

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

Layla Leão Lima Teixeira

**Economia de Baixo Carbono: Oportunidades para a
Indústria Sucroalcooleira do Estado de Mato Grosso**

Gestão e Tecnologia Industrial

LAYLA LEÃO LIMA TEIXEIRA

ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA DO ESTADO DE MATO GROSSO

Qualificação de Doutorado, apresentado ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial para obtenção de título de Doutor em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Santos Nascimento Filho

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Barros Murari

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

T266e Teixeira, Layla Leão Lima

Economia de baixo carbono: oportunidades para a indústria sucroalcooleira do Estado de Mato Grosso / Layla Leão Lima Teixeira. – Salvador, 2024.

129 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Santos Nascimento Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Barros Murari.

Tese (Doutorado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2024.

Inclui referências.

1. Economia de baixo carbono. 2. Sustentabilidade. 3. Etanol. 4. Gestão organizacional. 5. Indústria sucroalcooleira. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Nascimento Filho, Aloísio Santos. III. Murari, Thiago Barros. IV. Título.

CDD 338.43662

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Doutorado em Gestão e Tecnologia Industrial

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Doutorado, intitulada "**Economia de Baixo Carbono: Oportunidades para a Indústria Sucroalcooleira de Mato Grosso**" apresentada no dia 08 de março de 2024, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Doutora em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador:

Assinado eletronicamente por:
Aloisio Santos Nascimento Filho
CPF: ***.459.665-**
Data: 08/03/2024 16:23:01 -03:00

Prof. Dr. Aloisio Santos Nascimento Filho
SENAI CIMATEC

Coorientador:

Electronically signed by:
Thiago Barros Murari
CPF: ***.191.765-**
Date: 3/8/2024 2:36:30 PM -03:00

Prof. Dr. Thiago Barros Murari
SENAI CIMATEC

Membro Interno:

Electronically signed by:
Alex Álisson Bandeira Santos
CPF: ***.191.765-**
Date: 3/8/2024 2:45:17 PM -03:00

Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos
SENAI CIMATEC

Membro Interno:

Assinado eletronicamente por:
Renelson Ribeiro Sampaio
CPF: ***.051.205-**
Data: 12/03/2024 19:25:22 -03:00

Prof. Dr. Renelson Ribeiro Sampaio
SENAI CIMATEC

Membro Externo:

Assinado eletronicamente por:
Florencio Mendes Oliveira Filho
CPF: ***.356.925-**
Data: 08/03/2024 14:46:31 -03:00

Prof. Dr. Florêncio Mendes Oliveira Filho
FIEB

Membro Externo:

Assinado por: Paulo Jorge Silveira Ferreira
Num. de identificação: 12015112
Data: 2024.03.13 18:09:14+00'00'

Prof. Dr. Paulo Jorge Silveira Ferreira
Instituto Politécnico de Portalegre

Nota sobre o estilo desta PPGGETEC

Esta tese de doutorado foi elaborada considerando as normas de estilo (i.e. estáticas e estruturais) propostas aprovadas pelo colegiado do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Gestão e Tecnologia Industrial e estão disponíveis em formato eletrônico (download na página web <http://ead.fieb.org.br/portal/faculdades/dissertacoes-e-teses-mcti.html> ou solicitação via e-mail à secretaria do programa) e em formato impresso somente para consulta. Ressalta-se que o formato proposto considera diversos itens das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entretanto opta-se, em alguns aspectos, seguir um estilo próprio elaborado e amadurecido pelos professores do programa de pós-supracitado.

Agradecimentos

Durante uma corrida de rua, percebo ser possível traduzir o processo de construção desta parte de agradecimentos da tese.

Antes de iniciar a inscrição, uma pessoa na rua passa por mim e me diz: "Faça seu curso, que Deus estará com você". Durante o processo de inscrição, sem ao menos saber quantos quilômetros eu iria correr, Pr^a Dr^a Josiane Dantas e Msc. Lélia Brun, me incentivam e inicio meu processo.

Ingrid, incomodada porque me inscrevi apenas para os 10km (mestrado), me motiva a mudar a inscrição para os 21km (doutorado). Assim, o faço. Pr^a Dr^a Camila Pereira-Guizzo e Pr^a Dr^a Josiane Dantas me dão todo o suporte nos primeiros quilômetros, seguidos por Prof. Dr. Aloisio Santos Nascimento Filho e Pr. Dr. Thiago B. Murari.

Meu esposo Niltinho, decidido a ter a esposa com a melhor desempenho de corrida. Prepara todos os equipamentos necessários. Garante que todos os melhores instrumentos serão utilizados, relógio, tênis, repositor de nutrientes. Além de cuidar disso durante todo o trajeto.

Ao decorrer da corrida, percebo que sou acompanhada por um grupo de colegas com um barulho alto. Uns mais lentos, outros mais rápidos, mas sempre juntos. Essa era a turma da pós-graduação, que esteve comigo nos dois primeiros anos (os primeiros 7km). Animados com minha caminhada, mesmo sem saber quantos quilômetros eu iria correr.

Lindas arvores se mostram em todo o trajeto, são eles o Ipês. Eles se abrem lindos no calor escaldante. Nem parece que estão em um clima tão desértico. São belos e tornam o trajeto mais leve e gratificante. Eles são meus pais Lindalva e João e meus sogros Nilton e Rosa. Não sabem que causam todo esse prazer e paz, mas assim o fazem só por existirem.

Percebo ao lado uma galera torcendo. Lá estão Aline, Adriana, Joana, Juliana, Iza, Jussara e Carla. Amigas inseparáveis. Elas não correm - joelhos machucados, dores lombares, preguiça de exercícios e muitos filhos nos meios das pernas - mas firmes, gritando com todo o amor do mundo. Elas não compreendem como alguém pode se esforçar tanto por uma corrida, porém estão ali, firmes na torcida.

De repente, já nos 14 km, aparece um moço rápido e cheio de alegria. Me entrega um carbogel – alimento para fortalecer e me dar mais energia para continuar. Esse é o Prof. Dr. Hugo Saba. Depois dele, vem o Prof. Dr. Florêncio, animado e, ao mesmo tempo, generoso, que me entrega um copo de Gatorade, cheio dos nutrientes que preciso para continuar caminhando. Esses apoios sempre surgem. A cada quilômetro, lá estão eles, contribuindo novamente.

De repente, escuto o grito de alguns corredores companheiros, que também irão correr os 21km: Elizabeth, Aline, Carlos, Charles, Daniel, Orbílio, Maria de Lourdes e Raissa. Todos que tornam tudo mais leve e divertido. Alguns desses se tornaram

meus colegas de treino. São parceiros mais próximos e que conquistaram meu coração: Geovana, Filipe, Samuel, Rosivaldo e Toni.

A corrida se encerra (21km) e olho para o alto, para aquele sol lindo e forte. Ele esteve ali o tempo todo, do início ao fim. Esse é o meu Deus, que durante todo o tempo, continua sendo minha luz.

Resumo

O setor de transportes, que representa o quarto maior emissor de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, é o segmento no qual a sociedade mais espera ações para reduzir esse impacto. Nesse sentido, o papel crucial da indústria sucroalcooleira merece destaque, uma vez que utiliza insumos renováveis em sua produção, promove a redução do consumo de combustível fóssil em veículos flexfuel, contribuindo para diminuir as emissões de GEE e impulsionando a descarbonização da atividade econômica. Além disso, essa indústria possibilita a diversificação de matérias-primas em áreas remotas, gerando emprego e renda. Por meio de programas como o RENOVBIO, ela promove o aumento da competitividade e lucratividade da cadeia de distribuição e revenda de biocombustíveis. No entanto, no atual contexto de alta produção de etanol, preocupação com a descarbonização da economia e necessidade de produção sustentável, as indústrias sucroalcooleiras enfrentam desafios que exigem mudanças nas premissas que norteiam a produção de etanol. Essas premissas incluem: a) A expectativa de que a economia de baixo carbono aumentaria a demanda por biocombustíveis, especialmente o etanol, b) A possibilidade de aumento na demanda pela produção de etanol nos próximos anos e, c) A confiança de que a crescente demanda por etanol garantiria preços suficientemente altos para cobrir os custos de produção e justificar os investimentos do setor. Visando lidar com essas incertezas, este estudo propõe investigar os cenários de projeção do mercado de etanol, buscando obter percepções para apoiar o processo de tomada de decisão das indústrias do setor sucroalcooleiro brasileiro. Nesse contexto, é crucial estabelecer uma metodologia de planejamento estratégico que auxilie as empresas do setor sucroalcooleiro na identificação dos potenciais cenários futuros para a produção de etanol. O objetivo deste projeto de qualificação é desenvolver uma metodologia que auxilie no planejamento estratégico das indústrias sucroalcooleiras do estado de Mato Grosso/BR, visando posicionar e alinhar suas operações conforme as dinâmicas e desafios do mercado de biocombustíveis no Brasil no longo prazo. A metodologia proposta visa identificar potenciais cenários futuros para a produção de etanol, considerando o trade-off entre diferentes demandas de biocombustíveis no setor de veículos leves. A pesquisa utiliza análises qualitativas e quantitativas, incluindo a análise crítica da literatura e a análise da flutuação sem tendência dos preços do etanol. A metodologia proposta apoia as indústrias sucroalcooleiras na construção de estratégias baseadas em análises quali e quantitativas, que englobam uma análise de cenário ao nível nacional, regional e municipal. Essa abordagem fornece percepções que auxiliam na projeção da demanda, otimização da produção, diversificação de produtos e planejamento de investimentos, contribuindo para a sustentabilidade e competitividade do setor. A metodologia proposta nesta tese oferece percepções valiosas para a tomada de decisões estratégicas, permitindo que as empresas se adaptem, sejam competitivas e alcancem crescimento contínuo em um ambiente dinâmico e desafiador. Com uma gestão organizacional eficaz, essas empresas estarão preparadas para enfrentar os desafios e garantir o sucesso a longo prazo. Por meio desse estudo, espera-se que o setor sucroalcooleiro possa liderar a descarbonização da economia, minimizando o impacto ambiental e auxiliando na construção de um futuro mais sustentável.

Palavras-chave: economia de baixo carbono; sustentabilidade; etanol, gestão, indústria.

Abstract

The transportation sector, which represents the fourth largest emitter of greenhouse gases (GHG) in Brazil, is the sector in which society expects the most actions to reduce this impact. In this sense, the crucial role of the sugarcane industry deserves highlighting, as it uses renewable inputs in its production, promotes the reduction of fossil fuel consumption in flex-fuel vehicles, contributing to decrease GHG emissions and driving the decarbonization of the economic activity. Additionally, this industry enables the diversification of raw materials in remote areas, generating employment and income. Through programs like RENOVBIO, it enhances competitiveness and profitability in the distribution and resale chain of biofuels. However, in the current context of high ethanol production, concerns about decarbonizing the economy and the need for sustainable production, sugarcane industries face challenges that require changes in the assumptions guiding ethanol production. These assumptions include: a) The expectation that a low-carbon economy would increase demand for biofuels, especially ethanol; b) The possibility of increased demand for ethanol production in the coming years; c) The confidence that the growing demand for ethanol would ensure prices high enough to cover production costs and justify sector investments. With the aim of addressing these uncertainties, this study proposes investigating ethanol market projection scenarios, seeking to obtain insights to support the decision-making process of Brazilian sugarcane industries. In this context, it is crucial to establish a strategic planning methodology that assists sugarcane companies in identifying potential future scenarios for ethanol production. The goal of this qualifying project is to develop a methodology that supports the strategic planning of the sugarcane industries in the state of Mato Grosso, Brazil, aiming to position and align their operations according to the dynamics and challenges of the biofuels market in Brazil in the long term. The proposed methodology aims to identify potential future scenarios for ethanol production, considering the trade-off between different demands for biofuels in the light-duty vehicle sector. The research employs qualitative and quantitative analyses, including critical analysis of the literature and analysis of non-trending ethanol price fluctuations. The proposed methodology supports sugarcane industries in building strategies based on qualitative and quantitative analyses, encompassing a scenario analysis at the national, regional, and municipal levels. This approach provides insights that assist in demand projection, production optimization, product diversification, and investment planning, contributing to the sustainability and competitiveness of the sector. The methodology proposed in this thesis offers valuable insights for strategic decision-making, allowing companies to adapt, be competitive, and achieve continuous growth in a dynamic and challenging environment. With effective organizational management, these companies will be prepared to face challenges and ensure long-term success. Through this study, it is expected that the sugarcane sector can lead the decarbonization of the economy, minimizing environmental impact, and aiding in the construction of a more sustainable future.

Keywords: low-carbon economy, sustainability, ethanol, management, industry.

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Metas Brasileiras de Redução de Impactos Climáticos Estabelecidas em Reuniões das Conferências das Partes (COP) 21 (2015), 26 (2021) e 28 (2023).....	23
Tabela 2 - Detalhamento Bibliométrico dos Dados dos Artigos Mapeados.	49
Tabela 3 - Comportamento De Países Do Mundo No Processo De Descarbonização Do Setor De Veículos Leves.....	107
Tabela 4 - Mapeamento dos Cenários de Projeção de Produção de Biocombustíveis no Mundo.	108
Tabela 5 - Externalidades Positivas e Negativas Mapeadas para a Produção de Etanol.	110
Tabela 6 - Comportamento das Séries Temporais dos Preços dos Produtos no Cenário Internacional, Nacional e Regional Brasileiro.	113

Lista de Figuras

Figura 1 - Perspectiva Geral da Pesquisa.....	42
Figura 2 - Metodologia de Pesquisa – Análise Qualitativa e Análise Quantitativa. ...	43
Figura 3 - Estrutura de Aplicação da Metodologia de Análise Qualitativa - Análise Crítica da Literatura.....	47
Figura 4 - Estrutura de Aplicação da Metodologia de Análise Quantitativa - Análise de Autoafinidade (DFA).	76
Figura 5 - Modelo de Estruturação de Estratégias Organizacionais Baseada na Análise de Cenários Quali e Quantitativa.....	118
Figura 6 - Observatório do Mercado de Etanol Combustível no Processo de Descarbonização do Setor de Transportes Leves.	120

Lista de Abreviações

PPGTEC – Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Industrial;

WHO – *World Health Organization*;

WWW – *World Wide Web*;

ONU – Organização das Nações Unidas;

GEE – Gases de Efeito Estufa;

ESG – *Environmental, Social and Governance*;

DFA – *Análise de autoafinidade*.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Definição do Problema	18
1.2. Objetivo Geral	18
1.3. Objetivos Específicos	18
1.4. Importância da Pesquisa	18
1.5. Limites da Pesquisa	19
1.6. Hipóteses	20
1.7. Organização da Tese	20
2. Revisão da Literatura	21
1.1. Estratégias Globais de Redução das Emissões de Carbono no Setor de Veículos Leves	21
1.2. O Setor de Transportes Veiculares Leves e a Produção de Veículos Elétricos e a Combustão	27
1.3. O Setor de Transportes Veiculares Leves e a Produção de Etanol Combustível	29
1.4. A Produção de Etanol Combustível e a Gestão ASG (Ambiental, Social e Governança)	33
3. METODOLOGIA	42
3.1. Análise Crítica da Literatura	43
3.2. Análise de Autoafinidade (DFA)	44
3.3. Modelo de Estruturação de Estratégias Organizacionais	46
4. ARTIGO 01 – Cenários e Oportunidades no Setor de Açúcar e Etanol Industrial - Desafios e Oportunidades Rumo a Uma Economia de Baixo Carbono no Brasil.	47
5. ARTIGO 02 – Autoafinidade na Variação de Preços de Etanol Hidratado e Anidro ao Produtor do Setor Sucroalcooleira.	75
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	107
6.1. Economia de Baixo Carbono e a Descarbonização do Setor de Transportes Leves	107
6.2. Sustentabilidade e a Indústria Sucroalcooleira	109
6.3. Indústria Sucroalcooleira e a Comportamento da Microeconomia	111
6.4. Tecnologias de Análise de Dados Aplicadas à Gestão Organizacional	117
7. CONCLUSÃO	121
8. REFERÊNCIAS	124

1. INTRODUÇÃO

*“É melhor obter sabedoria do que ouro! É melhor obter entendimento do que prata!
(BÍBLIA, Provérbios 16:16)”*

A presença do ser humano exerce um impacto contínuo sobre o meio ambiente devido às suas atividades antropogênicas, em especial, a emissão de gases de efeito estufa, sendo essa considerada a principal força impulsionadora no aumento da temperatura média global. Estudos realizados entre os anos de 1961 e 1990 demonstram que a temperatura global relativa apresentou um incremento significativo superior a 0,8°C nesse período (RITCHIE; ROSADO; ROSER, 2023). A questão global agora é como minimizar esse impacto. O relatório do IPCC de 2021 prevê um aumento de temperatura de 1,5°C em todos os cenários até 2030 (IPCC, 2021). Essas mudanças climáticas têm consequências diretas na qualidade de vida, afetando a saúde respiratória, emocional, social e até mesmo a disponibilidade de recursos naturais (BIKOMEYE; RUBLEE; BEYER, 2021; CHOMSKY; POLLIN, 2020).

Impactados, não somente pela crise climática global, mas também por uma pandemia que se instaurou recentemente, mudando abruptamente como as pessoas vivem e se relacionam, empresas e instituições do mundo todo, se inclinam na busca por um modelo de retomada verde (CHOMSKY; POLLIN, 2020; SZKLO; PINHEIRO; CALLEGARI, 2021). Os Estados Unidos adotou práticas de desenvolvimento ambiental, social e de governança, com o objetivo principal de alcançar emissões líquidas zero de gases de efeito estufa em toda a economia até 2050 (“The Biden Plan to Build a Modern, Sustainable Infrastructure and an Equitable Clean Energy Future.”, 2022). Por sua vez, o governo brasileiro firmou um acordo para reduzir as emissões de carbono em 50% até 2030, eliminar o desmatamento ilegal até 2028 (15% ao ano até 2024, 40% em 2025 e 2026, e 50% em 2027, em comparação com 2022), restaurar e reflorestar 18 milhões de hectares de florestas até 2030, alcançar uma participação de 45% a 50% de energias renováveis na matriz energética até 2030 e recuperar 30 milhões de hectares de pastagens degradadas (UN GLOBAL COMPACT, 2019).

As atuais políticas climáticas e energéticas estão tendo um impacto positivo na redução do aquecimento global. Essas políticas já evitaram algum aquecimento futuro que ocorreria em um cenário sem essas medidas. Sem políticas climáticas, o aquecimento seria mais intenso. As políticas atuais nos colocam em um caminho para um aquecimento de cerca de 2,7°C até 2100. Se os países honrarem seus compromissos atuais, esse valor pode ser reduzido para 2,1°C. No entanto, para atingir a meta de limitar o aquecimento a “bem abaixo dos 2°C”, como estabelecido no Acordo de Paris, é necessário aumentar a ambição desses compromissos e alinhar as políticas de acordo com eles (RITCHIE; ROSADO; ROSER, 2023).

O setor de transportes, por representar um dos setores com mais emissões de GEE, culmina por ser aquele que a sociedade mais espera ações de redução deste impacto (ANFAVEA, 2021a). A tecnologia de carros elétricos e autônomos é uma alternativa neste cenário, no entanto, apesar de conhecida e em crescente evolução, a demanda por automóveis flexfuel ainda possui sua relevância de mercado que também se mostra crescente. Segundo o Relatório da Empresa de Pesquisa Energética (2018),

espera-se um crescimento da demanda do ciclo Otto (veículos leves) no Brasil, a uma taxa de 2,6% a.a. no período entre 2017 a 2030 (MACHADO, 2019).

Na conjuntura brasileira, sobressai o papel da indústria sucroalcooleira na redução de GEE, pois além de na sua produção utilizar insumos renováveis; oportunizar a toda uma cadeia de automóveis flexfuel a redução do consumo do combustível fóssil, arrefecendo a emissão de GEE e promovendo a descarbonização da atividade econômica (LA ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011); permite a diversificação de matérias-primas em áreas remotas, gerando emprego e renda (GRASSI; PEREIRA, 2019) e; por meio de programas específicos, como o RENOVABIO, promove o aumento de competitividade e lucratividade da cadeia de distribuição e revenda de biocombustíveis (LAZARO; THOMAZ, 2021; ORLOV; KALLBEKKEN, 2019a).

A título de iniciativas, no programa RENOVABIO, produtores e distribuidores de biocombustíveis, precisam gerar ou comprar, respectivamente, títulos de créditos de carbono (CBIOS). A venda de C BIO favorece um aumento da receita, além de aumento da participação deste biocombustível na matriz de transporte. Com o aumento da receita pelo CBIOS, os produtores no que lhe concerne, teriam mais recursos para investir no aumento da eficiência de seus processos para melhorar a emissão de GEE e reduzir as perdas, fortalecendo o potencial para gerar mais CBIOS (SALINA; DE ALMEIDA; BITTENCOURT, 2020; SILVA, UBIRAJARA SOUZA DA, 2021). Segundo a UDOP (2021) em janeiro de 2021, já haviam sido emitidos pelas usinas de biocombustíveis brasileira 5,7 milhões de CBIOS, com mais de 750 mil contratos já comercializados e aproximadamente 5 milhões de créditos disponíveis para compra (UDOP, 2021).

No entanto, no atual cenário de alta produção de etanol, preocupação com descarbonização da economia e necessidade de produção sustentável, as indústrias sucroalcooleiras estão enfrentando desafios que exigem mudanças nas premissas que norteiam a produção de etanol. Essas premissas incluem: a) a expectativa de que a economia de baixo carbono aumentaria a demanda por biocombustíveis, especialmente o etanol (CHIARAMONTI et al., 2021a); b) a possibilidade de aumento na demanda pela produção de etanol nos próximos anos (NOGUEIRA et al., 2020a); e c) a confiança de que a crescente demanda por etanol garantiria preços suficientemente altos para cobrir os custos de produção e justificar os altos investimentos do setor (MACHADO et al., 2018).

Por outro lado, as indústrias do setor sucroalcooleiro, que seriam, neste contexto, as provedoras deste biocombustível, também precisam se preocupar com suas externalidades, geradas desde sua produção agrícola até sua produção e em como estas podem impactar em sua atuação e gestão ESG (ambiental, social e governança) (NEVES, 2021a). Essas variáveis ampliam a complexidade da tomada de decisão no âmbito da gestão das organizações do setor sucroalcooleiro e, além disso, envolve um trade-off, pois se questiona se é mais vantajoso continuar produzindo etanol, redirecionar a produção para açúcar ou reduzir a produção devido à demanda contínua por combustíveis derivados de petróleo (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023).

Neste contexto, se percebe a necessidade da criação de uma metodologia de gestão organizacional que auxilie as empresas do setor sucroalcooleiro na identificação dos

potenciais cenários futuros para a produção de etanol e que apoie na obtenção de percepções sobre como o mercado de etanol pode se comportar, a fim de apoiar a tomada de decisão estratégica. Desta forma, visando lidar com estas incertezas, este estudo propõe investigar os cenários de projeção do mercado de etanol a fim de obter percepções que apoiem o processo de tomada de decisão pelas indústrias do setor sucroalcooleiro brasileiro.

1.1. Definição do Problema

Percebe-se latente a necessidade de ampliação do estudo que apoie as organizações industriais do setor sucroalcooleiro, por meio de um projeto de qualificação, como parte de um projeto de doutorado, com abordagens qualitativas e quantitativas para a discussão no que tange à questão norteadora: ***Como a gestão organizacional das indústrias do setor sucroalcooleiro no estado do Mato Grosso, no Brasil, pode adquirir vantagens competitivas ao se posicionar estrategicamente no campo da energia de baixo carbono?***

1.2. Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia que auxilie no planejamento estratégico da indústria sucroalcooleira do estado do Mato Grosso/BR, visando posicionar e alinhar suas operações de acordo com as dinâmicas e desafios do mercado de biocombustíveis no Brasil, no longo prazo.

1.3. Objetivos Específicos

- a) Mapear as tendências de produção de etanol combustível, no âmbito da energia de baixo carbono, tanto em nível mundial quanto no contexto brasileiro;
- b) Aplicar uma abordagem quantitativa para analisar as flutuações de preços do etanol hidratado, açúcar, gasolina comum e petróleo (tipo *Brent*);
- c) Propor um percurso metodológico voltado para avaliar o comportamento do mercado de combustíveis líquidos no mercado brasileiro.

1.4. Importância da Pesquisa

A pesquisa interdisciplinar desempenha um papel crucial no setor sucroalcooleiro e no mapeamento de cenários, permitindo uma compreensão abrangente dos desafios e oportunidades enfrentados pela indústria. Ao integrar conhecimentos das áreas de economia, engenharia, agronomia e outras disciplinas relevantes, é possível obter uma visão mais ampla e holística do setor, considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

A análise qualitativa e quantitativa da demanda por biocombustíveis, combinada com a análise da flutuação dos preços do etanol, pode fornecer uma compreensão mais precisa dos potenciais cenários futuros para a produção de etanol. Ao considerar diferentes demandas de biocombustíveis no setor de veículos leves, é possível identificar tendências e trade-offs que podem orientar o planejamento estratégico das indústrias sucroalcooleiras.

Além disso, a pesquisa interdisciplinar permite explorar a diversificação de matérias-primas, a otimização da produção, a análise de impactos socioeconômicos e ambientais, bem como o planejamento de investimentos. Essa abordagem abrangente melhora a capacidade das empresas do setor sucroalcooleiro em tomar decisões informadas e estratégicas, considerando as dinâmicas e desafios do mercado de biocombustíveis no longo prazo.

A pesquisa interdisciplinar também favorece a colaboração e o intercâmbio de conhecimentos entre diferentes áreas, enriquecendo a compreensão do setor sucroalcooleiro e fornecendo insights valiosos para o desenvolvimento de políticas públicas e regulamentações adequadas. Dessa forma, a pesquisa interdisciplinar contribui para a sustentabilidade e competitividade do setor sucroalcooleiro, promovendo a liderança na descarbonização da economia e auxiliando na construção de um futuro mais sustentável.

Notadamente a pesquisa interdisciplinar é de extrema importância no setor sucroalcooleiro por permitir uma compreensão aprofundada dos desafios e oportunidades, facilita o planejamento estratégico e a tomada de decisões informadas. Essa abordagem integrada impulsiona a inovação, a sustentabilidade e a competitividade do setor, enquanto contribui para o avanço do conhecimento científico e a formação de profissionais capacitados.

1.5. Limites da Pesquisa

No escopo desta pesquisa, algumas áreas específicas não foram consideradas. Em primeiro lugar, não foram incluídas análises abrangentes sobre a produção de outros biocombustíveis além do etanol, como o biodiesel ou biogás. Isso ocorreu principalmente devido à ênfase na indústria sucroalcooleira e à importância do etanol como biocombustível amplamente utilizado no contexto brasileiro. No entanto, a exclusão desses outros biocombustíveis pode limitar a generalização dos resultados, uma vez que as dinâmicas e desafios podem variar entre os diferentes tipos de biocombustíveis. Para uma análise completa do mercado de biocombustíveis como um todo, seria necessário considerar todos esses segmentos abrangentemente.

Quanto às limitações metodológicas, podem existir algumas restrições inerentes aos métodos utilizados nesta pesquisa. Por exemplo, a análise crítica da literatura pode estar sujeita as limitações devido à disponibilidade e confiabilidade dos dados existentes. Além disso, a análise da flutuação sem tendência dos preços do etanol pode estar sujeita a possíveis anomalias ou outliers que influenciem os resultados. Além disso, a pesquisa baseia-se em análises tanto qualitativas quanto quantitativas, o que pode apresentar desafios na interpretação dos resultados de forma integrada. Limitações de recursos financeiros, tempo e acesso a informações também podem afetar as escolhas metodológicas e a extensão das análises realizadas.

É importante frisar que as conclusões e percepções desta pesquisa se aplicam ao contexto específico da indústria sucroalcooleira no estado de Mato Grosso, Brasil. Portanto, a generalização dos resultados para outros contextos pode ser limitada. As dinâmicas do mercado de biocombustíveis podem variar entre regiões, estados e países devido a diferenças nas políticas públicas, disponibilidade de recursos,

infraestrutura e demanda local. Portanto, é necessário considerar esses aspectos contextuais ao interpretar e aplicar os resultados desta pesquisa em outros locais.

1.6. Hipóteses

- a) Hipótese 1 - Nos próximos anos, a demanda por biocombustíveis aumentará significativamente, impulsionada pela transição para uma economia de baixo carbono;
- b) Hipótese 2 - O etanol combustível se consolidará como a principal matriz energética no setor de veículos leves;
- c) Hipótese 3 - A contínua demanda crescente por etanol resultará em preços mais altos no futuro.

1.7. Organização da Tese

Esta tese está organizada em 9 capítulos. Além do Capítulo 1 que trata da introdução, o documento inclui o Capítulo 2 de revisão de literatura, que traz o estado da arte no que tange o tema de pesquisa. O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada em toda a tese. Enquanto o Capítulo 4 discute os cenários e oportunidades na indústria sucroalcooleira, explorando os desafios e oportunidades rumo a uma economia de baixo carbono no Brasil e o Capítulo 5 é focado na análise de autoafinidade das variações de preços do etanol hidratado, gasolina comum, açúcar e petróleo nos estados brasileiros. Já o Capítulo 6 é dedicado à discussão dos resultados obtidos. O Capítulo 7 refere-se às conclusões da pesquisa. O Capítulo 8 ao cronograma do programa de doutorado GETEC, detalhando as etapas e prazos do projeto. Por fim, o Capítulo 9 traz a lista de referências bibliográficas utilizadas ao longo do trabalho.

2. Revisão da Literatura

A indústria sucroalcooleira desempenha um papel crucial na redução das emissões de carbono no setor de veículos leves. A produção de etanol, utilizando insumos renováveis, contribui para diminuir o consumo de combustível fóssil e impulsiona a descarbonização da atividade econômica. Além disso, essa indústria gera emprego e renda, promovendo a diversificação de matérias-primas em áreas remotas. Estratégias globais coordenadas são essenciais para incentivar o uso de biocombustíveis, como o etanol, e a adoção de veículos leves mais sustentáveis, visando uma redução significativa das emissões de carbono no setor de transporte.

1.1. Estratégias Globais de Redução das Emissões de Carbono no Setor de Veículos Leves

A busca pela redução de impactos climáticos globais tem sido apoiada principalmente pela economia de baixo carbono. Esta implica que uma forma sustentável de reduzir as emissões de carbono compreende da redução da energia carbônica (WANG; HUANG, 2022). A economia de baixo carbono é um modelo econômico que visa reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) decorrentes das atividades humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis. Esse modelo se baseia na ideia de que é possível conciliar o desenvolvimento econômico com a redução da emissão de gases de efeito estufa (TONETO JUNIOR; PINHO, 2014).

Diversos setores da economia contribuem para esse problema, mas alguns deles se destacam pelo volume de emissões que geram. Os setores que mais poluem o meio ambiente com emissões de gases de efeito estufa no mundo todo, são em primeiro lugar, o setor de energia (35.475,65 MtCO_{2e} - 64,7%), seguido pelo setor de transportes (7.288,01 MtCO_{2e} - 13,3%), depois pelo setor da agricultura (5.865,47 MtCO_{2e} - 10,7%), processos industriais (3.126,93 - 5,7%), tratamento de resíduos (1.652,87 MtCO_{2e} - 3,0%) e por fim o setor de mudança de uso da terra e das florestas (1.392,23 MtCO_{2e} - 2,5%) (WRI, 2020).

Países do mundo todo se mobilizam para entender o tamanho desse impacto, por meio de estudos da emissão de gases de efeito estufa (BOCHI, 2022). Com isso detectam os setores da economia que mais impactam nesses resultados e estabelecem para estas metas globais de redução de emissões (LA ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011). Cada país desdobra estas metas, por meio de planos de governo específicos, de modo que oportunize a este uma contribuição com as metas globais pactuadas (UN, 2021; PNMC, 2009; ROITMAN, 2019; BOLSON, 2022).

As estratégias brasileiras podem ser visualizadas por meio das metas estabelecidas pelo Brasil COPs durante as COP 21 (2015), 26 (2021) e 28 (2023) (Tabela 1). As Conferências da ONU sobre Mudanças Climáticas são eventos anuais da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). A principal reunião, conhecida como COP, avalia o progresso nas mudanças climáticas. Desde os anos 90, também negociam o Protocolo de Quioto, que exige que países desenvolvidos reduzam emissões. A partir de 2005, as conferências incluíram tratar especificamente do Protocolo de Quioto. Além disso, mesmo os países não signatários do protocolo podem participar como observadores. Entre 2011 e 2015, as

COPs foram centrais para negociar o Acordo de Paris, um marco global em ação climática (CLIMATE CHANGE, 2009).

Durante a COP 21, o Brasil firmou um acordo de redução de suas emissões de GEE que já considerada o aumento da participação de bioenergias sustentáveis na matriz energética brasileira para 18% até 2030 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA, 2021a). Impulsionado pela COP 26, realizada em Glasgow na Escócia, o Brasil, se posiciona com metas mais robustas, ampliando ainda mais a participação energias renováveis na composição da matriz energética para 45% a 50% até 2030 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA, 2021b).

Mais recentemente na COP 28, o Brasil reiterou as metas de compromisso original da UNFCCC de limitar a emissão máxima em 2025 a até 1,32bi tCO₂e (bilhões de toneladas de gás carbônico equivalente) e de até 1,20 bi tCO₂e em 2030. Esta compôs a NDC ajustada, estabelecida pelo recém (set/2023) criado Comitê Interministerial de Mudança Climática (CIM), composto por 18 ministros cuja responsabilidade é incorporar a agenda climática transversalmente em todo o governo, originando o Plano Clima 2024-2036 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA, 2023).

Estes planos, no que lhe concerne, impactam diretamente nos mais diversos setores da economia, principalmente naqueles que mais contribuíram com o impacto climático negativo, como o setor de transportes. Segundo a EPE, os setores industriais, transporte de carga e de passageiros juntos corresponderam a 65% do total de energia consumido no Brasil. Sendo, 32,5% correspondente ao setor de transportes, 32,3% das indústrias, 10,9% das residências, 9,5% do setor energético, 5% da agropecuária, 4,8% de serviços e 5,1% dos não energéticos (MACHADO, 2019).

O desafio se desdobra para cada estado e cidade, que devem se organizar para apoiar este processo de redução de emissão de gases de efeito estufa, garantindo sobretudo o atingimento das metas nacionais e globais pactuadas. Para isso é necessário fomentar/apoiar os setores da economia local no desenho de estratégias setoriais específicas, considerando suas potencialidades locais - economia local, conhecimento técnico científico (GUZOVIĆ et al., 2023), acesso a tecnologias, mas também avaliando a relação oferta e demanda (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2021).

A redução da energia carbônica ou descarbonização do setor de transportes pode se mostrar uma estratégia relevante para a redução de impactos climáticos de emissões de GEE. Segundo Machado (2017) os setores industriais, transporte de carga e de passageiros juntos corresponderam a 65% do total de energia consumido no Brasil. Sendo, 32,5% correspondente ao setor de transportes, 32,3% das indústrias, 10,9% das residências, 9,5% do setor energético, 5% da agropecuária, 4,8% de serviços e 5,1% dos não energéticos.

A economia de baixo carbono é baseada em práticas e tecnologias que permitem reduzir as emissões de gases de efeito estufa, sem comprometer o desenvolvimento econômico. Essas práticas e tecnologias envolvem utilizar fontes de energia renováveis, a eficiência energética, a redução do consumo de combustíveis fósseis e

a gestão adequada dos resíduos (DANIELIS; SCORRANO; GIAN SOLDATI, 2022b; MACHADO et al., 2018; NOGUEIRA et al., 2020a). No setor de transportes veiculares leves, a economia de baixo carbono pode ser alcançada através da adoção de tecnologias mais limpas, como os veículos elétricos e híbridos, e da utilização de biocombustíveis (“Associação Brasileira do Veículo Elétrico. Vendas de carros elétricos crescem 66% em 2020.”, 2020).

Tabela 1 - Metas Brasileiras de Redução de Impactos Climáticos Estabelecidas em Reuniões das Conferências das Partes (COP) 21 (2015), 26 (2021) e 28 (2023).

Reuniões	Meta	Plano
COP 21 (2015)	Redução de suas emissões de GEE de 75% (resultado em 2015) para 37% até 2025 e para 43% até 2030.	→ Aumento do uso de fontes alternativas de energia; → Aumento da participação de bioenergias sustentáveis na matriz energética brasileira para 18% até 2030; → A utilização de tecnologias limpas nas indústrias; → A melhoria da infraestrutura dos transportes; → A diminuição do desmatamento e; a restauração das florestas até 12 milhões de hectares.
COP 26 (2021)	Redução de suas emissões de GEE de 75% (resultado em 2015) para 37% até 2025 e para 50% até 2030.	→ Zerar o desmatamento ilegal até 2028 (15% por ano até 2024, 40% em 2025 e 2026, e 50% em 2027, comparando com o ano de 2022); → Restaurar e reflorestar 18 milhões de hectares de florestas até 2030; → Alcançar, em 2030, a participação de 45% a 50% das energias renováveis na composição da matriz energética; → Recuperar 30 milhões de hectares de pastagens degradadas, → Incentivar a ampliação da malha ferroviária.
COP 28 (2023)	Redução de suas emissões de GEE de 75% (resultado em 2015) para 48,4% até 2025 e para 53,1% até 2030. Além disso alcançar	→ Atualmente em elaboração do Plano Nacional de Mudança do Clima (2024-2035), previsto para conclusão em 2024.

	neutralidade climática em 2050.	
--	---------------------------------	--

Fonte: (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA, 2021a, 2021b, 2023).

Os veículos elétricos utilizam baterias recarregáveis para armazenar energia elétrica, enquanto os híbridos combinam um motor a combustão com um motor elétrico. Já os biocombustíveis são produzidos a partir de fontes renováveis, como o etanol de cana-de-açúcar e o biodiesel de óleo de soja (NOGUEIRA et al., 2020a). Veículos a combustão são veículos que possuem tecnologia do motor Ciclo Otto, que funciona pelo processo de combustão, onde os combustíveis com diferentes relações estequiométricas de ar/combustível são usadas para controlar a potência com o combustível sendo entregue por meio de controle de fluxo (NOGUEIRA et al., 2020b).

A utilização de veículos elétricos e híbridos tem crescido nos últimos anos, impulsionada pelo aumento da preocupação com as mudanças climáticas e pela melhoria da tecnologia. As vendas globais de veículos elétricos atingiram um recorde de 3,1 milhões em 2020, representando uma participação de 4,6% nas vendas de veículos de passageiros (<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>, 2021). No Brasil, a venda de veículos elétricos e híbridos também tem crescido, ainda que em ritmo mais lento. Foram vendidos cerca de 16 mil veículos elétricos e híbridos no país em 2020, representando um aumento de 66% em relação ao ano anterior (“Associação Brasileira do Veículo Elétrico. Vendas de carros elétricos crescem 66% em 2020.”, 2020).

As tecnologias de veículos elétricos se mostram uma alternativa importante para o setor de transportes veiculares, uma vez que são uma oportunidade para redução substancial de GEE e da poluição local e global (ORLOV; KALLBEKKEN, 2019a). Além disso, essa se mostra uma tendência global, que vem sendo impulsionada por forças internacionais, como regulação cada vez mais restrita; custos da bateria em queda; expansão da oferta por montadoras globais e pressão de investidores (ANFAVEA, 2021a).

Veículos elétricos compreendem de veículos com tecnologia de motorização movida a eletricidade, sendo os mais comumente utilizados, os veículos elétricos a bateria (BEVs), quando a eletricidade é originada por baterias carregadas por uma rede elétrica; os veículos elétricos híbridos plug-in (PHEVs), quando a eletricidade é carregada por baterias carregadas por uma rede elétrica, mas também dispõem de motor/gerador a bordo para carga das baterias, extensão da autonomia e/ou adição de potência em ladeiras e arrancadas mais fortes; os veículos elétricos célula combustível (VEC), quando o veículo é suprido por células a combustível, equipamento eletroquímico que transforma a energia do hidrogênio diretamente em eletricidade. O hidrogênio é distribuído diretamente ou produzido a partir do metano (Gás Natural), metanol ou etanol (“Associação Brasileira do Veículo Elétrico. Vendas de carros elétricos crescem 66% em 2020.”, 2020).

A utilização de veículos elétricos não se mostra uma prática simples, pois o setor de transportes se mostra ainda uma de estrutura de tecnologia e infraestrutura rígida e do seu uso final (CHIARAMONTI et al., 2021b; DANIELIS; SCORRANO; GIAN SOLDATI, 2022a). Diferente da maioria dos países da Europa, por exemplo, o Brasil experimenta de algumas forças locais contrárias ao processo de redução de GEE no setor automotivo, tais como uma regulação atual sem vínculo direto com emissão de GEE; paridade de custos de veículos elétricos versus combustão interna mais distante; portfólio focado nos segmentos de menor valor agregado, onde se observa um excesso de capacidade instalada e necessidade de elevados investimentos para produção local de xHEVs; ampla disponibilidade e infraestrutura existente de biocombustíveis, que possuem um perfil de emissão de CO₂ mais favorável que os combustíveis fósseis (ANFAVEA, 2021a).

Segundo Ribeiro et. al (2021, p. 120), estimaram cenários futuros de transporte para a Região Metropolitana de São Paulo, Brasil, e avaliaram seu potencial para redução de poluentes do ar, gases de efeito estufa e emissões de calor da atividade veicular. As estimativas foram realizadas para 2028 e 2038, utilizando a metodologia oficial do Órgão Ambiental Estadual e a evolução da frota foi utilizando tendências recentes. Os cenários de abatimento testados compreendem mudanças nos níveis de combustíveis de veículos, ônibus e caminhões, nas tecnologias de motores (elétricos versus combustão interna) e no modo de transporte. A evolução da frota mostra uma tendência de aumento, com exceção dos ônibus. Os resultados mostram que a maioria das emissões de poluentes diminuirá se nenhuma medida local for tomada devido à mudança da frota e aos menores fatores de emissão dos veículos mais novos. Ainda assim, as emissões de gases de efeito estufa e calor veicular antropogênico aumentarão, esperando a mudança climática e uma ilha de calor urbano mais intensa e etanol em veículos leves e uma mudança no modo de transporte, de carros para ônibus, observe a atividade de carros de passeio. Considerando as emissões de gases de efeito estufa, o único cenário que leva a uma queda é o incentivo ao uso de etanol. A substituição de veículos de combustão interna por veículos elétricos leva a uma redução das emissões; no entanto, como apenas uma pequena parte da frota está sendo alterada para eletricidade, seu impacto é insuficiente. A combinação de todos os cenários leva ao melhor resultado e é o único caso com diminuição do calor veicular antropogênico.

Muitos países já iniciaram seu processo de implementação de políticas de incentivo ao uso de veículos elétricos como alternativa aos veículos movidos a combustíveis fósseis. As ações diferem de país para país, de acordo com sua cultura, economia, política e principalmente, desenvolvimento tecnológico. Enquanto alguns países adotaram políticas de registro e zoneamento, onde são delimitados locais em que somente se permite a circulação de carros elétricos; outros, no que lhe concerne, elaboraram declaração das ruas livres de combustíveis fósseis ou adotam o uso de ônibus totalmente elétricos (GILCHRIST, 2018).

Por outro lado, tem-se que este se trata de um processo de construção contínua, uma vez que, impacta na produção industrial destes veículos - as indústrias ainda não estão aptas a atender à demanda global de veículos leves; nas práticas de marketing e mercado para impulsionar a comercialização - ainda não é possível notar disseminado conhecimento sobre os conceitos relacionados à tecnologias de veículos

elétricos; no aumento do conhecimento quanto ao uso e funcionamento e; na conscientização pública - uma vez que as pessoas ainda não estão pautando suas escolhas totalmente na consciência ambiental (GILCHRIST, 2018; ORLOV; KALLBEKKEN, 2019a).

Os países do mundo todo precisam se apropriar de estratégias de curto, médio de longo prazo para o desenvolvimento de soluções que suportem a redução de impactos climáticos globais, sobretudo no setor de transporte. Desta forma projetar o uso de biocombustíveis como combustíveis veiculares antecede o desenvolvimento destas estratégias no âmbito privado e governamental, além de promover a inovação na geração de novas matrizes energéticas (BENVENUTTI; CAMPOS, 2020; WYDRA et al., 2021a). As indústrias se mobilizam estabelecendo metas empresariais, apoiadas inclusive por ações/políticas de governo, de não somente mitigação de impactos climáticos, mas estabelecendo de adaptação de seus processos produtivos, com o desenvolvimento de tecnologias e inovações que permitem a evolução destas ações. Apesar disso o setor industrial apresenta ainda um progresso lento neste sentido (“Industry Materials are the building blocks of society.”, 2023).

Em 2021, o setor de transportes foi uns setores mais poluidores, responsável pela emissão de 9,4Gt de CO₂, exceto as emissões indiretas de eletricidade usada para processos industriais. Ações como maior eficiência de material e energia, absorção mais rápida de combustíveis renováveis e desenvolvimento e implantação mais rápidos de processos de produção de baixo carbono – incluindo captura e armazenamento de carbono e hidrogênio – podem acelerar este processo. Além disso, ações de governos como redução de riscos associados ao desenvolvimento de novas tecnologias e geração de políticas obrigatórias de redução de emissão de CO₂ e eficiência energética (“Industry Materials are the building blocks of society.”, 2023).

O setor sucroalcooleiro pode impactar dois setores geradores de gases de efeito estufa - o setor de transporte, com sua matriz energética renovável (etanol) e o setor industrial com um processo produtivo potencialmente mais sustentável. Segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos, o etanol é o biocombustível mais amplamente utilizado no mundo. Em 2020, a produção global de etanol para uso como combustível foi de cerca de 125 bilhões de litros. O Brasil foi o maior produtor de etanol, seguido pelos Estados Unidos, China, Índia e França (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2022).

A necessidade pela redução de impactos climáticos globais em decorrência das emissões de GEE é urgente. O setor de transporte é um dos setores com maior responsabilidade, e também o com maior capacidade de minimização estes efeitos, em decorrência principalmente das tecnologias de veículos elétricos e de biocombustíveis. Apesar disso, parece obtuso os reais caminhos estratégicos que os países irão estabelecer, visto que cada tipo de tecnologia apresenta desafios para serem implantadas, consolidadas ou até mesmo ampliadas. A indústria sucroalcooleira, no entanto, parece ser um potencial protagonista neste contexto, visto apoiar o processo de descarbonização minimizando emissões de GEE em dois setores, o de transportes e o industrial.

1.2. O Setor de Transportes Veiculares Leves e a Produção de Veículos Elétricos e a Combustão

O Brasil está em 8º lugar no mundo na produção de veículos leves. Contribuindo com um faturamento direto de mais de 80 bilhões de dólares (52 bilhões de montadoras e 28,8 bilhões de autopeças); geração de 1,8 milhão de empregos, sendo 1,3 milhão na fabricação de veículos e 0,5 milhão em autopeças; consumo de 118 bilhões de litros de combustíveis, 44% de Diesel, 32% de Gasolina C, 19% de Etanol e 5% de Biodiesel; além de um expressivo papel na balança comercial, sendo 12,4 bilhões de dólares na exportação (6,6 autopeças e 5,8 veículos) e 18,1 bilhões de dólares em importação (11,9 autopeças e 6,2 importações) (ANFAVEA, 2021a).

Silva et al. (2021, p. 10) analisa as políticas de mitigação das mudanças climáticas com foco em veículos elétricos leves (LDEVs) no setor de transporte no estado do Rio de Janeiro, Brasil, no período 2016-2050. Em seus estudos constataram que o preço do carbono, com taxas mais altas de adoção de LDEVs, causa as maiores reduções de emissões (até 47%), embora a custos mais elevados. Além disso, os LDEVs torna-se a tecnologia preferida para veículos assim que atingem a paridade de custos com os veículos com motor de combustão interna em diferentes cenários. A maior captação de LDEVs, entretanto, leva ao aumento do consumo de eletricidade (até 3%), fornecida por combustíveis fósseis quando não há política de restrição de emissões. Se houver restrições à expansão de usinas de combustível fóssil, menos LDEVs são adotados (até menos de 26%) porque não há eletricidade suficiente para atender a demanda. Dada a matriz energética do estado em 2016 (58% fornecida por combustíveis fósseis), o investimento em energia com carbono zero é necessário para que as políticas de mitigação no setor de transporte sejam eficazes.

Em 2021, o total de emissões de CO₂ antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiram 445,4 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, sendo 197,8MtCO₂-eq referente ao setor de transportes, 77,8MtCO₂-eq das indústrias, 18,8MtCO₂ -eq das residências e 151,0Mt CO₂-eq de outros setores. Desde 2000, tem sido observado crescimento das emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira e emissões per capita de CO₂, refletindo em uma taxa média de crescimento anual de 2,1% e 1,1%, respectivamente (MACHADO, 2019).

No processo de baixo carbono no setor de transportes, os veículos elétricos se mostram uma alternativa importante. Além de serem mais eficientes energeticamente que os veículos à combustão, por apresentarem eficiência energética entre 60-85%, enquanto os veículos do Ciclo Otto apresentam 20-25% e os motores do Ciclo Diesel de 40-50% (SOUZA, 2018a), podem proporcionar uma redução de GEE de até 45 MtCO₂eq (-8,3%), quando comparado ao uso dos biocombustíveis que proporcionam uma redução de GEE de até 19 MtCO₂eq (-3,6%) (DANIELIS; SCORRANO; GIAN SOLDATI, 2022a).

Além da utilização de veículos elétricos e híbridos, outra forma de alcançar a economia de baixo carbono no setor de transportes veiculares leves é a utilização de biocombustíveis. No Brasil, o etanol de cana-de-açúcar é uma alternativa cada vez mais utilizada como combustível, principalmente para os veículos flex. O país é líder mundial na produção e utilização de biocombustíveis, com destaque para o etanol de

cana-de-açúcar, que tem baixa emissão de gases de efeito estufa. Em 2020 a produção de etanol no país foi cerca de 31,8 bilhões de litros, sendo que 98% foi produzido a partir da cana-de-açúcar (“União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Produção de etanol cresce 11,4% em 2020.”, 2020).

Segundo a Agência Internacional de Energia - IEA (2022) com a recuperação do setor de transportes de passageiros e de carga em 2021, que mais atingiram 6,7 milhões, representando 9% das vendas globais de carros, e a tendência de rápido crescimento que este setor vem demonstrando, para se alcançar as metas pactuadas de emissões de GEE líquidas iguais a zero, será necessária redução de 20% das emissões do setor de transporte, chegando em 5,7 Gt até 2030, serão necessárias políticas de incentivo a mudanças modais para opções de viagem menos intensivas em carbono, medidas de eficiência energética operacional e técnicas para reduzir a intensidade de carbono de todos os modos de transporte. Além de políticas mais fortes, nas ferrovias e estradas, para potencializar o estabelecimento de infraestrutura para apoiar veículos de emissão zero (IEA, 2022).

Desta forma, a tecnologia de combustível flex fuel ainda se mostra uma alternativa promissora, uma vez que está largamente disseminada. Em decorrência da sua dominância no mercado, os motores a gasolina foram aprimorados para receber diferentes proporções de etanol, assim como todas as suas tecnologias complementares (SAJID; DA SILVA; DANIAL, 2021). Os sistemas de combustão em motores de ciclo Otto utilizados por volta de 1970, com carburadores e distribuidores simples, exigiam uma modificação para alterar o combustível utilizado. O desenvolvimento de sistemas eletronicamente controlados permitiu o projeto de motores flex fuel que podem usar etanol, gasolina, ou qualquer mistura das duas, mantendo o desempenho em níveis satisfatórios. O mesmo aconteceu com as refinarias que resultaram em aumento das frações da gasolina obtidas a partir do petróleo e pela melhoria de desempenho da gasolina como combustível (NOGUEIRA et al., 2020b).

Inovações no setor de biocombustíveis líquidos tem sido o alvo de muitas empresas e grupos de pesquisa, que objetivam o desenvolvimento de novas alternativas tecnológicas que aliem essa tendência de consumo crescente de combustível flex fuel à necessidade de redução de emissão de gases de efeito estufa. A exemplo disso, tem-se as empresas Siemens (Telecom) e Porsche (Automotiva), que se uniram a outras empresas (inclusive petroleiras) para a construção de uma fábrica experimental (conceito refinaria sustentável) de e-combustíveis no Chile, a partir de 2022. A expectativa é de que até 2024, 55 milhões de litros sejam produzidos. O novo combustível será testado prioritariamente em veículos de competição da Porsche. Este e-combustível será produzido a partir de água e de dióxido de carbono (CO₂) e apresenta menor toxicidade e maior rendimento, quando comparado aos combustíveis tradicionais (SIEMENS, 2021).

Segundo Nogueira (2020a) veículos elétricos e biocombustíveis são compatíveis. Neste sentido, tecnologias promissoras são introduzidas no mercado, como, por exemplo, o Veículo Híbrido de Combustível Flexível Prius apresentado pela Toyota em 2018, tendo um ICE flexfuel que pode ser alimentado por gasolina, etanol ou qualquer mistura de ambos, e um motor elétrico modelo Prius. O objetivo é reduzir as

emissões e aumentar a direção da faixa (em relação à versão puramente elétrica). Já uma alternativa é a tecnologia da Nissan que elimina o ICE e utiliza um sólido óxido de célula combustível (SOFC) alimentada por hidrogênio produzido a partir de um reformador catalítico de etanol. Em comparação com um processo de hidrólise de água, a produção de hidrogênio por reforma catalítica é mais simples, com custo competitivo. Enquanto a tecnologia continua em fase de demonstração, Nissan afirma uma melhoria substancial na economia de combustível. O veículo carrega um 24 kWh bateria e um reservatório de combustível de 30L, usando etanol hidratado a 55Et / 45H₂O. O SOFC tem uma capacidade de 5 kW. A autonomia dos veículos é relatada em 600 km. A mitigação das emissões de GEE, a produção de hidrogênio a partir do etanol pode ser mais barata do que a eletrólise da água, evitando infraestruturas de carregamento complexas e caras. Além disso, a distribuição do combustível é simples e já está disponível em alguns países, como o Brasil. Um futuro desenvolvimento neste campo será o uso de células a combustível direto de etanol, que pode evitar o uso de um reformador enquanto, simultaneamente, se beneficia de uma maior densidade de energia do etanol (6,28 kWh / L) em comparação com H₂ (0,003 kWh / L) e a disponibilidade imediata de um sistema logístico.

Além disso, será exigida mais ousadia das ações governamentais, que promovam a integração com outras propostas, como escolha modal, utilização de veículos, conectividade de rede e novas tecnologias, para efetivamente mudar o consumo de energia e as emissões do setor. Benvenuti (2020, p. 20), avaliou como quatro diferentes políticas (energia eficiência; mudança modal e gestão regulatória; renovação da frota; e aumento dos biocombustíveis) mitigar as emissões de CO₂ a curto, médio e longo prazo, considerando que o transporte é o maior contribuinte para as emissões de gases de efeito estufa no setor de energia que, no que lhe concerne, é o maior contribuinte do Brasil, constatou que um efeito rebote no longo prazo quando um objetivo de renovação da frota é realizada. Somente se termos mais rigorosos forem considerados, esta política contribuirá para a mitigação das emissões de CO₂ a longo prazo. Os resultados também indicando a necessidade de metas obrigatórias de emissão de CO₂, inéditas no país no tempo presente. Além de uma estratégia de aumento de biocombustíveis proporciona redução de CO₂ no curto prazo, e é aconselhável que esta estratégia seja adotada paralelamente às demais.

O Brasil se posiciona como maior produtor de veículos leves globalmente. Contudo, o país enfrenta desafios ambientais associados ao consumo de combustíveis fósseis e emissões de CO₂. Estudos mostram que a adoção de veículos elétricos leves (LDEVs) pode reduzir significativamente as emissões, mas também destaca a dependência atual de combustíveis fósseis na matriz energética brasileira. A transição para um transporte de baixo carbono é vital, e o Brasil tem potencial em biocombustíveis, especialmente o etanol de cana-de-açúcar. Parcerias e inovações tecnológicas, como os e-combustíveis e veículos híbridos flexíveis, mostram promessa. No entanto, políticas governamentais mais audaciosas e integradas são necessárias para alavancar efetivamente a sustentabilidade e reduzir as emissões a longo prazo.

1.3. O Setor de Transportes Veiculares Leves e a Produção de Etanol Combustível

Os Estados Unidos da América (1º) e o Brasil (2º) são os maiores produtores de

Biocombustíveis do mundo, sendo no primeiro prioritariamente biodiesel e no segundo Etanol de Cana-de-Açúcar. No Brasil, o uso e a produção do etanol se mostram mais econômico, quando comparado aos Estados Unidos, devido à produção de petróleo apresentar custos mais elevados e os coprodutos da produção do etanol (DDG) estarem em alta demanda (SAJID; DA SILVA; DANIAL, 2021).

Os Estados Unidos são o maior produtor de etanol do mundo, com uma capacidade instalada de cerca de 16 bilhões de galões anualmente. A maioria do etanol americano é produzida a partir de milho, com alguns produtores usando também sorgo, cevada e outros grãos (Bento et al., 2020). O etanol é amplamente utilizado como aditivo para gasolina, com uma mistura de 10% de etanol (E10) sendo comum em todo o país. Os Estados Unidos também exportam abundantemente de etanol, principalmente para países como Brasil, Canadá e União Europeia (HUANG et al., 2019).

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, com uma capacidade de produção de cerca de 10 bilhões de galões anualmente. O etanol brasileiro é produzido principalmente a partir de cana-de-açúcar, sendo usado como combustível para veículos. Na safra 2020/21, a área total colhida de cana-de-açúcar foi de 8,6 milhões de hectares, acréscimo de 2,1%, com relação à anterior. Estima-se que no curto prazo, este número reduza entre 2021 e 2022 devido à devolução de áreas arrendadas, déficit hídrico em algumas regiões, preferências por outros cereais como soja e milho e a condições climáticas ("CANADÉ-AÇÚCAR - BRASIL - Série Histórica de Área Colhida - Safras 2005/06 a 2022/23 em mil hectares.", 2022).

O Brasil tem uma infraestrutura bem desenvolvida para a produção e distribuição de etanol, com muitas usinas de etanol localizadas nas principais áreas de cultivo de cana-de-açúcar do país. Além disso, o Brasil também tem uma grande frota de veículos que funciona com etanol, ajudando a manter a demanda interna por esse biocombustível (LIMA; CAMARGO; VASCONSELOS, 2020).

A União Europeia é outra grande consumidora de etanol, com uma capacidade de produção de cerca de 5 bilhões de galões anualmente. A UE é dependente das importações de etanol, com a maioria do etanol importado vindo dos Estados Unidos, Brasil e outras nações produtoras. A UE tem políticas rígidas sobre a mistura de etanol na gasolina, com uma mistura obrigatória de pelo menos 5% em todos os combustíveis de transporte (BRANCO et al., 2020).

A China é um dos maiores mercados de etanol do mundo, com uma capacidade de produção de cerca de 3 bilhões de galões anualmente. O etanol chinês é produzido principalmente a partir de milho, com uma pequena quantidade sendo produzida a partir de cana-de-açúcar e batata-doce. A China tem políticas agressivas para incentivar o uso de biocombustíveis, incluindo uma mistura obrigatória de etanol na gasolina em todo o país (ZHANG et al., 2019).

Em termos de infraestrutura para o consumo de etanol, o Brasil é um dos países mais avançados do mundo. O país tem uma grande rede de postos de gasolina que vendem etanol, além de muitas usinas de etanol que estão localizadas próximas às principais áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Nos Estados Unidos, a infraestrutura para o consumo de etanol é bastante ampla, com muitos postos de gasolina oferecendo

gasolina com etanol em misturas de até 10%. Na Europa, a infraestrutura para o consumo de etanol é menos desenvolvida, mas existem iniciativas em andamento para expandir a capacidade de produção e distribuição de biocombustíveis (BRANCO et al., 2020).

A infraestrutura mundial para o consumo de etanol varia de acordo com as características de cada país. Os Estados Unidos e o Brasil são os maiores produtores e consumidores de etanol do mundo, com infraestruturas bem desenvolvidas para a produção e distribuição do biocombustível. A União Europeia depende das importações de etanol e tem políticas rígidas para o uso de biocombustíveis. A China tem uma capacidade de produção significativa de etanol e políticas agressivas para incentivar o uso de biocombustíveis. A expansão da infraestrutura para o consumo de etanol é fundamental para impulsionar a transição para uma economia mais sustentável e com menor impacto ambiental (BENTO; RUGGERI; HIRAKURI, 2020; GERBENS-LEENES et al., 2012; LIMA; CAMARGO; VASCONSELOS, 2020; NOGUEIRA et al., 2020a).

O Brasil registrou em 2020 um total de 35,6 bilhões de litros de Etanol provenientes da Cana-de-Açúcar e do Milho, a maior produção de etanol da história. Isso representa um acréscimo de 7,5% em comparação a 2018/19. Na safra de 2018/2019 a produção do etanol anidro da cana-de-açúcar apresentou aumento de 8,5%, alcançando 10,1 bilhões de litros. O anidro extraído do milho alcançou 390,7 milhões de litros, 66,8% superior ao de 2017/2018 ("CANÁ-DE-AÇÚCAR - BRASIL - Série Histórica de Área Colhida - Safras 2005/06 a 2022/23 em mil hectares.", 2022). O total de etanol hidratado de cana-de-açúcar deve ficar em 23,9 bilhões de litros, incremento de 3,7%. Enquanto o que deriva do milho alcançará 1,25 bilhão de litros, 124,5% a mais em comparação a 2018/19. Com o término da safra 2019/20, houve crescimento de 3,6% na produção da cana-de-açúcar em comparação a 2018/2019, totalizando mais de 642,7 milhões de toneladas colhidas e 8,4 milhões de hectares de área colhida (CONAB, 2020).

Júnior et al. (2019, p. 10), estudaram a relação entre a demanda de etanol biocombustível no Brasil e os fatores macroeconômicos e de políticas, tais como PIB e crescimento populacional, composição da frota, políticas de mistura, preços dos combustíveis e eficiência energética. Neste estudo constataram que a demanda por etanol é altamente sensível aos fatores avaliados e, que pode aumentar entre 37,4 e 70,7 bilhões de litros em 2030 dependendo do cenário. Esse aumento é de 13% e 114% acima da produção de 2018. Isso representa uma expansão da área canavieira entre 1,2 e 5 milhões de hectares (14% -58% acima do uso da terra em 2018).

Comparado ao cenário de baixa demanda, alta demanda por etanol em 2030 impulsiona a expansão da cana-de-açúcar principalmente em pastagens (72%) e mosaicos de vegetação natural (19%). Os resultados sugerem que o futuro da demanda de etanol no Brasil não deve afetar substancialmente a produção de alimentos nem a floresta nativa. Este resultado, no entanto, depende do cumprimento do zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (ZEA) pelo setor de etanol no Brasil (BERGMANN et al., 2018).

A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é mais favorável que a do milho, em termos de balanço energético, pois a cana-de-açúcar oferece 700% a mais de energia do que a que ela consome para ser produzida. Já o milho oferece somente 20%. Além disso, etanol de cana-de-açúcar (1ª geração ou 1G) é altamente eficiente em termos de balanço energético, redução do uso de água e redução de emissões de GEE, quando comparado a outras matérias-primas (BORDONAL et al., 2018a). O etanol de cana-de-açúcar é o biocombustível com menor pegada de carbono do mundo por possuir capacidade de emissão de 90% menos GEE's quando comparado à gasolina (UNICA, 2020).

A produção do etanol de milho está se mostrando atrativa devido à facilidade de seu plantio quando comparado à cana-de-açúcar, por este se mostrar uma matéria-prima disponível nos períodos entressafra da cana-de-açúcar e por gerar o DDG (*distillers dried grains* ou grãos secos destilados) e DDGS (*distillers dried grains with solubles* ou grãos secos destilados com substâncias solúveis), subprodutos gerados no processo de produção do etanol de milho, que tem se mostrado um produto de elevado valor agregado para pecuaristas dos Estados Unidos, Argentina e Paraguai, devido seu conteúdo proteico, fácil digestão, melhor relação custo/benefício e adaptável às necessidades de diferentes rebanhos (UNEM, 2023).

Muitas alternativas de biocombustíveis são exploradas em grande escala em termos de capacidade de geração e produção, para o setor de transporte, tais como biodiesel, bioetanol de primeira e segunda geração, bio-hidrogênio, bio-metano e éter bio-dimetílico (bio-DME) (FAWZY et al., 2020). O etanol de 2G (2ª geração) possui um mercado que deverá enfrentar um *trade off*, no sentido de que suas matérias-primas lignocelulósicas, como, por exemplo, bagaço, palha e ponta, que se trata de matérias-primas empregadas também na geração de bioeletricidade. Neste caso, a opção pela transformação em etanol, dependerá dos compromissos futuros firmados (leilões) e do valor do novo biocombustível no mercado interno e externo, que poderão ser apoiados por meio de políticas públicas adicionais de fomento a pesquisas (P&D) e pela criação de novos regulamentos que facilitem a inserção no mercado de novos combustíveis (CHANDEL et al., 2019a; IPEA, 2016).

O etanol originado a partir de matérias-primas celulósicas, como, por exemplo, bagaço de cana e/ou outras matérias-primas que possuem em sua composição material lignocelulósico, podem ser gerados pelo processo de 2ª geração ou 2G (FURTADO; HEKKERT; NEGRO, 2020). Algumas indústrias como a Hayzen e a Grandbio estão desenvolvendo seus processos produtivos para utilizar estas alternativas na produção etanol celulósico. Este geralmente apresenta uma pegada de carbono menor em comparação ao etanol 1G (CHANDEL et al., 2021; SALINA; DE ALMEIDA; BITTENCOURT, 2020), além de desafios de desenvolvimento tecnológico de processos (pré-tratamento), que impactam na obtenção de maior rendimento na escala industrial, como aproveitamento da matéria-prima e o alto custo das enzimas, os quais no que lhe concerne, podem onerar o custo final do processo (CHANDEL et al., 2019a; IPEA, 2016; WYDRA et al., 2021b).

Chandel et. al. (2021) realizaram uma análise econômica da produção do etanol celulósico (2G) a partir de um processo autônomo de 100 toneladas de bagaço de cana-de-açúcar seco por dia, do ponto de vista do mercado brasileiro, com base em

tecnologias de processamento de biorrefinaria de última geração. A análise econômica revelou que o custo de fabricação (COM) do etanol 2G em uma instalação brasileira anexa (integrada 1G) é próximo a US\$ 1.33/L. Custos fixos e variáveis contribuíram com 57% e 24% no custo de manufatura do etanol 2G com alto payback período de aproximadamente 31 anos e um valor presente líquido negativo (VPL). Além de redução de custos que pode ser realizada por esforços contínuos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) visando a inovação em novos paradigmas de processamento para biorrefinarias celulósicas.

Não se tem informação de indústrias no Mato Grosso que utilizem microalgas pelos métodos de fabricação de 3ª geração ou 3G em seu processo produtivo. No entanto, este processo se mostra vantajoso por oportunizar redução de impactos climáticos globais, uma vez que as microalgas captam CO₂ atmosférico no seu processo de cultivo, além de que pode ser produzida em regiões remotas do país, culminando na promoção de inclusão social (BRESSANIN et al., 2020; MITSUHARA, 2021; ROLES et al., 2021; VARELA VILLARREAL; BURGUÉS; RÖSCH, 2020).

Klein et al. (2019) estudaram as perspectivas de viabilidade técnico-econômica e ambiental de biorrefinarias integradas cana-de-açúcar-microalgas em larga escala, com os possíveis benefícios trazidos pelo programa RENOVABIO, por meio da avaliação dos diferentes vetores de energia e materiais obtidos na usina de cana-de-açúcar, especialmente o uso de CO₂ derivado da fermentação, CO₂ no biogás e vinhaça como fontes de carbono para o crescimento de microalgas. Os resultados mostram que a co-localização da produção de microalgas com as usinas de cana-de-açúcar leva a biorrefinarias verticalizadas, atualmente com desempenho econômico inferior ao das usinas convencionais, devido ao aumento das despesas fixas e operacionais. Os custos de produção do etanol anidro permanecem na faixa de US\$ 0,36-0,42 por litro, abaixo do preço de mercado de US\$ 0.51 por litro. A integração de uma instalação de microalgas com uma usina de cana-de-açúcar também ajuda a melhorar ainda mais a sustentabilidade da produção de etanol anidro: as emissões de gases de efeito estufa do berço ao túmulo flutuam em torno de 18 g CO₂eq/MJ, redução de 15% em relação ao etanol convencional de cana-de-açúcar. Dependendo do cenário, uma biorrefinaria integrada de tamanho razoável conseguiria mitigar cerca de 500 mil tCO₂eq/ano ao substituir a gasolina por etanol anidro. A análise finalmente aponta para biorrefinarias integradas cana-de-açúcar-microalgas se tornando economicamente viáveis a preços de carbono tão baixos quanto US\$ 10/tCO₂eq sob o programa RENOVABIO.

1.4. A Produção de Etanol Combustível e a Gestão ASG (Ambiental, Social e Governança)

A gestão ESG (na sigla em inglês, *ambiental, social and governance*), que compreende do índice que avalia o impacto das operações da empresa sobre três eixos de sustentabilidade – meio ambiente, social e governança (NEVES; MARTINEZ, 2020), podem proporcionar não somente às empresas, as aos governos, uma ideia de como estas estão impactando a sociedade. No caso das indústrias de etanol, a gestão ESG é crucial para garantir que a produção seja sustentável e não cause externalidades negativas, de modo que possam se manter perene no mercado, assim como receber aporte de recursos de agências de fomento para continuar seu

desenvolvimento (MEIRA et al., 2022; NOGUEIRA; LUCENA; NOGUEIRA, 2018; ZEIDAN; SPITZECK, 2015).

Somente potencializar a produção de etanol, não se mostra uma tarefa simples. Em um contexto de elevada produção de etanol, descarbonização da economia e adaptação do processo de sustentabilidade, a indústria sucroalcooleira, assim como qualquer indústria atualmente, necessita de apoio em termos de fomento e para isso, precisa atender aos requisitos da maioria dos fundos de investimentos, que se assentam principalmente sobre as métricas da gestão ESG (GARCIA; MENDES-DASILVA; ORSATO, 2017; MIRALLES-QUIRÓS; MIRALLES-QUIRÓS; LUIS VALENTE GONÇALVES, 2018; SIERDOVSKI; PILATTI; RUBBO, 2022).

O indicador de meio ambiente avalia como a empresa atua na gestão da ambiental. Empresas que possuem um sistema de sustentabilidade estabelecido, assim como programas de prevenção e cuidado com o meio ambiente saem na frente neste índice. Além disso, empresas que desenvolvem inovação verde, por exemplo, além de melhorarem seu desempenho financeiro, atraem potenciais partes interessadas ambientalmente proativas (ARAGHI; BARKHORDARI; HASSANNIA, 2023). Segundo Souza (2018b, p. 10) o risco de créditos é positivamente afetado pelos fatores ambientais, ou seja, países que apresentam melhores indicadores ambientais, apresentam melhores níveis de risco de crédito, sobretudo para os fatores emissão de CO₂ e exposição.

Os impactos gerados pela produção de industrial são também designados por externalidades positivas ou negativas. Segundo GOMES (2013, p. 3), externalidades existem quando os custos ou benefícios decorrentes da decisão de um agente incidem, parcial ou totalmente, sobre outras pessoas que não o agente decisor. Sendo estes efeitos positivos, geram as chamadas externalidades positivas, do contrário, as externalidades negativas.

O etanol de cana-de-açúcar tem muitas externalidades positivas, como ser uma fonte de energia renovável e ter uma menor emissão de gases de efeito estufa quando comparado à gasolina; quando produzido a partir de cana-de-açúcar emite menos GEE quando comparado à gasolina e; é biodegradável, o que significa que pode ser facilmente decomposto pelo meio ambiente. Isso tudo o torna uma alternativa mais sustentável a combustíveis fósseis, como gasolina, sendo formados a partir de recursos não renováveis e contribuem para o aquecimento global (KIM, H., LEE, H., & KIM, S., 2016).

Na agenda ESG, o etanol de milho se mostra mais uma alternativa sustentável complementar à de cana-de-açúcar, para o segmento de combustíveis, uma vez que está adaptado a todas as situações climáticas e de solo no Brasil. O que provoca a descentralização da produção, estimulando o desenvolvimento regional, uma vez que o milho, além de ser uma alternativa de produção mais limpa, pode ser colhido nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso e Goiás. Já o plantio de cana-de-açúcar está restrito a regiões de clima frio (UNEM, 2023).

O etanol de cana-de-açúcar consegue reduzir em 78% as emissões de GEE, em comparação com a gasolina, enquanto o etanol de milho reduz, em média, 19%. Já o

etanol de segunda geração permite reduções ainda maiores, de 86% em relação ao combustível fóssil. Embora tenha sido um dos setores mais afetados pela pandemia de Covid-19, é provável que as emissões voltem a aumentar à medida que a demanda aumenta e a absorção de combustíveis alternativos permanece limitada (CESAR CUNHA CAMPOS; RICARDO SIMONSEN; SIDNEI GONZALEZ, 2019).

Segundo, Antônio Jorge Martins, coordenador de cursos da Fundação Getúlio Vargas (FGV) o uso de etanol tanto de milho quanto de cana pode ser uma alternativa de combustível limpo, antes da transição para a eletrificação total da frota de automóveis, mas para que isso se consolide seria necessário que gerasse escala, chegando a outros países, o que não acontece atualmente (UNEM, 2023).

No entanto, é importante considerar os possíveis impactos negativos da produção de etanol de cana-de-açúcar e tomar medidas para minimizá-los. A produção de etanol pode levar à degradação do solo e a poluição do ar e da água. Por isso, é importante garantir que a produção de etanol seja feita de maneira sustentável. Outra externalidade negativa está no uso intensivo de fertilizantes e pesticidas, o que pode contaminar o solo e a água e afetar a saúde humana e animal (FERNANDES, F. C., DE ASSIS, A. C., DE SOUZA, G. F., & DE ANDRADE, J. A., 2017). Além disso, a produção de etanol de cana-de-açúcar pode consumir abundância de água e energia, o que pode ter impactos ambientais negativos (CHAVEZ-RODRIGUEZ et al., 2013; "Ethanol Production and Use in Brazil.", 2017).

Para minimizar os impactos negativos da produção de etanol de cana-de-açúcar, é importante implementar práticas de produção sustentáveis e garantir o uso responsável de fertilizantes e pesticidas (FERNANDES, F. C., DE ASSIS, A. C., DE SOUZA, G. F., & DE ANDRADE, J. A., 2017). Além disso, é importante investir em tecnologias mais eficientes que reduzam o consumo de água e energia na produção de etanol de cana-de-açúcar (CHAVEZ-RODRIGUEZ et al., 2013). Segundo Bordonal et al. (2018b, p. 20) a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é mais favorável que a do milho, em termos de balanço energético, pois a cana-de-açúcar oferece 700% a mais de energia do que a que ela consome para ser produzida. Já o milho oferece somente 20%. Além disso, etanol de cana-de-açúcar (1ª geração ou 1G) é altamente eficiente em termos de balanço energético, redução do uso de água e redução de emissões de GEE, quando comparado a outras matérias-primas.

No indicador social é avaliado se a organização viola direitos humanos universais, os quais monitoram as relações entre a empresa e seus colaboradores, fornecedores e a comunidade onde atuam. Declarações de responsabilidade social corporativa agrega não somente maximização de lucros às empresas que o fazem, mas principalmente reconhecimento de marca (GARCIA; MENDES-DA-SILVA; ORSATO, 2017; GYÖNYÖROVÁ; STACHOŇ; STAŠEK, 2023; MEIRA et al., 2022).

No entanto, estas práticas devem estar diretamente relacionadas aos esforços da organização em realizar práticas sociais e, não somente, em gerar evidências para atendimento a leis específicas e incorrerem de enquadrarem na listagem das empresas *greenwashing*. *Greenwashing* é uma prática frequentemente utilizada por empresas que buscam melhorar sua imagem e atrair consumidores conscientes do meio ambiente, apresentando suas atividades ou produtos como mais "verdes" ou

ecológicos do que realmente são. Essa estratégia pode enganar os consumidores e desviar a atenção de problemas reais de sustentabilidade (CALDAS et al., 2021).

Indústrias de etanol onde as tecnologias se mostravam manuais, observavam-se os níveis mais altos de criação de empregos; entretanto, menores taxas internas de retorno e maiores custos de produção de etanol. Em geral, os cenários mecanizados foram associados a menores custos de produção de etanol e maiores taxas internas de retorno devido ao menor custo de produção de biomassa, maior produção de etanol e maior excedente de eletricidade. Considerando as restrições à queima da cana-de-açúcar e dificuldades práticas da colheita manual de cana verde, as análises ambientais mostraram que a colheita mecanizada de cana verde com recuperação da palha apresenta, em geral, o melhor balanço comparativo (CARDOSO et al., 2017).

Costa et. al (2021, p. 6) ao analisarem a concentração de material particulado na atmosfera no estado de São Paulo/BR em 2018, verificarem uma queda de 2,6% da poluição total de MP_{2,5} na atmosfera (correspondente a 7,2% de concentração de particulados associada ao setor de transportes). Com isso, estimaram que o consumo de etanol, *ceteris paribus*, evite 371 mortes ao ano, e a população tem sua expectativa de vida aumentada em 13 dias, desde o nascimento. Caso ocorresse um aumento de 10% da demanda de hidratado em relação ao verificado em 2018, haveria 43 mortes por ano a menos e a expectativa de vida aumentaria em mais 1 dia.

Martins et. al (2016, p. 198) estudaram a evolução das Indústrias do Açúcar e do Alcool em termos de produção, emprego e remunerações de 2000 e 2009. Constataram que a Indústria do Açúcar viu seus multiplicadores de produção, emprego e remunerações cair de 2000 para 2009. Já a Indústria do Alcool apresentou sensível aumento no multiplicador de produção devido ao ainda aquecido mercado de carros flex fuel, mas viu cair os demais multiplicadores. A queda dos multiplicadores de emprego e remunerações foi ocasionada principalmente pela descoberta do pré-sal em 2007, que contribuiu para que o Brasil deixasse de realizar políticas voltadas para o mercado de etanol e focasse novamente no combustível fóssil.

Outra externalidade positiva do etanol combustível é que ele pode ser produzido em várias regiões do mundo, o que significa que ele pode ajudar a diversificar a base de produção de energia e torná-la menos dependente de combustíveis fósseis, produzidos principalmente em alguns países (MIRALLES-QUIRÓS; MIRALLES-QUIRÓS; LUIS VALENTE GONÇALVES, 2018; NEVES, 2021a; WANG et al., 2020).

Caldarelli et. al (2018, p. 35) avaliaram os impactos da agroindústria canavieira sobre os indicadores de desenvolvimento humano dos municípios da região centro-sul do Brasil, para o período de maior expansão do segmento, 2005 a 2011. Mediante ferramentas econométricas de análise de dados em painel e regressão quantitativa, constataram que existe relação estatística positiva entre a agroindústria canavieira na região em estudo e os índices de desenvolvimento utilizados neste estudo que os municípios com baixos índices de desenvolvimento apresentam maior resposta à presença de usinas/destilarias para esse indicador.

Os resultados desta atividade econômica da produção de etanol combustível podem gerar impactos positivos na economia local de uma região, tais como aumento do

produto interno bruto - PIB (ARAGHI; BARKHORDARI; HASSANNIA, 2023; RIBEIRO; CUNHA, 2022), produto interno bruto – PIB per capita (MORAES; BACCHI; CALDARELLI, 2016), renda, aumento do emprego e renda (COSTA; GUILHOTO, 2014; CRUZ; GUERREIRO; RAIHER, 2012; MARTINS et al., 2016; ZHANG; CHEN, 2015).

Segundo Ribeiro et. al (2022, p. 413) para atingir o nível de descarbonização exigido até 2029, a produção de etanol deve crescer 87,7%, impulsionada pela queda de seu preço em relação à gasolina. O consumo total de energia combustível cairia 7,10% e a inflação subiria 0,35 ponto percentual, enquanto o PIB aumentaria apenas 0,08% no cenário do ano passado, quando o preço do CBIO chegaria a R\$ 223,35 (semelhante a US\$ 74,45). Os autores inferem que o RenovaBio pode ser uma política eficaz para promover a redução da intensidade de carbono e funciona como uma proteção contra cenários desfavoráveis para a produção de biocombustíveis. Portanto, a política pode auxiliar o Brasil a alcançar sua contribuição nacionalmente determinada, impulsionando o uso de biocombustíveis no setor de transportes do país.

Araghi et. al (2023, p. 10) estudaram os impactos psicológicos da produção de etanol no crescimento econômico e familiar nos níveis rural e urbano em diferentes cenários no Irã, onde foram consideradas diferentes matérias-primas, como milho, sorgo sacarino ou salicórnia. Os resultados mostram que: a) o uso de milho importado de baixa qualidade pode afetar a economia, b) a produção a partir do sorgo sacarino seria a melhor alternativa quanto aos efeitos biológicos e c) o cultivo dessa cultura pode provocar um crescimento de cerca de 0,4% no PIB e aumentar a renda das famílias urbanas e rurais em 0,5% e 0,17%, respectivamente.

Já o indicador governança avalia práticas de gestão empresarial ligadas ao combate à corrupção e ao *compliance*. A governança corporativa refere-se à maneira como uma empresa é administrada e dirigida, incluindo as relações entre a administração, os acionistas e outras partes interessadas. Cada vez mais, os investidores estão buscando empresas com boa governança, por acreditarem que empresas que utilizam estes indicadores na condução de práticas organizacionais se mostra mais eficiente em sua análise de desempenho, do que antes, quando utilizava somente os indicadores financeiros e operacionais tradicionais (STEFANONI; VOLTES-DORTA, 2021).

No âmbito da governança pública, o desenvolvimento de programas de uso de fontes alternativas de Biocombustível no Brasil e no mundo, essa já era uma realidade no Brasil muito antes deste evento. Desde 1975 o Brasil possui um conjunto de ações de desenvolvimento de políticas públicas destinadas à produção de biocombustíveis, são elas: A primeira delas é intitulada Programa Brasileiro do Alcool (PROALCOOL), que fomentava o uso do etanol na cadeia de combustível misturado à gasolina na proporção de 22,4% (LA ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011; GRASSI; PEREIRA, 2019).

Segundo Bomtempo, gerente-executivo de meio ambiente e sustentabilidade da Confederação Nacional da Indústria (CNI), é preciso de uma política pública de longo prazo que trate da economia de baixo carbono no país e esta deve ser compartilhada entre governo, iniciativa privada, academia e a

sociedade. Visto que o consumidor está mais atento sobre consumindo, como é feita a produção, e se ela é agressiva ao meio ambiente (UNEM, 2023).

Em 1997, promulgou-se a Lei do Petróleo é possível notar que, desde 1997, o Brasil prima pelo “incentivo à geração de energia elétrica a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis, em razão do seu caráter limpo, renovável e complementar à fonte hidráulica (inciso XIV); a promoção da competitividade do País no mercado internacional de biocombustíveis (inciso XV) e a atração de investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem de biocombustíveis (inciso XVI)” (CNPE, 1997);

Em 2004 o governo brasileiro lança o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), que objetiva “a implementação de forma sustentável, técnica e economicamente, a produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, com a geração de emprego e ANP renda” com autorização inicial do uso de 2% de Biodiesel no Diesel (B2), chegando a 13% em 2021. Além de incentivos à Agricultura Familiar. Proporção esta que chegou a 5% em 2012 (ANP et al., 2020);

Na busca por atender e/ou exceder a meta pactuada na COP 21, o governo brasileiro lançou em dezembro de 2016, o programa RENOVABIO, instituído como “Política Nacional de Biocombustíveis” sob a gestão do Ministério de Minas e Energia (MME, 2021). Neste mesmo ano, o Brasil praticou níveis de mistura de etanol de 27% (E27) a partir de etanol 25% (E25) usado a partir de maio 2013 a março de 2015 na gasolina normal, sem alterações de impostos. Com a segunda maior produção de biodiesel, o Brasil avançou na indústria de biocombustíveis, embora a produção doméstica tenha caído no primeiro trimestre de 2016 (SAJID; DA SILVA; DANIAL, 2021). O RenovaBio tem um papel fundamental na promoção da transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável. Além de incentivar a produção e o consumo de biocombustíveis, o programa também estabelece metas de redução de emissões de gases de efeito estufa para o setor de combustíveis, o que deve estimular a inovação tecnológica e a adoção de novas práticas sustentáveis (MME, 2017).

Segundo Alves et. al (2017, p. 148) a pandemia do COVID-19 afetou muitas cadeias de suprimentos em todo o mundo, incluindo a cadeia de suprimentos de etanol verde brasileiro. Os autores consideraram variáveis de sustentabilidade (social, ambiental e econômica) para investigar os efeitos da pandemia nas indústrias de etanol de 15 estados brasileiros produtores de etanol, comparando dados de 2019 a 2020 e constataram que todos os estados sofreram impactos negativos da pandemia e alguns correram o risco de desmoroná-la. Os estados menos impactados negativamente foram São Paulo e Mato Grosso. O setor de etanol de São Paulo é referência em receitas derivadas do comércio de créditos de carbono por usinas certificadas RENOVABIO, enquanto o setor de Mato Grosso pode aproveitar o maior spread entre os preços do etanol e da gasolina. São recomendadas a implementação de políticas públicas para apoiar, principalmente, os estados mais afetados, auxiliando suas usinas a se tornarem participantes ambientalmente certificados para aproveitar as oportunidades de renda disponíveis no mercado de comercialização de créditos de carbono. Além disso, a redução temporária do imposto sobre vendas de etanol, a

extensão dos prazos de pagamento de dívidas e o estímulo ao aumento da frota de veículos flex.

Os Combustíveis Renováveis com Baixa Emissão de Carbono, ou CBIOS, são certificados criados pelo programa RenovaBio do governo brasileiro. O objetivo do programa é incentivar a produção e o consumo de biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, que têm menor emissão de gases de efeito estufa do que os combustíveis fósseis. Os CBIOS são emitidos para as empresas produtoras de biocombustíveis que atendem a critérios de sustentabilidade, como a redução das emissões de gases de efeito estufa em toda a cadeia produtiva. Esses certificados podem ser comercializados pelas empresas no mercado financeiro, permitindo que elas monetizem os créditos de carbono gerados pela produção de biocombustíveis. O mercado de CBIOS foi criado em 2017 sendo regulado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Desde então, tem crescido significativamente, atraindo investimentos e se tornando uma importante fonte de receita para as empresas produtoras de biocombustíveis (MME, 2017).

No âmbito da governança por empresas privadas, tem-se que empresas envolvidas na produção de etanol podem garantir que suas atividades sejam socialmente responsáveis e ambientalmente sustentáveis, além de proteger seu próprio interesse a longo prazo. Além disso, uma empresa que utiliza estes indicadores na condução de práticas organizacionais se mostra mais eficiente em sua análise de desempenho, do que antes, quando utilizava somente os indicadores financeiros e operacionais tradicionais (KHALIL; NIMMANUNTA, 2021; STEFANONI; VOLTES-DORTA, 2021).

O etanol tem baixo custo de produção por unidade de energia produzida, em comparação com outros combustíveis fósseis (CHAVEZ-RODRIGUEZ et al., 2013). Além disso, quando produzido em indústrias de produção de múltiplos produtos, integradamente, tem potencial de melhorar a economia das biorrefinarias e da produção de biocombustíveis (GIWA; AKBARI; KUMAR, 2023).

As primeiras usinas se instalaram na região Centro-Oeste, maior produtora do país, em estados como Mato Grosso e Goiás. Mas já existem unidades em São Paulo e no Paraná. São 28 usinas no total, que atraíram R\$ 15 bilhões em investimentos da iniciativa privada. “Mais 23 projetos estão em elaboração e pelo menos nove já foram aprovados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Se todos vingarem, serão mais R\$ 19 bilhões em investimentos nos próximos sete anos”, conta Nolasco (UNEM, 2023).

Além disso, a gestão ESG também pode ser um fator importante na captação de investimentos privados para a indústria de etanol. Empresas que possuem práticas sustentáveis e de governança são vistas como mais atrativas por investidores que valorizam a responsabilidade socioambiental. Nesse sentido, a adoção de práticas como a transparência na divulgação de informações e a implementação de políticas de igualdade e diversidade podem ser diferenciais importantes para empresas que buscam investimentos alinhados com a gestão ESG (BNDES, 2023; FAPESP, 2023; FUNDEP, 2023; GYÖNYÖROVÁ; STACHOŇ; STAŠEK, 2023; SOUZA, 2018b).

Atualmente já existem fundos de investimentos sustentáveis que utilizam como métrica de avaliação de risco de investimento as divulgações ESG (SUTTIPUN; YORDUDOM, 2022). Estima-se que até 2025, 57% dos ativos de fundos mútuos na Europa estarão em fundos ESG, totalizando US\$8,9 trilhões. Adicionalmente, 77% dos investidores institucionais pesquisados pela PwC disseram que planejam parar de comprar produtos não ESG nos próximos dois anos. No Brasil, fundos ESG captaram R\$ 2,5 bilhões em 2020, mais da metade oriundos de fundos criados nos últimos 12 meses (“Pesquisa da PwC revela que investidores retirariam investimentos de empresas que não tenham ações concretas de ESG”, 2021).

Para a Bolsa de Valor B3, o ESG é medido por meio dos indicadores de sustentabilidade empresarial (ISEB3), de carbono eficiente (ICO2B3) e de governança (IGCB3). As empresas que demonstram esta aderência ao ESG se mostram mais rentáveis do que as demais na B3 – “Desde que foi criado, em 2005, o ISE B3 apresentou desempenho de 294,73% contra 245,06% do IBOVESPA (base de fechamento em 25/11/2020). No mesmo período, o ISE B3 teve ainda menor volatilidade: 25,62% em relação a 28,10% do IBOVESPA” (B3., 2021).

A dispersão dos escores da ESG em um país, setor e ano é um fator de risco útil para prever a volatilidade dos ativos financeiros. Ao reduzir a volatilidade inesperada, especialmente a médio prazo, a medida de risco do ESG fornece, aos investidores e gestores de fundos, uma métrica útil para tomada de decisões (IELASI, 2021). Adicionalmente, tem-se que as empresas com maiores escores de ESG experimentam maiores níveis de rentabilidade (PATEL; PEARCE; OGHASI, 2021).

Em dezembro de 2020, a bolsa de valores B3 divulgou a 16ª carteira do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE B3) vigente entre 2020 e 2021. Esta nova carteira do ISE B3 reúne 46 ações de 39 companhias pertencentes a 15 setores (sendo 3 do setor de biocombustíveis), que juntas somam R\$1,8 trilhão em valor de mercado. Valor este que corresponde a 38% do total do valor de mercado das companhias com ações negociadas na B3, referente ao resultado concluído em 25/11/2020 (B3., 2021).

A indústria de etanol possui diversas fontes de fomento que estão alinhadas com práticas sustentáveis e de gestão ESG. O apoio do BNDES, a captação de recursos por meio de certificações ambientais e a adoção de práticas sustentáveis e de governança podem ser importantes para o sucesso da indústria de etanol em um contexto cada vez mais preocupado com as questões ambientais e sociais (BNDES, 2023; FAPESP, 2023; FUNDEP, 2023).

Uma dessas fontes é a linha de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), cujo objetivo é apoiar a produção de biocombustíveis. Essa linha de crédito é voltada para projetos que atendam critérios de sustentabilidade, como redução de emissão de gases de efeito estufa e uso de tecnologias limpas. Além disso, o BNDES também possui um programa de financiamento para investimentos em eficiência energética e energias renováveis, incluindo o etanol (BNDES, 2023).

Há também a FUNDEP - Fundação de Apoio da UFMG, por meio de parceria com o Programa Rota 2030 do Governo Federal, disponibiliza a linhas V – Biocombustíveis,

Segurança e Propulsão Veicular, tem como objetivos gerais oferecer ao mercado opções de eletrificação do powertrain veicular que tenham alta eficiência energética, utilizem biocombustíveis para a geração de energia e se adequem ao contexto brasileiro de infraestrutura de abastecimento. O intuito é promover o desenvolvimento da indústria nacional, menor custo ao consumidor e a redução da emissão dos gases de efeito estufa (FUNDEP, 2023).

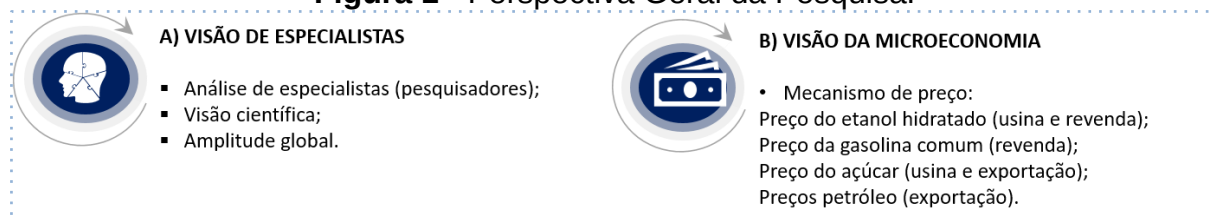
Outra fonte de fomento é a captação de recursos por meio de certificações ambientais, como os créditos de descarbonização (CBIOS). Esses créditos são emitidos a partir da redução de emissões de gases de efeito estufa e podem ser comercializados no mercado. A compra de CBIOS é uma forma de incentivar a produção de biocombustíveis sustentáveis, já que a indústria é incentivada a reduzir suas emissões para emitir mais créditos (RBC GLOBAL ASSET MANAGEMENT, 2020).

A gestão ESG é vital para avaliar e atenuar os impactos ambientais, sociais e de governança da indústria de etanol. Embora o etanol ofereça benefícios, como energia renovável e redução de emissões, ele também apresenta desafios como degradação do solo e poluição. Assim, práticas sustentáveis e tecnologias eficientes são essenciais para mitigar esses impactos. As empresas do setor podem se aprimorar ao integrar indicadores ESG em suas operações, contribuindo para a diversificação energética e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. No entanto, é crucial equilibrar essas externalidades para garantir benefícios holísticos. Em resumo, uma gestão ESG robusta é fundamental para que a produção de etanol seja sustentável, beneficiando tanto o ambiente quanto a sociedade.

3. METODOLOGIA

A busca pela resposta à questão norteadora desta pesquisa - *Como a gestão organizacional das indústrias do setor sucroalcooleiro de estado do Mato Grosso no Brasil pode adquirir vantagens competitivas ao se posicionar estrategicamente no campo da energia de baixo carbono?* – foi estruturada de modo a, primeiramente ampliar a perspectiva do gestor da indústria do setor sucroalcooleiro, quanto as tendências globais e oportunidades no setor sucroalcooleiro, especialmente no contexto da economia de baixo carbono no Brasil, explorando as análises e estudos de pesquisadores internacionais (Visão A da Figura 1); e quanto as estrutura de preços dos produtos derivados (como etanol e açúcar) em comparação com seus concorrentes (como gasolina e petróleo) (Visão B da Figura 1).

Figura 1 - Perspectiva Geral da Pesquisa.

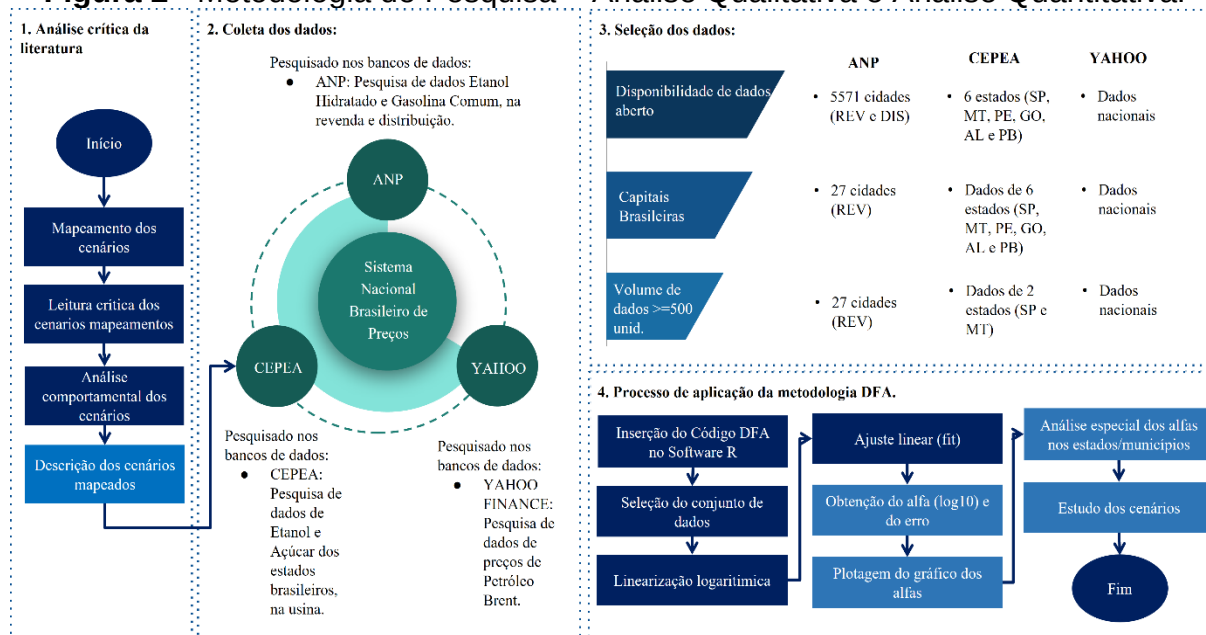


Fonte: Os autores.

Desta forma esta metodologia de pesquisa (Figura 2), iniciou-se com a aplicação da metodologia de análise qualitativa – a análise crítica da literatura (Figura 2 – etapa 1) (BAUMEINSTER; LEARY, 1997; PARÉ; KITSIOU, 2017), que promoveu o alcance do objetivo específico 1 - Mapear as tendências de produção de etanol combustível, no âmbito da energia de baixo carbono, tanto em nível mundial quanto no contexto brasileiro. A aplicação desta metodologia deu origem ao artigo 1 - Cenários e Oportunidades do Setor Sucroalcooleiro - Desafios e Oportunidades para uma Economia de Baixo Carbono no Brasil.

Em seguida, foi realizada a aplicação da metodologia de quantitativa – a análise de flutuação sem tendência (Figura 2 – etapas 2 a 4) (LIU et al., 1999; NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015), que apoiou o alcance ao objetivo específico 2 - Aplicar uma abordagem quantitativa para analisar as flutuações de preços do etanol hidratado, açúcar, gasolina comum e petróleo (tipo Brent). A aplicação desta metodologia deu origem ao artigo 2 - Autoafinidade na Variação de Preços de Etanol Hidratado e Anidro ao Produtor do Setor Sucroalcooleira.

Por fim, foi estruturado um modelo estratégias organizacionais baseada na análise de cenários qualitativo e quantitativa, que apoiou no alcance ao objetivo específico 3 - Propor um percurso metodológico voltado para avaliar o comportamento do mercado de combustíveis líquidos no mercado brasileiro.

Figura 2 - Metodologia de Pesquisa – Análise Qualitativa e Análise Quantitativa.

Fonte: Os autores.

3.1 Análise Crítica da Literatura

A metodologia de análise qualitativa (Figura 2 – etapa 1) (BAUMEINSTER; LEARY, 1997; PARÉ; KITSIOU, 2017) iniciou com o mapeamento dos cenários, que compreendeu de uma pesquisa extensa em diversas fontes bibliográficas relevantes e referências importantes no campo de estudo (*Science Direct, Web of Science, Scope, Google Scholar e Google*).

Como parte do conhecimento prévio, foram estabelecidos descritores específicos, como "Impacto Climático e Indústria de Biocombustíveis", "Sustentabilidade e Indústria de Biocombustíveis e Indústria 4.0" e "ESG e Indústria". Esses descritores foram utilizados na busca inicial de artigos que abordassem tanto o estado da arte da descarbonização climática quanto a descarbonização do setor de transportes. Além disso, foram considerados os descritores "cenários futuros de biocombustíveis" para os documentos relacionados aos cenários desenhados para a descarbonização do setor de transportes.

Foram estabelecidos critérios de elegibilidade para selecionar os artigos mais relevantes. Artigos que expressassem principalmente o estado da arte da descarbonização climática e a descarbonização do setor de transportes foram considerados elegíveis. Além disso, foram aplicados filtros secundários, como o período de publicação desde 2021, a ordenação por relevância, a inclusão de artigos em qualquer idioma, a seleção de artigos de revisão e a exclusão de artigos com restrições de direitos autorais ou citações.

Tanto os estudos quantitativos quanto os qualitativos foram considerados na avaliação dos resultados. Esses estudos apresentaram projeções para cenários globais e/ou nacionais, com foco no setor de transportes e na matriz de combustíveis, incluindo os

biocombustíveis. Os resultados desses estudos foram classificados como elegíveis conforme os critérios de inclusão estabelecidos. Registros que não apresentavam correlação com o tema em estudo, como cenários futuros, combustíveis e setor de transportes, foram excluídos.

Após a seleção dos artigos científicos por meio da revisão crítica da literatura, as leituras foram realizadas de forma independente. Cada artigo foi avaliado criteriosamente para verificar se atendia aos critérios de inclusão estabelecidos, fornecendo projeções para os cenários globais e/ou nacionais, particularmente no contexto brasileiro. Por fim, foi realizada a leitura crítica e análise do comportamento dos cenários mapeados, que teve como principal finalidade identificar e analisar os pontos fortes, fracos, contradições, controvérsias, inconsistências e outras questões significativas presentes na literatura existente sobre o tema de interesse.

3.2 Análise de Autoafinidade (DFA)

A metodologia de análise quantitativa (Figura 2 – etapas 2 a 4) (LIU et al., 1999; NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015) iniciou com a coleta dos dados de séries temporais de preços de quatro produtos de relevância para o setor sucroenergético brasileiro, nas fontes abertas (ANP, CEPEA e YAHOO FINANCE):

- ❖ Etanol hidratado (usina, revenda e distribuição);
- ❖ Gasolina comum (revenda e distribuição);
- ❖ Açúcar (usina e exportação) e;
- ❖ Petróleo (exportação),

Foram estabelecidos critérios de elegibilidade para selecionar os dados. Dados disponíveis em fontes abertas, dados correspondentes às 27 capitais brasileiras e dados que apresentassem volume igual ou superior a 500 unidades (restrição inerente ao método DFA). Por fim, foi aplicado o método DFA (*Detrended Fluctuation Analysis*) para analisar os dados coletados. Essa análise foi realizada utilizando o software sequencial DFA em combinação com o software Origin 6.0. O método DFA foi escolhido visando identificar padrões e flutuações nas séries temporais, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dos dados.

A Análise de Autoafinidade ou *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA), é um método baseado em ramificações dos sistemas dinâmicos complexos, capazes de estudar as correlações de longo prazo em séries temporais que não são estáveis ao longo do tempo (não estacionárias) (MURARI et al., 2019). Ele nos ajuda a identificar padrões autossimilares ou comportamento fractal em conjuntos de dados (LIU et al., 1999; NASCIMENTO FILHO, 2018; NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015). Essa análise nos fornece informações importantes sobre a dinâmica do sistema (fractal ou multifractal) e nos ajuda a prever seu comportamento futuro e reações a mudanças externas (AZEVEDO et al., 2016; MORET, 2014; MURARI et al., 2019; NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015; SANTOS et al., 2022).

O método DFA possui uma abordagem amplamente estudada e utilizada em várias pesquisas, como:

- ❖ Avaliação de precipitações (ALVES DA SILVA et al., 2020);
- ❖ Medições de velocidade do vento (BALKISSOON; FOX; LUPO, 2020; SANTOS et al., 2022);
- ❖ Preço de mercado de emissões de carbono (LEE et al., 2020);
- ❖ Eficiência do mercado de ações (MENSI et al., 2021);
- ❖ Estudo de atividade cerebral no processo de leitura (OLIVEIRA FILHO; LEYVA CRUZ; ZEBENDE, 2019);
- ❖ Avaliação de padrões de registros de poços de petróleo (PARTOVI; SADEGHNEJAD, 2019);
- ❖ Estudo de casos de dengue (AZEVEDO et al., 2016);
- ❖ Investigação das velocidades de um fluido em regime turbulento (NASCIMENTO FILHO et al., 2017);
- ❖ Variação de preços de ações de companhias petrolíferas (NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015).

A aplicação do método *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) foi realizada em um software executável DFA em combinação com o software Origin 6.0. As seguintes etapas foram utilizadas para este método:

1. Considere uma série temporal original r_i , onde r_i é o valor dos preços das séries temporais estudadas no i -ésimo dia, semanal, mês ou ano (depende da série), com $i=1, \dots, N$ e N é o número total de dias registrado;

2. A série temporal r_i é integrada para obter (1):

$$Y(k) = \sum_{i=1}^k [r_i - \langle r \rangle] \quad (1)$$

Onde r é o valor médio de r_i .

3. O sinal integrado $y(k)$ é dividido em caixas não sobrepostas de igual comprimento n ; e

4. Para cada caixa de tamanho n , $y(k)$ é ajustado usando uma função polinomial, que representa a tendência na caixa;

5. A coordenada da linha de ajuste em cada caixa é denotada por $y_n(k)$ porque um ajuste polinomial de grau 1 é usado e o algoritmo DFA-I é denotado;

6. O sinal integrado $y(k)$ é eliminado subtraindo a tendência local $y_n(k)$ dentro de cada caixa (de comprimento n);

7. Para uma determinada caixa de tamanho n , a flutuação da raiz quadrada média, $F(n)$, para o sinal integrado e sem tendência é dada como (2):

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [Y(k) - Y_n(k)]^2} \quad (2)$$

8. O cálculo acima é repetido para uma ampla gama de escalas (caixa de tamanho “n”) para fornecer uma relação entre $F(n)$ e o tamanho da caixa n .

9. O expoente de escala é definido sempre que tal relação é caracterizada pela lei de potência $F(n) \sim n^\alpha$. Portanto, o expoente de escala (α) é um parâmetro autoafim que expressa as propriedades de correlação da lei de potência de longo alcance (LIU et al., 1999; NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015).

Quando o coeficiente α está na faixa de 0 a 0,5, é classificado como antipersistente, o que sugere que períodos de altos preços são seguidos por baixos e vice-versa. Para um α em torno de 0,5, trata-se de um ruído branco, indicando ausência de correlação entre preços anteriores ou seguintes. Já para valores entre 0,5 e 1,0, é considerado persistente, evidenciando que altos preços tendem a seguir altos preços e vice-versa. Quando α se aproxima de 1,0, temos ruído tipo $1/f$, indicando uma amplitude decrescente com a frequência. Entre 1,0 e 1,5, temos o comportamento subdifusivo, com flutuações mais amplas e persistentes em comparação ao comportamento persistente. Um α em torno de 1,5 é caracterizado como ruído marrom (browniano), indicando que o comportamento futuro é mais influenciado pelo estado atual do sistema do que pelo passado. Para α superior a 1,5, temos o comportamento superdifusivo, com flutuações mais amplas e rápidas do que o comportamento subdifusivos (LIU et al., 1999; NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015).

3.3 Modelo de Estruturação de Estratégias Organizacionais

A aplicação da metodologia de análise qualitativa (Figura 2 – etapa 1) e quantitativa (Figura 2 – etapas 2 a 4) proporcionou a elaboração de um modelo de estruturação de estratégias organizacionais baseada na análise de cenários qualitativo e quantitativa realizadas nas etapas anteriores.

4. ARTIGO 01 – Cenários e Oportunidades no Setor de Açúcar e Etanol Industrial - Desafios e Oportunidades Rumo a Uma Economia de Baixo Carbono no Brasil.

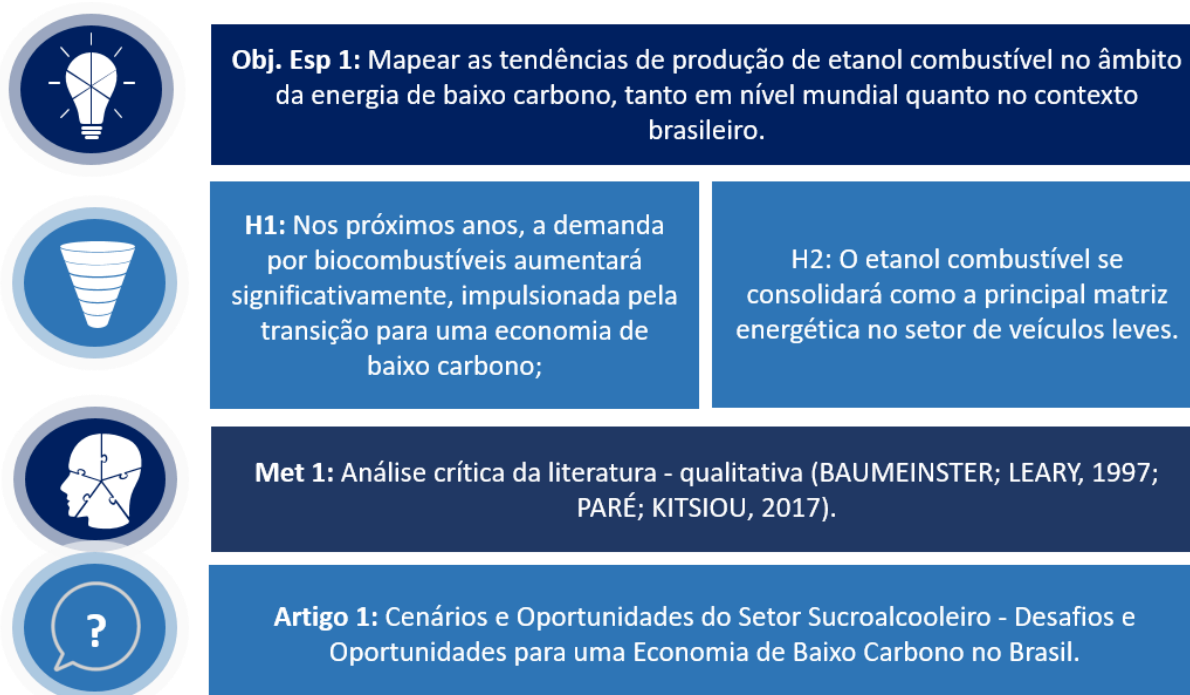
*“É melhor obter sabedoria do que ouro! É melhor obter entendimento do que prata!
(BÍBLIA, Provérbios 16:16)”*

O setor sucroalcooleiro é um dos pilares da economia brasileira, e sua trajetória é marcada por desafios e oportunidades, especialmente no contexto de transição para uma economia de baixo carbono. Este artigo propõe uma análise aprofundada, respaldada por uma metodologia robusta de análise crítica da literatura, inspirada em trabalhos anteriores de Baumeinster e Leary (1997) e Paré e Kitsiou (2017).

A pesquisa foi meticulosamente conduzida, abrangendo uma vasta gama de fontes bibliográficas, incluindo renomadas plataformas como Science Direct, Web of Science e Google Scholar. Utilizaram-se descritores específicos para direcionar a busca, como "Impacto Climático e Indústria de Biocombustíveis" e "Sustentabilidade e Indústria 4.0", entre outros. A seleção criteriosa de artigos, baseada em critérios de elegibilidade bem definidos, garantiu a relevância e atualidade dos dados analisados.

Conforme representado na Figura 3, esta metodologia foi aplicada visando responder ao objetivo específico 1 e às hipóteses 1 e 2. A aplicação desta metodologia deu origem ao primeiro artigo "Cenários e Oportunidades do Setor Sucroalcooleiro - Desafios e Oportunidades para uma Economia de Baixo Carbono no Brasil".

Figura 3 - Estrutura de Aplicação da Metodologia de Análise Qualitativa - Análise Crítica da Literatura.



Fonte: Os autores.

As metodologias utilizadas pelos autores no estudo dos cenários (Tabela 2), foram em alguns casos, centrada na abordagem qualitativa com análise de conteúdo (CHIARAMONTI et al., 2021) abordagem quantitativa com o uso de metodologias de modelagem computacional (SZKLO; PINHEIRO; CALLEGARI, 2021; WYDRA et al., 2021b; ZHANG; CHEN, 2015). Apesar de que em dois casos, não foram encontradas as metodologias de análise de dados (ANFAVEA, 2021; MACHADO, 2019).

Estas metodologias consideraram sempre como variáveis de respostas a redução de gases de efeito estufa. Apesar de gerarem resultados com impacto na produção de biocombustíveis, não consideravam as externalidades positivas e negativas oriundas desta. Mesmo porque talvez esta não seja a finalidade na oportunidade. Além disso, percebeu-se que muitos dos artigos avaliados não delineavam claramente quais as etapas dos métodos utilizados, principalmente aqueles estudos realizados por associações de classes.

Tabela 2 - Detalhamento Bibliométrico dos Dados dos Artigos Mapeados.

Registro	Autor	Título	Projeção	População	Análise	Dados	Metodologia
Registro - Artigo Científico	(CHIARAMONTI et al., 2021)	The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios.	2030-2050	União Europeia	Qualitativa	Transporte Rodoviário (Leves e Pesados), Aviação, Marítimo.	Revisão da literatura.
Registro - Artigo Científico	(WYDRA et al., 2021b)	Transition to the bioeconomy e Analysis and scenarios for selected niches	2021-2050	Alemanha	Quantitativa	Transporte Rodoviário e Aviação.	Conceituação de MLP e vias de transição em combinação com uma análise exploratória de cenários qualitativos.
Registro - Artigo Científico	(ZHANG; CHEN, 2015)	O papel dos biocombustíveis no setor de transporte da China no carbono cenários de mitigação	2010-2050	China	Quantitativa	Transportes Flex	The Integrated MARKAL-EFOM System.
Registro - Associações	(MACHADO, 2019)	Demanda de energia dos veículos leves: 2018 a 2030	2017-2030	Brasil	Quantitativa	Veículos Leves.	Não encontrado.
Registro - Associações	(ANFAVEA, 2021)	O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil	2021-2035	Brasil	Quantitativa	Veículos Leves e Pesados.	Não encontrado.

Registro - Banco de Dados	(SZKLO; PINHEIRO; CALLEGARI, 2021)	Simulador de Políticas Setoriais e Emissões: Métodos, Dados e Resultados para o Brasil em 2050	2018-2050	Brasil	Quantitativa	Transporte, Edificações, Agricultura e Resíduos	Modelo computacional de simulação de políticas de emissões.
Registro - Artigo Científico	(ZHANG; CHEN, 2015)	O papel dos biocombustíveis no setor de transporte da China no carbono cenários de mitigação	2010-2050	China	Quantitativa	Transportes Flex	The Integrated MARKAL-EFOM System.

Fonte: (ANFAVEA, 2021b; CHIARAMONTI et al., 2021a; MACHADO et al., 2018; SZKLO; PINHEIRO; CALLEGARI, 2021; WYDRA et al., 2021c; ZHANG et al., 2013).

Estas pesquisas se mostraram bastantes desafiadoras, em decorrências principalmente de os trabalhos não demonstrarem correlação. Em alguns casos eram mencionados cenários otimistas, pessimistas ou realistas. Em outros casos, eram mapeados cenários de acordo com suas tecnologias ou de acordo com as perspectivas de biocombustíveis e/ou combustíveis fósseis. Desta forma, primou-se por relatar objetivamente os achados dos autores e não os correlacionar.

Por isso optou-se pela análise crítica da literatura segundo Baumeinster e Leary (1997) e Paré e Kitsiou (2017), uma vez que esta traz diversos benefícios, uma vez que permite uma revisão sistemática e aprofundada da literatura existente, possibilitando uma compreensão mais abrangente e precisa do estado atual do conhecimento em determinada área de estudo.

Alguns dos benefícios específicos do uso dessa metodologia incluem:

1. **Rigor metodológico:** A metodologia robusta proporciona uma estrutura sólida e confiável para conduzir a análise crítica da literatura. Isso inclui a definição de critérios de inclusão/exclusão, a seleção criteriosa de fontes a serem analisadas e a aplicação de técnicas adequadas para a análise dos dados coletados.
2. **Síntese de informações:** A análise crítica da literatura permite a identificação e a síntese de informações relevantes e conclusões presentes nos estudos analisados. Isso ajuda a organizar e apresentar de concisamente os principais achados e tendências encontradas na literatura existente.
3. **Identificação de lacunas e direções futuras:** Ao analisar criticamente a literatura existente, é possível identificar lacunas de conhecimento, inconsistências ou controvérsias nos estudos analisados. Isso pode levar à identificação de áreas que necessitam de mais investigação e fornece percepções sobre as direções futuras para o avanço do campo de estudo.
4. **Subsídio para a tomada de decisões:** A análise crítica da literatura fornece uma base sólida de evidências e conhecimentos para embasar a tomada de decisões. Essa abordagem permite que os tomadores de decisão tenham uma visão aprofundada das informações disponíveis, ajudando-os a tomar decisões fundamentadas e informadas.

O uso de uma metodologia robusta de análise crítica da literatura, inspirada em trabalhos anteriores de Baumeinster e Leary (1997) e Paré e Kitsiou (2017), contribui para a produção de conhecimento de alta qualidade, promovendo uma compreensão mais completa e embasada sobre os cenários e oportunidades no setor de açúcar e etanol indústria, apoiando no entendimento dos desafios e oportunidades rumo a uma economia de baixo carbono no Brasil.

Cenários e Oportunidades no Setor de Açúcar e Etanol Indústria - Desafios e Oportunidades Rumo a uma Economia de Baixo Carbono no Brasil

*Scenarios and Opportunities of the Sugar and Alcohol Sector -
Challenges and Opportunities for a Low Carbon Economy in Brazil*

RESUMO

Com o futuro do transporte abraçando novos modelos de mobilidade, hibridização e eletrificação, espera-se uma diminuição no consumo de combustível fóssil. Os biocombustíveis, especialmente o etanol derivado da biomassa, desempenham um papel significativo nessa transição, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa. A produção de etanol é considerada estratégica para os países industrializados, sendo proveniente de biomassa renovável no setor de energia. Estudos exploraram a contribuição dos biocombustíveis para a descarbonização do setor de transporte de veículos nos níveis de 2030 a 2050. No entanto, a futura matriz energética permanece incerta, com potencial coexistência de múltiplas matrizes e tecnologias. Esta pesquisa avalia a posição do Brasil nesses cenários, considerando os desafios e riscos para alcançar uma matriz energética sustentável no setor de transportes. A metodologia envolve uma análise de cenários, métodos e conceitos de descarbonização, examinando objetivos planejados para o futuro do setor de veículos leves nos principais países consumidores. Além disso, uma pesquisa discute o papel do Brasil em biocombustíveis e cenários de transporte, com foco no etanol brasileiro na bioeconomia global até 2050. O desafio da descarbonização no setor de transportes é global e destaca a importância do Brasil como segundo maior produtor de bioetanol, após os EUA.

Palavras-chave: Indústria Sucroalcooleira. Etanol. Descarbonização.

ABSTRACT

With the future of transportation embracing new models of mobility, hybridization and electrification, a reduction in fossil fuel energy consumption is expected. Biofuels, especially biomass-derived ethanol, play a significant role in this transition by driving greenhouse gas emissions. Ethanol Production is considered strategic by industrialized countries, bringing renewable biomass into the energy sector. Studies have explored the contribution of biofuels to the decarbonization of the vehicle transport sector at levels from 2030 to 2050. However, the future of the energy matrix remains uncertain, with the potential coexistence of multiple matrices and technologies. This research evaluates Brazil's position in these scenarios, considering the challenges and risks to achieve a sustainable energy matrix in the transport sector. The methodology involves the analysis of decarbonization scenarios, methods and concepts, examining scenarios projected for the future – the light vehicle sector in the main consumer countries. Additionally, the research discusses Brazil's role in the biofuels and transport scenarios, with a focus on Brazilian ethanol in the global bioeconomy until 2050. The challenge of decarbonization in the transport sector is

global and highlights the importance of Brazil as a second largest producer of bioethanol, after the USA.

Keywords: Sugar and Alcohol Industry. Ethanol. Decarbonization.

1. INTRODUÇÃO

O setor global de transporte veicular tem buscado reposicionar-se (BURCH; GILCHRIST, 2018; PALTSEV et al., 2022; PULIDO-SÁNCHEZ et al., 2022; RANTA; LAIHANEN; KARHUNEN, 2021; TAMBA et al., 2022) para se adaptar à necessidade global de descarbonização climática, diante das previsões de um aumento da temperatura global de 1,5°C até 2030 (ALLAN; ARIAS; BERGER, 2021). China (1º), Estados Unidos da América (2º) e Japão (3º) representam os três maiores mercados automotivos para veículos leves no mundo. Para veículos pesados, o ranking é liderado pela China (1º), Estados Unidos da América (2º) e Inglaterra (3º). Nesse ranking, o Brasil está entre os 10 maiores, ocupando o 8º lugar (2,7 milhões) para veículos leves e o 4º lugar (115 mil) para veículos pesados (ANFAVEA, 2021b).

Em um processo de descarbonização do setor de transporte leve, os veículos elétricos são uma alternativa importante, pois, além de serem mais eficientes em termos energéticos do que os veículos a combustão, eles têm o potencial de reduzir os gases de efeito estufa - GEE (CARDOSO et al., 2018; HE et al., 2016; ORLOV; KALLBEKKEN, 2019b). A eficiência energética dos veículos elétricos fica entre 60-85%, enquanto os veículos com ciclo Otto ficam entre 20-25% e os motores com ciclo Diesel entre 40-50% (SOUZA, 2018b). Além disso, os veículos elétricos podem proporcionar uma redução de GEE de até 45 MtCO₂eq (Milhões de Toneladas de dióxido de carbono equivalente) (-8,3%), em comparação com o uso de biocombustíveis que proporcionam uma redução de GEE de até 19 MtCO₂eq (-3,6%) (DANIELIS; SCORRANO; GIAN SOLDATI, 2022b).

Apesar do crescente número de veículos elétricos produzidos globalmente ao longo dos anos, isso ainda representa uma parcela muito menor do que a observada para veículos a combustão. Países como Canadá, Finlândia, França, Alemanha, Japão, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, China, Suécia, Reino Unido, Estados Unidos e Espanha se comprometeram a alcançar uma frota de 30% de veículos elétricos até 2030 (SOUZA, 2018b). No Brasil, essa participação deve atingir de 10% a 18% em 2035, correspondendo a pelo menos 3,2 milhões de unidades (ANFAVEA, 2021b).

O processo de eletrificação no mundo é uma alternativa relevante para a redução global das emissões de GEE, mas ainda existem desafios a serem superados até que seja finalmente consolidado. Mesmo que muitos países do mundo tenham grandes reservas de produção mineral (lítio, níquel, grafite e manganês) - matéria-prima para a produção de baterias - custos reduzidos de baterias, desenvolvimento tecnológico dos fabricantes de automóveis, pressão de investidores e clientes mais conscientes sobre descarbonização visando atingir zero emissões líquidas até 2050, a produção local de veículos elétricos ainda requer muitos investimentos (ANFAVEA, 2021b).

Por outro lado, alguns países ainda enfrentam dificuldades em aderir a essa tecnologia, principalmente devido à necessidade de infraestrutura de recarga adicionada ao ainda desconhecido impacto ambiental que pode ser observado pelo uso de baterias; autonomia reduzida dos veículos; preço elevado (falta de subsídios); acesso limitado a veículos elétricos ou híbridos com autonomia em longas distâncias (EPE, 2020; SOUZA; CAVALETT; JUNQUEIRA, 2022); necessidade de desenvolvimento tecnológico das indústrias automobilísticas, cultura de compra, regulação do mercado, políticas de incentivo (ANFAVEA, 2021b; BURCH; GILCHRIST, 2018).

Paralelamente, eventos recentes, como o desdobramento de metas globais para reduzir os impactos climáticos locais em decorrência do aumento do aquecimento global, impulsionam a busca mundial pela diversificação da matriz energética, em busca de fontes mais socioambientais, desde os conhecidos combustíveis fósseis (gasolina, diesel, gás natural comprimido - GNC, gás natural liquefeito - GNL), bioenergéticos (bioetanol, biodiesel, diesel verde renovável - HVO e biogás/biomethane), até aqueles originados do desenvolvimento tecnológico e inovação, como veículos eletrificados, como MHEV (Veículo elétrico híbrido leve), HEV (Veículo elétrico híbrido), PHEV (Veículo elétrico híbrido plug-in), VE (Veículo elétrico com bateria) e células de combustível (célula de combustível e célula de combustível a etanol) (MAL et al., 2013; NOGUEIRA et al., 2020a).

Nesse contexto, o mapeamento de cenários procura auxiliar na compreensão de como todas as variáveis devem se comportar ao longo dos próximos anos e promover o desenvolvimento de estratégias para reduzir os impactos climáticos globais, tanto a longo prazo, como políticas de eficiência energética, mudança modal e expansão de veículos elétricos, quanto a curto prazo, como o aumento do uso de biocombustíveis (DA SILVA; DANA, 2020; ROITMAN, 2019; ROMAN; ROMAN; ROMAN, 2018; SOUZA; CAVALETT; JUNQUEIRA, 2022).

Considerando tudo isso, busca-se compreender, por meio da análise de cenários prospectivos de associações representativas e empresas de pesquisa privadas, qual será o comportamento do processo de descarbonização do setor de transporte veicular no mundo, especialmente com um recorte para o Brasil, uma vez que inúmeras inovações relacionadas a tecnologias industriais, matrizes energéticas e veiculares têm sido desenvolvidas. Assim, este trabalho pretende contribuir para a discussão sobre o processo de descarbonização climática, com foco no setor de transporte brasileiro (veículos leves) (DA SILVA; DANA, 2020; ROITMAN, 2019).

2. METOLOGIA

Uma pesquisa representativa de diversos bancos de dados (Science Direct, Web of Science, Scope, Google Scholar e Google) foi conduzida para esta revisão crítica de literatura. A principal meta desta revisão crítica é revelar pontos fortes, fracos, contradições, controvérsias, inconsistências e outras questões significativas, existentes na literatura sobre um determinado tópico de interesse (BAUMEINSTER; LEARY, 1997; PARÉ; KITSIOU, 2017).

Os descritores "Impacto das mudanças climáticas na indústria de biocombustíveis" e "Sustentabilidade e indústria de biocombustíveis e indústria 4.0", "ESG e Indústria" foram utilizados como conhecimento prévio. Artigos, selecionados pelo título e resumo, que principalmente expressam a) estado da arte do que é a descarbonização climática e b) descarbonização do setor de transporte foram considerados elegíveis.

Para documentos relacionados aos cenários projetados para a descarbonização do setor de transporte, foram utilizados os descritores "cenários futuros de biocombustíveis". Além disso, os seguintes foram considerados filtros secundários: a) Período de publicação desde 2021; b) Ordem por relevância; c) Em qualquer idioma; d) Artigos de revisão e e) Sem direitos autorais ou citações.

Tanto os resultados de estudos quantitativos quanto qualitativos demonstram projeções para os cenários globais e/ou nacionais (razão 1), tipo de setor - transporte (razão 2), e matriz - combustíveis, mistura de combustíveis e/ou biocombustíveis (razão 3), foram considerados elegíveis (critérios de inclusão). Registros não elegíveis (critérios de exclusão) que não apresentavam correlação com o tema em estudo, a) Cenários futuros, b) Combustíveis e c) Setor de transporte.

As publicações selecionadas, na análise qualitativa e quantitativa, foram tabeladas seguindo as informações: a) autor principal; b) periódico, c) ano de publicação, d) período de projeção do cenário, e) método (qualitativo ou quantitativo), f) local da amostra.

Foram realizadas leituras visando selecionar publicações científicas que potencialmente atendessem aos critérios de inclusão (elegibilidade) e que demonstrassem projeções para os cenários, sendo estes - globais e/ou nacionais (Brasil). A busca resultou em artigos que não apresentaram correlação entre si, retornando variáveis distintas, que em alguns casos seguiram estratégias de análise qualitativa e em outros casos de análise quantitativa. Portanto, cada artigo foi avaliado independentemente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Abordagens Comportamentais para o Mapeado Cenários

Nesse processo de busca pela descarbonização do setor de transporte, aproveitar as alternativas que estão mais alinhadas com as vocações naturais e habilidades de cada país tem sido o caminho adotado pela maioria das nações (ANFAVEA, 2021b; CHIARAMONTI et al., 2021a; EPE, 2022; MACHADO et al., 2018; PUROHIT et al., 2018; SZKLO; PINHEIRO; CALLEGARI, 2021; WYDRA et al., 2021c; ZHANG; CHEN, 2015).

3.2 Endereçamento o Comportamento de o Cenários mundiais mapeados

Na Europa, o processo de descarbonização do setor de transportes é fortemente apoiado pela meta estabelecida pelo governo para reduzir os impactos globais das mudanças climáticas, denominada Diretiva de Energias Renováveis Revisada (REDII). Essa diretiva estabelece metas rigorosas para a redução de gases de efeito

estufa. Estima-se que entre 2030 e 2040 haverá um cenário considerado baixo, com uma redução drástica no consumo total de energia final, projetando uma participação de 1,2% de biocombustíveis e 0,5% de biocombustíveis avançados até 2030. O principal cenário, com uma participação maior de biocombustíveis e biocombustíveis avançados, mas ainda com declínio no consumo total de energia final, permanecerá estável até o final do período. Por fim, um cenário elevado, com tendência crescente no consumo total de energia final, devido a um aumento geral nas atividades de transporte, além do esperado impacto do aumento de eficiência, juntamente com a crescente contribuição dos biocombustíveis avançados para o consumo total de energia final (CHIARAMONTI et al., 2021) .

Para a China, os biocombustíveis são considerados indispensáveis na descarbonização do setor de transporte, mas enfrentam restrições relacionadas ao progresso tecnológico, preocupações com segurança alimentar e disponibilidade de terras, sendo necessário impulsioná-los por meio de políticas relevantes e atuais. Além disso, estima-se que eles possam gerar uma redução de 0,43 Gt de emissões de CO₂ até 2050 (cenário CM30), contribuindo com 35% da redução total. Por outro lado, acredita-se que o bioetanol será mais influenciado pela eletrificação do que o biodiesel e os biocombustíveis, devido à sua facilidade de substituição por eletricidade (ZHANG; CHEN, 2015) .

O processo de descarbonização da Índia indica que a disponibilidade atual de etanol e biodiesel por meio dos biocombustíveis de primeira geração não é suficiente para alcançar a meta de bioenergia do país. Por outro lado, os resíduos agrícolas lignocelulósicos podem produzir 38 e 51 bilhões de litros de etanol lignocelulósico/BTL em 2020 e 2030, respectivamente, o que seria o suficiente para atender à mistura de 20% de NPB ("Non-Petroleum-Based" ou "Base Não Petroquímica") até 2030 (PUROHIT et al., 2018). Para lidar com a crescente demanda e os impactos ambientais e financeiros adversos dos combustíveis fósseis na economia indiana, o governo indiano adotou medidas verdes, como a mistura de 20% de bioetanol na gasolina e 20% de biodiesel no diesel (GUMTE; MITRA, 2020) .

3.3 Abordagem para o Comportamento Brasileiro Mapeado Cenários

Os estudos relacionados aos cenários de projeção de descarbonização para o setor de transporte brasileiro estão mais relacionados aos registros de organizações que representam o setor, nomeadamente a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) (2021b), que conduziram suas pesquisas por meio de uma empresa especializada, o Boston Consulting Group (BCG). Esses registros não apresentam uma correlação na categorização dos cenários. Um deles avalia principalmente o crescimento no volume de combustíveis e o outro o crescimento no número de veículos. Por essa razão, ambos são avaliados de forma independente (EPE, 2023).

Esses estudos, por sua vez, relatam que a descarbonização do setor de transporte pode ser uma estratégia relevante para a redução dos impactos climáticos das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que o setor de transporte corresponde a 32,5% do total de energia consumida no Brasil, seguido por 32,3% das indústrias, 10,9% dos domicílios, 9,5% do setor energético, 5% da agricultura e pecuária, 4,8%

de serviços e 5,1% de não energéticos (EPE, 2023).

Ademais, as emissões de gases de efeito estufa do Brasil atingiram o nível mais alto em quase duas décadas em 2021. Houve um aumento de 12,2% em relação a 2020, totalizando 2,42 bilhões de toneladas brutas de CO₂ equivalente. O desmatamento na Amazônia e outros biomas foi a principal causa desse aumento, com as emissões provenientes da mudança no uso da terra e das florestas aumentando 18,5%. A destruição dos biomas brasileiros resultou em 1,19 bilhão de toneladas brutas emitidas em 2021. Além disso, quase todos os setores da economia contribuíram para esse aumento, com destaque para agricultura (3,8%), processos industriais e uso de produtos (8,2%) e energia (12,2%). O setor de resíduos foi o único a manter emissões estáveis (IEMA, 2022).

O primeiro cenário inicial projetado pela ANFAVEA (2021b, p. 38) mostra que o uso de motores a combustão será mantido até 2030, especialmente nos segmentos de maior volume, com eletrificação voltada para atender a segmentos específicos, requisitos de emissões e demandas corporativas. O setor de veículos leves no Brasil representa 52,3% do transporte de passageiros, com uma frota predominante (89%) de veículos flexfuel - que consomem etanol hidratado ou uma mistura de gasolina e etanol anidro, mas ainda com uma parcela significativa de veículos a gasolina. Em 2021, 85,2% dos veículos eram flexfuel, 10,8% diesel, 3,0% gasolina e 1,0% híbridos (19.745 unidades) (ANFAVEA, 2021).

Isso ocorre principalmente porque no passado (nos anos 2000) o Brasil tinha muitos incentivos para a produção de etanol, como (a) financiamento de 90% dos recursos necessários para a construção de uma nova destilaria de etanol e até 100% dos recursos necessários para aumentar a área cultivada; (b) condições de taxa de juros negativa; (c) período de carência de 3 anos e 12 anos para pagamento do empréstimo; (d) preços mínimos para o etanol, mais atrativos em comparação ao açúcar; e (e) um acordo do governo com a indústria automobilística para incentivar a produção de carros movidos a etanol (LA ROVERE, 1995), o que resultou na consolidação da tecnologia flexfuel, que, ao apresentar benefícios ambientais relevantes, com o uso de qualquer proporção de etanol na gasolina (na situação regulamentada em 24%), proporcionou um aumento de cinco vezes no consumo de etanol no Brasil e consequentemente, levando o oferta de flexionar carros para o índice de 88,5% do total de automóveis vendas em 2003 (LAURINI, 2017) .

Outro cenário considerado inicialmente é projetado pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2020) para 2030, no qual não haverá muitos investimentos, especialmente na disseminação de boas práticas agrícolas (manejo agrícola e varietal, bem como renovação no período adequado) ou inovações tecnológicas, além de políticas de incentivo reduzidas para o etanol e sucesso modesto no RenovaBio com preços mais baixos de créditos de descarbonização. Isso resultará na entrada de 10 novas unidades produtoras, aumentando a capacidade nominal de moagem de cana em aproximadamente 31 milhões de toneladas, um equilíbrio entre reativações e fechamentos com um acréscimo de 6 milhões de toneladas na produção de cana na capacidade instalada.

De acordo com MCTI e WRI Brasil (2021, p. 8), o cenário inicial pode ser visualizado

em termos do número de veículos produzidos, o que sugere que a demanda por veículos movidos a gasolina quase dobrará até 2050, passando de aproximadamente 3,4 milhões de veículos em 2018 para 5,31 milhões de veículos em 2050.

Considerando um cenário intermediário, o que a Anfavea chama de convergência global, o Brasil alcançará, em 2035, um ganho na escala de veículos elétricos (VEs) semelhante ao da Europa e se aproximará dos níveis de eletrificação de mercados mais avançados. No entanto, isso exigirá a instalação de mais de 150.000 pontos de carregamento e um investimento de mais de 14 bilhões até 2035 (ANFAVEA, 2021).

Nesse caso, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2020) considera que haverá ações de redução de custos, como a renovação dos canaviais, novas variedades adaptadas a novos ambientes de produção, métodos de plantio e colheita, tratamentos culturais adequados, bem como maior eficiência na produção de etanol induzida pelos instrumentos do RenovaBio (Nota de Eficiência Energética Ambiental para cada emissor primário da CNIO), além de uma relação de preços entre os combustíveis mais favorável ao etanol, continuidade das políticas de incentivo (diferenciações na CIDE, PIS/COFINS e ICMS) para o etanol, disponibilidade de linhas de financiamento para o setor, bem como sucesso no RenovaBio e preços de créditos de descarbonização que aumentem sua atratividade. Isso resultará na entrada de 19 novas unidades produtoras, aumentando a capacidade nominal de moagem de cana em aproximadamente 67 milhões de toneladas, um equilíbrio entre reativações e fechamentos com um acréscimo de 16 milhões de toneladas na produção de cana na capacidade instalada e a necessidade de expansão adicional de 26 milhões de toneladas para processar toda a cana disponível.

E para um cenário mais otimista, o etanol ganha destaque como a alternativa mais relevante no processo de descarbonização, possibilitado pela regulamentação favorável, frota flexível e ampla infraestrutura de produção e distribuição. Nesse cenário, espera-se que o etanol aumente em 15% na mistura de combustíveis, atingindo 61% do consumo. Com relação aos veículos elétricos, a penetração nas vendas é semelhante ao cenário inercial (ANFAVEA, 2021).

Seguindo essa mesma tendência, a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018, p. 13) projeta que, até 2030, o número de unidades operacionais será maior, com maior produtividade resultante de novas variedades, bem como do sucesso rigoroso do RenovaBio e aumento da intensidade das políticas de incentivo ao etanol. Isso resultará na entrada de 25 unidades produtoras, aumentando a capacidade nominal de moagem de cana em aproximadamente 92 milhões de toneladas, um equilíbrio entre reativações e fechamentos com um acréscimo de 20 milhões de toneladas na produção de cana na capacidade instalada e a necessidade de expansão adicional de 40 milhões de toneladas para processar toda a cana disponível.

3.4 Etanol Produção no Brasil

Os Estados Unidos da América (1º) e o Brasil (2º) são os maiores produtores de biocombustíveis do mundo, sendo o primeiro principalmente biodiesel e o último etanol de cana-de-açúcar. No Brasil, o uso e a produção de etanol são mais econômicos em comparação com os Estados Unidos, porque a produção de petróleo tem custos mais

elevados e os coprodutos da produção de etanol (DDGs) têm alta demanda (DA SILVA; DANA, 2020). O Brasil registrou em setembro de 2021, 290 unidades de produção de biocombustíveis, sendo 87% delas de etanol (MACHADO et al., 2018) .

A estimativa para a safra de cana-de-açúcar de 2023/24 indica um aumento de 4,4% na produção em comparação com a temporada anterior. Espera-se uma produção de 637,1 milhões de toneladas, com uma área cultivada de 8410,3 mil hectares e uma produtividade média de 75751 kg/ha. O aumento da área cultivada é atribuído à expansão e renovação das áreas de plantio, impactando positivamente a produtividade. Além disso, as condições climáticas são favoráveis para esta temporada, superando as da safra anterior (CONAB, 2023a).

O Brasil produziu 27,37 bilhões de litros de etanol de cana-de-açúcar e 3,97 bilhões de toneladas de milho na safra 2022/23, representando um crescimento de 3,6% e 14,4%, respectivamente, em comparação com a temporada anterior (CONAB, 2023a). A previsão para a safra 2023/24 é uma produção de 27,53 bilhões de litros de etanol de cana-de-açúcar e 33,17 bilhões de toneladas de milho, representando um aumento de 0,6% e 5,9%, respectivamente. Vale destacar que a produção de etanol anidro, misturado à gasolina, deverá aumentar em 1,5% em relação à temporada anterior, alcançando um total de 11,82 bilhões de litros. A produção de etanol hidratado é estimada em 15,71 bilhões de litros, representando uma redução de 0,1% em relação ao ano anterior. Em termos de produtos derivados do milho, a produção de etanol anidro é projetada para ser de 14,26 bilhões de litros, enquanto a produção de etanol hidratado é estimada em 18,91 bilhões de litros (CONAB, 2023b) .

De acordo com a Pesquisa Energética Brasileira Empresa (EPE) (2022, p. 9), a projeção total de oferta de etanol deve atingir 47 bilhões de litros em 2032, representando uma taxa de crescimento anual de 4,1% desde 2022. Isso inclui 36,1 bilhões de litros de cana-de-açúcar (em comparação com 26,6 bilhões em 2021), 9,1 bilhões de litros de milho em 2032 (em comparação com 3,3 bilhões em 2021) e 560 milhões de litros em 2032 de materiais lignocelulósicos (bagaço e palha). O volume restante é destinado à exportação. Quanto à demanda total de etanol, espera-se que atinja 45 bilhões de litros em 2032, crescendo a uma taxa anual de 4,2% desde 2022. Isso inclui 33 bilhões de litros de etanol combustível hidratado, 10 bilhões de litros de etanol combustível anidro e 2 bilhões de litros para outros fins, como bebidas, cosméticos, produtos farmacêuticos, compostos oxigenados e álcool destinado à indústria química.

Enquanto isso, Junior et al (2019, p. 10) estimam que a demanda por etanol no Brasil é altamente sensível a fatores macroeconômicos e políticas, como crescimento do PIB e da população, composição da frota, políticas de mistura, preços dos combustíveis e eficiência energética, e poderia aumentar entre 37,4 e 70,7 bilhões de litros em 2030, dependendo do cenário. Isso representa um aumento de 13% a 114% em relação à produção de 2018. Isso implicaria em uma expansão da área de cultivo de cana-de-açúcar entre 1,2 e 5 milhões de hectares (14% a 58% acima do uso da terra em 2018). Comparado ao cenário de baixa demanda, a alta demanda por etanol em 2030 impulsionaria a expansão da cana-de-açúcar principalmente em pastagens (72%) e mosaicos de vegetação nativa (19%). No entanto, não se espera que a demanda futura por etanol no Brasil afete substancialmente a produção de alimentos ou a

floresta nativa. Esse resultado, no entanto, depende do cumprimento do zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (ZAE) pelo setor de etanol no Brasil (DE ANDRADE JUNIOR et al., 2019) .

Para atender à demanda exigida, a produção de etanol a partir do milho e do bagaço de cana adquire relevância. Segundo Bordonal et al. (2018b, p. 15), a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é mais favorável do que a do milho em termos de balanço energético, pois a cana-de-açúcar oferece 700% mais energia do que consome para ser produzida, enquanto o milho oferece apenas 20%. Além disso, o etanol de cana-de-açúcar (1ª geração ou 1G) é altamente eficiente em termos de balanço energético, uso reduzido de água e emissões reduzidas de gases de efeito estufa em comparação com outras matérias-primas.

Muitas alternativas de biocombustíveis são exploradas em grande escala em termos de geração e capacidades de produção para o setor de transporte, como biodiesel, bioetanol de primeira e segunda geração, biohidrogênio, biometano e bioéter dimetílico (bio-DME) (FAWZY et al., 2020). Deve-se dedicar atenção especial a esse processo de expansão do uso de biocombustíveis como resultado do aumento da demanda, porque outros setores da bioeconomia podem estar se desenvolvendo simultaneamente e, portanto, podem atuar como concorrentes (WYDRA et al., 2021c).

O etanol de origem de material celulósico, como o bagaço de cana-de-açúcar e/ou outros materiais que possuam material lignocelulósico em sua composição, pode ser gerado pelo processo de segunda geração ou 2G. O etanol de 2G enfrenta um trade-off em relação ao mercado, uma vez que suas matérias-primas lignocelulósicas, como bagaço, capim e palha, também são matérias-primas utilizadas para gerar bioeletricidade. Nesse caso, a opção pela transformação em etanol dependerá dos compromissos futuros firmados (leilões) e do valor do novo biocombustível nos mercados interno e externo, que podem ser apoiados por meio de políticas públicas adicionais para fomentar a pesquisa (P&D) e pela criação de novas regulamentações que facilitem a inserção no mercado de novos combustíveis (BORDONAL et al., 2018; FAWZY et al., 2020) .

Algumas indústrias, como Raízen e Granbio, estão desenvolvendo seus processos de produção para usar essas alternativas na produção de etanol celulósico. Isso geralmente apresenta uma pegada de carbono menor em comparação com o etanol de 1G (SALINA; DE ALMEIDA; BITTENCOURT, 2020), além dos desafios do desenvolvimento tecnológico dos processos (pré-tratamento), que impactam a obtenção de maiores rendimentos em escala industrial, como a utilização da matéria-prima e o alto custo das enzimas, que por sua vez podem encarecer o custo final do processo (CHANDEL et al., 2019; WYDRA et al., 2021) .

4. CONCLUSÃO

É prematuro dizer qual será a matriz energética predominante em todo o mundo. Neste momento, diversas fontes estão sendo estudadas, principalmente devido à emergente necessidade de encontrar alternativas para reduzir os impactos climáticos globais. No entanto, é possível observar que até que esse processo seja consolidado - se é que isso ocorrerá - ou se houver um contínuo desenvolvimento tecnológico e

científico, será possível notar um processo de transição energética. A pesquisa realizada permitiu observar que no horizonte de aproximadamente 30 anos ainda será possível notar a predominância de biocombustíveis, especialmente o etanol, como uma matriz energética potencial para o fornecimento de tecnologias de veículos leves. Nesse contexto, destaca-se o papel da indústria do álcool e açúcar, pois conseguirá aproveitar esse processo relevantemente, produzindo e atendendo a essa demanda, gerando externalidades positivas relevantes, como emprego e geração de renda, desenvolvimento econômico local, venda de créditos de carbono e cumprimento de requisitos ESG (Ambiental, Social e de Governança) e ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), que, por sua vez, proporcionam acesso a investidores e mercados específicos. Essas oportunidades podem estimular o governo local a desenvolver pesquisas nessa área do conhecimento. Por outro lado, é importante destacar que esta pesquisa se concentra nas matrizes energéticas veiculares, mas pode ser expandida para matrizes energéticas para tecnologias industriais.

5. REFERÊNCIAS

ABASIAN, F.; RÖNNQVIST, M.; OUHIMMOU, M. Forest bioenergy network design under market uncertainty. **Energy**, v. 188, 2019.

AGARWAL, A. K. et al. **Introduction to Biofuels**. [s.l: s.n.]. p. 6

Agência Internacional de Energia. Global EV Outlook 2021. Disponível em: <Agência Internacional de Energia. Global EV Outlook 2021>. Acesso em: 5 mar. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO BIOCMBUSTÍVEL E GÁS NATURAL (ANP). **Preços de Revenda e de Distribuição de Combustíveis**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis>>. Acesso em: 4 fev. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO BIOCMBUSTÍVEL E GÁS NATURAL (ANP). **Série histórica do levantamento de preços**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. CBIO.

AJANOVIC, A.; HAAS, R. On the future prospects and limits of biofuels in Brazil, the US and EU. **APPLIED ENERGY**, v. 135, p. 730–737, 15 dez. 2014.

ALLAN, R. P. A.; ARIAS, P. A. A.; BERGER, S. B. **IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l: s.n.].

ALVES, C. M. et al. Techno-economic assessment of biorefinery technologies for aviation biofuels supply chains in Brazil. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 11, n. 1, p. 67–91, 2017.

ALVES DA SILVA, A. S. et al. Trends and Persistence of Dry–Wet Conditions in Northeast Brazil. **Atmosphere**, v. 11, n. 10, p. 1134, 21 out. 2020.

ANFAVEA. **O Caminho da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil**. [s.l.] Anfavea, 2021a.

ANFAVEA. **O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil**.

Disponível em:

<https://anfavea.com.br/docs/APRESENTA%C3%87%C3%83O_ANFAVEA_E_BCG.pdf>.

ARAGHI, M. K.; BARKHORDARI, S.; HASSANNIA, R. Economic impacts of producing bioethanol in Iran: A CGE approach. **Energy**, v. 263, p. 125765, jan. 2023.

Associação Brasileira do Veículo Elétrico. Vendas de carros elétricos crescem 66% em 2020. Disponível em: <<https://abve.org.br/vendas-de-carros-eletricos-crescem-66-em-2020/>>. Acesso em: 5 mar. 2023.

AZEVEDO, S. M. et al. Self-affinity in the dengue fever time series. **International Journal of Modern Physics C**, v. 27, n. 12, p. 1650143, dez. 2016.

B3. **B3**. Disponível em: <https://www.b3.com.br/pt_br/>. Acesso em: 5 dez. 2020.

BALKISSOON, S.; FOX, N.; LUPO, A. Fractal characteristics of tall tower wind speeds in Missouri. **Renewable Energy**, v. 154, p. 1346–1356, jul. 2020.

BAUMEINSTER, R. F.; LEARY, M. R. Writing Narrative Literature Reviews. **Review of general psychology**, p. 311–320, 1997.

BENTO, L.; RUGGERI, B.; HIRAKURI, M. H. Bioethanol production in Brazil: challenges and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 120, p. 109–658, 2020.

BENVENUTTI, L. M. M.; CAMPOS, L. M. S. A fleet-based tank-to-wheel greenhouse gas emission analysis of light vehicles in Brazil and cooperation towards integrated policies. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 14, n. 4, p. 255–269, 2020.

BERGMANN, J. C. et al. Technological Advancements in 1G Ethanol Production and Recovery of By-Products Based on the Biorefinery Concept. Em: **Advances in Sugarcane Biorefinery**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 73–95.

BIKOMEYE, J. C.; RUBLEE, C. S.; BEYER, K. M. M. Positive Externalities of Climate Change Mitigation and Adaptation for Human Health: A Review and Conceptual Framework for Public Health Research. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 5, p. 2481, 3 mar. 2021.

BNDES. **BNDES Finem - Meio Ambiente**. Disponível em:

<<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-meio-ambiente>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

BORDONAL, R. DE O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 13, abr. 2018a.

BORDONAL, R. DE O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 13, abr. 2018b.

BRANCO, J. O. et al. Production, consumption and environmental impact of biofuels in the European Union. **Journal of Cleaner Production**, p. 120855, 2020.

BRESSANIN, J. M. et al. Techno-Economic and Environmental Assessment of Biomass Gasification and Fischer–Tropsch Synthesis Integrated to Sugarcane Biorefineries. **Energies**, v. 13, n. 17, p. 4576, 3 set. 2020.

BRYCE, R. M.; SPRAGUE, K. B. Revisiting detrended fluctuation analysis. **Scientific Reports**, v. 2, n. 1, p. 315, 14 mar. 2012.

BURCH, I.; GILCHRIST, J. **Survey of Global Activity to Phase Out Internal Combustion Engine Vehicles**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.theclimatecenter.org>.

CALDARELLI, C. E.; PERDIGÃO, C. A Agroindústria Canavieira e Seus Impactos Socioeconômicos na Região Centro-Sul Do Brasil. p. 35–50, 2018.

CALDAS, M. V. DE A. et al. Greenwashing in environmental marketing strategy in the brazilian furniture market. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 3, p. e225336, 2021.

CANA-DE-AÇÚCAR - BRASIL - Série Histórica de Área Colhida - Safras 2005/06 a 2022/23 em mil hectares. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>.

CARDOSO, T. F. et al. Impactos econômicos, ambientais e sociais de diferentes sistemas de produção de cana-de. p. 15, 2017.

CARDOSO, T. F. et al. Economic, environmental, and social impacts of different sugarcane production systems. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 12, n. 1, p. 68–82, jan. 2018.

CEPEA. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CESAR CUNHA CAMPOS, R.; RICARDO SIMONSEN; SIDNEI GONZALEZ. Agronegócio. p. 234, 2019.

CHAN, W. S. Stock price reaction to news and no-news: drift and reversal after headlines. **Journal of Financial Economics**, v. 70, n. 2, p. 223–260, nov. 2003.

CHANDEL, A. K. et al. Comparative analysis of key technologies for cellulosic ethanol production from Brazilian sugarcane bagasse at a commercial scale. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 4, p. 994–1014, jul. 2019a.

CHANDEL, A. K. et al. Comparative analysis of key technologies for cellulosic ethanol production from Brazilian sugarcane bagasse at a commercial scale. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 4, p. 994–1014, jul. 2019b.

CHANDEL, A. K. et al. Brazilian biorefineries from second generation biomass: critical insights from industry and future perspectives. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 15, n. 4, p. 1190–1208, 2021.

CHAVEZ-RODRIGUEZ, M. F. et al. Water reuse and recycling according to stream qualities in sugar–ethanol plants. **Energy for Sustainable Development**, v. 17, n. 5, p. 546–554, out. 2013.

CHIARAMONTI, D. et al. The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 139, p. 110715, abr. 2021a.

CHIARAMONTI, D. et al. The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 139, p. 110715, abr. 2021b.

CHOMSKY, N.; POLLIN, R. **Crise Climática e o Green New Deal Global: A Economia Política para Salvar o Planeta**. 1ª ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

CHRISTENSEN, C. M. **Desafios da Gestão**. Rio de Janeiro: Sextante, 2018.

CLIMATE CHANGE. **What Is The UNFCCC And The COP?** Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20090327142028/http://www.climate-leaders.org/climate-change-resources/india-at-cop-15/unfccc-cop>>. Acesso em: 30 dez. 2023.

CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da Safra Brasileira 2023/2024 - 1º Levantamento**. , 2023a. Disponível em: <[file:///C:/Users/lteixeira/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_1_lev_2023%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/lteixeira/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_1_lev_2023%20(3).pdf)>. Acesso em: 1 ago. 2023

CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da Safra Brasileira 2022/2023 - 4º Levantamento**. , 2023b. Disponível em: <file:///C:/Users/lteixeira/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_4ZlevZ2023.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2023

CORTEZ, L. A. B.; ROSILLO-CALLE, F. **The future role of biofuels in the new energy transition : lessons and perspectives of biofuels in Brazil**. São Paulo: Blucher, 2023.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. Impactos Sociais Do Aumento De Demanda De Etanol Hidratado versus Gasolina C Na Economia Brasileira. **Revista Econômica do Nordeste (REN)**, v. 44, n. 1, p. 20, 2014.

COSTA, A. O. DA; GALDEMAN, D. A.; ALEKSEEV, K. C. P. G. **Impacto na saúde humana pelo uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-570/NT-EPE-DPG-SDB-2020-01_NT_Impacto_saude_uso_bios.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023.

CRUZ, M. G.; GUERREIRO, E.; RAIHER, A. P. **A Evolução da Produção de Etanol no Brasil, no Período de 1975 a 2009**. [s.l.: s.n.].

DA SILVA, L. T.; DANA, M. C. Hydrogen regulation in Brazil: decarbonization of the oil and gas industry for climate goals. **Rio Oil and Gas Expo and Conference**, v. 20, n. 2020, p. 565–566, 1 dez. 2020.

DANIELIS, R.; SCORRANO, M.; GIAN SOLDATI, M. Decarbonising transport in Europe: Trends, goals, policies and passenger car scenarios. **Research in Transportation Economics**, v. 91, 2022a.

DANIELIS, R.; SCORRANO, M.; GIAN SOLDATI, M. Decarbonising transport in Europe: Trends, goals, policies and passenger car scenarios. **Research in Transportation Economics**, v. 91, p. 101068, mar. 2022b.

DAVID, S. A. et al. Fractional dynamic behavior in ethanol prices series. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 339, p. 85–93, set. 2018.

DE ANDRADE JUNIOR, M. A. U. et al. Exploring future scenarios of ethanol demand in Brazil and their land-use implications. **Energy Policy**, v. 134, p. 110958, nov. 2019.

EPE, E. DE P. E. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2020**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2020>>.

EPE, E. DE P. E. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**. , 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/PDE%202032%20-%20Oferta%20de%20Biocombustiveis_27dez2022_envio.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2023

Ethanol Production and Use in Brazil. . [s.l.] International Renewable Energy Agency - IRENA., 2017. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2017/Mar/Ethanol-Production-and-Use-in-Brazil>>.

FAPESP. **Financiamento à pesquisa**. Disponível em: <<https://fapesp.br/6/estrategias-de-fomento-a-pesquisa>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

FAWZY, S. et al. Strategies for mitigation of climate change: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 6, p. 2069–2094, nov. 2020.

FERNANDES, F. C., DE ASSIS, A. C., DE SOUZA, G. F., & DE ANDRADE, J. A. Environmental impacts of sugarcane bioethanol production in Brazil: A review. p. 994–1003, 2017.

FLYN, S. M. **Economia para Leigos**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

FUNDEP. **Rota 2030 - Linha V - Biocombustíveis, Segurança e Propulsão Veicular**. Disponível em: <<https://rota2030.fundep.ufmg.br/linha5/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

FURTADO, A. T.; HEKKERT, M. P.; NEGRO, S. O. Of actors, functions, and fuels: Exploring a second generation ethanol transition from a technological innovation systems perspective in Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101706, dez. 2020.

GARCIA, A. S.; MENDES-DA-SILVA, W.; ORSATO, R. J. Sensitive industries produce better ESG performance: Evidence from emerging markets. **Journal of Cleaner Production**, v. 150, p. 135–147, maio 2017.

GERBENS-LEENES, P. et al. Biofuel scenarios in a water perspective: The global blue and green water footprint of road transport in 2030. **GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE-HUMAN AND POLICY DIMENSIONS**, v. 22, n. 3, p. 764–775, ago. 2012.

GILCHRIST, I. **GILCHRIST, 2021.pdf**. Ann Hancock e Gemma Waalan, , 2018.

GIWA, T.; AKBARI, M.; KUMAR, A. Techno-economic assessment of an integrated biorefinery producing bio-oil, ethanol, and hydrogen. **Fuel**, v. 332, p. 126022, jan. 2023.

GOMES, S. M. S.; GARCIA, C. O. **Controladoria Ambiental**. São Paulo: [s.n.].

GRASSI, M. C. B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 201–205, mar. 2019.

GUMTE, K. G.; MITRA, K. Strategic biofuel supply chain network design and techno-economic-environmental analysis for an Indian scenario. **IFAC-PapersOnLine**, v. 53, n. 1, p. 69–74, 2020.

GUZOVIĆ, Z. et al. Paving the way for the Paris Agreement: Contributions of SDEWES science. **Energy**, v. 263, p. 125617, jan. 2023.

GYÖNYÖROVÁ, L.; STACHOŇ, M.; STAŠEK, D. ESG ratings: relevant information or misleading clue? Evidence from the S&P Global 1200. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, v. 13, n. 2, p. 1075–1109, 3 abr. 2023.

HE, L.-Y. et al. Biofuels or hybrid vehicles? A scenario perspective in China. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v. 11, n. 5, p. 443–449, 3 maio 2016.

HUANG, Y. et al. The development of the US biofuel industry and its impact on agriculture: a dynamic analysis. n. 139, p. 1223–1233, 2019.

IEA. **Agência Internacional de Energia - IEA**. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/transport>>. Acesso em: 27 mar. 2023.

Industry Materials are the building blocks of society. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/industry>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2022**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf>>.

IPEA (ED.). **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2016.

JIANG, C. et al. Economic crisis impact on low carbon transition in economy-ecosystem. **Global Transitions Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 7–12, jun. 2020.

KHALIL, M. A.; NIMMANUNTA, K. Conventional versus green investments: advancing innovation for better financial and environmental prospects. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, p. 1–28, 26 jul. 2021.

KIM, H., LEE, H., & KIM, S. Life cycle greenhouse gas emissions of bioethanol and gasoline from sugarcane and corn in Brazil and the United States. p. 12561–12571, 2016.

KLEIN, B. et al. Low carbon biofuels and the New Brazilian National Biofuel Policy (RenovaBio): A case study for sugarcane mills and integrated sugarcane-microalgae biorefineries. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 115, nov. 2019.

LA ROVERE, E. Scenarios For Mitigating Greenhouse Gases Emissions And Promoting Sustainable Energy Development In Brazil. **INTERCIENCIA**, v. 20, n. 6, p. 343-, nov. 1995.

LA ROVERE, E. L.; PEREIRA, A. S.; SIMÕES, A. F. Biofuels and Sustainable Energy Development in Brazil. **World Development**, v. 39, n. 6, p. 1026–1036, jun. 2011.

LAURINI, M. P. The spatio-temporal dynamics of ethanol/gasoline price ratio in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1–12, abr. 2017.

LAZARO, L. L. B.; THOMAZ, L. F. Stakeholder participation in the formulation of Brazilian biofuel policy (RenovaBio). **Ambiente & Sociedade**, v. 24, p. e00562, 2021.

LEE, Y.-J. et al. Analysis of the Informational Efficiency of the EU Carbon Emission Trading Market: Asymmetric MF-DFA Approach. **Energies**, v. 13, n. 9, p. 2171, 1 maio 2020.

LIMA, M. A.; CAMARGO, R. R.; VASCONSELOS, E. A. A review of the Brazilian ethanol industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 109–648, 2020.

LIU, Y. et al. Statistical properties of the volatility of price fluctuations. **Physical Review E**, v. 60, n. 2, p. 1390–1400, 1 ago. 1999.

LUCCA, M. R. Z. **Análise Empírica Sobre Os Determinantes Da Decisão De Produção De Açúcar E Etanol Na Agroindústria Canavieira Paulista**. [s.l.: s.n.].

MACHADO, G. V. et al. **Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto 2018 - 2030**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>.

MACHADO, H. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA E SOCIOAMBIENTAL DO ETANOL SUPER-HIDRATADO COMO COMBUSTÍVEL PARA MOBILIDADE E GERAÇÃO DE ENERGIA. p. 105, 2019.

MACHADO, K. S. et al. Carbon footprint in the ethanol feedstocks cultivation – Agricultural CO2 emission assessment. **Agricultural Systems**, v. 157, p. 140–145, 2017.

MAL, S. et al. Electric vehicle smart charging and vehicle-to-grid operation. **International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems**, v. 28, n. 3, p. 249–265, jun. 2013.

MARTINS, H. H. et al. Geração de produção, emprego e remunerações nas indústrias do açúcar e do álcool em 2000 e 2009. **DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 2, n. 2, p. 198, 31 maio 2016.

MEIRA, E. et al. The added value and differentiation among ESG investment strategies in stock markets. **Business Strategy and the Environment**, p. bse.3221, 28 ago. 2022.

MENSI, W. et al. Does oil price variability affect the long memory and weak form efficiency of stock markets in top oil producers and oil Consumers? Evidence from an asymmetric MF-DFA approach. **The North American Journal of Economics and Finance**, v. 57, p. 101446, jul. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Nova NDC do Brasil: entenda por que a meta climática foi considerada pouco ambiciosa**. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/nova-ndc-do-brasil-entenda-por-que-meta-climatica-foi-considerada-pouco-ambiciosa>>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Com meta ambiciosa, Brasil anuncia redução de 50% nas emissões de carbono até 2030**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/anuncio-de-ampliacao-da-meta-de-reducao-de-emissoes-para-50-ate-2030-e-destaque-nas-primeiras-participacoes-do-brasil-na-cop26>>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **NDC - a ambição climática do Brasil**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/NDC#:~:text=NDC%20%2D%20a%20ambi%C3%A7%C3%A3o%20clim%C3%A7%C3%A3o>>.

A1tica%20do%20Brasil&text=Pela%20NDC%20ajustada%2C%20o%20pa%C3%ADs,tCO2e%20em%202030>. Acesso em: 26 jan. 2024.

MIRALLES-QUIRÓS, M.; MIRALLES-QUIRÓS, J.; LUIS VALENTE GONÇALVES. The Value Relevance of Environmental, Social, and Governance Performance: The Brazilian Case. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 574, 25 fev. 2018.

MITSUHARA, A. T. REVISÃO SOBRE O POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DA PALHA DE CANA DE AÇÚCAR. p. 56, 2021.

MME. 13576. Governo Federal. Programa RenovaBio. . 2017.

MORAES, M. A. F. D. DE; BACCHI, M. R. P.; CALDARELLI, C. E. Accelerated growth of the sugarcane, sugar, and ethanol sectors in Brazil (2000–2008): Effects on municipal gross domestic product per capita in the south-central region. **Biomass and Bioenergy**, v. 91, p. 116–125, ago. 2016.

MORET, M. A. Self-affinity and nonextensivity of sunspots. **Physics Letters A**, v. 378, n. 5–6, p. 494–496, jan. 2014.

MURARI, T. B. et al. Comparative Analysis between Hydrous Ethanol and Gasoline C Pricing in Brazilian Retail Market. **Sustainability**, v. 11, n. 17, p. 4719, 29 ago. 2019.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Comparative analysis on turbulent regime: A self-affinity study in fluid flow by using OpenFoam CFD. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 474, p. 260–266, maio 2017.

NASCIMENTO FILHO, A. S. **Sistemas Dinâmicos Complexos: Teorias e Aplicações nas Áreas da Física, Economia e Biologia**. Tese de Doutorado.— Salvador/BA: Centro Universitário Senai Cimatec, jul. 2018.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Cross-correlation analysis on Brazilian gasoline retail market. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 508, p. 550–557, out. 2018.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Analysis of Hydrous Ethanol Price Competitiveness after the Implementation of the Fossil Fuel Import Price Parity Policy in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9899, 3 set. 2021a.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Analysis of Hydrous Ethanol Price Competitiveness after the Implementation of the Fossil Fuel Import Price Parity Policy in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9899, 3 set. 2021b.

NASCIMENTO FILHO, A. S.; PITOMBO, N.; MORET, M. A. **Autoafinidade na Variação de Preços de Ações de Companhias Petrolíferas**. 2015.

NEVES, M. F. **Ferramentas para o Futuro do Agro: Estratégias para Posicionar o Brasil como Fornecedor Mundial Sustentável de Alimentos, Bioenergia e Outros Agroprodutos**. São Paulo: Gente, 2021a.

NEVES, M. F. **Ferramentas para o Futuro do Agro**. São Paulo: Gente, 2021b.

NEVES, M. F.; MARTINEZ, L. F. O Modelo GAS-Agro para Projetos de Desenvolvimento Sustentável. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 4, n. 2020, 2020.

NOGUEIRA, F. G.; LUCENA, A. F. P.; NOGUEIRA, R. Sustainable Insurance Assessment: Towards an Integrative Model. **The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice**, v. 43, n. 2, p. 275–299, abr. 2018.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. Biofuels for Transport. Em: **Future Energy**. [s.l.] Elsevier, 2020a. p. 173–197.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. Biofuels for Transport. Em: **Future Energy**. [s.l.] Elsevier, 2020b. p. 173–197.

OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD Publishing, , 2023. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/data/oecd-agriculture-statistics_agr-data-en>. Acesso em: 20 nov. 2023

OLIVEIRA FILHO, F. M.; LEYVA CRUZ, J. A.; ZEBENDE, G. F. Analysis of the EEG bio-signals during the reading task by D F A method. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 525, p. 664–671, jul. 2019.

ORLOV, A.; KALLBEKKEN, S. The impact of consumer attitudes towards energy efficiency on car choice: Survey results from Norway. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 816–822, mar. 2019a.

ORLOV, A.; KALLBEKKEN, S. The impact of consumer attitudes towards energy efficiency on car choice: Survey results from Norway. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 816–822, mar. 2019b.

PALTSEV, S. et al. Global Electrification of Light-duty Vehicles: Impacts of Economics and Climate Policy. **Economics of Energy & Environmental Policy**, v. 11, n. 1, 1 jan. 2022.

PARÉ, G.; KITSIOU, S. **Methods for literature reviews**. [s.l.: s.n.].

PARTOVI, S. M. A.; SADEGHNEJAD, S. Geological boundary detection from well-logs: An efficient approach based on pattern recognition. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 176, p. 444–455, maio 2019.

PATEL, P. C.; PEARCE, J. A.; OGHAZI, P. Not so myopic: Investors lowering short-term growth expectations under high industry ESG-sales-related dynamism and predictability. **Journal of Business Research**, v. 128, p. 551–563, maio 2021.

Pesquisa da PwC revela que investidores retirariam investimentos de empresas que não tenham ações concretas de ESG. Consultoria Empresarial. Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/sala-de-imprensa/release/Pesquisa-da-PwC-revela-que-investidores-retirariam-investimentos-de-empresas-que-nao-tenham-acoes-concretas-de-ESG.html>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

PULIDO-SÁNCHEZ, D. et al. Material and energy requirements of transport electrification. **Energy & Environmental Science**, v. 15, n. 12, p. 4872–4910, 2022.

PUROHIT, P. et al. Lignocellulosic biofuels in India: current perspectives, potential issues and future prospects. **AIMS Energy**, v. 6, n. 3, p. 453–486, 2018.

QUINTINO, D. D. **Econophysics applications to the Brazilian ethanol-sugar sector's prices**. Doutorado em Economia Aplicada—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 7 mar. 2022.

QUINTINO, D. D.; BURNQUIST, H. L.; FERREIRA, P. Relative Prices of Ethanol-Gasoline in the Major Brazilian Capitals: An Analysis to Support Public Policies. **Energies**, v. 15, n. 13, p. 4795, 30 jun. 2022.

RANTA, T.; LAIHANEN, M.; KARHUNEN, A. The Role of Bioenergy in Achieving the Carbon Neutrality Target in Finland by 2035—A Case Study of Student Surveyed at University in Finland. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v. 11, n. 02, p. 61–81, 2021.

RBC GLOBAL ASSET MANAGEMENT. **Global Sustainable Investment Review 2020**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gsi-alliance.org/wp-content/uploads/2021/08/GSIR-20201.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

RIBEIRO, C. H.; CUNHA, M. P. The economic and environmental impacts of Brazilian National Biofuel Policy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 16, n. 2, p. 413–434, mar. 2022.

RIBEIRO, F. et al. Impact of different transportation planning scenarios on air pollutants, greenhouse gases and heat emission abatement. **SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT**, v. 781, 10 ago. 2021.

RITCHIE, H.; ROSADO, P.; ROSER, M. **CO₂ and Greenhouse Gas Emissions**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 26 jan. 2024.

ROITMAN. Programas internacionais de incentivo aos biocombustíveis e o renovabio. 2019.

ROLES, J. et al. Techno-economic evaluation of microalgae high-density liquid fuel production at 12 international locations. **Biotechnology for Biofuels**, v. 14, n. 1, p. 133, dez. 2021.

ROMAN, M.; ROMAN, M.; ROMAN, K. **The Forecast of Economic Processes of Selected Agricultural Products in the Development of Bioenergy and**

Agritourism Activity in Poland. (P. Maresova, P. Jedlicka, I. Soukal, Eds.). Em: HRADEC ECONOMIC DAYS 2018. 12 jan. 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/20.500.12603/444>>. Acesso em: 19 mar. 2023

SAJID, Z.; DA SILVA, M.; DANIAL, S. Historical Analysis of the Role of Governance Systems in the Sustainable Development of Biofuels in Brazil and the United States of America (USA). **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6881, 18 jun. 2021.

SALES, J. M. A. **Movimento Browniano Fracionário: Uma Análise.** Monografia submetida à Coordenação da Graduação do Curso de Física—Fortaleza/CE: Universidade Federal do Ceará (UFCE), 2015.

SALINA, F. H.; DE ALMEIDA, I. A.; BITTENCOURT, F. R. RenovaBio Opportunities and Biofuels Outlook in Brazil. Em: SAYIGH, A. (Ed.). **Renewable Energy and Sustainable Buildings.** Innovative Renewable Energy. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 391–399.

SANTOS, E. C. O. et al. Autocorrelation of wind speed: A sliding window approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 607, p. 128213, dez. 2022.

SIEMENS. **Siemens Energy e Porsche, juntamente com parceiros, avançam no desenvolvimento de e-fuel com impacto neutro no clima.** Disponível em: <<https://www.siemens-energy.com/br/portugues/news/imprensa/2020/se-porsche-e-parceiros-avancam-no-desenvolvimento-de-e-fuel.html>>.

SIERDOVSKI, M.; PILATTI, L. A.; RUBBO, P. Organizational Competencies in the Development of Environmental, Social, and Governance (ESG) Criteria in the Industrial Sector. **Sustainability**, v. 14, n. 20, p. 13463, 19 out. 2022.

SILVA, T. B. Contribuição de veículos elétricos e precificação de carbono na redução das emissões de veículos leves de passageiros no Estado do Rio de Janeiro. 2021.

SILVA, UBIRAJARA SOUZA DA. **Etanol carburante no Brasil: evolução, cenários e o seu desempenho sob os critérios da Renovabio.** Dissertação—Brasil: Universidade Federal da Bahia, 9 nov. 2021.

SOUZA, N. R. D. D.; CAVALETT, O.; JUNQUEIRA, T. L. Techno-economic and environmental assessment of bioenergy and livestock integrated systems in Brazil. **Sustainable Production and Consumption**, v. 32, p. 580–592, 2022.

SOUZA, P. **UM ESTUDO EMPÍRICO DO IMPACTO AMBIENTAL NO RISCO DE CRÉDITO DOS PAÍSES.** , 2018a.

SOUZA, P. C. D. R. S. **Um Estudo Empírico Do Impacto Ambiental No Risco De Crédito Dos Países.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Contábeis da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas (FACE), da Universidade de Brasília (UnB), como requisito à conclusão da disciplina Pesquisa em Ciências Contábeis e

do título de Bacharel em Ciências Contábeis.—[s.l.] Universidade de Brasília (UnB), 2018b.

STEFANONI, S.; VOLTES-DORTA, A. Technical efficiency of car manufacturers under environmental and sustainability pressures: A Data Envelopment Analysis approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 311, p. 127589, ago. 2021.

SUTTIPUN, M.; YORDUDOM, T. Impact of environmental, social and governance disclosures on market reaction: an evidence of Top50 companies listed from Thailand. **Journal of Financial Reporting and Accounting**, v. 20, n. 3/4, p. 753–767, 12 jul. 2022.

SZKLO, A.; PINHEIRO, B.; CALLEGARI, C. **Simulador de Políticas Setoriais e Emissões: Métodos, Dados e Resultados Para o Brasil em 2050**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/publicacoes/simulador-de-politicas-setoriais-e-emissoes-metodos-dados-e-resultados-para-o-brasil-em>>.

TAMBA, M. et al. Economy-wide impacts of road transport electrification in the EU. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 182, p. 121803, set. 2022.

The Biden Plan to Build a Modern, Sustainable Infrastructure and an Equitable Clean Energy Future. Disponível em: <<https://joebiden.com/clean-energy/#>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

TONETO JUNIOR, R.; PINHO, M. **ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: Impactos de Novos Marcos Regulatórios e Tecnologias Sobre a Economia Brasileira**. [s.l.] FUNPEC Editora, 2014.

UDOP, E. Q. R. Usinas/Destilarias no mundo. p. 5, 2021.

UN GLOBAL COMPACT, R. B. **ONU, 2019.pdf**. , 2019.

UNEM. **Produção de etanol de milho cresce 800% em cinco anos e atrai empresas**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/producao-etanol-milho-cresce-800-cinco-anos-atrai-empresas-270123>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Produção de etanol cresce 11,4% em 2020. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1248941>>. Acesso em: 5 mar. 2023.

UNICA. **Uso do etanol evita 515 milhões de toneladas de CO2**. Disponível em: <<https://unica.com.br/noticias/uso-do-etanol-evita-515-milhoes-de-toneladas-de-co2-na-atmosfera/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

VARELA VILLARREAL, J.; BURGUÉS, C.; RÖSCH, C. Acceptability of genetically engineered algae biofuels in Europe: opinions of experts and stakeholders. **Biotechnology for Biofuels**, v. 13, n. 1, p. 92, dez. 2020.

WANG, C. et al. The social, economic, and environmental implications of biomass ethanol production in China: A multi-regional input-output-based hybrid LCA model. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, 2020.

WANG, Y.; HUANG, J. Pathway to develop a low-carbon economy through energy-substitution technology in China. **Energy**, v. 261, p. 124964, dez. 2022.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **5 Priorities for Cities After COP26**. Disponível em: <<https://www.wri.org/insights/5-ways-cities-climate-action>>.

WRI. **Historical GHG Emissions**. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&calculation=ABSOLUTE_VALUE&chartType=line&end_year=2020§ors=energy%2Cindustrial-processes%2Cagriculture%2Cwaste%2Cland-use-change-and-forestry%2Ctransportation&start_year=1990>. Acesso em: 30 dez. 2023.

WYDRA, S. et al. Transition to the bioeconomy – Analysis and scenarios for selected niches. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126092, abr. 2021a.

WYDRA, S. et al. Transition to the bioeconomy – Analysis and scenarios for selected niches. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126092, abr. 2021b.

WYDRA, S. et al. Transition to the bioeconomy – Analysis and scenarios for selected niches. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126092, abr. 2021c.

ZEIDAN, R.; SPITZECK, H. The Sustainability Delta: Considering Sustainability Opportunities in Firm Valuation: The Sustainability Delta: Opportunities in Firm Valuation. **Sustainable Development**, v. 23, n. 6, p. 329–342, dez. 2015.

ZHANG, H.; CHEN, W. The Role of Biofuels in China's Transport Sector in Carbon Mitigation Scenarios. **Energy Procedia**, v. 75, p. 2700–2705, ago. 2015.

ZHANG, W. et al. The impact of biofuel growth on agriculture: Why is the range of estimates so wide? **Food Policy**, v. 38, n. 1, p. 227–239, 2013.

ZHANG, X. et al. The status quo and outlook of bioethanol production in China. p. 109–232, 2019.

5. ARTIGO 02 – Autoafinidade na Variação de Preços de Etanol Hidratado e Anidro ao Produtor do Setor Sucroalcooleira.

Estou convencido de que aquele que começou boa obra em vocês, vai completá-la até o dia de Cristo Jesus (BÍBLIA, Filipenses 1:6)

A dinâmica dos preços no setor sucroalcooleiro é influenciada por uma série de fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam a produção e comercialização de produtos como etanol, açúcar e seus derivados. Neste contexto, a compreensão das variações de preços torna-se crucial para a formulação de estratégias de mercado mais eficazes e sustentáveis.

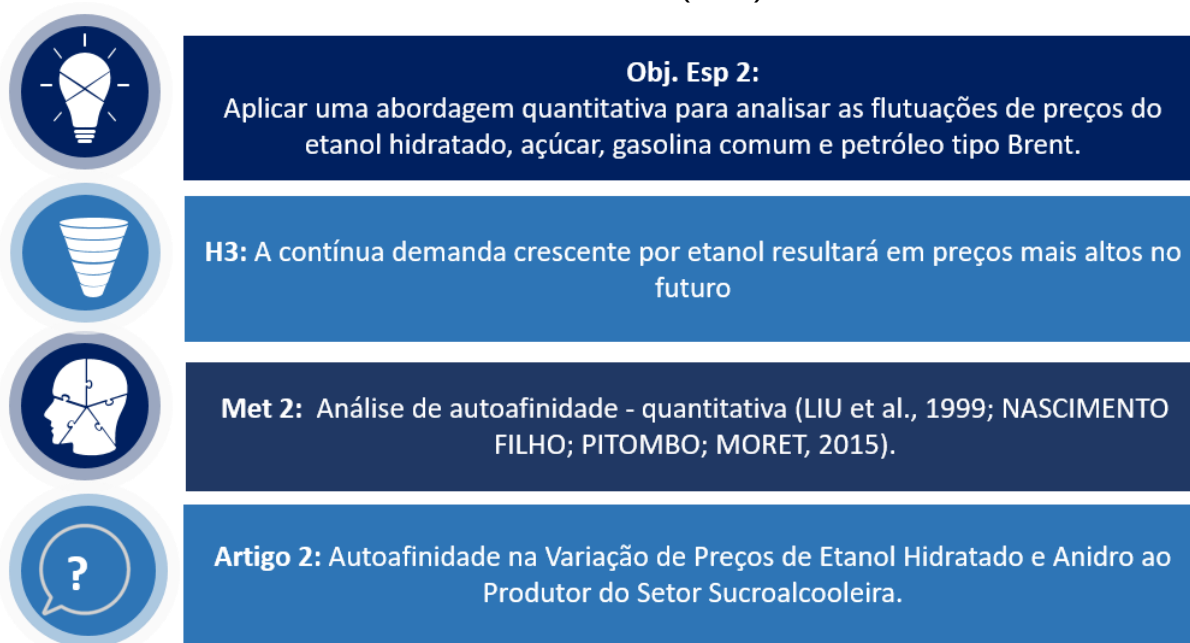
O método DFA, desenvolvido por Liu Peng et al. (1999), foi aplicado com o intuito de identificar padrões e flutuações nas séries temporais de preços de produtos-chave do setor sucroalcooleiro brasileiro, como etanol, gasolina, açúcar e petróleo. A coleta de dados abrangeu um período de 20 anos e foi realizada em fontes confiáveis como ANP, CEPEA e YAHOO FINANCE, contemplando diferentes pontos da cadeia produtiva e de distribuição.

Os dados coletados das usinas de açúcar e etanol, corresponderam a séries históricas de preços de negócios efetivados na modalidade spot entre usinas e distribuidoras - preços ao produtor (usina) (“CEPEA”, 2023). Os dados coletados das revendas e das distribuidoras de etanol hidratados e gasolina comum, correspondem a séries históricas do levantamento de preços segregada por abrangência geográfica (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO BIOCOMBUSTÍVEL E GÁS NATURAL (ANP), 2023).

No processo de coleta de dados foi possível perceber que os dados da distribuição não apresentaram volume maior que 500 unidades, o que inviabilizou a utilização destes para este projeto de pesquisa. Isso ocorreu, segundo a fonte ANP, devido interrupção no processo de coleta de dados nos períodos de pandemia de Covid-19, declarada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 11/3/2020, devido dificuldades no procedimento em campo, notadamente inerentes ao processo de coleta de dados de notas fiscais (preços de distribuição), já que, para tal, faz-se necessária interação entre pesquisadores e colaboradores das revendas (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO BIOCOMBUSTÍVEL E GÁS NATURAL (ANP), 2020).

Este artigo apresenta uma análise inovadora sobre as variações de preços de etanol hidratado e anidro, utilizando a metodologia de Autoafinidade, ou Detrended Fluctuation Analysis (DFA), como ferramenta analítica. Considera as 27 capitais brasileiras e análise as perspectivas regionais, nacionais e internacionais relacionadas. Assim como representado na Figura 4, esta metodologia foi aplicada visando responder ao objetivo específico 2 e a hipótese 3.

Figura 4 - Estrutura de Aplicação da Metodologia de Análise Quantitativa - Análise de Autoafinidade (DFA).



Fonte: Os autores.

Autoafinidade na Variação de Preços de Etanol, Gasolina, Açúcar e Petróleo ao Produtor do Setor Sucroalcooleira.

Self-affinity in the price variation of ethanol, gasoline, sugar, and petroleum in the sugarcane sector.

RESUMO

A indústria sucroalcooleira é um setor da agroindústria responsável pela produção e processamento da cana-de-açúcar (ou milho), para a fabricação de açúcar e álcool. A produção de açúcar ou álcool é influenciada pelo preço de mercado, que varia conforme oferta, demanda, políticas governamentais e tarifas. As usinas consideram os preços para alocar recursos e maximizar o retorno financeiro, atendendo às demandas do mercado. A análise de cenários é uma ferramenta fundamental para compreender e prever o comportamento do mercado no setor sucroenergético. Uma parte essencial dessa análise envolve o estudo das séries temporais dos preços dos produtos na indústria sucroalcooleira. Este artigo tem como objetivo analisar as variações de preços do setor sucroenergético por meio do método *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA). Foram coletados e selecionados séries temporais de preços de etanol hidratado (usina estadual e revenda de 27 capitais), gasolina comum (revenda de 27 capitais), açúcar (exportação e usina) e petróleo (exportação) ao longo de 20 anos. A aplicação do DFA revelou impactos sobre o setor nos âmbitos internacionais, nacional e regional, com comportamento de mercado predominantemente subdifusivo, que indica que as flutuações são mais amplas e têm maior persistência em relação ao comportamento persistente. A compreensão dessas variações é fundamental para a gestão eficiente do mercado de combustíveis, permitindo decisões estratégicas embasadas e adaptação das estratégias de produção, distribuição e comercialização de acordo com as particularidades de cada região. A metodologia DFA mostrou-se eficaz na análise dos dados do setor sucroenergético, fornecendo insights para a construção de cenários e contribuindo para o desenvolvimento sustentável do mercado de combustíveis no Brasil.

Palavras Chaves: Autoafinidade; Cenários; Séries temporais; Indústria Sucroalcooleira.

ABSTRACT

The sugarcane industry is a sector of agribusiness responsible for the production and processing of sugarcane (or corn), for the manufacturing of sugar and ethanol. The production of sugar or ethanol is influenced by the market price, which varies according to supply, demand, government policies, and tariffs. The mills consider prices to allocate resources and maximize financial return, meeting market demands. Scenario analysis is a fundamental tool for understanding and predicting market behavior in the sugarcane industry. An essential part of this analysis involves studying the time series of prices in the sugarcane sector. This article aims to analyze price variations in the sugarcane-energy sector using the *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) method. Time series of prices for hydrated ethanol (state-owned and retail in 27 state capitals), regular gasoline (retail in 27 state capitals), sugar (export and mill), and petroleum

(export) over 20 years were collected and selected. The application of DFA revealed impacts on the sector at international, national, and regional levels, with predominantly subdiffusive market behavior, indicating that fluctuations are wider and have greater persistence compared to persistent behavior. Understanding these variations is crucial for efficient management of the fuel market, enabling informed strategic decisions and adaptation of production, distribution, and marketing strategies according to the specificities of each region. The DFA methodology proved effective in analyzing data in the sugarcane-energy sector, providing insights for scenario building, and contributing to the sustainable development of the fuel market in Brazil.

Keywords: Self-affinity; Scenarios; Time series; Sugarcane industry.

1. INTRODUÇÃO

A indústria sucroalcooleira é um setor da agroindústria responsável pela produção de açúcar e álcool a partir da cana-de-açúcar (ou milho). Esse processo engloba diversas etapas, desde o plantio e colheita da matéria-prima até o processamento dos produtos finais. Essa atividade econômica tem a capacidade de gerar impactos positivos na economia local, como o aumento do PIB (ARAGHI; BARKHORDARI; HASSANNIA, 2023; RIBEIRO; CUNHA, 2022) e do PIB per capita (MORAES; BACCHI; CALDARELLI, 2016), além de contribuir para o aumento do emprego e renda na região (COSTA; GUILHOTO, 2014; CRUZ; GUERREIRO; RAIHER, 2012; MARTINS et al., 2016; ZHANG; CHEN, 2015).

Além dos benefícios econômicos, o setor sucroalcooleiro também se preocupa com a sustentabilidade, adotando práticas agrícolas mais eficientes e tecnologias de produção mais limpa. Além disso, busca aproveitar subprodutos e resíduos para gerar energia e produtos de valor agregado. Essas iniciativas visam promover uma produção mais sustentável, aproveitando os recursos de forma mais eficiente e minimizando o impacto ambiental resultante da produção de açúcar e álcool (MIRALLES-QUIRÓS; MIRALLES-QUIRÓS; LUIS VALENTE GONÇALVES, 2018; SIERDOVSKI; PILATTI; RUBBO, 2022).

Um dos fatores mais relevantes para a tomada de decisão de produzir açúcar ou álcool na indústria sucroalcooleira é o preço dos produtos. O valor de mercado do açúcar e do álcool pode variar de acordo com a oferta e a demanda, as políticas governamentais, as tarifas de importação e outros fatores. As usinas levam em consideração os preços vigentes e as projeções para tomar decisões sobre a alocação de recursos para a produção de açúcar e álcool. Essa decisão busca maximizar o retorno financeiro e atender às demandas do mercado (LUCCA, 2020).

O comportamento dos preços de etanol e petróleo está intrinsecamente relacionado, pois esses produtos têm influências mútuas no mercado global de energia e commodities. O petróleo, como uma das principais fontes de energia do mundo, tem seu preço determinado por uma série de fatores, como oferta e demanda, geopolítica, eventos climáticos e políticas governamentais. Quando o preço do petróleo sobe, isso geralmente afeta os preços do etanol e do açúcar (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023; NASCIMENTO FILHO et al., 2021a; QUINTINO; BURNQUIST; FERREIRA, 2022). Além disso, muitos países do mundo, como o Brasil, misturam o etanol à gasolina,

para reduzir a dependência do petróleo e diminuir as emissões de gases de efeito estufa. Assim, quando o preço do petróleo aumenta, o etanol se torna uma alternativa mais atraente, o que pode levar a um aumento na demanda e, consequentemente, no preço do etanol (LAURINI, 2017; MACHADO et al., 2018; NOGUEIRA et al., 2020a).

O açúcar também tem uma relação próxima com o petróleo e o etanol. O Brasil, um dos maiores produtores de açúcar do mundo, utiliza a cana-de-açúcar como matéria-prima tanto para a produção de açúcar quanto para a produção de etanol (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023). Quando o preço do petróleo está alto, a demanda por etanol aumenta, o que pode levar a uma redução na produção de açúcar, já que 50% da cana-de-açúcar é destinado à produção de etanol. Isso pode resultar em uma diminuição da oferta de açúcar e, consequentemente, em um aumento no preço (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023). Além disso, eventos climáticos, como secas ou inundações, também podem afetar a produção de açúcar e etanol, o que pode levar a flutuações nos preços desses produtos (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023; NOGUEIRA et al., 2020a).

A análise de cenários é uma ferramenta fundamental para compreender e prever o comportamento do mercado no setor sucroenergético. Uma parte essencial dessa análise envolve o estudo das séries temporais dos preços dos produtos na indústria sucroalcooleira (NASCIMENTO FILHO et al., 2021b; QUINTINO; BURNQUIST; FERREIRA, 2022). No entanto, essa tarefa pode ser desafiadora devido à natureza complexa dos dados econômico-financeiros, dados que frequentemente são caracterizados por componentes que interagem de maneira imprevisível ou não linear, volatilidade clusterizada, não normalidade, caudas pesadas e estacionariedade (BRYCE; SPRAGUE, 2012; DAVID et al., 2018; LIU et al., 1999; NASCIMENTO FILHO et al., 2021b). Essas características são típicas de sistemas complexos (LIU et al., 1999). A compreensão desses padrões é crucial para obter insights sobre o comportamento futuro do mercado (QUINTINO; BURNQUIST; FERREIRA, 2022) e por isso estes costumam ser analisados por meio de modelos computacionais (OLIVEIRA FILHO; LEYVA CRUZ; ZEBENDE, 2019; SANTOS et al., 2022).

Para superar essa dificuldade, este trabalho utiliza métodos de modelagem computacional, como a Análise de Autoafinidade ou *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA), que é um método baseado em ramificações dos sistemas dinâmicos complexos capaz de estudar as correlações de longo prazo em séries temporais que não são estáveis ao longo do tempo (não estacionárias) (MURARI et al., 2019). Ele nos ajuda a identificar padrões autossimilares ou comportamento fractal em conjuntos de dados (LIU et al., 1999; NASCIMENTO FILHO, 2018; NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015). Essa análise nos fornece informações importantes sobre a dinâmica do sistema (fractal ou multifractal) e nos ajuda a prever seu comportamento futuro e reações a mudanças externas (AZEVEDO et al., 2016; MORET, 2014; MURARI et al., 2019; NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015; SANTOS et al., 2022).

O uso do DFA na análise de cenários oferece oportunidades de antecipar tendências e adaptar-se a mudanças nas condições de mercado. No setor sucroalcooleiro, o DFA pode ser aplicado na análise da flutuação de variáveis como preços de açúcar e etanol, demanda por biocombustíveis e oferta de matéria-prima, identificando relações

de causa e efeito, avaliando riscos e oportunidades (QUINTINO, 2022). Combinado com outras técnicas de análise de séries temporais, o DFA potencializa sua capacidade de fornecer informações relevantes para tomadas de decisão estratégicas. Em comparação com outros métodos de análise de cenários, o DFA destaca-se por tratar dados em um único processo, sendo eficaz na análise de séries temporais complexas e não estacionárias, como as encontradas no setor sucroenergético (NASCIMENTO FILHO et al., 2018).

O método DFA possui uma abordagem amplamente estudada e utilizada em várias pesquisas, como avaliação de precipitações (ALVES DA SILVA et al., 2020); medições de velocidade do vento (BALKISSOON; FOX; LUPO, 2020; SANTOS et al., 2022); preço de mercado de emissões de carbono (LEE et al., 2020); eficiência do mercado de ações (MENSI et al., 2021); estudo de atividade cerebral no processo de leitura (OLIVEIRA FILHO; LEYVA CRUZ; ZEBENDE, 2019); avaliação de padrões de registros de poços de petróleo (PARTOVI; SADEGHNEJAD, 2019); estudo de casos de dengue (AZEVEDO et al., 2016); para investigar a velocidades de um fluido em regime turbulento (NASCIMENTO FILHO et al., 2017) e aplicado a variação de preços de ações de companhias petrolíferas (NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015).

O objetivo desse trabalho é propor uma análise de cenário voltado para a indústria sucroalcooleira do Brasil considerando diferentes dimensões espaciais e temporais. Para esse fim, aplicamos o método DFA em séries temporais de preços de combustíveis, açúcar e petróleo durante um período de 2003 a 2023. Além dessa seção introdutória o trabalho está dividido em metodologia, resultados e discussões, conclusão e referências.

2. METODOLOGIA

O processo metodológico envolveu a análise de séries temporais de preços de quatro produtos do setor sucroenergético brasileiro: etanol hidratado (usina e revenda), gasolina comum (revenda), açúcar (usina e exportação) e petróleo (exportação). Foram considerados critérios de inclusão: a) dados provenientes de fontes abertas; b) dados disponíveis para as 27 capitais brasileiras (Tabela 1 e Figura 1) e; c) volume mínimo de 500 unidades de dados.

Tabela 1 – Nome das 27 Capitais Brasileiras e seus Estados Seleccionados para a Coleta de Dados das Séries Temporais de Preços Estudadas.

Estado/Sigla	Capital	Estado/Sigla	Capital
Sergipe/SE	Aracaju	Amazonas/AM	Manaus
Pará/PA	Belém	Rio Grande do Norte/RN	Natal
Minas Gerais/MG	Belo Horizonte	Tocantins/TO	Palmas
Roraima/RR	Boa Vista	Rio Grande do Sul/RS	Porto Alegre

Distrito Federal/DF	Brasília	Rondônia/RO	Porto Velho
Mato Grosso do Sul/MS	Campo Grande	Pernambuco/PE	Recife
Mato Grosso/MT	Cuiabá	Acre/AC	Rio Branco
Paraná/PR	Curitiba	Rio de Janeiro/RJ	Rio De Janeiro
Santa Catarina/SC	Florianópolis	Bahia/BA	Salvador
Ceará/CE	Fortaleza	Maranhão/MA	São Luís
Goiás/GO	Goiânia	São Paulo/SP	São Paulo
Paraíba/PB	João Pessoa	Piauí/PI	Teresina
Amapá/AM	Macapá	Espírito Santo/ES	Vitória
Alagoas/AL	Maceió		

Fonte: Os Autores

Figure 1 - Mapa de Localização das 27 Capitais Brasileiras Seleccionadas para a Coleta de Dados das Séries Temporais de Preços Estudadas.



Fonte: Os Autores

A aplicação do método *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) foi realizada em um software executável DFA em combinação com o software Origin 6.0. As seguintes etapas foram utilizadas para este método:

10. Considere uma série temporal original r_i , onde r_i é o valor dos preços das séries temporais estudadas no i -ésimo dia, semanal, mês ou ano (depende da série), com $i=1, \dots, N$ e N é o número total de dias registrado;

11. A série temporal r_i é integrada para obter (1):

$$Y(k) = \sum_{i=1}^k [r_i - \langle r \rangle] \quad (1)$$

Onde r é o valor médio de r_i .

12. O sinal integrado $y(k)$ é dividido em caixas não sobrepostas de igual comprimento n ; e

13. Para cada caixa de tamanho n , $y(k)$ é ajustado usando uma função polinomial, que representa a tendência na caixa;

14. A coordenada da linha de ajuste em cada caixa é denotada por $y_n(k)$ porque um ajuste polinomial de grau 1 é usado e o algoritmo DFA-I é denotado;

15. O sinal integrado $y(k)$ é eliminado subtraindo a tendência local $y_n(k)$ dentro de cada caixa (de comprimento n);

16. Para uma determinada caixa de tamanho n , a flutuação da raiz quadrada média, $F(n)$, para o sinal integrado e sem tendência é dada como (2):

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [Y(k) - Y_n(k)]^2} \quad (2)$$

17. O cálculo acima é repetido para uma ampla gama de escalas (caixa de tamanho “ n ”) para fornecer uma relação entre $F(n)$ e o tamanho da caixa n .

18. O expoente de escala é definido sempre que tal relação é caracterizada pela lei de potência $F(n) \sim n^\alpha$. Portanto, o expoente de escala (α) é um parâmetro auto afim que expressa as propriedades de correlação da lei de potência de longo alcance (Tabela 2) (LIU et al., 1999; NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015).

Tabela 2 - Resultados possíveis para os valores do expoente de escala (α) obtidos por meio da aplicação da metodologia de análise de autoafinidade (DFA).

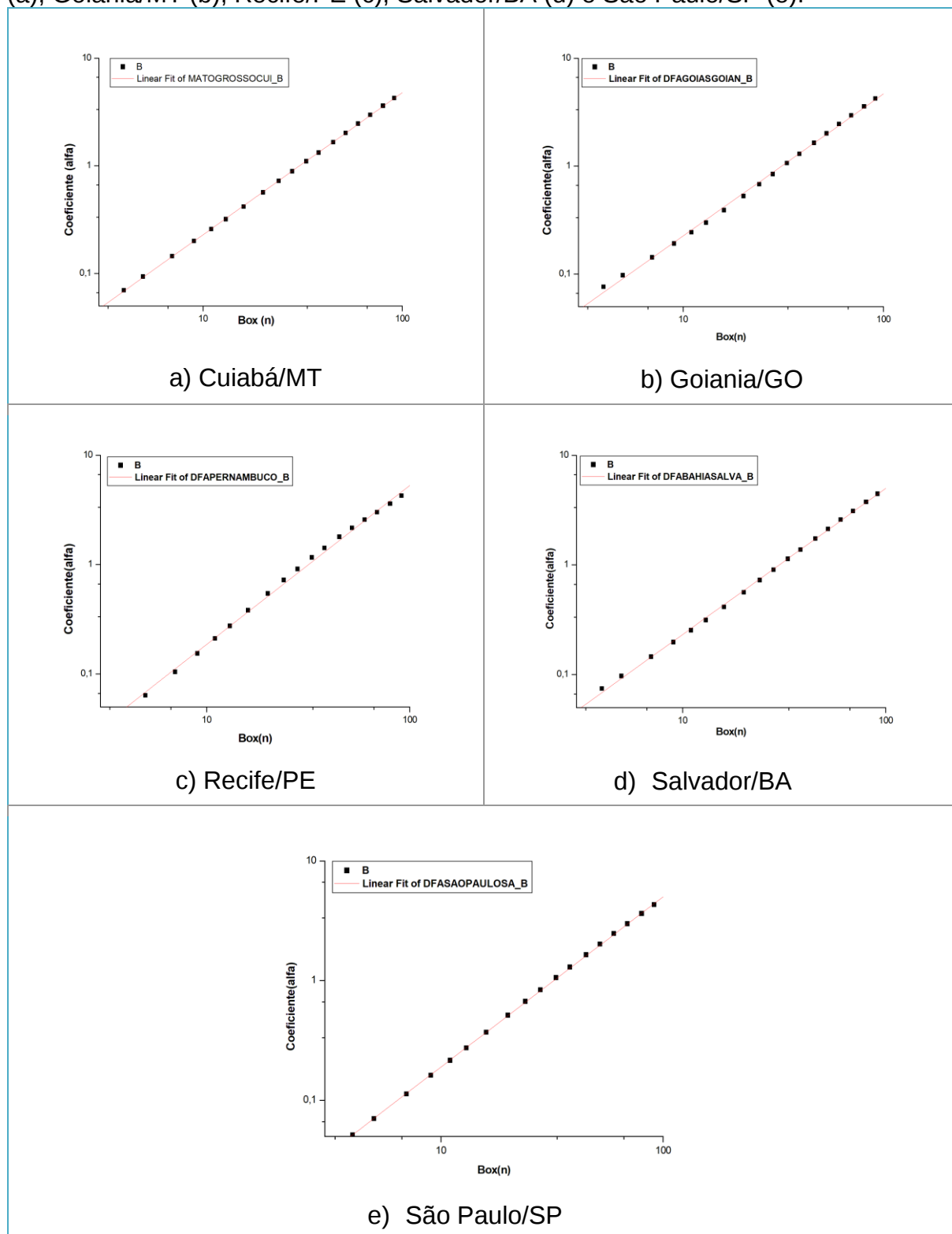
Expoente (α)	Comportamento
$0 < \alpha < 0,5$	→ antipersistente - indica que períodos de altos preços tendem a ser seguidos por períodos de baixos preços e vice-versa.
$\alpha \cong 0,5$	→ ruído branco (não correlacionado) - indica não haver correlação entre os preços anteriores ou seguintes.
$0,5 < \alpha < 1,0$	→ persistente (correlação de longo alcance) - indica que períodos de altos preços tendem a ser seguidos por períodos de altos preços e vice-versa.
$\alpha \cong 1,0$	→ ruído tipo 1/f - indica haver uma amplitude que diminui à medida que a frequência aumenta - indica haver uma amplitude que diminui à medida que a frequência aumenta.
$1,0 < \alpha < 1,5$	→ subdifusivo - indica que as flutuações são mais amplas e têm maior persistência em relação ao comportamento persistente.
$\alpha \cong 1,5$	→ ruído marrom (browniano) - indica um fenômeno no qual o comportamento futuro está mais influenciado pelo estado atual do sistema do que pelo passado.
$\alpha > 1,5$	→ superdifusivo - isso indica flutuações mais amplas e mais rápidas do que o comportamento subdifusivo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos dados coletados dos preços de venda de etanol hidratado, gasolina comum, açúcar e petróleo, em várias regiões produtoras, bem como nas revendas das 27 capitais brasileiras e no distrito federal, por meio do método DFA, se mostrou altamente significativa, uma vez que forneceu uma explicação precisa para a variabilidade observada de dados, resultando em p-valores ($< 2.2e-16$) menores que 0,05, R-quadrado e R-quadrado ajustado maiores que 99%. Não foram observadas a formação de crossover – transição entre diferentes propriedades estatísticas nas séries temporais.

Cada análise realizada retornou valores de alfas (Figura 2), que permitiram a compreensão do comportamento das series temporais ao longo de aproximadamente 20 anos de coleta de dados, compreendidos entre 2003 e 2023. Uma amostra destes resultados pode ser visualizadas a partir dos gráficos representados na figura 2, calculados para os preços de revendas de etanol nas cidades de Cuiabá/MT (Figura 2a), Goiânia/MT (Figura 2b), Recife/PE (Figura 2c), Salvador/BA (Figura 2d) e São Paulo/SP (Figura 2e).

Figure 2 - Gráfico do Resultado da Análise do DFA das Séries Temporais (2003 a 2023) dos Preços (BRL) do Etanol Hidratado (Revenda) nas Cidades de Cuiabá/MT (a), Goiânia/MT (b), Recife/PE (c), Salvador/BA (d) e São Paulo/SP (e).



Fonte: Os autores.

Observou-se que a o comportamento dos preços do etanol e gasolina, nas revendas (Tabelas 3); do etanol (Tabela 4) e açúcar (Tabela 5), nas usinas produtoras; do açúcar e petróleo, na exportação (Tabela 7) apresentaram predominantemente comportamento subdifusivos (79% das observações), seguido de comportamento ruído browniano (15% das observações) e de comportamento superdifusivo (7% das observações).

Tabela 3 - Resultados dos Coeficientes Alfas (A) Obtidos por Meio da Aplicação da Metodologia de Autoafinidade (DFA) nas Séries Temporais dos Preços (BRL) de Etanol Hidratado e Gasolina Comum, nas Revendas das 27 Capitais Brasileiras.

Estado/Sigla	Capital	Etanol (α)	Gasolina (α)
Sergipe/SE	Aracaju	$1,48 \pm 0,019$	$1,43 \pm 0,012$
Pará/PA	Belém	$1,58 \pm 0,010$	$1,49 \pm 0,012$
Minas Gerais/MG	Belo Horizonte	$1,42 \pm 0,005$	$1,47 \pm 0,012$
Roraima/RR	Boa Vista	$1,56 \pm 0,020$	$1,49 \pm 0,006$
Distrito Federal/DF	Brasília	$1,48 \pm 0,008$	$1,42 \pm 0,008$
Mato Grosso do Sul/MS	Campo Grande	$1,45 \pm 0,008$	$1,45 \pm 0,009$
Mato Grosso/MT	Cuiabá	$1,32 \pm 0,003$	$1,45 \pm 0,006$
Paraná/PR	Curitiba	$1,40 \pm 0,003$	$1,41 \pm 0,005$
Santa Catarina/SC	Florianópolis	$1,50 \pm 0,008$	$1,40 \pm 0,007$
Ceará/CE	Fortaleza	$1,52 \pm 0,012$	$1,38 \pm 0,008$
Goiás/GO	Goiânia	$1,32 \pm 0,011$	$1,39 \pm 0,008$
Paraíba/PB	João Pessoa	$1,50 \pm 0,017$	$1,50 \pm 0,010$
Amapá/AM	Macapá	$1,41 \pm 0,021$	$1,47 \pm 0,006$
Alagoas/AL	Maceió	$1,47 \pm 0,011$	$1,43 \pm 0,008$
Amazonas/AM	Manaus	$1,49 \pm 0,010$	$1,29 \pm 0,008$
Rio Grande do Norte/RN	Natal	$1,48 \pm 0,009$	$1,41 \pm 0,006$
Tocantins/TO	Palmas	$1,51 \pm 0,009$	$1,43 \pm 0,008$
Rio Grande do Sul/RS	Porto Alegre	$1,50 \pm 0,007$	$1,45 \pm 0,004$

Rondônia/RO	Porto Velho	1,55 ± 0,009	1,42 ± 0,007
Pernambuco/PE	Recife	1,45 ± 0,015	1,40 ± 0,005
Acre/AC	Rio Branco	1,55 ± 0,010	1,44 ± 0,008
Rio de Janeiro/RJ	Rio De Janeiro	1,41 ± 0,008	1,47 ± 0,012
Bahia/BA	Salvador	1,33 ± 0,008	1,31 ± 0,012
Maranhão/MA	São Luís	1,52 ± 0,007	1,46 ± 0,009
São Paulo/SP	São Paulo	1,42 ± 0,004	1,49 ± 0,010
Piauí/PI	Teresina	1,45 ± 0,007	1,43 ± 0,011
Espírito Santo/ES	Vitória	1,46 ± 0,006	1,48 ± 0,011

Fonte: Os autores.

Tabela 4 - Resultados dos alfas obtidos por meio da aplicação da metodologia de autoafinidade (DFA) nas séries temporais dos preços (BRL) de etanol hidratado, nas usinas dos estados de Mato Grosso (MT), Goiás (GO) e São Paulo (SP).

Estado/Sigla	Etanol (α)
Goiás/GO	1,28 ± 0,003
Mato Grosso/MT	1,46 ± 0,010
São Paulo/SP	1,28 ± 0,004

Fonte: Os autores

Tabela 5 - Resultados dos alfas obtidos por meio da aplicação da metodologia de autoafinidade (DFA) nas séries temporais dos preços (BRL) do açúcar, nas usinas das cidades de Santos/SP e São Paulo/SP.

Estado/Sigla	Cidade	Açúcar (α)
São Paulo/SP	Santos	1,56 ± 0,011
São Paulo/SP	São Paulo	1,57 ± 0,008

Fonte: Os autores

Tabela 6 - Resultados dos alfas obtidos por meio da aplicação da metodologia de autoafinidade (DFA) nas séries temporais dos preços (BRL) do açúcar e do petróleo, na exportação brasileira.

País/Sigla	Açúcar (α)	Petróleo (α)
Brasil/BR	1,36 ± 0,019	1,42 ± 0,009

Fonte: Os autores

Se no comportamento persistente ($0,5 < \alpha < 1,0$), períodos de altos preços tendem a ser seguidos por períodos de altos preços e vice-versa, indicando uma tendência de continuidade na série temporal. No comportamento subdifusivo ($1,0 < \alpha < 1,5$), as flutuações são mais amplas e com maior persistência em relação ao comportamento persistente. As flutuações têm uma tendência de continuar, mas com uma velocidade menor do que no comportamento persistente. No comportamento superdifusivo ($\alpha > 1,5$), essas flutuações são ainda mais amplas e mais rápidas do que o comportamento subdifusivo. As flutuações têm uma tendência de continuar, mas com uma velocidade maior do que no comportamento subdifusivos (NASCIMENTO FILHO; PITOMBO; MORET, 2015; QUINTINO; BURNQUIST; FERREIRA, 2022; SANTOS et al., 2022). Já no comportamento browniano, o comportamento futuro de um fenômeno, está mais influenciado pelo estado atual do sistema do que pelo passado (SALES, 2015).

Essas descrições ajudam a entender como o comportamento dos preços do etanol, gasolina, açúcar e petróleo se diferenciam e podem fornecer percepções sobre a dinâmica desses mercados. No contexto da análise de autoafinidade (DFA) de séries temporais de preços, a amplitude refere-se à extensão das flutuações ou variações observadas na série temporal. Ela representa a diferença entre os valores extremos em um determinado período. A amplitude é uma medida crucial para caracterizar o comportamento de uma série temporal. Em um contexto financeiro, a amplitude dos preços pode indicar a volatilidade do mercado e a intensidade das variações de preço ao longo do tempo (CHAN, 2003).

A observação de um comportamento subdifusivos, ruído marrom ou superdifusivo nas séries temporais dos preços do etanol, açúcar e petróleo implica desafios e oportunidades significativos no contexto regional, nacional e internacional do Brasil. Cada um dessas commodities desempenha um papel crucial na economia do país, e suas dinâmicas de preços têm ramificações abrangentes (AGARWAL et al., 2017; CALDARELLI; PERDIGÃO, 2018; CHANDEL et al., 2021).

3.1 No Âmbito do Mercado Regional

No cenário regional, a produção e o consumo de etanol desempenham um papel importante no Brasil, devido à significativa participação dos biocombustíveis na matriz energética (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023, 2023; NOGUEIRA et al., 2020a). Para a indústria sucroalcooleira, é fundamental acompanhar de perto as movimentações do mercado, a fim de antecipar decisões sobre a produção de açúcar ou etanol, uma vez que a escolha é feita com base na rentabilidade relativa desses produtos (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023; NEVES, 2021b).

O comportamento subdifusivo dos preços do etanol nas usinas (Tabela 3) e nos pontos de venda (Tabela 4) pode influenciar as estratégias das usinas produtoras e a escolha dos consumidores, impactando diretamente setores como o agrícola e o automotivo em nível regional. As análises revelaram diferenças regionais nos preços do etanol nas principais capitais brasileiras.

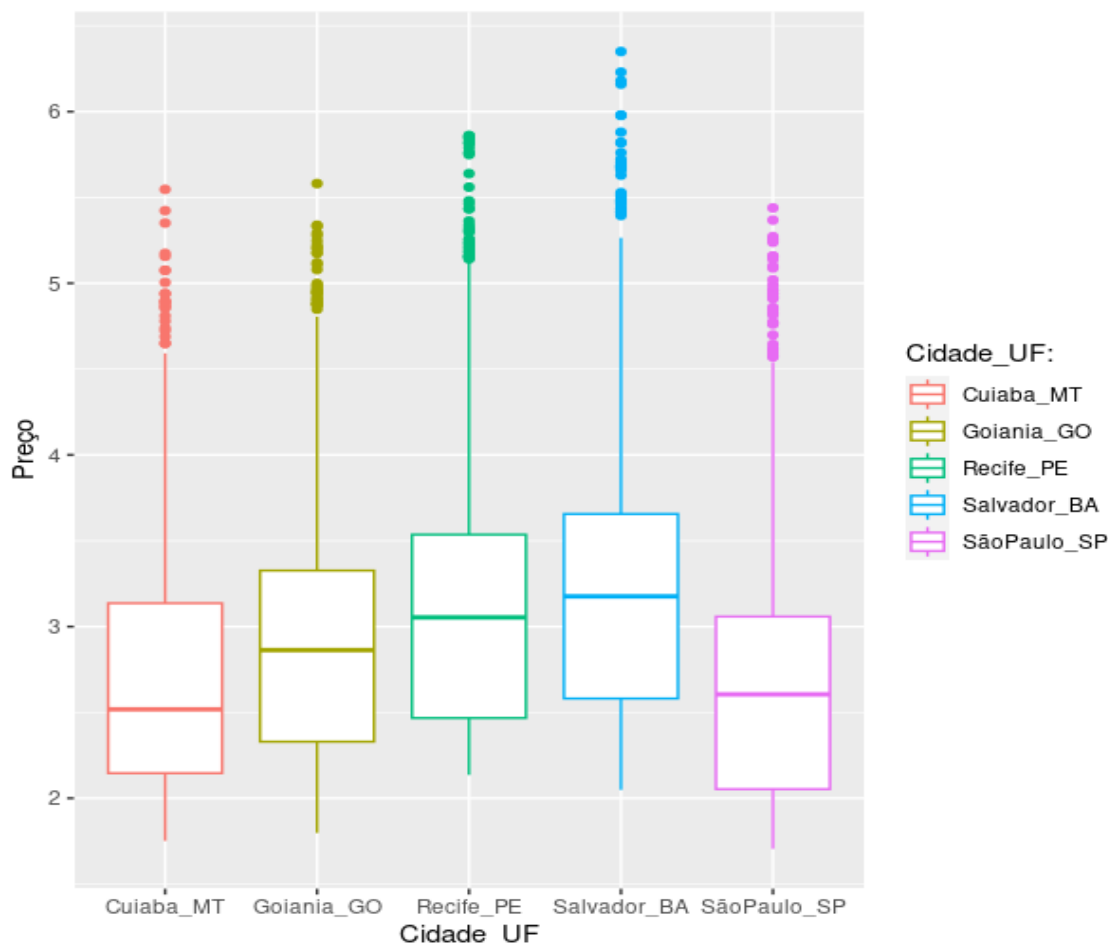
Além disso, identificou-se que uma parte significativa dos preços do etanol está concentrada em valores mais altos. Ao examinar a Figura 2, é possível observar que o primeiro quartil, representando 25% dos dados, apresenta valores mais baixos. Isso indica que uma parte dos preços do etanol está abaixo desses valores. Por outro lado, o terceiro quartil, que engloba 75% dos dados, apresenta valores mais altos, indicando que uma parte dos preços do etanol está acima desses valores. Essa variação sugere uma dispersão nos preços do etanol entre as cidades analisadas. O valor mediano (segundo quartil) divide o conjunto de dados em duas partes iguais.

Ao analisar os dados por cidade, podemos observar as seguintes diferenças nos preços médios do etanol:

- Recife (Pernambuco): O preço médio do etanol em Recife é relativamente alto, com um valor médio no terceiro quartil de 3,53575 BRL. Isso indica que uma parte significativa dos preços do etanol em Recife está acima desse valor.
- São Paulo (São Paulo): São Paulo apresenta um preço médio do etanol um pouco mais baixo em comparação com Recife, com um valor médio no terceiro quartil de 3,058 BRL. No entanto, ainda é considerado relativamente alto em comparação com outras cidades analisadas.
- Cuiabá (Mato Grosso): Cuiabá apresenta um preço médio do etanol um pouco mais baixo em comparação com São Paulo, com um valor médio no terceiro quartil de 3,136. Isso indica que uma parte significativa dos preços do etanol em Cuiabá está acima desse valor.
- Goiânia (Goiás): Goiânia apresenta um preço médio do etanol mais baixo em comparação com as três cidades anteriores, com um valor médio no terceiro quartil de 3,3265. Isso indica que uma parte significativa dos preços do etanol em Goiânia está abaixo desse valor.
- Salvador (Bahia): Salvador apresenta o preço médio do etanol mais baixo entre as cidades analisadas, com um valor médio no terceiro quartil de 3,656. Isso indica que uma parte significativa dos preços do etanol em Salvador está abaixo desse valor.

Essas diferenças nos preços médios do etanol entre as cidades podem ser atribuídas a diversos fatores, como impostos regionais, logística de distribuição, oferta e demanda local, políticas governamentais, entre outros (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023; DAVID et al., 2018; NASCIMENTO FILHO et al., 2021b; QUINTINO; BURNQUIST; FERREIRA, 2022). É importante considerar essas diferenças ao analisar o mercado de combustíveis em cada região e ao tomar decisões relacionadas ao consumo e investimento nesse setor.

Figura 3 - Gráfico do Resultado da Análise de Quartis dos Dados das Séries Temporais (2003 a 2023) dos Preços (BRL) das do Etanol Hidratado (Revenda) nas Cidades de Cuiabá/MT, Goiânia/MT, Recife/PE, Salvador/BA e São Paulo/SP.



Fonte: Os autores.

3.2 No Âmbito do Mercado Nacional

O cenário nacional brasileiro, marcado pelo comportamento subdifusivo ($1,0 < \alpha < 1,5$) nos preços do etanol nas revendas (Tabela 3), do açúcar e do petróleo na exportação (Tabela 7), revela uma complexa interconexão entre setores estratégicos da economia. Nesse contexto, a introdução de um comportamento browniano ($\alpha \cong 1,5$) nos preços do açúcar na usina (Tabela 5) acrescenta uma camada de dinamismo, com implicações distintas para diferentes segmentos.

No que diz respeito ao etanol, fundamental na matriz energética do Brasil, a subdifusão ($\alpha_{\text{médio}}=1,46\pm0,010$) nos preços gera desafios para a previsibilidade econômica. Embora a estabilidade relativa beneficie os consumidores, ela pode restringir a capacidade das usinas de se adaptarem rapidamente às mudanças de mercado, comprometendo a eficiência operacional.

A demanda por etanol é influenciada por políticas governamentais e pela busca por fontes de energia mais sustentáveis (DAVID et al., 2018; LIU et al., 1999; MENSI et al., 2021; NASCIMENTO FILHO, 2018; NASCIMENTO FILHO et al., 2021b; QUINTINO; BURNQUIST; FERREIRA, 2022). O Brasil tem implementado diversificação nas variedades de cana-de-açúcar, ampliado o uso de outras matérias-primas, como o milho e biomassa, e adotado tecnologias inovadoras, como a produção de etanol de primeira e segunda geração. Essas iniciativas visam aumentar a produtividade e adaptar-se às condições climáticas adversas, garantindo a viabilidade e sustentabilidade da produção de biocombustíveis (BORDONAL et al., 2018b; DANIELIS; SCORRANO; GIAN SOLDATI, 2022b; MACHADO et al., 2018; NOGUEIRA et al., 2020a).

Por outro lado, a introdução de um comportamento browniano ($\alpha_{\text{médio}}=1,56\pm0,009$) nos preços do açúcar nas usinas pode gerar flutuações imprevisíveis, desafiando ainda mais a gestão estratégica das usinas produtoras. A produção de açúcar é afetada por variações na safra e por fatores climáticos, o que pode resultar em maior volatilidade nos preços. Além disso, a diminuição da demanda global por açúcar em economias mais avançadas também contribui para a instabilidade do mercado (BORDONAL et al., 2018b; CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023).

No setor sucroenergético, onde o Brasil é líder mundial, o comportamento browniano ($\alpha_{\text{médio}}=1,56\pm0,009$) no preço do açúcar pode ter impactos específicos. A flutuação imprevisível pode aumentar a volatilidade nos resultados financeiros das usinas, o que requer estratégias ágeis para se adaptar às mudanças nos mercados internacionais de commodities.

Quanto ao petróleo, componente essencial na economia brasileira, a subdifusão nos preços apresenta desafios e oportunidades. A estabilidade aparente pode trazer benefícios para as políticas energéticas, mas a influência do comportamento browniano nas usinas de açúcar pode introduzir incertezas adicionais e afetar a correlação entre os preços dessas commodities.

No contexto nacional, a interação desses comportamentos nos preços gera implicações econômicas, comerciais e ambientais. Embora a estabilidade relativa seja benéfica, a introdução de flutuações imprevisíveis nos preços do açúcar nas usinas exige uma abordagem estratégica e flexível para garantir a sustentabilidade dos setores envolvidos.

Os comportamentos subdifusivos nos preços do etanol, açúcar e petróleo, juntamente com o comportamento browniano nos preços do açúcar nas usinas, demandam uma gestão cuidadosa e estratégias adaptativas. Compreender essas dinâmicas complexas é essencial para a formulação de políticas públicas e estratégias empresariais que promovam a estabilidade e a resiliência nos setores-chave da economia brasileira.

A análise de autoafinidade DFA pode fornecer informações valiosas para a gestão do setor sucroalcooleiro, permitindo uma tomada de decisões estratégicas mais informada em relação aos preços do etanol, considerando diversos fatores, como a

influência do preço do petróleo e as políticas governamentais. Além disso, é importante realizar uma análise cuidadosa dos fatores que afetam a oferta e a demanda de açúcar, em virtude da volatilidade desse mercado. Considerar também a competitividade e a sustentabilidade da produção de biocombustíveis é essencial para garantir o sucesso e a resiliência do setor sucroalcooleiro.

3.3 No Âmbito do Mercado Internacional

O Brasil desempenha um papel significativo nos setores de etanol, açúcar e petróleo ao nível global. A interação entre os comportamentos subdifusivo e browniano nos preços desses produtos traz implicações marcantes para o país. No setor açucareiro, o comportamento subdifusivo cria desafios na gestão estratégica, ao introduzir uma camada de imprevisibilidade na forma de comportamento browniano nas usinas, exigindo uma agilidade ainda maior das empresas para se adaptarem às mudanças repentinas nas condições do mercado internacional.

Estima-se que o Brasil e a Índia representarão uma parcela significativa da produção mundial de açúcar em 2032, com o Brasil mantendo sua competitividade mesmo com uma possível valorização da moeda nacional, o Real (“OECD-FAO Agricultural Outlook”, 2023). No entanto, a variabilidade imprevisível introduzida pelo comportamento browniano no preço do açúcar nas usinas pode gerar incertezas nas negociações comerciais internacionais e afetar a competitividade do etanol brasileiro no mercado global.

A produção de etanol se torna predominante em relação ao açúcar devido à implementação de políticas que promovem o desenvolvimento de biocombustíveis em todo o mundo, visando a redução de gases de efeito estufa (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023). No entanto, fatores como desenvolvimentos macroeconômicos globais, políticas relacionadas ao açúcar, condições climáticas e preferências dos consumidores podem introduzir riscos e incertezas nesse processo (“OECD-FAO Agricultural Outlook”, 2023).

No setor petrolífero, a estabilidade aparente nos preços pode influenciar as políticas energéticas e de investimento no Brasil (NASCIMENTO FILHO et al., 2021b). A complexa interação entre os comportamentos subdifusivo e browniano nos preços do açúcar nas usinas demanda abordagens mais sofisticadas para a formulação de estratégias econômicas e energéticas.

Em suma, o comportamento subdifusivo e browniano nos preços do etanol, açúcar e petróleo apresentam desafios e oportunidades únicas para o Brasil. Compreender essas dinâmicas e adaptar-se estrategicamente é fundamental para preservar a competitividade e a sustentabilidade do país nesses setores globais (CORTEZ; ROSILLO-CALLE, 2023; NEVES, 2021b).

A análise de autoafinidade DFA pode fornecer informações valiosas para a gestão do setor sucroalcooleiro, permitindo uma tomada de decisões estratégicas mais informada em relação aos preços do etanol, considerando diversos fatores, como a influência do preço do petróleo e as políticas governamentais. Além disso, é

importante realizar uma análise cuidadosa dos fatores que afetam a oferta e a demanda de açúcar, em virtude da volatilidade desse mercado (FLYN, 2019).

Considerar também a competitividade da indústria nacional e internacional, as questões ambientais relacionadas à produção e consumo de combustíveis fósseis, bem como as políticas e regulamentações governamentais, são peças-chave para um setor sucroalcooleiro sustentável e competitivo.

É fundamental que as usinas produtoras invistam em tecnologias mais eficientes e sustentáveis, buscando reduzir os impactos ambientais de sua atividade. Além disso, a diversificação dos produtos e a busca por novos mercados também podem ser estratégias para enfrentar a volatilidade dos preços e garantir a rentabilidade do setor (BRANCO et al., 2020; CHIARAMONTI et al., 2021a; ZHANG et al., 2019).

Políticas públicas e incentivos governamentais também desempenham um papel importante na promoção do desenvolvimento sustentável do setor sucroalcooleiro. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento, infraestrutura de transporte e armazenamento, e estímulos à produção de biocombustíveis e energia renovável são essenciais para impulsionar a competitividade e a resiliência da indústria (BNDES, 2023; FAPESP, 2023; FUNDEP, 2023; INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2022; RBC GLOBAL ASSET MANAGEMENT, 2020).

Além disso, é necessário promover a transparência nos mercados, garantindo uma maior equidade nas relações entre produtores, distribuidores e consumidores. Mecanismos de regulação e monitoramento dos preços e políticas antitruste podem contribuir para a estabilidade dos preços e para a proteção dos interesses dos diferentes atores envolvidos na cadeia produtiva (“Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. CBIO”, [s.d.]; JIANG et al., 2020; MME, 2017).

4. CONCLUSÃO

Os gestores do setor sucroalcooleiro podem utilizar a metodologia de análise de autoafinidade (DFA) para apoiar o ajuste de suas estratégias de produção, distribuição e comercialização de etanol e açúcar, considerando as tendências de movimento suave dos preços. A previsibilidade dos preços do açúcar, por exemplo, pode auxiliar na gestão da produção de cana-de-açúcar destinada à produção de açúcar, permitindo um planejamento mais eficiente da colheita e processamento.

No caso do etanol, a previsibilidade dos preços pode ser usada na gestão de postos de combustíveis e na logística de distribuição. Os gestores podem ajustar suas estratégias de compra e venda de etanol com base nas tendências de movimento suave dos preços, evitando estoque excessivos ou escassez de combustível nos postos. Além disso, a previsibilidade dos preços também pode auxiliar na programação do transporte de etanol, otimizando o uso de dutos e reduzindo custos logísticos.

A análise dos dados do etanol nas principais capitais brasileiras revela diferenças regionais nos preços, indicando a influência de fatores como impostos regionais,

logística de distribuição, oferta e demanda local, e políticas governamentais. Ao considerar essas diferenças, os gestores podem tomar decisões estratégicas mais informadas no setor sucroalcooleiro, adaptando suas estratégias de acordo com as particularidades de cada região.

Além disso, a análise de DFA indica que o comportamento subdifusivo dos preços do etanol deve persistir no futuro, contribuindo para uma maior previsibilidade e estabilidade do mercado. É importante destacar que fatores como logística, oferta e demanda local, impostos regionais e políticas governamentais desempenham um papel significativo na formação dos preços do etanol em cada região.

Portanto, ao analisar os dados e considerar as diferenças regionais, os gestores do setor sucroalcooleiro podem tomar decisões estratégicas mais embasadas e adaptar suas estratégias de produção, distribuição e comercialização de acordo com as particularidades de cada região. A compreensão dessas variações é fundamental para a gestão eficiente do setor sucroalcooleiro e para o desenvolvimento sustentável do mercado de combustíveis no Brasil. A utilização da metodologia DFA pode fornecer percepções valiosas e contribuir para o crescimento e competitividade do setor.

5. REFERÊNCIAS

ABASIAN, F.; RÖNNQVIST, M.; OUHIMMOU, M. Forest bioenergy network design under market uncertainty. **Energy**, v. 188, 2019.

AGARWAL, A. K. et al. **Introduction to Biofuels**. [s.l.: s.n.]. p. 6

Agência Internacional de Energia. Global EV Outlook 2021. Disponível em: <Agência Internacional de Energia. Global EV Outlook 2021>. Acesso em: 5 mar. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO BIOCOMBUSTÍVEL E GÁS NATURAL (ANP). **Preços de Revenda e de Distribuição de Combustíveis**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis>>. Acesso em: 4 fev. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO BIOCOMBUSTÍVEL E GÁS NATURAL (ANP). **Série histórica do levantamento de preços**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. CBIO.

AJANOVIC, A.; HAAS, R. On the future prospects and limits of biofuels in Brazil, the US and EU. **APPLIED ENERGY**, v. 135, p. 730–737, 15 dez. 2014.

ALLAN, R. P. A.; ARIAS, P. A. A.; BERGER, S. B. **IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l.: s.n.].

ALVES, C. M. et al. Techno-economic assessment of biorefinery technologies for aviation biofuels supply chains in Brazil. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 11, n. 1, p. 67–91, 2017.

ALVES DA SILVA, A. S. et al. Trends and Persistence of Dry–Wet Conditions in Northeast Brazil. **Atmosphere**, v. 11, n. 10, p. 1134, 21 out. 2020.

ANFAVEA. **O Caminho da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil**. [s.l.] Anfavea, 2021a.

ANFAVEA. **O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil**.

Disponível em:

<https://anfavea.com.br/docs/APRESENTA%C3%87%C3%83O_ANFAVEA_E_BCG.pdf>.

ARAGHI, M. K.; BARKHORDARI, S.; HASSANNIA, R. Economic impacts of producing bioethanol in Iran: A CGE approach. **Energy**, v. 263, p. 125765, jan. 2023.

Associação Brasileira do Veículo Elétrico. Vendas de carros elétricos crescem 66% em 2020. Disponível em: <<https://abve.org.br/vendas-de-carros-eletricos-crescem-66-em-2020/>>. Acesso em: 5 mar. 2023.

AZEVEDO, S. M. et al. Self-affinity in the dengue fever time series. **International Journal of Modern Physics C**, v. 27, n. 12, p. 1650143, dez. 2016.

B3. **B3**. Disponível em: <https://www.b3.com.br/pt_br/>. Acesso em: 5 dez. 2020.

BALKISSOON, S.; FOX, N.; LUPO, A. Fractal characteristics of tall tower wind speeds in Missouri. **Renewable Energy**, v. 154, p. 1346–1356, jul. 2020.

BAUMEINSTER, R. F.; LEARY, M. R. Writing Narrative Literature Reviews. **Review of general psychology**, p. 311–320, 1997.

BENTO, L.; RUGGERI, B.; HIRAKURI, M. H. Bioethanol production in Brazil: challenges and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 120, p. 109–658, 2020.

BENVENUTTI, L. M. M.; CAMPOS, L. M. S. A fleet-based tank-to-wheel greenhouse gas emission analysis of light vehicles in Brazil and cooperation towards integrated policies. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 14, n. 4, p. 255–269, 2020.

BERGMANN, J. C. et al. Technological Advancements in 1G Ethanol Production and Recovery of By-Products Based on the Biorefinery Concept. Em: **Advances in Sugarcane Biorefinery**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 73–95.

BIKOMEYE, J. C.; RUBLEE, C. S.; BEYER, K. M. M. Positive Externalities of Climate Change Mitigation and Adaptation for Human Health: A Review and Conceptual Framework for Public Health Research. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 5, p. 2481, 3 mar. 2021.

BNDES. **BNDES Finem - Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-meio-ambiente>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

BORDONAL, R. DE O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 13, abr. 2018a.

BORDONAL, R. DE O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 13, abr. 2018b.

BRANCO, J. O. et al. Production, consumption and environmental impact of biofuels in the European Union. **Journal of Cleaner Production**, p. 120855, 2020.

BRESSANIN, J. M. et al. Techno-Economic and Environmental Assessment of Biomass Gasification and Fischer–Tropsch Synthesis Integrated to Sugarcane Biorefineries. **Energies**, v. 13, n. 17, p. 4576, 3 set. 2020.

BRYCE, R. M.; SPRAGUE, K. B. Revisiting detrended fluctuation analysis. **Scientific Reports**, v. 2, n. 1, p. 315, 14 mar. 2012.

BURCH, I.; GILCHRIST, J. **Survey of Global Activity to Phase Out Internal Combustion Engine Vehicles**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.theclimatecenter.org>.

CALDARELLI, C. E.; PERDIGÃO, C. A Agroindústria Canavieira e Seus Impactos Socioeconômicos na Região Centro-Sul Do Brasil. p. 35–50, 2018.

CALDAS, M. V. DE A. et al. Greenwashing in environmental marketing strategy in the brazilian furniture market. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 3, p. e225336, 2021.

CANA-DE-AÇÚCAR - BRASIL - Série Histórica de Área Colhida - Safras 2005/06 a 2022/23 em mil hectares. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>.

CARDOSO, T. F. et al. Impactos econômicos, ambientais e sociais de diferentes sistemas de produção de cana-de. p. 15, 2017.

CARDOSO, T. F. et al. Economic, environmental, and social impacts of different sugarcane production systems. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 12, n. 1, p. 68–82, jan. 2018.

CEPEA. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CESAR CUNHA CAMPOS, R.; RICARDO SIMONSEN; SIDNEI GONZALEZ. Agronegócio. p. 234, 2019.

CHAN, W. S. Stock price reaction to news and no-news: drift and reversal after headlines. **Journal of Financial Economics**, v. 70, n. 2, p. 223–260, nov. 2003.

CHANDEL, A. K. et al. Comparative analysis of key technologies for cellulosic ethanol production from Brazilian sugarcane bagasse at a commercial scale. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 4, p. 994–1014, jul. 2019a.

CHANDEL, A. K. et al. Comparative analysis of key technologies for cellulosic ethanol production from Brazilian sugarcane bagasse at a commercial scale. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 4, p. 994–1014, jul. 2019b.

CHANDEL, A. K. et al. Brazilian biorefineries from second generation biomass: critical insights from industry and future perspectives. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 15, n. 4, p. 1190–1208, 2021.

CHAVEZ-RODRIGUEZ, M. F. et al. Water reuse and recycling according to stream qualities in sugar–ethanol plants. **Energy for Sustainable Development**, v. 17, n. 5, p. 546–554, out. 2013.

CHIARAMONTI, D. et al. The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 139, p. 110715, abr. 2021a.

CHIARAMONTI, D. et al. The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 139, p. 110715, abr. 2021b.

CHOMSKY, N.; POLLIN, R. **Crise Climática e o Green New Deal Global: A Economia Política para Salvar o Planeta**. 1ª ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

CHRISTENSEN, C. M. **Desafios da Gestão**. Rio de Janeiro: Sextante, 2018.

CLIMATE CHANGE. **What Is The UNFCCC And The COP?** Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20090327142028/http://www.climate-leaders.org/climate-change-resources/india-at-cop-15/unfccc-cop>>. Acesso em: 30 dez. 2023.

CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da Safra Brasileira 2023/2024 - 1º Levantamento**. , 2023a. Disponível em: <[file:///C:/Users/Iteixeira/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_1_lev_2023%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Iteixeira/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_1_lev_2023%20(3).pdf)>. Acesso em: 1 ago. 2023

CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da Safra Brasileira 2022/2023 - 4º Levantamento**. , 2023b. Disponível em: <file:///C:/Users/Iteixeira/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_4ZlevZ2023.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2023

CORTEZ, L. A. B.; ROSILLO-CALLE, F. **The future role of biofuels in the new energy transition : lessons and perspectives of biofuels in Brazil**. São Paulo: Blucher, 2023.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. Impactos Sociais Do Aumento De Demanda De Etanol Hidratado versus Gasolina C Na Economia Brasileira. **Revista Econômica do Nordeste (REN)**, v. 44, n. 1, p. 20, 2014.

COSTA, A. O. DA; GALDEMAN, D. A.; ALEKSEEV, K. C. P. G. **Impacto na saúde humana pelo uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-570/NT-EPE-DPG-SDB-2020-01_NT_Impacto_saude_uso_bios.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023.

CRUZ, M. G.; GUERREIRO, E.; RAIHER, A. P. **A Evolução da Produção de Etanol no Brasil, no Período de 1975 a 2009.** [s.l: s.n.].

DA SILVA, L. T.; DANA, M. C. Hydrogen regulation in Brazil: decarbonization of the oil and gas industry for climate goals. **Rio Oil and Gas Expo and Conference**, v. 20, n. 2020, p. 565–566, 1 dez. 2020.

DANIELIS, R.; SCORRANO, M.; GIAN SOLDATI, M. Decarbonising transport in Europe: Trends, goals, policies and passenger car scenarios. **Research in Transportation Economics**, v. 91, 2022a.

DANIELIS, R.; SCORRANO, M.; GIAN SOLDATI, M. Decarbonising transport in Europe: Trends, goals, policies and passenger car scenarios. **Research in Transportation Economics**, v. 91, p. 101068, mar. 2022b.

DAVID, S. A. et al. Fractional dynamic behavior in ethanol prices series. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 339, p. 85–93, set. 2018.

DE ANDRADE JUNIOR, M. A. U. et al. Exploring future scenarios of ethanol demand in Brazil and their land-use implications. **Energy Policy**, v. 134, p. 110958, nov. 2019.

EPE, E. DE P. E. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2020.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2020>>.

EPE, E. DE P. E. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032.** , 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/PDE%202032%20-%20Oferta%20de%20Biocombustiveis_27dez2022_envio.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2023

Ethanol Production and Use in Brazil. . [s.l.] International Renewable Energy Agency - IRENA., 2017. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2017/Mar/Ethanol-Production-and-Use-in-Brazil>>.

FAPESP. **Financiamento à pesquisa.** Disponível em: <<https://fapesp.br/6/estrategias-de-fomento-a-pesquisa>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

FAWZY, S. et al. Strategies for mitigation of climate change: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 6, p. 2069–2094, nov. 2020.

FERNANDES, F. C., DE ASSIS, A. C., DE SOUZA, G. F., & DE ANDRADE, J. A. Environmental impacts of sugarcane bioethanol production in Brazil: A review. p. 994–1003, 2017.

FLYN, S. M. **Economia para Leigos**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

FUNDEP. **Rota 2030 - Linha V - Biocombustíveis, Segurança e Propulsão Veicular**. Disponível em: <<https://rota2030.fundep.ufmg.br/linha5/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

FURTADO, A. T.; HEKKERT, M. P.; NEGRO, S. O. Of actors, functions, and fuels: Exploring a second generation ethanol transition from a technological innovation systems perspective in Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101706, dez. 2020.

GARCIA, A. S.; MENDES-DA-SILVA, W.; ORSATO, R. J. Sensitive industries produce better ESG performance: Evidence from emerging markets. **Journal of Cleaner Production**, v. 150, p. 135–147, maio 2017.

GERBENS-LEENES, P. et al. Biofuel scenarios in a water perspective: The global blue and green water footprint of road transport in 2030. **GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE-HUMAN AND POLICY DIMENSIONS**, v. 22, n. 3, p. 764–775, ago. 2012.

GILCHRIST, I. **GILCHRIST, 2021.pdf**. Ann Hancock e Gemma Waalan, , 2018.

GIWA, T.; AKBARI, M.; KUMAR, A. Techno-economic assessment of an integrated biorefinery producing bio-oil, ethanol, and hydrogen. **Fuel**, v. 332, p. 126022, jan. 2023.

GOMES, S. M. S.; GARCIA, C. O. **Controladoria Ambiental**. São Paulo: [s.n.].

GRASSI, M. C. B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 201–205, mar. 2019.

GUMTE, K. G.; MITRA, K. Strategic biofuel supply chain network design and techno-economic-environmental analysis for an Indian scenario. **IFAC-PapersOnLine**, v. 53, n. 1, p. 69–74, 2020.

GUZOVIĆ, Z. et al. Paving the way for the Paris Agreement: Contributions of SDEWES science. **Energy**, v. 263, p. 125617, jan. 2023.

GYÖNYÖROVÁ, L.; STACHOŇ, M.; STAŠEK, D. ESG ratings: relevant information or misleading clue? Evidence from the S&P Global 1200. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, v. 13, n. 2, p. 1075–1109, 3 abr. 2023.

HE, L.-Y. et al. Biofuels or hybrid vehicles? A scenario perspective in China. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v. 11, n. 5, p. 443–449, 3 maio 2016.

HUANG, Y. et al. The development of the US biofuel industry and its impact on agriculture: a dynamic analysis. n. 139, p. 1223–1233, 2019.

IEA. **Agência Internacional de Energia - IEA**. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/transport>>. Acesso em: 27 mar. 2023.

Industry Materials are the building blocks of society. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/industry>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2022**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf>>.

IPEA (ED.). **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2016.

JIANG, C. et al. Economic crisis impact on low carbon transition in economy-ecosystem. **Global Transitions Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 7–12, jun. 2020.

KHALIL, M. A.; NIMMANUNTA, K. Conventional versus green investments: advancing innovation for better financial and environmental prospects. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, p. 1–28, 26 jul. 2021.

KIM, H., LEE, H., & KIM, S. Life cycle greenhouse gas emissions of bioethanol and gasoline from sugarcane and corn in Brazil and the United States. p. 12561–12571, 2016.

KLEIN, B. et al. Low carbon biofuels and the New Brazilian National Biofuel Policy (RenovaBio): A case study for sugarcane mills and integrated sugarcane-microalgae biorefineries. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 115, nov. 2019.

LA ROVERE, E. Scenarios For Mitigating Greenhouse Gases Emissions And Promoting Sustainable Energy Development In Brazil. **INTERCIENCIA**, v. 20, n. 6, p. 343-, nov. 1995.

LA ROVERE, E. L.; PEREIRA, A. S.; SIMÕES, A. F. Biofuels and Sustainable Energy Development in Brazil. **World Development**, v. 39, n. 6, p. 1026–1036, jun. 2011.

LAURINI, M. P. The spatio-temporal dynamics of ethanol/gasoline price ratio in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1–12, abr. 2017.

LAZARO, L. L. B.; THOMAZ, L. F. Stakeholder participation in the formulation of Brazilian biofuel policy (RenovaBio). **Ambiente & Sociedade**, v. 24, p. e00562, 2021.

LEE, Y.-J. et al. Analysis of the Informational Efficiency of the EU Carbon Emission Trading Market: Asymmetric MF-DFA Approach. **Energies**, v. 13, n. 9, p. 2171, 1 maio 2020.

LIMA, M. A.; CAMARGO, R. R.; VASCONSELOS, E. A. A review of the Brazilian ethanol industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 109–648, 2020.

LIU, Y. et al. Statistical properties of the volatility of price fluctuations. **Physical Review E**, v. 60, n. 2, p. 1390–1400, 1 ago. 1999.

LUCCA, M. R. Z. **Análise Empírica Sobre Os Determinantes Da Decisão De Produção De Açúcar E Etanol Na Agroindústria Canavieira Paulista**. [s.l: s.n.].

MACHADO, G. V. et al. **Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto 2018 - 2030**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>.

MACHADO, H. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA E SOCIOAMBIENTAL DO ETANOL SUPER-HIDRATADO COMO COMBUSTÍVEL PARA MOBILIDADE E GERAÇÃO DE ENERGIA. p. 105, 2019.

MACHADO, K. S. et al. Carbon footprint in the ethanol feedstocks cultivation – Agricultural CO₂ emission assessment. **Agricultural Systems**, v. 157, p. 140–145, 2017.

MAL, S. et al. Electric vehicle smart charging and vehicle-to-grid operation. **International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems**, v. 28, n. 3, p. 249–265, jun. 2013.

MARTINS, H. H. et al. Geração de produção, emprego e remunerações nas indústrias do açúcar e do álcool em 2000 e 2009. **DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 2, n. 2, p. 198, 31 maio 2016.

MEIRA, E. et al. The added value and differentiation among ESG investment strategies in stock markets. **Business Strategy and the Environment**, p. bse.3221, 28 ago. 2022.

MENSI, W. et al. Does oil price variability affect the long memory and weak form efficiency of stock markets in top oil producers and oil Consumers? Evidence from an asymmetric MF-DFA approach. **The North American Journal of Economics and Finance**, v. 57, p. 101446, jul. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Nova NDC do Brasil: entenda por que a meta climática foi considerada pouco ambiciosa**. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/nova-ndc-do-brasil-entenda-por-que-meta-climatica-foi-considerada-pouco-ambiciosa>>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Com meta ambiciosa, Brasil anuncia redução de 50% nas emissões de carbono até 2030**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/anuncio-de-ampliacao-da-meta-de-reducao-de-emissoes-para-50-ate-2030-e-destaque-nas-primeiras-participacoes-do-brasil-na-cop26>>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **NDC - a ambição climática do Brasil**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/NDC#:~:text=NDC%20%2D%20a%20ambi%C3%A7%C3%A3o%20clim%C3%A1tica%20do%20Brasil&text=Pela%20NDC%20ajustada%2C%20o%20pa%C3%ADs,tCO2e%20em%202030>>. Acesso em: 26 jan. 2024.

MIRALLES-QUIRÓS, M.; MIRALLES-QUIRÓS, J.; LUIS VALENTE GONÇALVES. The Value Relevance of Environmental, Social, and Governance Performance: The Brazilian Case. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 574, 25 fev. 2018.

MITSUHARA, A. T. REVISÃO SOBRE O POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DA PALHA DE CANA DE AÇÚCAR. p. 56, 2021.

MME. 13576. Governo Federal. Programa RenovaBio. . 2017.

MORAES, M. A. F. D. DE; BACCHI, M. R. P.; CALDARELLI, C. E. Accelerated growth of the sugarcane, sugar, and ethanol sectors in Brazil (2000–2008): Effects on municipal gross domestic product per capita in the south-central region. **Biomass and Bioenergy**, v. 91, p. 116–125, ago. 2016.

MORET, M. A. Self-affinity and nonextensivity of sunspots. **Physics Letters A**, v. 378, n. 5–6, p. 494–496, jan. 2014.

MURARI, T. B. et al. Comparative Analysis between Hydrous Ethanol and Gasoline C Pricing in Brazilian Retail Market. **Sustainability**, v. 11, n. 17, p. 4719, 29 ago. 2019.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Comparative analysis on turbulent regime: A self-affinity study in fluid flow by using OpenFoam CFD. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 474, p. 260–266, maio 2017.

NASCIMENTO FILHO, A. S. **Sistemas Dinâmicos Complexos: Teorias e Aplicações nas Áreas da Física, Economia e Biologia**. Tese de Doutorado.— Salvador/BA: Centro Universitário Senai Cimatec, jul. 2018.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Cross-correlation analysis on Brazilian gasoline retail market. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 508, p. 550–557, out. 2018.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Analysis of Hydrous Ethanol Price Competitiveness after the Implementation of the Fossil Fuel Import Price Parity Policy in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9899, 3 set. 2021a.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Analysis of Hydrous Ethanol Price Competitiveness after the Implementation of the Fossil Fuel Import Price Parity Policy in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9899, 3 set. 2021b.

NASCIMENTO FILHO, A. S.; PITOMBO, N.; MORET, M. A. **Autoafinidade na Variação de Preços de Ações de Companhias Petrolíferas**. 2015.

NEVES, M. F. **Ferramentas para o Futuro do Agro: Estratégias para Posicionar o Brasil como Fornecedor Mundial Sustentável de Alimentos, Bioenergia e Outros Agroprodutos**. São Paulo: Gente, 2021a.

NEVES, M. F. **Ferramentas para o Futuro do Agro**. São Paulo: Gente, 2021b.

NEVES, M. F.; MARTINEZ, L. F. O Modelo GAS-Agro para Projetos de Desenvolvimento Sustentável. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 4, n. 2020, 2020.

NOGUEIRA, F. G.; LUCENA, A. F. P.; NOGUEIRA, R. Sustainable Insurance Assessment: Towards an Integrative Model. **The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice**, v. 43, n. 2, p. 275–299, abr. 2018.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. Biofuels for Transport. Em: **Future Energy**. [s.l.] Elsevier, 2020a. p. 173–197.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. Biofuels for Transport. Em: **Future Energy**. [s.l.] Elsevier, 2020b. p. 173–197.

OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD Publishing, , 2023. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/data/oecd-agriculture-statistics_agr-data-en>. Acesso em: 20 nov. 2023

OLIVEIRA FILHO, F. M.; LEYVA CRUZ, J. A.; ZEBENDE, G. F. Analysis of the EEG bio-signals during the reading task by D F A method. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 525, p. 664–671, jul. 2019.

ORLOV, A.; KALLBEKKEN, S. The impact of consumer attitudes towards energy efficiency on car choice: Survey results from Norway. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 816–822, mar. 2019a.

ORLOV, A.; KALLBEKKEN, S. The impact of consumer attitudes towards energy efficiency on car choice: Survey results from Norway. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 816–822, mar. 2019b.

PALTSEV, S. et al. Global Electrification of Light-duty Vehicles: Impacts of Economics and Climate Policy. **Economics of Energy & Environmental Policy**, v. 11, n. 1, 1 jan. 2022.

PARÉ, G.; KITSIOU, S. **Methods for literature reviews**. [s.l.: s.n.].

PARTOVI, S. M. A.; SADEGHNEJAD, S. Geological boundary detection from well-logs: An efficient approach based on pattern recognition. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 176, p. 444–455, maio 2019.

PATEL, P. C.; PEARCE, J. A.; OGHAZI, P. Not so myopic: Investors lowering short-term growth expectations under high industry ESG-sales-related dynamism and predictability. **Journal of Business Research**, v. 128, p. 551–563, maio 2021.

Pesquisa da PwC revela que investidores retirariam investimentos de empresas que não tenham ações concretas de ESG. Consultoria Empresarial. Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/sala-de-imprensa/release/Pesquisa-da-PwC-revela-que-investidores-retirariam-investimentos-de-empresas-que-nao-tenham-acoes-concretas-de-ESG.html>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

PULIDO-SÁNCHEZ, D. et al. Material and energy requirements of transport electrification. **Energy & Environmental Science**, v. 15, n. 12, p. 4872–4910, 2022.

PUROHIT, P. et al. Lignocellulosic biofuels in India: current perspectives, potential issues and future prospects. **AIMS Energy**, v. 6, n. 3, p. 453–486, 2018.

QUINTINO, D. D. **Econophysics applications to the Brazilian ethanol-sugar sector's prices.** Doutorado em Economia Aplicada—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 7 mar. 2022.

QUINTINO, D. D.; BURNQUIST, H. L.; FERREIRA, P. Relative Prices of Ethanol-Gasoline in the Major Brazilian Capitals: An Analysis to Support Public Policies. **Energies**, v. 15, n. 13, p. 4795, 30 jun. 2022.

RANTA, T.; LAIHANEN, M.; KARHUNEN, A. The Role of Bioenergy in Achieving the Carbon Neutrality Target in Finland by 2035—A Case Study of Student Surveyed at University in Finland. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v. 11, n. 02, p. 61–81, 2021.

RBC GLOBAL ASSET MANAGEMENT. **Global Sustainable Investment Review 2020.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gsi-alliance.org/wp-content/uploads/2021/08/GSIR-20201.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

RIBEIRO, C. H.; CUNHA, M. P. The economic and environmental impacts of Brazilian National Biofuel Policy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 16, n. 2, p. 413–434, mar. 2022.

RIBEIRO, F. et al. Impact of different transportation planning scenarios on air pollutants, greenhouse gases and heat emission abatement. **SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT**, v. 781, 10 ago. 2021.

RITCHIE, H.; ROSADO, P.; ROSER, M. **CO₂ and Greenhouse Gas Emissions.** Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 26 jan. 2024.

ROITMAN. Programas internacionais de incentivo aos biocombustíveis e o renovabio. 2019.

ROLES, J. et al. Techno-economic evaluation of microalgae high-density liquid fuel production at 12 international locations. **Biotechnology for Biofuels**, v. 14, n. 1, p. 133, dez. 2021.

ROMAN, M.; ROMAN, M.; ROMAN, K. **The Forecast of Economic Processes of Selected Agricultural Products in the Development of Bioenergy and Agritourism Activity in Poland**. (P. Maresova, P. Jedlicka, I. Soukal, Eds.). Em: HRADEC ECONOMIC DAYS 2018. 12 jan. 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/20.500.12603/444>>. Acesso em: 19 mar. 2023

SAJID, Z.; DA SILVA, M.; DANIAL, S. Historical Analysis of the Role of Governance Systems in the Sustainable Development of Biofuels in Brazil and the United States of America (USA). **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6881, 18 jun. 2021.

SALES, J. M. A. **Movimento Browniano Fracionário: Uma Análise**. Monografia submetida à Coordenação da Graduação do Curso de Física—Fortaleza/CE: Universidade Federal do Ceará (UFCE), 2015.

SALINA, F. H.; DE ALMEIDA, I. A.; BITTENCOURT, F. R. RenovaBio Opportunities and Biofuels Outlook in Brazil. Em: SAYIGH, A. (Ed.). **Renewable Energy and Sustainable Buildings**. Innovative Renewable Energy. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 391–399.

SANTOS, E. C. O. et al. Autocorrelation of wind speed: A sliding window approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 607, p. 128213, dez. 2022.

SIEMENS. **Siemens Energy e Porsche, juntamente com parceiros, avançam no desenvolvimento de e-fuel com impacto neutro no clima**. Disponível em: <<https://www.siemens-energy.com/br/portugues/news/imprensa/2020/se-porsche-e-parceiros-avancam-no-desenvolvimento-de-e-fuel.html>>.

SIERDOVSKI, M.; PILATTI, L. A.; RUBBO, P. Organizational Competencies in the Development of Environmental, Social, and Governance (ESG) Criteria in the Industrial Sector. **Sustainability**, v. 14, n. 20, p. 13463, 19 out. 2022.

SILVA, T. B. Contribuição de veículos elétricos e precificação de carbono na redução das emissões de veículos leves de passageiros no Estado do Rio de Janeiro. 2021.

SILVA, UBIRAJARA SOUZA DA. **Etanol carburante no Brasil: evolução, cenários e o seu desempenho sob os critérios da Renovabio**. Dissertação—Brasil: Universidade Federal da Bahia, 9 nov. 2021.

SOUZA, N. R. D. D.; CAVALETT, O.; JUNQUEIRA, T. L. Techno-economic and environmental assessment of bioenergy and livestock integrated systems in Brazil. **Sustainable Production and Consumption**, v. 32, p. 580–592, 2022.

SOUZA, P. **UM ESTUDO EMPÍRICO DO IMPACTO AMBIENTAL NO RISCO DE CRÉDITO DOS PAÍSES**. , 2018a.

SOUZA, P. C. D. R. S. **Um Estudo Empírico Do Impacto Ambiental No Risco De Crédito Dos Países**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Contábeis da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas (FACE), da Universidade de Brasília (UnB), como requisito à conclusão da disciplina Pesquisa em Ciências Contábeis e do título de Bacharel em Ciências Contábeis.—[s.l.] Universidade de Brasília (UnB), 2018b.

STEFANONI, S.; VOLTES-DORTA, A. Technical efficiency of car manufacturers under environmental and sustainability pressures: A Data Envelopment Analysis approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 311, p. 127589, ago. 2021.

SUTTIPUN, M.; YORDUDOM, T. Impact of environmental, social and governance disclosures on market reaction: an evidence of Top50 companies listed from Thailand. **Journal of Financial Reporting and Accounting**, v. 20, n. 3/4, p. 753–767, 12 jul. 2022.

SZKLO, A.; PINHEIRO, B.; CALLEGARI, C. **Simulador de Políticas Setoriais e Emissões: Métodos, Dados e Resultados Para o Brasil em 2050**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/publicacoes/simulador-de-politicas-setoriais-e-emissoes-metodos-dados-e-resultados-para-o-brasil-em>>.

TAMBA, M. et al. Economy-wide impacts of road transport electrification in the EU. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 182, p. 121803, set. 2022.

The Biden Plan to Build a Modern, Sustainable Infrastructure and an Equitable Clean Energy Future. Disponível em: <<https://joebiden.com/clean-energy/#>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

TONETO JUNIOR, R.; PINHO, M. **ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: Impactos de Novos Marcos Regulatórios e Tecnologias Sobre a Economia Brasileira**. [s.l.] FUNPEC Editora, 2014.

UDOP, E. Q. R. Usinas/Destilarias no mundo. p. 5, 2021.

UN GLOBAL COMPACT, R. B. **ONU, 2019.pdf**. , 2019.

UNEM. **Produção de etanol de milho cresce 800% em cinco anos e atrai empresas**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/producao-etanol-milho-cresce-800-cinco-anos-atrai-empresas-270123>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Produção de etanol cresce 11,4% em 2020. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1248941>>. Acesso em: 5 mar. 2023.

UNICA. **Uso do etanol evita 515 milhões de toneladas de CO2**. Disponível em: <<https://unica.com.br/noticias/uso-do-etanol-evita-515-milhoes-de-toneladas-de-co2-na-atmosfera/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

VARELA VILLARREAL, J.; BURGUÉS, C.; RÖSCH, C. Acceptability of genetically engineered algae biofuels in Europe: opinions of experts and stakeholders. **Biotechnology for Biofuels**, v. 13, n. 1, p. 92, dez. 2020.

WANG, C. et al. The social, economic, and environmental implications of biomass ethanol production in China: A multi-regional input-output-based hybrid LCA model. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, 2020.

WANG, Y.; HUANG, J. Pathway to develop a low-carbon economy through energy-substitution technology in China. **Energy**, v. 261, p. 124964, dez. 2022.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **5 Priorities for Cities After COP26**. Disponível em: <<https://www.wri.org/insights/5-ways-cities-climate-action>>.

WRI. **Historical GHG Emissions**. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&calculation=ABSOLUTE_VALUE&chartType=line&end_year=2020§ors=energy%2Cindustrial-processes%2Cagriculture%2Cwaste%2Cland-use-change-and-forestry%2Ctransportation&start_year=1990>. Acesso em: 30 dez. 2023.

WYDRA, S. et al. Transition to the bioeconomy – Analysis and scenarios for selected niches. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126092, abr. 2021a.

WYDRA, S. et al. Transition to the bioeconomy – Analysis and scenarios for selected niches. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126092, abr. 2021b.

WYDRA, S. et al. Transition to the bioeconomy – Analysis and scenarios for selected niches. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126092, abr. 2021c.

ZEIDAN, R.; SPITZECK, H. The Sustainability Delta: Considering Sustainability Opportunities in Firm Valuation: The Sustainability Delta: Opportunities in Firm Valuation. **Sustainable Development**, v. 23, n. 6, p. 329–342, dez. 2015.

ZHANG, H.; CHEN, W. The Role of Biofuels in China's Transport Sector in Carbon Mitigation Scenarios. **Energy Procedia**, v. 75, p. 2700–2705, ago. 2015.

ZHANG, W. et al. The impact of biofuel growth on agriculture: Why is the range of estimates so wide? **Food Policy**, v. 38, n. 1, p. 227–239, 2013.

ZHANG, X. et al. The status quo and outlook of bioethanol production in China. p. 109–232, 2019.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

À luz de uma economia de baixo carbono, que se mobiliza mundialmente para promoção da redução de emissões de gases poluentes, é que cada país, dedica e dedicará esforços no sentido de promover suas vocações naturais para mitigação/eliminação de impactos ambientais futuros, sobretudo no processo de descarbonização do setor de transportes leves (Tabela 3) (ANFAVEA, 2021b; BORDONAL et al., 2018b; CHANDEL et al., 2019b; CHIARAMONTI et al., 2021a; MACHADO et al., 2018; NOGUEIRA et al., 2020a; WYDRA et al., 2021c).

6.1 Economia de Baixo Carbono e a Descarbonização do Setor de Transportes Leves

Diversas fontes energéticas estão sendo estudadas/desenvolvidas com o propósito de descarbonizar o setor de transportes leves, no entanto, é possível perceber que até que esse processo se consolide, se é que isso irá de fato acontecer ou se haverá um desenvolvimento contínuo tecnológico e científico, será possível notar um processo de transição energética (ABASIAN; RÖNNQVIST; OUHIMMOU, 2019; AJANOVIC; HAAS, 2014; DE ANDRADE JUNIOR et al., 2019; FAWZY et al., 2020; GUMTE; MITRA, 2020; WYDRA et al., 2021c).

Em um processo de transição energética do setor de veículos leves, todos os cenários avaliados permitiram a observação de que no horizonte de aproximadamente 30 anos, ainda será possível notar a predominância dos biocombustíveis, sobretudo o etanol, como potencial matriz energética para o suprimento das tecnologias de veículos leves (ANFAVEA, 2021b; BORDONAL et al., 2018b; CHANDEL et al., 2019b; CHIARAMONTI et al., 2021a; MACHADO et al., 2018; NOGUEIRA et al., 2020a; WYDRA et al., 2021c). Um resumo, dos achados do comportamento de alguns países do mundo, no processo de descarbonização do setor de veículos leves, pode ser descrito na tabela 3.

Tabela 3 - Comportamento De Países Do Mundo No Processo De Descarbonização Do Setor De Veículos Leves.

País	Processo de Descarbonização do Setor de Veículos Leves
Europa	• Fortemente apoiado pela meta estabelecida pelo governo na Diretiva de Energias Renováveis Revisada (REDII); • Essa diretiva estabelece metas rigorosas para a redução de gases de efeito estufa; • Cenário baixo - Redução drástica no consumo total de energia final, projetando uma participação de 1,2% de biocombustíveis e 0,5% de biocombustíveis avançados até 2030; • Cenário principal - Participação maior de biocombustíveis e biocombustíveis avançados, mas ainda com declínio no consumo total de energia final, permanecerá estável até o final do período; • Cenário elevado - Tendência crescente no consumo total de energia final, devido a um aumento geral nas atividades de transporte, além do esperado impacto do aumento de eficiência, juntamente com a crescente

	contribuição dos biocombustíveis avançados para o consumo total de energia final.
China	- Os biocombustíveis são considerados indispensáveis na descarbonização do setor de transporte, mas enfrentam restrições relacionadas ao progresso tecnológico, preocupações com segurança alimentar e disponibilidade de terras, sendo necessário impulsioná-los por meio de políticas relevantes e atuais; - Estima-se que eles possam gerar uma redução de 0,43 Gt de emissões de CO₂ até 2050 (cenário CM30), contribuindo com 35% da redução total; - Acredita-se que o bioetanol será mais influenciado pela eletrificação do que o biodiesel e os biocombustíveis, devido à sua facilidade de substituição por eletricidade.
Índia	- Indica que a disponibilidade atual de etanol e biodiesel por meio dos biocombustíveis de primeira geração não é suficiente para alcançar a meta de bioenergia do país; - Os resíduos agrícolas lignocelulósicos podem produzir 38 e 51 bilhões de litros de etanol lignocelulósico/BTL em 2020 e 2030, respectivamente, o que seria o suficiente para atender à mistura de 20% de NPB ("Non-Petroleum-Based" ou "Base Não Petroquímica") até 2030. - Para lidar com a crescente demanda e os impactos ambientais e financeiros adversos dos combustíveis fósseis na economia indiana, o governo indiano adotou medidas verdes, como a mistura de 20% de bioetanol na gasolina e 20% de biodiesel no diesel.

Fonte: Os autores.

No entanto, é importante destacar (Tabela 4), que os países que se valerem de políticas públicas (como por exemplo RenovaBio ou de Créditos de Carbono) que apoiem este processo serão mais bem sucedidos neste processo. Além disso, países onde há elevada eficiência na produção; elevada infraestrutura de produção e distribuição; elevada frota flex; inovações em sua matriz energética poderá se beneficiar mais deste processo (ANFAVEA, 2021b; BORDONAL et al., 2018b; CHANDEL et al., 2019b; CHIARAMONTI et al., 2021a; MACHADO et al., 2018; NOGUEIRA et al., 2020a; WYDRA et al., 2021c).

Tabela 4 - Mapeamento dos Cenários de Projeção de Produção de Biocombustíveis no Mundo.

Autor	Redução da Produção de Biocombustíveis	Manutenção da Produção de Biocombustíveis	Aumento da Produção de Biocombustíveis
(ANFAVEA, 2021b)	Alta infraestrutura de eletrificação	Baixa infra de eletrificação	Elevada Infra Produção/Distribuição Biocombustíveis

			• Elevado Êxito Político • Frota Flex
(CHIARAMO NTI et al., 2021a)	• -	• Inovação na matriz energética	• Inovação na matriz energética
(EPE, 2022)	• Baixa Eficiência na Produção • Baixo Êxito Político • Baixo Preço CBIOS	• Moderada Eficiência na Produção • Moderado Êxito Político • Moderado Preço CBIOS	• Elevada Eficiência na Produção • Elevado Êxito Político • Elevado Preço CBIOS
WRI	• -	• Elevada eficiência produtiva	• Inovação na matriz energética
(WYDRA et al., 2021c)	• -	• -	• Alto Êxito na Política de Incentivos • Elevada Infra Produção/Distribuição • Inovação na Matriz
(ZHANG; CHEN, 2015)	• Alta infra de eletrificação	• Dependência do consumo fóssil	• Redução do consumo do combustível fóssil

Fonte: Os autores.

6.2 Sustentabilidade e a Indústria Sucroalcooleira

A adoção de etanol combustível diversifica a matriz energética, reduz a dependência de combustíveis fósseis e pode ter impactos positivos na economia local (FERNANDES, F. C., DE ASSIS, A. C., DE SOUZA, G. F., & DE ANDRADE, J. A., 2017). Empresas envolvidas na produção de etanol devem buscar práticas socialmente responsáveis e sustentáveis, protegendo seus próprios interesses a longo prazo (FERNANDES, F. C., DE ASSIS, A. C., DE SOUZA, G. F., & DE ANDRADE, J. A., 2017). Além disso, a análise de desempenho das empresas utilizando indicadores financeiros, operacionais e ambientais é mais eficiente do que apenas os indicadores tradicionais (CARDOSO et al., 2017).

A produção industrial pode gerar concomitantemente, externalidades positivas e negativas (Tabela 5). Notadamente, o etanol de cana-de-açúcar tem muitas externalidades positivas, como ser uma fonte de energia renovável e ter uma menor emissão de gases de efeito estufa quando comparado à gasolina. Quando produzido a partir de cana-de-açúcar emite menos GEE quando comparado à gasolina e; é biodegradável, o que significa que pode ser facilmente decomposto pelo meio ambiente. Isso tudo o torna uma alternativa mais sustentável a combustíveis fósseis,

como gasolina, que são formados a partir de recursos não renováveis e contribuem para o aquecimento global (KIM, H., LEE, H., & KIM, S., 2016).

Tabela 5 - Externalidades Positivas e Negativas Mapeadas para a Produção de Etanol.

Autor	Externalidades	Descritivo
Fernandes	Negativa	Degradação Do Solo
Daniellis	Negativa	Poluição Do Ar
Chavez	Negativa	Poluição Da Água
Fernandes	Negativa	Uso Intensivo De Fertilizantes
Fernandes	Negativa	Uso Excessivo De Água
Fernandes	Negativa	Uso Excessivo De Energia
Cardoso	Negativa	Menores Taxas Internas De Retorno
Cardoso	Negativa	Maiores Custos De Produção
Kim	Positiva	Biodegradável
Kim	Positiva	Sustentável
Chandel	Positiva	Renovável
Daniellis	Positiva	Menor Emissão De GEE
Costa	Positiva	Reduz Internações Hospitalares
Cardoso	Positiva	Cria Empregos
Bergman	Positiva	Produção Mundial
Costa	Positiva	Aumento Do Emprego E Renda
Cruz	Positiva	Aumento Do Emprego E Renda
Zhang	Positiva	Aumento Do Emprego E Renda
Bremer	Positiva	Aumento Da Renda Per Capita
Spavoreket	Positiva	Aumento Do PIB
Fernandes	Positiva	Geração De CBIOs

Fonte: Os autores.

Dentro da agenda ESG (ambiental, social e governança), o etanol de milho se apresenta como uma alternativa sustentável complementar ao etanol de cana-de-

açúcar no setor de combustíveis, pois pode ser cultivado em diferentes regiões climáticas e de solo no Brasil, promovendo a descentralização da produção e o desenvolvimento regional. No entanto, é importante considerar os impactos negativos da produção de etanol de cana-de-açúcar, como a degradação do solo, poluição da água e do ar, uso intensivo de fertilizantes e pesticidas, consumo de água e energia (CESAR CUNHA CAMPOS; RICARDO SIMONSEN; SIDNEI GONZALEZ, 2019).

Para minimizar esses impactos, são necessárias práticas de produção sustentáveis, uso responsável de fertilizantes e pesticidas, investimento em tecnologias mais eficientes, e garantir que a produção de etanol seja feita de maneira sustentável (FERNANDES, F. C., DE ASSIS, A. C., DE SOUZA, G. F., & DE ANDRADE, J. A., 2017). O etanol de cana-de-açúcar é mais favorável em termos de balanço energético do que o de milho, oferecendo 700% mais energia do que consome para ser produzido. Além disso, a produção de etanol de cana-de-açúcar pode gerar benefícios econômicos locais, como aumento do PIB, emprego e renda (FERNANDES, F. C., DE ASSIS, A. C., DE SOUZA, G. F., & DE ANDRADE, J. A., 2017).

As empresas envolvidas na produção de etanol podem se beneficiar ao adotar indicadores ESG em suas práticas organizacionais, pois isso lhes permite avaliar seu desempenho de forma mais abrangente e identificar áreas de melhoria. É fundamental encontrar um equilíbrio adequado entre as externalidades relacionadas à produção de etanol, a fim de garantir benefícios sociais, ambientais e de governança para todos os envolvidos.

Estes estudos permitiram o entendimento de que uma janela de oportunidade se abre para a indústria sucroalcooleira, uma vez que além de originar um biocombustível que pode apoiar o processo de descarbonização do setor de transportes veiculares leves, pode também fazê-lo de forma sustentável, através da governança ESG. Este entendimento nos proporcionou entender que a hipótese 1 delineada para este estudo se mostrou verdadeira.

	H1: Nos próximos anos, a demanda por biocombustíveis aumentará significativamente, impulsionada pela transição para uma economia de baixo carbono.
	H2: O etanol combustível se consolidará como a principal matriz energética no setor de veículos leves.

6.3 Indústria Sucroalcooleira e a Comportamento da Microeconomia

O estudo analisou os comportamentos dos preços do etanol, gasolina, açúcar e petróleo no setor sucroalcooleiro, revelando que a maioria das variações de preços apresenta um comportamento subdifusivo ao longo do tempo. Essas flutuações se tornam mais amplas ao longo do tempo, o que pode impactar as decisões estratégicas tanto das usinas produtoras quanto dos consumidores e afetar setores como o agrícola e o automotivo em nível regional.

Também foram identificadas diferenças regionais nos preços do etanol, atribuídas a fatores como impostos regionais, logística de distribuição, oferta e demanda local, além de políticas governamentais. Essas diferenças regionais destacam a importância de uma análise cuidadosa dos fatores que afetam os preços e ressaltam a necessidade de decisões estratégicas adaptadas às particularidades de cada região.

Além disso, a análise de DFA indicou a persistência do comportamento subdifusivo dos preços do etanol no futuro, trazendo uma maior previsibilidade e estabilidade ao mercado. Isso permite aos gestores do setor sucroalcooleiro ajustarem suas estratégias de produção, distribuição e comercialização com base nas tendências de movimento suave dos preços. Por exemplo, a previsibilidade dos preços do açúcar auxilia na gestão da produção de cana-de-açúcar destinada à produção do produto, enquanto a previsibilidade dos preços do etanol pode ser utilizada na gestão de postos de combustíveis e na otimização logística de distribuição.

Diante desses resultados, a compreensão dos comportamentos subdifusivo e browniano nos preços do setor sucroalcooleiro torna-se fundamental para tomar decisões estratégicas que promovam a competitividade e a sustentabilidade do setor. A análise cuidadosa dos fatores que afetam os preços, aliada à formulação de políticas públicas adequadas, pode impulsionar o crescimento do setor e garantir sua relevância tanto no mercado nacional quanto no internacional.

A utilização da metodologia DFA pode fornecer percepções valiosas aos gestores e contribuir para o desenvolvimento econômico e ambientalmente responsável do setor sucroalcooleiro no Brasil. Um resumo dos pontos mais relevantes desta análise foi descrito na tabela 6. Estes achados permitiram a compreensão de que pode haver no futuro uma crescente demanda por etanol e isso pode resultar em preços mais elevados no futuro, corroborando com a confirmação da hipótese 3.



H3: A contínua demanda crescente por etanol resultará em preços mais altos no futuro

Tabela 6 - Comportamento das Séries Temporais dos Preços dos Produtos no Cenário Internacional, Nacional e Regional Brasileiro.

Cenário	Produto	Características
Internacional	Açúcar (exportação) - subdifusivo	O comportamento dos preços de exportação do açúcar e do petróleo permitiu a compreensão do mercado sucroalcooleiro internacional: → Ambos mercados apresentaram comportamentos subdifusivos, com flutuações mais amplas e persistentes. → A oferta e a demanda podem influenciar esse comportamento. Projeções e perspectivas para a produção e consumo de açúcar: → Estima-se que o consumo global de açúcar se manterá em 2032, com aumento em alguns países e redução em países de renda alta. → Brasil e Índia contribuirão com cerca de 23% e 19%, respectivamente, da produção mundial de açúcar em 2032. → Índia terá um aumento menor devido ao desvio de cana-de-açúcar para produção de etanol. → Tailândia terá um aumento significativo na produção absoluta de açúcar em comparação com o período anterior.
	Petróleo (Exportação) - subdifusivo	A política cambial do Brasil e a competitividade do setor açucareiro: → Mesmo com a moeda nacional frequentemente depreciada, a produção de açúcar continuará competitiva nos mercados internacionais. → Isso indica que o setor açucareiro brasileiro tem vantagens que mantêm sua competitividade, mesmo com uma moeda mais forte. Tendência de produção de etanol e seus impactos no mercado de açúcar: → A produção de etanol será predominante devido às políticas de desenvolvimento de biocombustíveis e redução de emissões de gases de efeito estufa.

		→ Isso pode levar a uma queda substancial nos preços do açúcar. Outros fatores que podem afetar o mercado sucroalcooleiro: → Desenvolvimentos macroeconômicos globais, implementação de novas políticas relacionadas ao açúcar, condições climáticas e concorrência com outras culturas afetam tanto a produção quanto a demanda. → Esses fatores podem alterar os padrões de consumo e trazer riscos e incertezas ao setor. Importância da compreensão dos mercados internacionais e políticas cambiais: → Compreender os fatores globais que influenciam os mercados permite decisões estratégicas informadas. → A gestão adaptativa e eficiente das operações considera oportunidades e riscos no contexto do comércio internacional e aproveita o cenário cambial para impulsionar as exportações.
Nacional	Etanol Hidratado (Usina e Revenda) – subdifusivo e browniano	Comportamento dos mercados de comercialização de etanol na usina e nas revendas: → Apresentam comportamentos subdifusivos, com flutuações de preços mais amplas e persistentes (correlação de longo alcance). → Alguns cálculos de alfa para o etanol nas revendas mostram comportamento de ruído marrom, indicando que o comportamento futuro do mercado é mais influenciado pelo estado atual do sistema do que pelo passado. Estabilidade nos preços do etanol: → Inferência de maior estabilidade nos preços deste biocombustível. → A previsibilidade dos preços do etanol pode ser atribuída à influência do preço do petróleo, que tende a ser mais estável em comparação com o açúcar. → A demanda por etanol é influenciada por políticas governamentais e pela busca por fontes de energia mais sustentáveis, contribuindo para maior estabilidade nos preços. Instabilidade nos preços do açúcar:
	Gasolina Comum (Usina e Revenda) - subdifusivo	

		→ A produção de açúcar está sujeita a variações na safra e a fatores climáticos, levando a maior volatilidade nos preços. → Diminuição da demanda mundial por açúcar em economias mais avançadas também contribui para a instabilidade do mercado. Intervenções governamentais e competitividade: → Intervenções nos preços finais de venda de combustíveis podem afetar negativamente a concorrência entre empresas da cadeia de distribuição e varejo de combustíveis. → É essencial considerar a competitividade e a sustentabilidade da produção de biocombustíveis, como o etanol.
Regional	Etanol Hidratado (Usina) - subdifusivo	Comportamento dos preços do etanol nas principais capitais brasileiras: → Os preços do etanol variam entre as cidades, indicando diferenças regionais. → Ao analisar os quartis dos dados, podemos observar que o primeiro quartil apresenta valores mais baixos, enquanto o terceiro quartil apresenta valores mais altos, sugerindo uma dispersão nos preços do etanol entre as cidades. Diferenças nos preços médios do etanol por cidade: → Recife (Pernambuco): O preço médio do etanol em Recife é relativamente alto, indicado pelo valor médio no terceiro quartil.
	Açúcar (Usina) - superdifusivo	→ São Paulo (São Paulo): Apresenta um preço médio do etanol um pouco mais baixo em comparação com Recife, mas ainda é considerado relativamente alto. → Cuiabá (Mato Grosso): Apresenta um preço médio do etanol um pouco mais baixo em comparação com São Paulo. → Goiânia (Goiás): Apresenta um preço médio do etanol mais baixo em comparação com as três cidades anteriores. → Salvador (Bahia): Apresenta o preço médio do etanol mais baixo entre as cidades analisadas.

Sistema FIEB



PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Fonte: Os autores.

6.4 Tecnologias de Análise de Dados Aplicadas à Gestão Organizacional

A gestão industrial é uma atividade extremamente desafiadora. Os gestores precisam combinar diversas variáveis (quantidade de insumos, disponibilidade de máquinas, indicadores de desempenho e de governança ESG entre outros) diariamente. A combinação destes indicadores requer um conhecimento de como estas variáveis se comportam isoladamente e, principalmente de forma combinada. Isso tudo torna o processo ainda mais complexo. Segundo Flyn et. al (2019), a seleção da melhor alternativa entre várias soluções possíveis requer o correto direcionamento do processo de decisão, considerando o problema em questão. Isso pode ser realizado por meio de um centro decisor, que pode ser uma pessoa, um grupo, uma empresa, entre outros. A tomada de decisão eficiente é essencial para o sucesso das organizações nesse contexto.

No entanto, para que isso ocorra da melhor maneira é imprescindível estabelecer uma metodologia que auxilie as empresas do setor sucroalcooleiro na identificação de potenciais cenários futuros para a produção de etanol, buscando minimizar os impactos ambientais e sociais associados à produção industrial. A metodologia de análise crítica de cenários (BAUMEINSTER; LEARY, 1997) parece se mostrar uma metodologia promissora e notadamente poderá ser utilizada concomitantemente a metodologia DFA (NASCIMENTO FILHO, 2018), de modo que ambas possam ser complementares no apoio ao gestor na tomada de decisão.

A análise de cenários, pautada na avaliação crítica dos relatos de pesquisadores de diversos países do mundo todo, como Europa, China, Índia e Brasil, apoiou na compreensão do comportamento dos cenários futuros para a produção de etanol e outros biocombustíveis, nos próximos 15 anos aproximadamente. Esta se mostrou uma ferramenta valiosa, visto que trouxe um conhecimento de como o mundo deve se comportar em um contexto de descarbonização do setor de transporte.

Ao estruturar cenários, os gestores podem antecipar diferentes possibilidades e avaliar os riscos e oportunidades associados a cada uma delas. Isso permite tomar decisões mais informadas e fundamentadas, considerando os diversos fatores que podem influenciar o desempenho e a sustentabilidade da empresa. Dessa forma, a análise de cenários se torna uma ferramenta valiosa para a gestão estratégica, fornecendo suporte para a tomada de decisões que visam garantir a adaptação, competitividade e crescimento contínuos da empresa em um ambiente dinâmico e desafiador (CHRISTENSEN, 2018).

A análise de autoafinidade DFA foi aplicada, com o objetivo de trazer informações sobre as características da microeconomia, levando em consideração a perspectiva do mecanismo de preços. Este tem como potencial trazer insights sobre a interação entre oferta e demanda dos produtos relacionados ao setor sucroalcooleiro. Por isso foram considerados os preços dos produtos relacionados ao setor – açúcar, etanol hidratado, gasolina comum e petróleo (Brent).

A coleta e seleção de dados de séries temporais de preço de produtos-chave para o setor sucroenergético brasileiro foi um passo importante para a obtenção de

informações concretas e atualizadas. A definição de critérios específicos para esses dados, como a fonte aberta, a abrangência geográfica e o volume mínimo de dados, contribuiu para garantir a representatividade e confiabilidade dos dados utilizados na análise.

A aplicação do método DFA na etapa de análise dos dados foi uma escolha adequada, considerando os objetivos da pesquisa. Esse método permitiu identificar e analisar padrões e flutuações nas séries temporais de preços, fornecendo insights valiosos para a compreensão do comportamento desses produtos no setor sucroenergético. A utilização de software especializado no processo de análise contribuiu para a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos.

Além disso, a combinação destas duas metodologias, tornou possível a criação do “Modelo de Estruturação de Estratégias Organizacionais Baseada na Análise de Cenários Quali e Quantitativa”, que pode ser visualizado por meio do modelo/framework observado na Figura 5.

Figura 5 - Modelo de Estruturação de Estratégias Organizacionais Baseada na Análise de Cenários Quali e Quantitativa



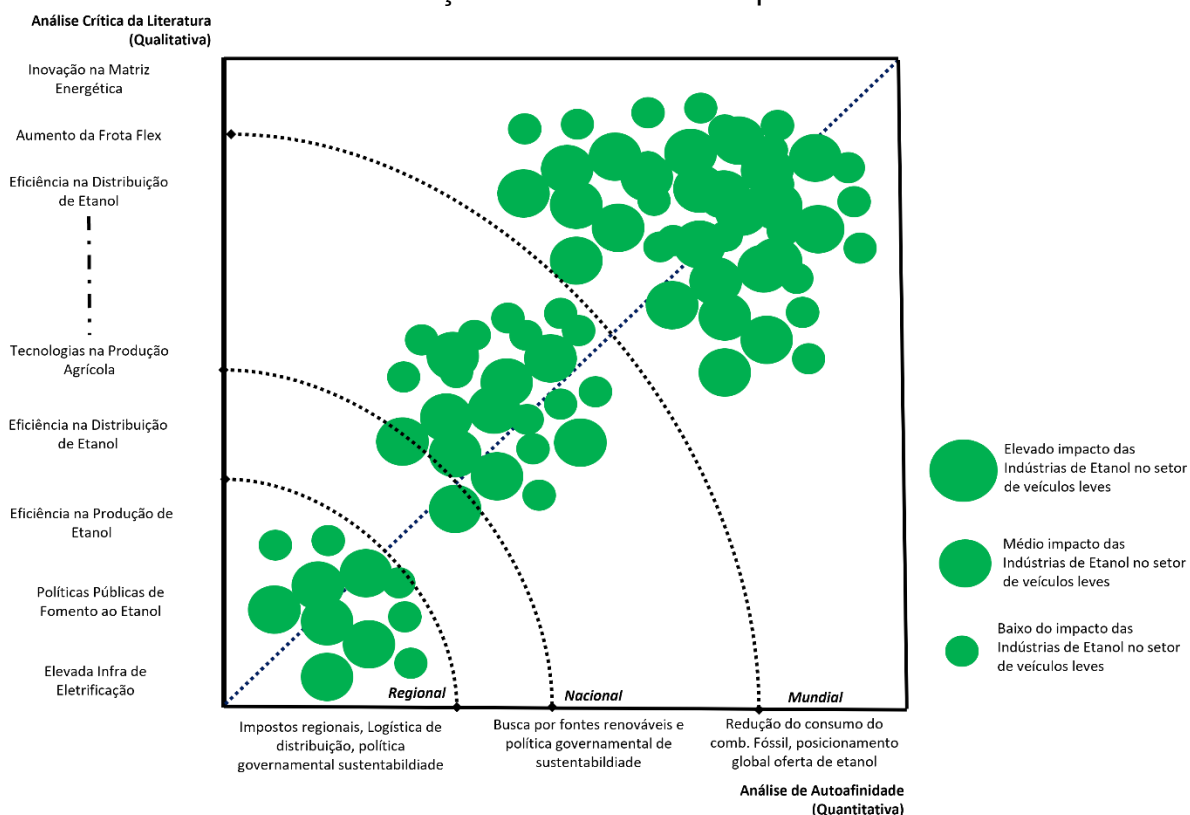
Fonte: Os autores.

A utilização deste modelo pode apoiar o setor sucroenergético nos aspectos de sustentabilidade de várias maneiras, fornecendo informações valiosas sobre:

- a) **Previsão de demanda:** Uma análise da previsão da demanda futura por açúcar e etanol, permitindo que as usinas ajustem sua produção de acordo. Isso evita o desperdício de recursos e reduz a necessidade de expansão desnecessária das instalações, contribuindo para a sustentabilidade econômica e ambiental.
- b) **Otimização da produção:** Ao analisar as flutuações de tendência, é possível identificar padrões sazonais na produção de açúcar e etanol. Com base nessas informações, as usinas podem otimizar seus processos de produção, ajustando a capacidade de produção e os cronogramas de colheita. Isso ajuda a evitar o excesso de produção em determinados períodos e a maximizar a eficiência operacional, reduzindo o consumo de recursos naturais e minimizando os impactos ambientais.
- c) **Diversificação de produtos:** A análise de flutuação de tendência pode revelar mudanças nas preferências dos consumidores e nas demandas do mercado. Com base nessas informações, as usinas podem diversificar sua produção, desenvolvendo novos produtos ou adaptando sua oferta para atender às demandas emergentes. Isso não apenas aumenta a resiliência do setor sucroenergético, mas também pode abrir oportunidades para produtos mais sustentáveis, como bioplásticos ou bioquímicos.
- d) **Planejamento de investimentos:** A análise de flutuação de tendência pode auxiliar as usinas a tomar decisões informadas sobre investimentos em tecnologias mais sustentáveis. Ao identificar tendências de longo prazo, como mudanças nas políticas governamentais ou nas preferências dos consumidores, as usinas podem direcionar seus investimentos para áreas que promovam a sustentabilidade, como a melhoria da eficiência energética, a redução das emissões de gases de efeito estufa ou a implementação de práticas agrícolas mais sustentáveis.

A combinação de cada uma destas metodologias, permitiu o entendimento de como este contexto da economia de baixo carbono pode se comportar, dando origem a uma representação gráfica observada na Figura 6, denominada Observatório do mercado de etanol combustível.

Figura 6 - Observatório do Mercado de Etanol Combustível no Processo de Descarbonização do Setor de Transportes Leves.



Fonte: Os autores.

Desta forma, esta tese propõe uma abordagem para apoiar os gestores da indústria do setor sucroalcooleiro, fornecendo uma base sólida para a gestão da produção e acesso a metodologias científicas de análise de dados. Isso envolve utilizar conhecimentos de pesquisadores do setor e dados de séries temporais de sistemas complexos, de forma simplificada e acessível aos profissionais da área. Com essa abordagem, o gestor se torna um protagonista no contexto da descarbonização do setor de veículos leves no Brasil e no mundo, permitindo que ele tome decisões informadas e contribua para a redução das emissões de carbono em larga escala.

7. CONCLUSÃO

A transição energética para fontes mais sustentáveis e a redução dos impactos climáticos globais são desafios cada vez mais urgentes. Para enfrentá-los, diferentes países adotam estratégias variadas, considerando suas realidades econômicas e disponibilidade de recursos. Enquanto os países desenvolvidos investem em tecnologias avançadas e têm acesso a reservas estratégicas de matérias-primas, os países em desenvolvimento focam na diversificação de suas matrizes energéticas, incluindo os biocombustíveis como o etanol.

Dentro desse contexto, o setor sucroalcooleiro tem uma oportunidade significativa de desempenhar um papel importante na transição para energias mais sustentáveis, principalmente por meio da produção e atendimento da demanda por etanol hidratado. Essa iniciativa pode trazer benefícios econômicos, como geração de empregos, desenvolvimento local e cumprimento de requisitos de sustentabilidade.

O uso de técnicas mistas de análise de dados desempenha um papel crucial ao fornecer aos gestores uma compreensão ampla e simplificada da complexidade dos processos industriais. Essa abordagem visa capacitar os gestores a realizar análises robustas, porém de forma prática e integrada ao cotidiano da indústria.

Tornar a compreensão do gestor mais simples em relação aos processos em que estão envolvidos é o maior ganho desta pesquisa. Com o uso de técnicas mistas de análise de dados, é possível fornecer percepções valiosas sobre a complexidade desses processos de forma acessível e compreensível.

Decidir do que é ou não importante para a sociedade é uma tarefa complexa. O que é importante para uma pessoa pode não ser para outra. Por isso o importante papel do governo. Desta forma o governo discute o que deveria fazer com seus recursos limitados. Essa prioridade concorrente significa que algum tipo de processo de tomada de decisão deve ser estabelecido para determinar o que será, de fato, produzido e para (tentar) assegurar que agradará à maioria das pessoas na maior parte do tempo. Em muitas economias modernas, esse processo é o resultado de decisões tanto públicas, quanto privadas, atuando mediante uma combinação de livre mercado e ação governamental.

Para fortalecer este processo de controle de temperatura, não somente as empresas, mas governos, precisam estabelecer um balanceamento ótimo entre fatores destas externalidades de modo que se bem combinados possam permitir a obtenção do máximo de resultados dos escassos recursos de que dispõem as pessoas e a sociedades, gerando benefícios sociais, ambientais e de governança. No entanto, se mal combinados podem comprometer o bem-estar da sociedade, levando a resultados que podem agravar os efeitos gerados pela emissão de gases de efeito estufa.

Com essa abordagem, busca-se capacitar os gestores a lidar com a complexidade do ambiente industrial, permitindo que tomem decisões embasadas em análises mais sofisticadas, que considerem múltiplas variáveis e cenários. Ao tornar esse conhecimento mais simples e aplicável no dia a dia, o método visa promover a adoção de práticas analíticas eficientes e facilitar a rotina de trabalho dos gestores.

Respondendo à questão norteadora - ***Como a gestão organizacional das indústrias do setor sucroalcooleiro no estado do Mato Grosso, no Brasil, pode adquirir vantagens competitivas ao se posicionar estrategicamente no campo da energia de baixo carbono?*** Tem-se que o uso de técnicas mistas de análise de dados pode apoiar os gestores a trabalhar de forma mais eficaz, aproveitando os benefícios das análises robustas sem se perderem na complexidade do processo.

Ao facilitar a aplicação de análises mais simples e práticas no contexto industrial, esse método proporciona uma abordagem acessível aos gestores, permitindo que entendam e atuem de forma mais direcionada na solução de problemas industriais. Essa abordagem estruturada e analítica pode fornecer informações valiosas para o setor sucroalcooleiro, possibilitando uma melhor compreensão do mercado, a otimização da produção, a diversificação de produtos e o planejamento de investimentos.

A principal contribuição desta pesquisa para a indústria é de que a análise de cenários emerge como uma ferramenta essencial para a gestão estratégica, permitindo antecipar diferentes possibilidades, avaliar riscos e oportunidades, e tomar decisões mais informadas. A compreensão dos padrões e comportamentos do mercado por meio da análise de séries temporais de preços é fundamental para obter insights e orientar a tomada de decisões no setor sucroalcooleiro.

No âmbito das políticas públicas, os resultados podem orientar regulamentações que busquem a descarbonização do setor. O cumprimento de requisitos de sustentabilidade e a inclusão de indicadores ESG nas estratégias das empresas são aspectos cruciais para o sucesso da transição para uma matriz energética de baixo carbono.

No entanto, é importante reconhecer as limitações deste estudo. Não houve intervenções com especialistas do setor nem com cientistas relacionados à pesquisa e inovação. Além disso, a análise não considerou totalmente o impacto do crescimento da produção e demanda de etanol no mercado agrícola. Essas limitações poderiam ser abordadas em pesquisas futuras, com a inclusão de stakeholders relevantes e uma análise mais abrangente dos impactos socioeconômicos.

Pesquisas futuras podem explorar áreas surgidas durante este estudo. Uma questão adicional de pesquisa poderia investigar como a transição para fontes mais sustentáveis de energia afeta a cadeia de suprimentos do setor sucroalcooleiro e sua relação com os mercados agrícolas. Além disso, seria interessante aprofundar a compreensão das interações entre os diversos stakeholders, incluindo formuladores de políticas, pesquisadores e empresas do setor.

Esta pesquisa sobre a gestão estratégica do setor sucroalcooleiro demonstrou a importância das técnicas mistas de análise de dados. Os resultados fornecem insights valiosos para profissionais e políticas futuras, além de contribuir para o campo de pesquisa com novos conhecimentos e direcionamentos. A relevância deste trabalho

no contexto acadêmico e científico está em sua capacidade de facilitar a transição energética e contribuir para soluções sustentáveis.

8. REFERÊNCIAS

ABASIAN, F.; RÖNNQVIST, M.; OUHIMMOU, M. Forest bioenergy network design under market uncertainty. **Energy**, v. 188, 2019.

AGARWAL, A. K. et al. **Introduction to Biofuels**. [s.l: s.n.]. p. 6

Agência Internacional de Energia. Global EV Outlook 2021. Disponível em: <Agência Internacional de Energia. Global EV Outlook 2021>. Acesso em: 5 mar. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO BIOCOMBUSTÍVEL E GÁS NATURAL (ANP). **Preços de Revenda e de Distribuição de Combustíveis**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis>>. Acesso em: 4 fev. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO BIOCOMBUSTÍVEL E GÁS NATURAL (ANP). **Série histórica do levantamento de preços**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. CBIO.

AJANOVIC, A.; HAAS, R. On the future prospects and limits of biofuels in Brazil, the US and EU. **APPLIED ENERGY**, v. 135, p. 730–737, 15 dez. 2014.

ALLAN, R. P. A.; ARIAS, P. A. A.; BERGER, S. B. **IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l: s.n.].

ALVES, C. M. et al. Techno-economic assessment of biorefinery technologies for aviation biofuels supply chains in Brazil. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 11, n. 1, p. 67–91, 2017.

ALVES DA SILVA, A. S. et al. Trends and Persistence of Dry–Wet Conditions in Northeast Brazil. **Atmosphere**, v. 11, n. 10, p. 1134, 21 out. 2020.

ANFAVEA. **O Caminho da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil**. [s.l.] Anfavea, 2021a.

ANFAVEA. **O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil**. Disponível em: <https://anfavea.com.br/docs/APRESENTA%C3%87%C3%83O_ANFAVEA_E_BCG.pdf>.

ARAGHI, M. K.; BARKHORDARI, S.; HASSANNIA, R. Economic impacts of producing bioethanol in Iran: A CGE approach. **Energy**, v. 263, p. 125765, jan. 2023.

Associação Brasileira do Veículo Elétrico. Vendas de carros elétricos crescem 66% em 2020. Disponível em: <<https://abve.org.br/vendas-de-carros-eletricos-crescem-66-em-2020/>>. Acesso em: 5 mar. 2023.

AZEVEDO, S. M. et al. Self-affinity in the dengue fever time series. **International Journal of Modern Physics C**, v. 27, n. 12, p. 1650143, dez. 2016.

B3. **B3.** Disponível em: <https://www.b3.com.br/pt_br/>. Acesso em: 5 dez. 2020.

BALKISSOON, S.; FOX, N.; LUPO, A. Fractal characteristics of tall tower wind speeds in Missouri. **Renewable Energy**, v. 154, p. 1346–1356, jul. 2020.

BAUMEINSTER, R. F.; LEARY, M. R. Writing Narrative Literature Reviews. **Review of general psychology**, p. 311–320, 1997.

BENTO, L.; RUGGERI, B.; HIRAKURI, M. H. Bioethanol production in Brazil: challenges and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 120, p. 109–658, 2020.

BENVENUTTI, L. M. M.; CAMPOS, L. M. S. A fleet-based tank-to-wheel greenhouse gas emission analysis of light vehicles in Brazil and cooperation towards integrated policies. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 14, n. 4, p. 255–269, 2020.

BERGMANN, J. C. et al. Technological Advancements in 1G Ethanol Production and Recovery of By-Products Based on the Biorefinery Concept. Em: **Advances in Sugarcane Biorefinery**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 73–95.

BIKOMEYE, J. C.; RUBLEE, C. S.; BEYER, K. M. M. Positive Externalities of Climate Change Mitigation and Adaptation for Human Health: A Review and Conceptual Framework for Public Health Research. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 5, p. 2481, 3 mar. 2021.

BNDES. **BNDES Finem - Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-meio-ambiente>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

BORDONAL, R. DE O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 13, abr. 2018a.

BORDONAL, R. DE O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 13, abr. 2018b.

BRANCO, J. O. et al. Production, consumption and environmental impact of biofuels in the European Union. **Journal of Cleaner Production**, p. 120855, 2020.

BRESSANIN, J. M. et al. Techno-Economic and Environmental Assessment of Biomass Gasification and Fischer–Tropsch Synthesis Integrated to Sugarcane Biorefineries. **Energies**, v. 13, n. 17, p. 4576, 3 set. 2020.

BRYCE, R. M.; SPRAGUE, K. B. Revisiting detrended fluctuation analysis. **Scientific Reports**, v. 2, n. 1, p. 315, 14 mar. 2012.

BURCH, I.; GILCHRIST, J. **Survey of Global Activity to Phase Out Internal Combustion Engine Vehicles**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.theclimatecenter.org>.

CALDARELLI, C. E.; PERDIGÃO, C. A Agroindústria Canavieira e Seus Impactos Socioeconômicos na Região Centro-Sul Do Brasil. p. 35–50, 2018.

CALDAS, M. V. DE A. et al. Greenwashing in environmental marketing strategy in the brazilian furniture market. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 3, p. e225336, 2021.

CANA-DE-AÇÚCAR - BRASIL - Série Histórica de Área Colhida - Safras 2005/06 a 2022/23 em mil hectares. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>.

CARDOSO, T. F. et al. Impactos econômicos, ambientais e sociais de diferentes sistemas de produção de cana-de. p. 15, 2017.

CARDOSO, T. F. et al. Economic, environmental, and social impacts of different sugarcane production systems. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 12, n. 1, p. 68–82, jan. 2018.

CEPEA. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CESAR CUNHA CAMPOS, R.; RICARDO SIMONSEN; SIDNEI GONZALEZ. **Agronegócio**. p. 234, 2019.

CHAN, W. S. Stock price reaction to news and no-news: drift and reversal after headlines. **Journal of Financial Economics**, v. 70, n. 2, p. 223–260, nov. 2003.

CHANDEL, A. K. et al. Comparative analysis of key technologies for cellulosic ethanol production from Brazilian sugarcane bagasse at a commercial scale. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 4, p. 994–1014, jul. 2019a.

CHANDEL, A. K. et al. Comparative analysis of key technologies for cellulosic ethanol production from Brazilian sugarcane bagasse at a commercial scale. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 4, p. 994–1014, jul. 2019b.

CHANDEL, A. K. et al. Brazilian biorefineries from second generation biomass: critical insights from industry and future perspectives. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 15, n. 4, p. 1190–1208, 2021.

CHAVEZ-RODRIGUEZ, M. F. et al. Water reuse and recycling according to stream qualities in sugar–ethanol plants. **Energy for Sustainable Development**, v. 17, n. 5, p. 546–554, out. 2013.

CHIARAMONTI, D. et al. The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 139, p. 110715, abr. 2021a.

CHIARAMONTI, D. et al. The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 139, p. 110715, abr. 2021b.

CHOMSKY, N.; POLLIN, R. **Crise Climática e o Green New Deal Global: A Economia Política para Salvar o Planeta**. 1ª ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

CHRISTENSEN, C. M. **Desafios da Gestão**. Rio de Janeiro: Sextante, 2018.

CLIMATE CHANGE. **What Is The UNFCCC And The COP?** Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20090327142028/http://www.climate-leaders.org/climate-change-resources/india-at-cop-15/unfccc-cop>>. Acesso em: 30 dez. 2023.

CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da Safra Brasileira 2023/2024 - 1º Levantamento**. , 2023a. Disponível em: <[file:///C:/Users/lteixeira/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_1_lev_2023%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/lteixeira/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_1_lev_2023%20(3).pdf)>. Acesso em: 1 ago. 2023

CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da Safra Brasileira 2022/2023 - 4º Levantamento**. , 2023b. Disponível em: <file:///C:/Users/lteixeira/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_4ZlevZ2023.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2023

CORTEZ, L. A. B.; ROSILLO-CALLE, F. **The future role of biofuels in the new energy transition : lessons and perspectives of biofuels in Brazil**. São Paulo: Blucher, 2023.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. Impactos Sociais Do Aumento De Demanda De Etanol Hidratado versus Gasolina C Na Economia Brasileira. **Revista Econômica do Nordeste (REN)**, v. 44, n. 1, p. 20, 2014.

COSTA, A. O. DA; GALDEMAN, D. A.; ALEKSEEV, K. C. P. G. **Impacto na saúde humana pelo uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-570/NT-EPE-DPG-SDB-2020-01_NT_Impacto_saude_uso_bios.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023.

CRUZ, M. G.; GUERREIRO, E.; RAIHER, A. P. **A Evolução da Produção de Etanol no Brasil, no Período de 1975 a 2009**. [s.l: s.n.].

DA SILVA, L. T.; DANA, M. C. Hydrogen regulation in Brazil: decarbonization of the oil and gas industry for climate goals. **Rio Oil and Gas Expo and Conference**, v. 20, n. 2020, p. 565–566, 1 dez. 2020.

DANIELIS, R.; SCORRANO, M.; GIAN SOLDATI, M. Decarbonising transport in Europe: Trends, goals, policies and passenger car scenarios. **Research in Transportation Economics**, v. 91, 2022a.

DANIELIS, R.; SCORRANO, M.; GIAN SOLDATI, M. Decarbonising transport in Europe: Trends, goals, policies and passenger car scenarios. **Research in Transportation Economics**, v. 91, p. 101068, mar. 2022b.

DAVID, S. A. et al. Fractional dynamic behavior in ethanol prices series. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 339, p. 85–93, set. 2018.

DE ANDRADE JUNIOR, M. A. U. et al. Exploring future scenarios of ethanol demand in Brazil and their land-use implications. **Energy Policy**, v. 134, p. 110958, nov. 2019.

EPE, E. DE P. E. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2020**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2020>>.

EPE, E. DE P. E. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**. , 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/PDE%202032%20-%20Oferta%20de%20Biocombustiveis_27dez2022_envio.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2023

Ethanol Production and Use in Brazil. . [s.l.] International Renewable Energy Agency - IRENA., 2017. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2017/Mar/Ethanol-Production-and-Use-in-Brazil>>.

FAPESP. **Financiamento à pesquisa**. Disponível em: <<https://fapesp.br/6/estrategias-de-fomento-a-pesquisa>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

FAWZY, S. et al. Strategies for mitigation of climate change: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 6, p. 2069–2094, nov. 2020.

FERNANDES, F. C., DE ASSIS, A. C., DE SOUZA, G. F., & DE ANDRADE, J. A. Environmental impacts of sugarcane bioethanol production in Brazil: A review. p. 994–1003, 2017.

FLYN, S. M. **Economia para Leigos**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

FUNDEP. **Rota 2030 - Linha V - Biocombustíveis, Segurança e Propulsão Veicular**. Disponível em: <<https://rota2030.fundep.ufmg.br/linha5/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

FURTADO, A. T.; HEKKERT, M. P.; NEGRO, S. O. Of actors, functions, and fuels: Exploring a second generation ethanol transition from a technological innovation systems perspective in Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101706, dez. 2020.

GARCIA, A. S.; MENDES-DA-SILVA, W.; ORSATO, R. J. Sensitive industries produce better ESG performance: Evidence from emerging markets. **Journal of Cleaner Production**, v. 150, p. 135–147, maio 2017.

GERBENS-LEENES, P. et al. Biofuel scenarios in a water perspective: The global blue and green water footprint of road transport in 2030. **GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE-HUMAN AND POLICY DIMENSIONS**, v. 22, n. 3, p. 764–775, ago. 2012.

GILCHRIST, I. **GILCHRIST, 2021.pdf**. Ann Hancock e Gemma Waalan, , 2018.

GIWA, T.; AKBARI, M.; KUMAR, A. Techno-economic assessment of an integrated biorefinery producing bio-oil, ethanol, and hydrogen. **Fuel**, v. 332, p. 126022, jan. 2023.

GOMES, S. M. S.; GARCIA, C. O. **Controladoria Ambiental**. São Paulo: [s.n.].

GRASSI, M. C. B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 201–205, mar. 2019.

GUMTE, K. G.; MITRA, K. Strategic biofuel supply chain network design and techno-economic-environmental analysis for an Indian scenario. **IFAC-PapersOnLine**, v. 53, n. 1, p. 69–74, 2020.

GUZOVIĆ, Z. et al. Paving the way for the Paris Agreement: Contributions of SDEWES science. **Energy**, v. 263, p. 125617, jan. 2023.

GYÖNYÖROVÁ, L.; STACHOŇ, M.; STAŠEK, D. ESG ratings: relevant information or misleading clue? Evidence from the S&P Global 1200. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, v. 13, n. 2, p. 1075–1109, 3 abr. 2023.

HE, L.-Y. et al. Biofuels or hybrid vehicles? A scenario perspective in China. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v. 11, n. 5, p. 443–449, 3 maio 2016.

HUANG, Y. et al. The development of the US biofuel industry and its impact on agriculture: a dynamic analysis. n. 139, p. 1223–1233, 2019.

IEA. **Agência Internacional de Energia - IEA**. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/transport>>. Acesso em: 27 mar. 2023.

Industry Materials are the building blocks of society. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/industry>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2022**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf>>.

IPEA (ED.). **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2016.

JIANG, C. et al. Economic crisis impact on low carbon transition in economy-ecosystem. **Global Transitions Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 7–12, jun. 2020.

KHALIL, M. A.; NIMMANUNTA, K. Conventional versus green investments: advancing innovation for better financial and environmental prospects. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, p. 1–28, 26 jul. 2021.

KIM, H., LEE, H., & KIM, S. Life cycle greenhouse gas emissions of bioethanol and gasoline from sugarcane and corn in Brazil and the United States. p. 12561–12571, 2016.

KLEIN, B. et al. Low carbon biofuels and the New Brazilian National Biofuel Policy (RenovaBio): A case study for sugarcane mills and integrated sugarcane-microalgae biorefineries. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 115, nov. 2019.

LA ROVERE, E. Scenarios For Mitigating Greenhouse Gases Emissions And Promoting Sustainable Energy Development In Brazil. **INTERCIENCIA**, v. 20, n. 6, p. 343-, nov. 1995.

LA ROVERE, E. L.; PEREIRA, A. S.; SIMÕES, A. F. Biofuels and Sustainable Energy Development in Brazil. **World Development**, v. 39, n. 6, p. 1026–1036, jun. 2011.

LAURINI, M. P. The spatio-temporal dynamics of ethanol/gasoline price ratio in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1–12, abr. 2017.

LAZARO, L. L. B.; THOMAZ, L. F. Stakeholder participation in the formulation of Brazilian biofuel policy (RenovaBio). **Ambiente & Sociedade**, v. 24, p. e00562, 2021.

LEE, Y.-J. et al. Analysis of the Informational Efficiency of the EU Carbon Emission Trading Market: Asymmetric MF-DFA Approach. **Energies**, v. 13, n. 9, p. 2171, 1 maio 2020.

LIMA, M. A.; CAMARGO, R. R.; VASCONSELOS, E. A. A review of the Brazilian ethanol industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 109–648, 2020.

LIU, Y. et al. Statistical properties of the volatility of price fluctuations. **Physical Review E**, v. 60, n. 2, p. 1390–1400, 1 ago. 1999.

LUCCA, M. R. Z. **Análise Empírica Sobre Os Determinantes Da Decisão De Produção De Açúcar E Etanol Na Agroindústria Canavieira Paulista**. [s.l.: s.n.].

MACHADO, G. V. et al. **Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto 2018 - 2030**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>.

MACHADO, H. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA E SOCIOAMBIENTAL DO ETANOL SUPER-HIDRATADO COMO COMBUSTÍVEL PARA MOBILIDADE E GERAÇÃO DE ENERGIA. p. 105, 2019.

MACHADO, K. S. et al. Carbon footprint in the ethanol feedstocks cultivation – Agricultural CO₂ emission assessment. **Agricultural Systems**, v. 157, p. 140–145, 2017.

MAL, S. et al. Electric vehicle smart charging and vehicle-to-grid operation. **International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems**, v. 28, n. 3, p. 249–265, jun. 2013.

MARTINS, H. H. et al. Geração de produção, emprego e remunerações nas indústrias do açúcar e do álcool em 2000 e 2009. **DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 2, n. 2, p. 198, 31 maio 2016.

MEIRA, E. et al. The added value and differentiation among ESG investment strategies in stock markets. **Business Strategy and the Environment**, p. bse.3221, 28 ago. 2022.

MENSI, W. et al. Does oil price variability affect the long memory and weak form efficiency of stock markets in top oil producers and oil Consumers? Evidence from an asymmetric MF-DFA approach. **The North American Journal of Economics and Finance**, v. 57, p. 101446, jul. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Nova NDC do Brasil: entenda por que a meta climática foi considerada pouco ambiciosa**. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/nova-ndc-do-brasil-entenda-por-que-meta-climatica-foi-considerada-pouco-ambiciosa>>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Com meta ambiciosa, Brasil anuncia redução de 50% nas emissões de carbono até 2030**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/anuncio-de-ampliacao-da-meta-de-reducao-de-emissoes-para-50-ate-2030-e-destaque-nas-primeiras-participacoes-do-brasil-na-cop26>>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **NDC - a ambição climática do Brasil**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/NDC#:~:text=NDC%20%2D%20a%20ambi%C3%A7%C3%A3o%20clim%C3%A1tica%20do%20Brasil&text=Pela%20NDC%20ajustada%2C%20o%20pa%C3%ADs,tCO2e%20em%202030>>. Acesso em: 26 jan. 2024.

MIRALLES-QUIRÓS, M.; MIRALLES-QUIRÓS, J.; LUIS VALENTE GONÇALVES. The Value Relevance of Environmental, Social, and Governance Performance: The Brazilian Case. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 574, 25 fev. 2018.

MITSUHARA, A. T. REVISÃO SOBRE O POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DA PALHA DE CANA DE AÇÚCAR. p. 56, 2021.

MME. 13576. Governo Federal. Programa RenovaBio. . 2017.

MORAES, M. A. F. D. DE; BACCHI, M. R. P.; CALDARELLI, C. E. Accelerated growth of the sugarcane, sugar, and ethanol sectors in Brazil (2000–2008): Effects on municipal gross domestic product per capita in the south-central region. **Biomass and Bioenergy**, v. 91, p. 116–125, ago. 2016.

MORET, M. A. Self-affinity and nonextensivity of sunspots. **Physics Letters A**, v. 378, n. 5–6, p. 494–496, jan. 2014.

MURARI, T. B. et al. Comparative Analysis between Hydrous Ethanol and Gasoline C Pricing in Brazilian Retail Market. **Sustainability**, v. 11, n. 17, p. 4719, 29 ago. 2019.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Comparative analysis on turbulent regime: A self-affinity study in fluid flow by using OpenFoam CFD. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 474, p. 260–266, maio 2017.

NASCIMENTO FILHO, A. S. **Sistemas Dinâmicos Complexos: Teorias e Aplicações nas Áreas da Física, Economia e Biologia**. Tese de Doutorado.— Salvador/BA: Centro Universitário Senai Cimatec, jul. 2018.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Cross-correlation analysis on Brazilian gasoline retail market. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 508, p. 550–557, out. 2018.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Analysis of Hydrous Ethanol Price Competitiveness after the Implementation of the Fossil Fuel Import Price Parity Policy in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9899, 3 set. 2021a.

NASCIMENTO FILHO, A. S. et al. Analysis of Hydrous Ethanol Price Competitiveness after the Implementation of the Fossil Fuel Import Price Parity Policy in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9899, 3 set. 2021b.

NASCIMENTO FILHO, A. S.; PITOMBO, N.; MORET, M. A. **Autoafinidade na Variação de Preços de Ações de Companhias Petrolíferas**. 2015.

NEVES, M. F. **Ferramentas para o Futuro do Agro: Estratégias para Posicionar o Brasil como Fornecedor Mundial Sustentável de Alimentos, Bioenergia e Outros Agroprodutos**. São Paulo: Gente, 2021a.

NEVES, M. F. **Ferramentas para o Futuro do Agro**. São Paulo: Gente, 2021b.

NEVES, M. F.; MARTINEZ, L. F. O Modelo GAS-Agro para Projetos de Desenvolvimento Sustentável. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 4, n. 2020, 2020.

NOGUEIRA, F. G.; LUCENA, A. F. P.; NOGUEIRA, R. Sustainable Insurance Assessment: Towards an Integrative Model. **The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice**, v. 43, n. 2, p. 275–299, abr. 2018.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. Biofuels for Transport. Em: **Future Energy**. [s.l.] Elsevier, 2020a. p. 173–197.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. Biofuels for Transport. Em: **Future Energy**. [s.l.] Elsevier, 2020b. p. 173–197.

OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD Publishing, , 2023. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/data/oecd-agriculture-statistics_agr-data-en>. Acesso em: 20 nov. 2023

OLIVEIRA FILHO, F. M.; LEYVA CRUZ, J. A.; ZEBENDE, G. F. Analysis of the EEG bio-signals during the reading task by D F A method. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 525, p. 664–671, jul. 2019.

ORLOV, A.; KALLBEKKEN, S. The impact of consumer attitudes towards energy efficiency on car choice: Survey results from Norway. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 816–822, mar. 2019a.

ORLOV, A.; KALLBEKKEN, S. The impact of consumer attitudes towards energy efficiency on car choice: Survey results from Norway. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 816–822, mar. 2019b.

PALTSEV, S. et al. Global Electrification of Light-duty Vehicles: Impacts of Economics and Climate Policy. **Economics of Energy & Environmental Policy**, v. 11, n. 1, 1 jan. 2022.

PARÉ, G.; KITSIOU, S. **Methods for literature reviews**. [s.l: s.n.].

PARTOVI, S. M. A.; SADEGHNEJAD, S. Geological boundary detection from well-logs: An efficient approach based on pattern recognition. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 176, p. 444–455, maio 2019.

PATEL, P. C.; PEARCE, J. A.; OGHAZI, P. Not so myopic: Investors lowering short-term growth expectations under high industry ESG-sales-related dynamism and predictability. **Journal of Business Research**, v. 128, p. 551–563, maio 2021.

Pesquisa da PwC revela que investidores retirariam investimentos de empresas que não tenham ações concretas de ESG. Consultoria Empresarial. Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/sala-de-imprensa/release/Pesquisa-da-PwC-revela-que-investidores-retirariam-investimentos-de-empresas-que-nao-tenham-acoes-concretas-de-ESG.html>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

PULIDO-SÁNCHEZ, D. et al. Material and energy requirements of transport electrification. **Energy & Environmental Science**, v. 15, n. 12, p. 4872–4910, 2022.

PUROHIT, P. et al. Lignocellulosic biofuels in India: current perspectives, potential issues and future prospects. **AIMS Energy**, v. 6, n. 3, p. 453–486, 2018.

QUINTINO, D. D. **Econophysics applications to the Brazilian ethanol-sugar sector's prices**. Doutorado em Economia Aplicada—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 7 mar. 2022.

QUINTINO, D. D.; BURNQUIST, H. L.; FERREIRA, P. Relative Prices of Ethanol-Gasoline in the Major Brazilian Capitals: An Analysis to Support Public Policies. **Energies**, v. 15, n. 13, p. 4795, 30 jun. 2022.

RANTA, T.; LAIHANEN, M.; KARHUNEN, A. The Role of Bioenergy in Achieving the Carbon Neutrality Target in Finland by 2035—A Case Study of Student Surveyed at University in Finland. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v. 11, n. 02, p. 61–81, 2021.

RBC GLOBAL ASSET MANAGEMENT. **Global Sustainable Investment Review 2020**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gsi-alliance.org/wp-content/uploads/2021/08/GSIR-20201.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

RIBEIRO, C. H.; CUNHA, M. P. The economic and environmental impacts of Brazilian National Biofuel Policy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 16, n. 2, p. 413–434, mar. 2022.

RIBEIRO, F. et al. Impact of different transportation planning scenarios on air pollutants, greenhouse gases and heat emission abatement. **SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT**, v. 781, 10 ago. 2021.

RITCHIE, H.; ROSADO, P.; ROSER, M. **CO₂ and Greenhouse Gas Emissions**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 26 jan. 2024.

ROITMAN. Programas internacionais de incentivo aos biocombustíveis e o renovabio. 2019.

ROLES, J. et al. Techno-economic evaluation of microalgae high-density liquid fuel production at 12 international locations. **Biotechnology for Biofuels**, v. 14, n. 1, p. 133, dez. 2021.

ROMAN, M.; ROMAN, M.; ROMAN, K. **The Forecast of Economic Processes of Selected Agricultural Products in the Development of Bioenergy and Agritourism Activity in Poland**. (P. Maresova, P. Jedlicka, I. Soukal, Eds.). Em: HRADEC ECONOMIC DAYS 2018. 12 jan. 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/20.500.12603/444>>. Acesso em: 19 mar. 2023

SAJID, Z.; DA SILVA, M.; DANIAL, S. Historical Analysis of the Role of Governance Systems in the Sustainable Development of Biofuels in Brazil and the United States of America (USA). **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6881, 18 jun. 2021.

SALES, J. M. A. **Movimento Browniano Fracionário: Uma Análise**. Monografia submetida à Coordenação da Graduação do Curso de Física—Fortaleza/CE: Universidade Federal do Ceará (UFCE), 2015.

SALINA, F. H.; DE ALMEIDA, I. A.; BITTENCOURT, F. R. RenovaBio Opportunities and Biofuels Outlook in Brazil. Em: SAYIGH, A. (Ed.). **Renewable Energy and Sustainable Buildings**. Innovative Renewable Energy. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 391–399.

SANTOS, E. C. O. et al. Autocorrelation of wind speed: A sliding window approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 607, p. 128213, dez. 2022.

SIEMENS. **Siemens Energy e Porsche, juntamente com parceiros, avançam no desenvolvimento de e-fuel com impacto neutro no clima.** Disponível em: <<https://www.siemens-energy.com/br/portugues/news/imprensa/2020/se-porsche-e-parceiros-avancam-no-desenvolvimento-de-e-fuel.html>>.

SIERDOVSKI, M.; PILATTI, L. A.; RUBBO, P. Organizational Competencies in the Development of Environmental, Social, and Governance (ESG) Criteria in the Industrial Sector. **Sustainability**, v. 14, n. 20, p. 13463, 19 out. 2022.

SILVA, T. B. Contribuição de veículos elétricos e precificação de carbono na redução das emissões de veículos leves de passageiros no Estado do Rio de Janeiro. 2021.

SILVA, UBIRAJARA SOUZA DA. **Etanol carburante no Brasil: evolução, cenários e o seu desempenho sob os critérios da Renovabio.** Dissertação—Brasil: Universidade Federal da Bahia, 9 nov. 2021.

SOUZA, N. R. D. D.; CAVALETT, O.; JUNQUEIRA, T. L. Techno-economic and environmental assessment of bioenergy and livestock integrated systems in Brazil. **Sustainable Production and Consumption**, v. 32, p. 580–592, 2022.

SOUZA, P. **UM ESTUDO EMPÍRICO DO IMPACTO AMBIENTAL NO RISCO DE CRÉDITO DOS PAÍSES.** , 2018a.

SOUZA, P. C. D. R. S. **Um Estudo Empírico Do Impacto Ambiental No Risco De Crédito Dos Países.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Contábeis da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas (FACE), da Universidade de Brasília (UnB), como requisito à conclusão da disciplina Pesquisa em Ciências Contábeis e do título de Bacharel em Ciências Contábeis.—[s.l.] Universidade de Brasília (UnB), 2018b.

STEFANONI, S.; VOLTES-DORTA, A. Technical efficiency of car manufacturers under environmental and sustainability pressures: A Data Envelopment Analysis approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 311, p. 127589, ago. 2021.

SUTTIPUN, M.; YORDUDOM, T. Impact of environmental, social and governance disclosures on market reaction: an evidence of Top50 companies listed from Thailand. **Journal of Financial Reporting and Accounting**, v. 20, n. 3/4, p. 753–767, 12 jul. 2022.

SZKLO, A.; PINHEIRO, B.; CALLEGARI, C. **Simulador de Políticas Setoriais e Emissões: Métodos, Dados e Resultados Para o Brasil em 2050.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/publicacoes/simulador-de-politicas-setoriais-e-emissoes-metodos-dados-e-resultados-para-o-brasil-em>>.

TAMBA, M. et al. Economy-wide impacts of road transport electrification in the EU. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 182, p. 121803, set. 2022.

The Biden Plan to Build a Modern, Sustainable Infrastructure and an Equitable Clean Energy Future. Disponível em: <<https://joebiden.com/clean-energy/#>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

TONETO JUNIOR, R.; PINHO, M. **ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: Impactos de Novos Marcos Regulatórios e Tecnologias Sobre a Economia Brasileira.** [s.l.] FUNPEC Editora, 2014.

UDOP, E. Q. R. Usinas/Destilarias no mundo. p. 5, 2021.

UN GLOBAL COMPACT, R. B. **ONU, 2019.pdf.** , 2019.

UNEM. **Produção de etanol de milho cresce 800% em cinco anos e atrai empresas.** Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/producao-etanol-milho-cresce-800-cinco-anos-atrai-empresas-270123>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Produção de etanol cresce 11,4% em 2020. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1248941>>. Acesso em: 5 mar. 2023.

UNICA. **Uso do etanol evita 515 milhões de toneladas de CO2.** Disponível em: <<https://unica.com.br/noticias/uso-do-etanol-evita-515-milhoes-de-toneladas-de-co2-na-atmosfera/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

VARELA VILLARREAL, J.; BURGUÉS, C.; RÖSCH, C. Acceptability of genetically engineered algae biofuels in Europe: opinions of experts and stakeholders. **Biotechnology for Biofuels**, v. 13, n. 1, p. 92, dez. 2020.

WANG, C. et al. The social, economic, and environmental implications of biomass ethanol production in China: A multi-regional input-output-based hybrid LCA model. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, 2020.

WANG, Y.; HUANG, J. Pathway to develop a low-carbon economy through energy-substitution technology in China. **Energy**, v. 261, p. 124964, dez. 2022.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **5 Priorities for Cities After COP26.** Disponível em: <<https://www.wri.org/insights/5-ways-cities-climate-action>>.

WRI. **Historical GHG Emissions.** Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&calculation=ABSOLUTE_VALUE&chartType=line&end_year=2020§ors=energy%2Cindustrial-processes%2Cagriculture%2Cwaste%2Cland-use-change-and-forestry%2Ctransportation&start_year=1990>. Acesso em: 30 dez. 2023.

WYDRA, S. et al. Transition to the bioeconomy – Analysis and scenarios for selected niches. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126092, abr. 2021a.

WYDRA, S. et al. Transition to the bioeconomy – Analysis and scenarios for selected niches. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126092, abr. 2021b.

WYDRA, S. et al. Transition to the bioeconomy – Analysis and scenarios for selected niches. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126092, abr. 2021c.

ZEIDAN, R.; SPITZECK, H. The Sustainability Delta: Considering Sustainability Opportunities in Firm Valuation: The Sustainability Delta: Opportunities in Firm Valuation. **Sustainable Development**, v. 23, n. 6, p. 329–342, dez. 2015.

ZHANG, H.; CHEN, W. The Role of Biofuels in China's Transport Sector in Carbon Mitigation Scenarios. **Energy Procedia**, v. 75, p. 2700–2705, ago. 2015.

ZHANG, W. et al. The impact of biofuel growth on agriculture: Why is the range of estimates so wide? **Food Policy**, v. 38, n. 1, p. 227–239, 2013.

ZHANG, X. et al. The status quo and outlook of bioethanol production in China. p. 109–232, 2019.