS, M. et al. *Production of biogas from organic waste: A technological and environmental analysis*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 39, p. 1347-1359, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Geração distribuída. Brasília: ANEEL, 2023. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 13 nov. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). Brasília: ANP, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/dutos-e-instalacoes/glp>. Acesso em: 13 nov. 2024.

ANDRIUCCI, Lays Regina. Análise da valoração climática na perspectiva da Economia Ambiental: possibilidades e limitações. 2009. 210 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade Ciências e Tecnologia, 2009.

BAHRS, Enno; ANGENENDT, Elisabeth. Status quo and perspectives of biogas production for energy and material utilization. Gcb Bioenergy, v. 11, n. 1, p. 9-20, 2019.

BALLESTERO, M. Hartley. Economía ambiental y Economía ecológica: un balance crítico de su relación. In: Centro Internacional de Política Económica (CINPE). Economía y Sociedad. 2008, p. 55-65.

BONELLI, Valério Vitor; LAZZARESCHI, Noêmia. Green Jobs and Sustainability: trends and challenges in Brazil. 2016.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. Time series analysis: forecasting and control. 5. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

CALLAN, Scott J.; THOMAS, Janet M. The impact of state and local policies on the recycling effort. In: *The economics of residential solid waste management*. Routledge, 2017. p. 301-313.

CAVALCANTI, C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental, *Revista Estudos Avançados*, São Paulo, V. 24, n. 68, p. 53-68, fev./fev. 2010. Disponível em Acesso em: 15 janeiro 2016.

CECHIN, A; PACINI, H. Economia verde: porque o otimismo deve ser aliado ao ceticismo da razão. *Revista Estudos Avançados*, São Paulo, V 26, n. 74, p. 121-135. Dez/dez. 2012. Disponível em : Acesso em: 05 fevereiro 2016.

CECHIN, A.; PACINI, H. *Economia ecológica e sustentabilidade: conceitos e debates*. Brasília: Editora IPEA, 2012.

CECHIN, A; VEIGA, J,E. O fundamento central da economia ecológica. In. MAY, Peter (org) *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro. 2ª ed, 2010, p. 33-48.

COELHO, Bruno Medeiros; PASCHOARELI JR, Dionízio; DA SILVA ROMERO, Cristhy Willy. Potencial Energético Da Biomassa Em Pequenas Propriedades Rurais–O Caso Do Assentamento Estrela Da Ilha. In: *Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS*. 2018.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. *Nosso futuro comum*. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CUNHA, C. R.; SANTOS, J. L. *O potencial de biogás no Brasil: uma análise das fontes e possibilidades de geração*. *Revista Brasileira de Energia Renovável*, v. 7, n. 2, p. 105-118, 2018.

DALY, Herman E. Crescimento sustentável? Não, obrigado. *Ambiente & sociedade*, v. 7, p. 197-202, 2004.

DE BAKKER, Leonardo Barcellos; YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann. *Caracterização do emprego verde no Brasil*. 2011.

DEMIRBAS, A. Biomethane, biogas and biohydrogen production from biomass and organic wastes. *Energy Sources*, v. 23, n. 6, p. 551-564, 2001.

ENDERS, W. Applied econometric time series. *Journal of Econometrics*, v. 85, n. 2, p. 277-304, 2008.

FEDERAL REGISTER. *Biogas production and energy: Regulatory updates and its potential impact on green job creation*. Federal Register, v. 75, n. 23, p. 3215-3225, 2010.

FERNANDEZ, E. *A transição energética e as alternativas de biocombustíveis no Brasil: oportunidades e desafios*. *Revista de Energias Renováveis*, v. 9, n. 4, p. 234-246, 2011.

FREITAS, S. F.; FERREIRA, L. C.; ALMEIDA, P. P. et al. *Produção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos: uma análise de sua viabilidade econômica e ambiental*. *Revista Brasileira de Energia*, v. 17, n. 2, p. 109-122, 2019.

GEORGESCU-ROEGEN, N. *The entropy law and the economic process*. Cambridge, Mass., EUA: Harvard University Press, 1971

HAKAWATI, F. *Biogas as an alternative energy source in rural areas: A case study of developing countries*. *Energy for Sustainable Development*, v. 41, p. 45-52, 2017.

HAMILTON, J. D. *Time Series Analysis*. Princeton: Princeton University Press, 1994

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. *Forecasting: principles and practice*. 3. ed. Melbourne: OTexts, 2021. Disponível em: <https://otexts.com/fpp3/>.

IZENMAN, A. J. *Modern multivariate statistical techniques: regression, classification, and manifold learning*. New York: Springer, 2008.

JACOBI, P,R; SINISGALLI, P,A,A. *Governança Ambiental e economia verde*. *Revista Ciência e Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, V. 17, n. 6, p 1469-1478, abril/abril. 2012. Disponível em: Acesso em: 02 fevereiro 2016.

KARLSSON, M.; SUNDH, I.; LARSSON, S. et al. *Advances in biogas production and its potential for creating green jobs in rural areas*. *Journal of Environmental Management*, v. 142, p. 228-237, 2014.

LEE, D. *Forecasting energy consumption: an application of ARIMAX model*. [s.l.]: [s.n.], 2011.

LIMA, P. A. et al. *Políticas públicas para o biogás no Brasil: desafios e oportunidades para a transição energética*. *Revista de Políticas Públicas*, v. 15, n. 4, p. 249-267, 2020.

LIU, J. ARIMAX and GARCH models for forecasting stock market returns. [s.l.]: [s.n.], 2016.

MALVEZZI, G. M.; ARAÚJO, L. B.; SILVA, M. O. *Políticas de incentivo à geração de biogás e seus impactos no setor de empregos verdes no Brasil*. Revista Brasileira de Sustentabilidade, v. 12, n. 2, p. 214-229, 2021.

MARTINEZ, A. R.; GARCÍA, M. E.; PÉREZ, S. E. et al. *Biogas production and the role of renewable energy in sustainable development: A global review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 135, p. 110-125, 2021.

MILANEZ, Artur Yabe; MAIA, Guilherme Baptista da Silva; GUIMARÃES, Diego Duque. *Biogás: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil = Biogas: recent evolution and potencial of a new frontier for renewable energy in Brazil*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. [177]-213, mar. 2021.

MÍGUEZ, J. L. *Economia ecológica e suas interfaces*. Florianópolis: Editora UFSC, 2002.

MISOCZKY, M. C.; BÖHM, G. *A economia ecológica e o papel das energias renováveis no desenvolvimento sustentável*. Estudos de Economia Ecológica, v. 11, n. 2, p. 103-118, 2012.

NAREDO, J. M. *La economía en evolución: historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*. Madrid: Siglo XXI de España Editores, 2001.

OLIVEIRA, J. A. P. *Sustentabilidade e políticas públicas: desafios e práticas*. São Paulo: Editora Senac, 2017.

ONU. *Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano*. In: Anais Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, 1972.

PASQUAL, M. S.; BOLLMANN, G. M.; SCOTT, S. A. *Biogas production from agricultural residues: A sustainable approach for renewable energy generation*. Journal of Renewable Energy, v. 42, p. 179-191, 2017

PEARCE, D.; TURNER, P. *Economía de los recursos naturales y del medioambiente*. Madrid: Celeste Ediciones, 1995.

PINTO, R. M.; FONSECA, C. E. *A transição energética no setor de petróleo e gás: o papel do biogás e do emprego verde no Rio de Janeiro*. Journal of Renewable Energy Studies, v. 18, n. 4, p. 345-360, 2022.

SANTOS, V. S.; MARTINS, P. F.; CARVALHO, A. C. *Energia solar e a diversificação energética em São Paulo: impactos no mercado de trabalho verde*. Economia Ecológica, v. 5, n. 3, p. 197-210, 2023.

SILVA, J. F.; REZENDE, T. V. *Biogás como alternativa para o agronegócio sustentável em Minas Gerais*. Estudos de Energia Sustentável, v. 10, n. 3, p. 101-115, 2020.

SUGAHARA, A. *Technological advancements in biogas production: A pathway for rural development and green job generation in Brazil*. Energy Policy, v. 38, n. 10, p. 6254-6262, 2010.

THOMÁS, J.; CALLAN, S. *Tecnologias renováveis e as políticas energéticas no Brasil: o biogás como alternativa estratégica*. Revista Brasileira de Políticas Energéticas, v. 8, n. 1, p. 29-43, 2017.

TSAY, R. S. *Analysis of financial time series*. Journal of Time Series Analysis, v. 26, n. 4, p. 595-607, 2005.

WEI, W. W. S. *Time series analysis: univariate and multivariate methods*. 2. ed. Boston: Pearson, 2006.