

Política Nacional de Biocombustíveis: *avaliação ex post* do impacto dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na expansão do etanol na matriz energética brasileira

Claudionor Moura Nunes Júnior

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Resende

Coletânea de Pós-Graduação

Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação (CDR)

Volume 1



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO

MINISTROS

Bruno Dantas (Vice-Presidente no exercício da Presidência)

Walton Alencar Rodrigues

Benjamin Zymler

Augusto Nardes

Aroldo Cedraz

Vital do Rêgo

Jorge Oliveira

Antonio Anastasia

MINISTROS-SUBSTITUTOS

Augusto Sherman Cavalcanti

Marcos Bemquerer Costa

André Luis de Carvalho

Weder de Oliveira

MINISTÉRIO PÚBLICO JUNTO AO TCU

Cristina Machado da Costa e Silva (Procuradora-Geral)

Lucas Furtado (Subprocurador-Geral)

Paulo Soares Bugarin (Subprocurador-Geral)

Marinus Eduardo de Vries Marsico (Procurador)

Júlio Marcelo de Oliveira (Procurador)

Sérgio Ricardo Costa Caribé (Procurador)

Rodrigo Medeiros de Lima (Procurador)



DIRETORA-GERAL

Ana Cristina Melo de Pontes Botelho

**DIRETORA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS,
PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS**

Flávia Lacerda Franco Melo Oliveira

**CHEFE DO DEPARTAMENTO
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS**

Clémens Soares dos Santos

CONSELHO ACADÊMICO

Maria Camila Ávila Dourado

Tiago Alves de Gouveia Lins e Dutra

Marcelo da Silva Sousa

Rafael Silveira e Silva

Pedro Paulo de Moraes

COORDENADOR ACADÊMICO

Leonardo Lopes Garcia

COORDENADORES PEDAGÓGICOS

Ana Carolina Dytz Fagundes de Moraes

Flávio Sposto Pompêo

Georges Marcel de Azeredo Silva

Marta Eliane Silveira da Costa Bissacot

COORDENADORA EXECUTIVA

Maria das Graças da Silva Duarte de Abreu

PROJETO GRÁFICO E CAPA

Núcleo de Comunicação – NCOM/ISC

Política Nacional de Biocombustíveis: avaliação *ex post* do impacto dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na expansão do etanol na matriz energética brasileira

Claudionor Moura Nunes Júnior

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto Serzedello Corrêa do Tribunal de Contas da União como requisito parcial para a obtenção do grau de especialista em Controle da Desestatização e da Regulação.

Orientador(a):

Prof. Dr. João Paulo Resende

Banca examinadora:

Prof. MSc. Kenys Menezes Machado

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOURA NUNES Jr., Claudionor. **Política Nacional de Biocombustíveis: avaliação ex post** do impacto dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na expansão do etanol na matriz energética brasileira. 2022. Monografia (Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação) – Instituto Serzedello Corrêa, Escola Superior do Tribunal de Contas da União, Brasília DF. 103 fl.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Claudionor Moura Nunes Júnior

TÍTULO: Política Nacional de Biocombustíveis: avaliação *ex post* do impacto dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na expansão do etanol na matriz energética brasileira

GRAU/ANO: Especialista/2022

É concedida ao Instituto Serzedello Corrêa (ISC) permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Conclusão de Curso somente para propósitos acadêmicos e científicos. Do mesmo modo, o ISC tem permissão para divulgar este documento em biblioteca virtual, em formato que permita o acesso via redes de comunicação e a reprodução de cópias, desde que protegida a integridade do conteúdo dessas cópias e proibido o acesso a partes isoladas desse conteúdo. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste documento pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Nome: Claudionor Moura Nunes Júnior
e-mail: claudionormn@tcu.gov.br

FICHA CATALOGRÁFICA

Nunes Júnior, Claudionor Moura.

Política Nacional de Biocombustíveis: avaliação *ex post* do impacto dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na expansão do etanol na matriz energética brasileira/ Claudionor Moura Nunes Júnior. – Brasília: Tribunal de Contas da União/Instituto Serzedello Corrêa, 2022.

103 f. – (Coletânea de Pós-Graduação. Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação. v. 1)

Orientador: João Paulo Rezende.

Monografia (Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação) – Instituto Serzedello Corrêa, 2022.

1. Biocombustível - política. 2. Biocombustível – regulação. 3. Etanol - produção. 4. Incentivo fiscal. 5. Dióxido de carbono - mercado. 6. Política energética. I. RenovaBio. II. Título. III. Série.

Política Nacional de Biocombustíveis: avaliação *ex post* do impacto dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na expansão do etanol na matriz brasileira

Claudionor Moura Nunes Júnior

Trabalho de conclusão do curso de pós-graduação *lato sensu* em Controle da Desestatização e da Regulação realizado pelo Instituto Serzedello Corrêa como requisito para a obtenção do título de especialista em Controle da Desestatização e da Regulação.

Brasília, 12 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. João Paulo Resende
Orientador
Ministério da Economia

Prof. MSc. Kenys Menezes Machado
Avaliador
Ministério da Economia

Dedico esse trabalho a todos aqueles que se preocupam com o planeta que deixaremos para nossos filhos.

Agradecimentos

Aos meus pais, pelo investimento, apoio e incentivo na minha formação. À minha mãe, um agradecimento adicional pelo constante propósito em me ensinar que “nossa liberdade só vai até onde começa a do outro”, valor basilar cuja recuperação se mostra imperiosa em tempos nos quais o planeta padece pelos excessos de alguns. Ao meu pai, pela influência na minha paixão pela natureza. À minha esposa, pela paciência em me ouvir falar sobre o tema da pesquisa. Aos meus filhos, pela curiosidade sobre o que faz o pai. A todos os mestres da minha vida, pelo exemplo, inspiração e pela “implicância” em me fazer buscar o melhor de mim. A todos os auditores da SeinfraPetróleo do TCU, pelo compromisso na proteção da coisa pública. Às equipes do MME, ANP e EPE pela devoção no aprimoramento da Política Energética Nacional. Aos especialistas do Instituto Pecege e da União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (Única) pela gentileza no compartilhamento de valiosas percepções sobre o setor sucroenergético nacional. A todos os pesquisadores das universidades brasileiras, em especial do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP) e do Grupo Bioenergia (USP, Unicamp e Unesp), pelo brilhantismo do trabalho científico que entregam ao país.

“[Albert Einstein]

É mais fácil mudar a natureza do plutônio do que mudar a natureza maldosa do homem.

Nossa tarefa deveria ser nos libertarmos... aumentando o nosso círculo de compaixão para envolver todas as criaturas viventes, toda a natureza e sua beleza”.

“[Júlio Verne]

Quando se trata de destruir, todas as ambições se aliam facilmente.

Não há nada impossível; há só vontades mais ou menos enérgicas.

Tudo o que um homem pode imaginar, outros homens poderão realizar.

Nunca se fez nada grande sem uma esperança exagerada.

É porque se espalha o grão que a semente acaba por encontrar um terreno fértil”.

Resumo

O RenovaBio é um programa do Ministério de Minas e Energia consistente com a Política Nacional de Biocombustíveis. Para fomento ao desenvolvimento dos biocombustíveis, essa política dispõe de vários instrumentos regulatórios: as misturas obrigatórias de biocombustíveis (mandatos), os incentivos fiscais e, especialmente, os créditos de descarbonização (CBIO). O CBIO é o primeiro instrumento de mercado estabelecido legalmente no Brasil para compensação financeira de externalidades negativas advindas da emissão de gases de efeito estufa, principal causa do aquecimento global. A falta de efetiva experiência nacional com instrumentos de mercado na regulação setorial pode ser uma das razões para que tais instrumentos ainda não sejam adequadamente compreendidos e não propriamente utilizados. De tal modo, deseja-se compreender o papel combinado que os mandatos, os incentivos fiscais e os CBIO exercem na competitividade do etanol, principal biocombustível produzido no Brasil e alicerce do RenovaBio. Para cerca de 70% dos consumidores no mercado de veículos de Ciclo Otto o etanol hidratado não é a primeira opção de compra, dado que seu preço relativo é frequentemente superior à relação de equivalência energética entre ele e a gasolina C, na maior parte dos estados brasileiros. Portanto, avaliar-se-á de que modo os instrumentos regulatórios do RenovaBio cumpriram seu objetivo precípuo de fomentar a expansão do etanol na matriz energética nacional, após os dois primeiros anos de operação do RenovaBio (2020 e 2021), com vistas a identificar eventuais mudanças competitivas na dinâmica do setor de abastecimento de combustíveis nacional.

Palavras-chave: RenovaBio, etanol, biocombustíveis, mandatos de mistura obrigatória, diferenciação tributária, CBIO, créditos de carbono e transição energética

Abstract

RenovaBio is a program of the Ministry of Mines and Energy consistent with the National Biofuels Policy. To promote the development of biofuels, this policy has several regulatory instruments: mandatory blends of biofuels (mandates), tax incentives and, especially, decarbonization credits (CBIO). The CBIO is the first market instrument legally established in Brazil for financial compensation of negative externalities arising from the emission of greenhouse gases, the main cause of global warming. The lack of effective national experience with market instruments in sectoral regulation may be one of the reasons why such instruments are still not properly understood and not properly used. Thus, the goal is to understand the combined role that mandates, tax incentives and CBIOs play in the competitiveness of ethanol, the main biofuel produced in Brazil and the foundation of RenovaBio. For around 70% of consumers in the Otto Cycle vehicle market, hydrous ethanol is not the first purchase option, given that its relative price is often higher than the energy equivalence ratio between it and C gasoline, in most Brazilian states. Therefore, it will be evaluated how the regulatory instruments of RenovaBio fulfilled their main objective of promoting the expansion of ethanol in the national energy matrix, after the first two years of RenovaBio's operation (2020 and 2021), with the goal of identifying possible competitive changes in the dynamics of the national fuel supply sector.

Keywords: RenovaBio, ethanol, biofuels, mandatory blending mandates, tax differentiation, CBIO, carbon credits and energy transition

Lista de figuras

Figura 1 - O RenovaBio: a Política Nacional de Biocombustíveis	20
Figura 2 - Esquema de funcionamento do RenovaBio	38
Figura 3 - Funcionamento do mercado de CBIO.....	41
Figura 5 - Emissões de GEE do poço à roda	48
Figura 4 - Linha do tempo do etanol no Brasil.....	49
Figura 6 - Distribuição das usinas de etanol brasileiras em 2021	54
Figura 7 - Estrutura básica do mercado de combustíveis no Brasil.....	68
Figura 8 - Formação de preços finais de combustíveis no Brasil	69
Figura 9 - Preço de realização da gasolina C - refinada x importada.....	70
Figura 10 - Preço de realização de combustível: fóssil x biocombustível.....	71
Figura 11 - Margens brutas de distribuição e revenda	72
Figura 12 - Alíquota de ICMS do etanol e relação P_E/P_G por estado em 2021.....	75

Lista de gráficos

Gráfico 1 - Custos de produção atuais e projetados para fósseis e biocombustíveis	22
Gráfico 2 - Consumo do setor de transportes por fonte de energia (mil tep)	23
Gráfico 3 - Metas de redução de IC e emissão de CBIO do RenovaBio	39
Gráfico 4 - Evolução na geração de CBIO em 2020 e 2021	41
Gráfico 5 - Quantidade negociada e preço médio (R\$/CBIO) entre 2020 e 2021	42
Gráfico 6 - Certificação da produção e das vendas de etanol em 2020 e 2021	43
Gráfico 7 - Média da NEEA por rota tecnológica	44
Gráfico 8 - Média do % de volume elegível por rota	44
Gráfico 9 - Histórico do fluxo de usinas de cana no Brasil	51
Gráfico 10 - Evolução da capacidade instalada de produção de etanol Brasil	54
Gráfico 11 - Produção brasileira de etanol anidro e hidratado (cana e milho)	55
Gráfico 12 - Produção e exportação brasileira de açúcar	55
Gráfico 13 - Exportação brasileira de açúcar e câmbio	56
Gráfico 14 - Mix de produção (açúcar x etanol)	56
Gráfico 15 - Produção brasileira de etanol de milho	57
Gráfico 16 - Demanda do Ciclo Otto	58
Gráfico 17 - Demanda anual de etanol hidratado e gasolina C	59
Gráfico 18 - Vendas de etanol e gasolina A no Brasil	60
Gráfico 19 - Comportamento de preços do etanol, gasolina, brent e açúcar	60
Gráfico 20 - Relação de preços entre o hidratado e a gasolina C (P_E/P_G)	61
Gráfico 21 - P_E , P_G e relação P_E/P_G mensal em 2021	62
Gráfico 22 - Participação da cana planta na área total colhida e produtividade	63
Gráfico 23 - Colheita plantio mecanizados e rendimento da cana	64
Gráfico 24 - Capacidade instalada, moagem efetiva e nível de utilização	65
Gráfico 25 - Diferenciação tributária - ICMS (gasolina x etanol) 2020 x 2021	75
Gráfico 26 - Consumo e arrecadação em SP (esquerda) e MG (direita)	76
Gráfico 27 - Preço relativo x consumo relativo de etanol e gasolina	80
Gráfico 28 - Vendas de etanol anidro e hidratado x P_E/P_G	81
Gráfico 29 - Preços médios mensais da gasolina e etanol anidro	88
Gráfico 30 - Custo dos incentivos regulatórios ao etanol 2020-2021	91

Lista de tabelas

Tabela 1 - Rentabilidade da comercialização de CBIO (safras 20/21 e 21/22).....	42
Tabela 2 - Propriedades da gasolina e do etanol.....	47
Tabela 3 - Estimativa da capacidade de produção firme de etanol no Brasil.....	66
Tabela 4 – Valor dos tributos federais sobre a gasolina e etanol (2020-2021)	74
Tabela 5 - Volumes e preços de vendas de gasolina C e etanol hidratado.....	84
Tabela 6 - Percentual de tributos incidentes sobre a gasolina e o etanol	85
Tabela 7 - Comparação da carga tributária em gasolina equivalente (geq).....	86
Tabela 8 - Custo do mandato de mistura de etanol anidro 2020 - 2021.....	88
Tabela 9 - Negociações de CBIO na B3	90

Lista de abreviaturas e siglas

ACV	Análise do Ciclo de Vida
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ATP	Assimetria na Transmissão de Preços
B3	Brasil, Bolsa, Balcão
BEN	Balanço Energético Nacional
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CBIO	Crédito de Descarbonização do RenovaBio
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CNPE	Conselho Nacional de Pesquisa Energética
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
COP	<i>Conference of the Parties</i>
EC	Emenda Constitucional
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
IC	Intensidade de Carbono
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MON	<i>Motor Octane Number</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NDC	<i>National Determined Contribution</i>

NEEA	Nota de Eficiência Energético-Ambiental
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PEC	Proposta de Emenda à Constituição
PIS	Programa de Integração Social
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo

Sumário

1.	Introdução	19
2.	Problema e justificativa	21
2.1.	O problema.....	21
2.2.	A justificativa.....	24
3.	Objetivo	25
3.1.	O objetivo geral	25
3.2.	Os objetivos específicos	25
3.3.	Os resultados esperados.....	25
4.	Metodologia	26
5.	Fundamentos teóricos da precificação do carbono	27
5.1.	As funções do governo	27
5.2.	As falhas de mercado	28
5.2.1.	Externalidades	29
5.2.2.	Tragédia dos comuns	30
5.3.	O meio ambiente e as falhas de mercado	31
5.4.	Os instrumentos de precificação de carbono.....	34
6.	O RenovaBio	37
6.1.	O funcionamento	37
6.1.1.	As metas de descarbonização.....	38
6.1.2.	A certificação.....	39
6.1.3.	O CBIO.....	40
6.2.	Os resultados	41
6.3.	O RenovaBio como instrumento de precificação de carbono.....	45
7.	O etanol no Brasil	47
7.1.	As características	47
7.2.	O histórico	49
7.3.	O mercado.....	52
7.3.1.	A capacidade instalada para produção	53
7.3.2.	A oferta.....	55
7.3.3.	A demanda.....	58
7.3.4.	O comportamento dos preços.....	60
7.3.5.	A produtividade, a taxa de utilização e os custos da indústria	62
8.	Precificação de combustíveis no Brasil	68
8.1.	A formação de preços.....	68
8.2.	A tributação	72
8.3.	A dinâmica de precificação do etanol	79

9.	Avaliação dos instrumentos regulatórios do RenovaBio	84
9.1.	A diferenciação tributária do etanol	84
9.2.	O mandato de mistura obrigatória do etanol.....	87
9.3.	Os CBIO	90
9.4.	Análise comparativa	90
10.	Considerações finais.....	93
11.	Referências	96

1. Introdução

No ano de 2020 o mundo se mobilizou para combater a pandemia do Covid-19. Antes mesmo do seu efetivo controle e reversão dos efeitos recessórios na economia global, a humanidade se depara com outro desafio a sua existência: o aquecimento global.

Em agosto de 2021, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da Organização das Nações Unidas (ONU) publicou relatório com síntese do conhecimento científico atualizado sobre as mudanças climáticas. As conclusões são alarmantes. Para o IPCC é inequívoca a influência antrópica no aquecimento da atmosfera, oceanos e terra, dado o aumento da emissão dos gases de efeito estufa (GEE). A escala das mudanças climáticas observada é sem precedentes e efeitos como ondas de calor, alta precipitação, secas e ciclones tropicais se espalham subitamente por todas as regiões do planeta (IPCC, 2021).

Em meio a esta perspectiva alarmante, a Agência Internacional de Energia (IEA) publicou relatório propondo uma trilha de como chegar a 2050 com o aumento da temperatura da terra limitado a 1,5°C. O *Road Map to Net Zero by 2050* da IEA sacudiu o mercado internacional de Óleo & Gás ao apontar que, para alcançar emissões líquidas nulas em 2050, a participação dos combustíveis fósseis deve diminuir de 80% da matriz energética mundial para 20% (IEA, 2021).

Entre os vários marcos indicados em sua rota para emissões zero, IEA (2021, p. 20) elencou o fim do desenvolvimento de novos campos de petróleo e gás ou minas de carvão mineral, já a partir de 2021, o fim das vendas de veículos movidos a motores de combustão interna, a partir de 2035, e um forte investimento para desenvolvimento de energias limpas e renováveis.

Nesse contexto, o Brasil tem condições privilegiadas para promover sua transição energética. Para reduzir suas emissões, o país dispõe de rios, ventos, incidência solar e área agricultável para produção de energias renováveis. Enquanto no resto do mundo, 14% da oferta energética é composta por renováveis, na matriz energética brasileira elas representaram 48%, em 2020 (BRASIL, 2021b). Em suma, o mundo busca alcançar em 2050 a matriz energética que o Brasil dispõe hoje.

Contudo, mesmo tendo a matriz energética mais renovável do mundo, o país possui seus próprios desafios. Sobretudo após a assinatura do Acordo de Paris, durante a 21ª Conferência do Clima (COP 21), em 2015, na qual subscreveu Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) de reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, até 2025, e em 43%, até 2030 (BRASIL, 2020b). Mais recentemente, na COP 26, o Governo Federal subscreveu o Pacto de Glasgow, se comprometendo com aumento da meta para redução das emissões de carbono para 50% até 2030 (BRASIL, 2021c).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) 2021 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), se por um lado o setor elétrico brasileiro tem uma das menores taxas de emissão de CO₂ por unidade de energia gerada, o setor de transportes, essencialmente rodoviário, é responsável por 31% do consumo energético nacional e 45% das emissões de GEE. Isso, mesmo considerando-se que 25% do consumo energético do setor de transportes foi provido por renováveis em 2020. A maior parte por biodiesel (5,2%) e etanol (19,3%) (BRASIL, 2021b).

Paralelamente ao movimento de transição energética, o país não pode se descuidar da sua segurança energética. A EPE projeta que a dependência externa do Brasil para combustíveis fósseis, em 2030, só não será maior devido à expectativa de aumento da participação dos biocombustíveis na oferta primária de energia (BRASIL, 2021f).

Destarte, os biocombustíveis apresentam tripla importância estratégica para o Brasil. Em primeiro, dada sua menor intensidade de carbono, eles têm papel essencial na **descarbonização da matriz de transportes** para cumprimento dos acordos do clima. Em segundo, seu potencial de substituir os combustíveis fósseis os compõem como **fator de segurança energética**. Por fim, não se pode desconsiderar a **geração de empregos e renda** advinda da cadeia dos biocombustíveis. Assim, apesar de ser uma realidade no país, o uso de etanol, biodiesel e biogases como substitutos de seus equivalentes fósseis necessita ser ampliado.

Nesse sentido, em 2017, o Governo Federal lançou o programa RenovaBio, com o objetivo de contribuir para o atendimento aos compromissos brasileiros nos acordos internacionais do clima e para promover a adequada expansão da produção e do uso dos biocombustíveis na matriz energética nacional. O RenovaBio é o único mercado de carbono não voluntário do Brasil. Consubstancia a Política Nacional de Biocombustíveis, parte integrante da Política Energética Nacional (BRASIL, 2017b).

Figura 1 - O RenovaBio: a Política Nacional de Biocombustíveis



2. Problema e justificativa

2.1. O problema

Na década de 1970, o Governo Federal criou o Proálcool para desenvolvimento do etanol como substituto energético da gasolina, em alternativa às altas nos preços do petróleo ocorridas nos choques do petróleo de 1973 e 1979. O programa era um sucesso até que, em 1986, ocorre o “contrachoque do petróleo”, quando os preços do petróleo despencaram a menos de US\$ 15 por barril, em 1987. Tal episódio, associado a um contexto doméstico de crise econômica, inflação alta e foco no controle do déficit público, leva o governo a reduzir os estímulos aos biocombustíveis, decretando o declínio do Proálcool (TÁVORA, 2011).

Da história do Proálcool percebem-se lições aplicáveis às novas regulações de biocombustíveis. Além de instrumentos para garantia de demanda mínima, como os mandatos de mistura obrigatória adotados no referido programa, uma regulação eficiente para fomento aos biocombustíveis necessita de instrumentos para proteção dos produtores contra a volatilidade dos preços internacionais e **garantia de oferta competitiva e sustentável**.

De modo a contornar a vulnerabilidade à volatilidade dos preços internacionais do petróleo, no desenho original do RenovaBio, Brasil (2017b, pp. 69–71) vislumbrou o crédito de descarbonização (CBIO), principal instrumento regulatório do programa, como um “gradiente indutor de equilíbrio competitivo entre fósseis e renováveis”, no qual desempenharia papel de proteção contra as oscilações do preço do barril do petróleo. Com o *brent* em alta, o preço do CBIO tenderia a zero. Na situação contrária, o CBIO se valorizaria, assim protegendo os produtores de biocombustíveis.

Outro aspecto igualmente importante da concepção do RenovaBio é o seu papel no **estímulo à competitividade entre combustíveis fósseis e biocombustíveis**. O etanol hidratado é um substituto perfeito da gasolina sob a perspectiva da demanda e bem mais eficiente quanto à emissão de GEE. Todavia, para 70% do mercado de veículos de Ciclo Otto o etanol hidratado não é a primeira opção do consumidor, dado que seu preço relativo é frequentemente superior à relação de equivalência energética entre os dois combustíveis, na maior parte dos estados brasileiros.

Segundo Lacerda, Godinho, Rodrigues et al. (2022), vários fatores concorrem para tornar os biocombustíveis menos competitivos economicamente do que as alternativas baseadas em combustíveis fósseis, incluindo:

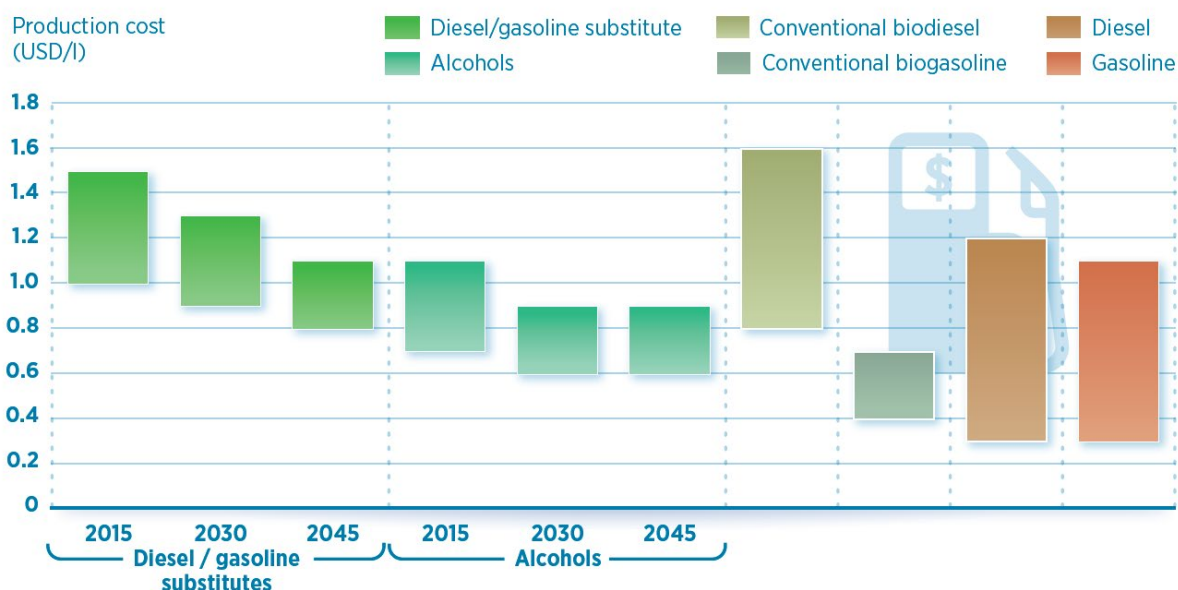
- **indústria menos estabelecida** do que a petroquímica, com menor escala e menos capital afundado na forma de ativos de exploração, produção, refino e transporte;

- maior **variedade e complexidade de matérias-primas**, dependendo em fatores naturais fora do controle dos produtores, incluindo padrões de chuva e flutuações de preços de *commodities*;
- **subsídios aos combustíveis fósseis**, que ainda são muito significativos em todo o mundo, apesar dos movimentos em direção a uma eliminação progressiva;
- **baixo estado de maturação tecnologias chave** para conversão de algumas matérias-primas e produtos.

A *International Renewable Energy Agency* (IRENA) comparou os custos de produção dos principais combustíveis fósseis e dos biocombustíveis substitutos. IRENA concluiu que a inovação pode reduzir o custo da produção de biocombustíveis avançados (entre eles o etanol) em até um terço nas próximas três décadas. No entanto, **eles podem não se tornar consistentemente competitivos sem um preço para as emissões de carbono**. Juntamente com a inovação tecnológica, **são necessárias políticas e modelos de negócios para abrir caminho, garantindo que as fábricas continuem a ser construídas e os custos de produção continuem a diminuir** (IRENA, 2016).

O Gráfico 1 sintetiza o resultado do citado estudo, no qual se observa que, embora os combustíveis fósseis apresentem uma faixa de custos de produção mais extensa, em que custos menores são possíveis, há uma faixa de custos de produção dos álcoois (etanol) na qual eles se mostram competitivos em relação à gasolina.

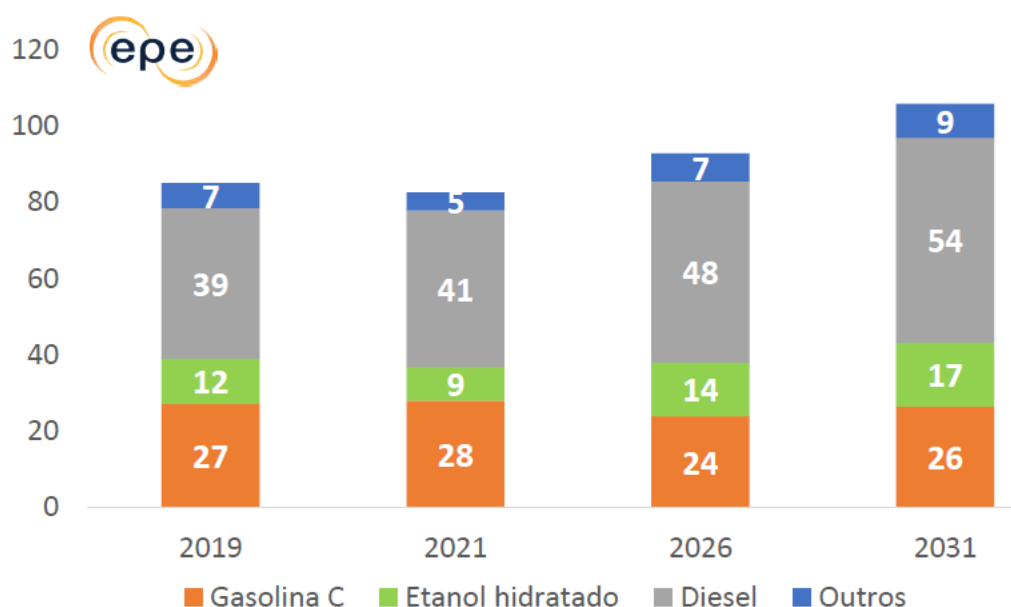
Gráfico 1 - Custos de produção atuais e projetados para fósseis e biocombustíveis



Entre as diversas estimativas de impacto do RenovaBio realizadas pelo MME antes de seu lançamento, foi constatado o **risco de perda de competitividade** do etanol hidratado em relação à gasolina ao longo dos próximos anos, dada a **ausência de investimentos em aumento da produtividade**. O encarecimento do etanol diminuiria a competitividade em relação à gasolina, o que levaria o consumidor a optar por esta, pressionando a demanda pelo combustível fóssil e diminuindo os volumes de etanol hidratado (BRASIL, 2017b, p. 122).

Estudo recente da EPE indica que, no que tange ao etanol, o objetivo do RenovaBio de aumento da participação dos biocombustíveis na matriz de transportes **ainda não foi alcançado, após seus primeiros dois anos de funcionamento**, conforme se verifica no Gráfico 2. Em que pese as projeções otimistas para os próximos anos, o consumo do etanol hidratado na matriz de transportes brasileira caiu de 12% para 9% entre 2019 e 2021 (BRASIL, 2022f).

Gráfico 2 - Consumo do setor de transportes por fonte de energia (mil tep)



Fonte: (BRASIL, 2022f)

A literatura é farta em estudos sobre as características e efeitos dos mandatos e incentivos fiscais na produção de biocombustíveis. Contudo, dada a ainda breve experiência brasileira com mercados do carbono, pouco se estudou sobre os **efeitos combinados dos créditos de carbono com os mandatos e os incentivos fiscais**.

Com base nessa exposição, o problema de pesquisa que se identifica é entender por que o mercado de créditos de carbono ainda não impulsionou a participação do etanol na matriz de transportes nacional. A solução desse problema passa por avaliar como se comportaram os principais instrumentos regulatórios que compõe o RenovaBio ao longo de 2020 e 2021.

Uma possível explicação seria que os choques de demanda e oferta trazidos pela pandemia de Covid-19 impediram que o mecanismo funcionasse como esperado. A hipótese alternativa que se aventa é que há falha no desenho da regulação, que combinou os CBIO em **desequilíbrio com uma agressiva política de mandatos e incentivos fiscais**.

2.2. A justificativa

De acordo com “Guia prático de análise *ex post*”, elaborado pela Casa Civil da Presidência da República, a avaliação de políticas públicas é executada como um processo sistemático, integrado e institucionalizado, tendo como premissa básica verificar a eficiência dos recursos públicos e, quando necessário, **identificar possibilidades de aperfeiçoamento da ação estatal**, com vistas à melhoria dos processos, dos resultados e da gestão (BRASIL, 2018).

Na avaliação, devem ser considerados, dentre outros aspectos, a forma como a política está sendo implementada, seus efeitos desejados e adversos, os principais *stakeholders* e a forma como os recursos públicos estão sendo utilizados. O resultado da avaliação deve oferecer subsídios para que possam ser propostas, se necessário, recomendações com oportunidades efetivas de aprimoramento e correção de rumos (BRASIL, 2018).

Nesse contexto, a presente pesquisa se justifica pela **proposição de hipóteses para o não atingimento dos objetivos do RenovaBio nos seus dois primeiros anos de funcionamento**. Um maior conhecimento sobre o impacto dos mandatos, incentivos fiscais e CBIO no mercado brasileiro de etanol pode oferecer subsídios, tanto para formuladores de políticas públicas quanto para reguladores e controladores, no cumprimento de suas atribuições para aperfeiçoamento do programa.

Segundo Bezerra E. (2018), a falta de efetiva experiência nacional com instrumentos de mercado na regulação pode ser uma das razões para que eles ainda não sejam compreendidos, por vezes mistificados e ainda não propriamente utilizados.

Ademais, a pesquisa se mostra oportuna. Apesar do início alvissareiro, o RenovaBio tem desafios relevantes à frente. Como principal programa nacional para descarbonização da matriz de transportes e fator de segurança do abastecimento de combustíveis, o RenovaBio é aspecto central do planejamento energético nacional.

Especialmente no momento de alta combinada do preço do barril do petróleo e da moeda norte-americana, vivenciado no primeiro semestre de 2022, no qual o impacto inflacionário foi perceptível para toda a população brasileira, o etanol poderia emergir como fator de pressão redutora nos preços dos combustíveis.

3. Objetivo

3.1. O objetivo geral

O propósito desta pesquisa é realizar uma avaliação executiva *ex post* sobre o impacto dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na competitividade do etanol na matriz energética brasileira, ao longo dos seus dois primeiros anos de funcionamento, com vistas a oferecer subsídios para formuladores de políticas públicas, reguladores e controladores ao seu aperfeiçoamento.

3.2. Os objetivos específicos

- caracterizar os principais aspectos econômicos relacionados aos mercados de carbono;
- identificar os fatores influenciadores da dinâmica competitiva do mercado sucroenergético nacional;
- estimar as parcelas de incentivo dadas aos produtores de etanol em decorrência dos mandatos, incentivos fiscais e CBIO;

3.3. Os resultados esperados

- confirmação/rejeição das premissas estabelecidas pelo MME quando do desenho do RenovaBio;
- indicação de hipóteses de possíveis barreiras regulatórias à competitividade do etanol.

4. Metodologia

Adotou-se metodologia híbrida baseada em pesquisa documental exploratória e avaliação quantitativa de dados.

A pesquisa documental foi fundamentada em levantamento bibliográfico e revisão de apresentações de especialistas em seminários, com o objetivo de conhecer e analisar qualitativamente o objeto de estudo. A partir de palavras-chave, filtros de critérios de busca e horizonte temporal (bibliometria), foram pesquisadas nas principais bases de dados brasileiras e internacionais, trabalhos relacionados ao desenho do RenovaBio, precificação de carbono e competitividade do etanol no mercado brasileiro.

Ainda, a pesquisa contou com valiosos esclarecimentos prestados por especialistas do MME, do Instituto Pecege e da União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (Unica) em entrevistas não estruturadas, acerca das especificidades da indústria sucroalcooleira nacional.

Para a parte quantitativa da pesquisa, as amostras de dados de produção, volume de vendas, preços e renúncias fiscais foram coletadas eletronicamente a partir do acesso público disponível nos sítios institucionais da B3 (preço CBIO), do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), unidade da Universidade de São Paulo (USP), da ANP e da EPE (preço do etanol, preço da gasolina e volumes produzidos e comercializados), e analisadas com o auxílio de *softwares* estatísticos (Excel e R Studio).

A receita dos produtores de etanol com os CBIO foi comparada com o montante de renúncia fiscal estimado a partir da metodologia desenvolvida por (CAVALCANTI, 2011) e o custo do mandato de mistura obrigatória de etanol anidro à gasolina A, como forma de se comparar a materialidade da política de créditos de carbono com as de incentivos fiscais e de mandatos. O preço relativo etanol/gasolina (P_E/P_G) foi utilizado como *proxy* para se estimar alterações na dinâmica da competitividade do etanol no segmento do Ciclo Otto.

Caracterizados o problema de pesquisa, sua justificativa, os objetivos e a metodologia do trabalho, no próximo capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos da precificação de carbono.

5. Fundamentos teóricos da precificação do carbono

A introdução dos instrumentos de mercado no âmbito das políticas ambientais remonta à Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992, no Rio de Janeiro (Rio 92). Até então prevaleciam os clássicos instrumentos de comando e controle. O crescimento das preocupações sobre a exaustão dos recursos naturais levou ao desenvolvimento da gestão ambiental em todo mundo e culminou, mais recentemente, na elaboração dos primeiros mecanismos de mercado para mitigação das emissões de GEE, como os de precificação de carbono (BRASIL, 2020g).

No contexto dos acordo do clima e dos compromissos de redução de emissões de GEE, a implementação das NDC tornou-se um dos principais compromissos governamentais para limitar o aumento médio da temperatura abaixo de 1,5° C acima dos níveis pré-industriais. Entre diversas alternativas, a política de internalização das externalidades ambientais globais por intermédio da precificação de carbono tem sido indicada como a **abordagem mais custo-efetiva** (BRASIL, 2020g).

Com base no entendimento de que as teorias subjacentes às políticas públicas exercem forte influência sobre sua lógica e seus instrumentos, a presente seção busca revisitar aspectos teóricos fundamentais à precificação de carbono, para que se possa construir uma análise crítica acerca dos CBIO, como parte da estratégia nacional para transição para uma economia de baixo carbono.

5.1. As funções do governo

Para Musgrave e Musgrave (1980) a ação do governo abrange três funções básicas:

- **alocativa**, diz respeito ao fornecimento de bens públicos e meritórios;
- **distributiva**, associada a ajustes na distribuição de renda que permitam que a distribuição prevalecente seja aquela considerada justa pela sociedade; e
- **estabilizadora**, que tem como objetivo o uso da política econômica visando a um alto nível de emprego, à estabilidade dos preços e à obtenção de uma taxa apropriada de crescimento econômico.

Na função alocativa, o governo se responsabiliza pela coordenação entre produtores e consumidores de bens públicos e meritórios. Os primeiros são bens cuja principal característica é gerar benefícios sociais maiores que os benefícios privados, sendo, normalmente, sub-ofertados pelo mercado. Trata-se, portanto, da forma como o Estado influencia e promove o direcionamento dos fatores produtivos (capital, mão de obra e recursos naturais) entre as várias alternativas possíveis, a fim de produzir bens

e serviços. Para ser ofertada na quantidade e preços compatíveis com os padrões de renda e desenvolvimento nacional, o conjunto de bens e serviços requer, por vezes, incentivos especiais providos pelo Estado, como tributos e renúncias fiscais (CAVALCANTI, 2011).

Na função distributiva, o governo também utiliza mecanismos como tributos e renúncia fiscal para distribuir a renda da economia. Recursos são captados dos que possuem maior renda, a partir da tributação da renda ou dos bens considerados supérfluos, e distribuídos por meio de subsídios para bens com elevada participação no consumo da população de baixa renda (CAVALCANTI, 2011).

A função estabilizadora se justifica porque nem sempre os mecanismos de mercado são capazes de assegurar estabilidade. Assim, ela se associa à intervenção do Estado por meio das políticas macroeconômicas, como a monetária e a fiscal, que interferem nos níveis de emprego, renda, juros, câmbio e crescimento (CAVALCANTI, 2011).

Para Stiglitz (2000), a manutenção dessa estabilidade do mercado é um dos principais objetivos do Estado, assim melhorando a distribuição de renda e alocando os recursos com maior eficiência, cabendo-lhe, então, regular e corrigir as **falhas de mercado**.

5.2. As falhas de mercado

A Economia é uma ciência que tem como objeto os fenômenos sociais que envolvem escolhas sobre a utilização de recursos. Três princípios formam as bases da Economia clássica: da escolha racional, do equilíbrio e da eficiência (BEZERRA E., 2018, apud RODRIGUES, 1994).

O primeiro indica que os agentes econômicos fazem escolhas buscando maximizar sua utilidade. O segundo preconiza que comportamentos coletivos podem ser extraídos das escolhas individuais, que tendem a um equilíbrio, e que se fundamentam na lei da oferta e da procura. Por fim, o terceiro enuncia que a atividade econômica se realiza com a busca da máxima eficiência produtiva e alocativa, que se concretiza no mercado (BEZERRA E., 2018, apud RODRIGUES, 1994).

Em uma economia de mercado, as decisões do planejador central são substituídas pelas decisões de empresas e famílias, que interagem no mercado, em que os preços e interesses próprios guiam suas decisões. Os mercados livres contêm muitos compradores e vendedores de diversos bens e serviços. Todos estão interessados, antes de tudo, no seu próprio bem-estar. Ninguém cuida do bem-estar econômico de toda a sociedade. Ainda assim, apesar da tomada descentralizada de decisões e motivação pelo interesse particular, as economias de mercado têm se mostrado muito bem-sucedidas na organização da atividade econômica para promover o bem-estar econômico geral (MANKIWI, 2013).

Ensina Varian (2012) que o Primeiro Teorema do Bem-Estar garante que um mercado competitivo irá esgotar todos os ganhos de trocas: “uma alocação de equilíbrio alcançada por um conjunto de mercados competitivos será necessariamente eficiente no sentido de Pareto”.

No **ótimo de Pareto**, os recursos escassos são usados e os bens e serviços alocados de uma forma tão eficiente pelos participantes do mercado, que é impossível uma nova distribuição de forma a melhorar a situação de alguns participantes, sem prejudicar simultaneamente a de qualquer outro (BEZERRA E., 2018).

Ou seja, o teorema enuncia que o livre funcionamento do mecanismo de mercado gera um ótimo social de Pareto. No entanto, este resultado, em que nenhuma das partes pode melhorar sem que outras partes sejam prejudicadas, requer determinadas premissas. Apesar de o livre mercado ser um mecanismo com virtudes para atingir o maior bem-estar social possível, este não é imune a **falhas**.

Da perspectiva da teoria econômica, a motivação para regular decorre justamente da quebra das premissas subjacentes ao Primeiro Teorema do Bem-Estar, que fazem com que o mecanismo de mercado, de forma isolada, não seja mais capaz de levar a economia a um ponto de ótimo social de Pareto.

Segundo Mankiw (2013, p. 9), os economistas usam a expressão “**falha de mercado**” para se referirem a uma “situação em que o mercado, por si só, não consegue produzir uma alocação eficiente de recursos”. Para o autor, embora a “mão invisível” leve os mercados a alocar os recursos de forma eficiente para maximizar o tamanho do bolo econômico, isso nem sempre acontece.

Para Mankiw (2013, p. 9), “a mão invisível poderá fazer maravilhas apenas se o governo garantir o cumprimento das regras e mantiver as instituições principais da economia”, ao que anotou que “a mão invisível é poderosa, mas não é onipotente”. Assim, o autor lista dois motivos para que um governo intervenha na economia: promover a eficiência e promover a igualdade.

Baldwin, Cave e Lodge (2011) apresentam um conjunto de objetivos do Estado para correção de falhas de mercado que incluem corrigir o poder de barganha desigual entre grupos, garantir a continuidade e a disponibilidade do serviço, corrigir assimetrias de informação e problemas derivados do poder de mercado dos agentes, entre outros.

Para os objetivos desta pesquisa destacam-se entre as falhas de mercado que abrem espaço para a regulação pelo Estado as **externalidades** e a **tragédia dos comuns**.

5.2.1. Externalidades

Varian (2012, p. 679) diz que uma situação econômica envolve uma externalidade de consumo se um consumidor se preocupar diretamente com a produção ou o consumo

de outro agente. Em mesmo sentido, Mankiw (2013, p. 9-10) anota que a externalidade é o impacto das ações de uma pessoa sobre o bem-estar dos que estão próximos. Para Campos (2009, p. 6), a externalidade surge quando as empresas ou indivíduos realizam ações que levam em consideração somente os benefícios e os custos privados, e não os custos e benefícios sociais (significando o impacto em todos os outros agentes que não participam diretamente de uma transação de mercado).

Quando o benefício social é maior do que o benefício privado, a externalidade é definida como positiva. A **externalidade negativa**, contrariamente, é caracterizada quando os custos dos produtores ou vendedores, chamados de custos privados, não são totalmente internalizados. Esses custos, então, são distribuídos e absorvidos pela sociedade (CAMPOS, 2009). **Externalidades positivas** existem quando alguém que não faz parte da transação se beneficia dela. Externalidades negativas existem quando alguém não faz parte da transação é prejudicado pela transação.

É premissa do Primeiro Teorema de Bem-Estar que os efeitos de uma transação sobre o bem-estar se restrinjam aos agentes que dela participam. Nesta hipótese, tais agentes "internalizam" em suas decisões de produção e trocam todos os efeitos economicamente relevantes da transação. Quando a transação afeta terceiros, há efeitos que não são internalizados no processo decisório dos agentes, abrindo um potencial para que o mecanismo de mercado não leve a economia ao seu ponto de maior eficiência. Havendo externalidades negativas, os agentes transacionam mais do que seria o ótimo social (CAMPOS, 2009).

A degradação ambiental é um tipo de externalidade negativa na medida em que o subproduto gerado pela atividade econômica, ao ser consumido pela sociedade de forma forçada, provoca a deterioração dos fatores de produção dos demais agentes econômicos e a perda de bem-estar dos indivíduos (CAMPOS, 2009).

5.2.2. Tragédia dos comuns

A Tragédia do Uso Comum (ou tragédia dos comuns) refere-se à tendência de a propriedade comum de recursos escassos ser sobreutilizada, e pode ser entendido como um caso extremo de externalidade negativa. Em síntese, na tragédia dos comuns o livre acesso e a demanda irrestrita de um recurso finito terminam por condenar estruturalmente o recurso devido sua superexploração (VARIAN, 2012).

Isso se deve porque, tal qual um bem público, um recurso comum é caracterizado por não exclusão. Ou seja, não é possível ou é muito custoso impedir que outro indivíduo explore o recurso. Mas, ao contrário de um bem público, existe rivalidade no consumo do recurso: seu uso por um indivíduo reduz a disponibilidade para outros.

Varian (2012, p. 695-698) ilustrou a tragédia dos comuns por meio do caso hipotético de uma pastagem utilizada compartilhadamente por todos os integrantes de uma comunidade para criação de bois. Embora os bois sejam propriedade privada de cada

um dos integrantes da comunidade, não há direitos de propriedade sobre a pastagem. Todos a utilizam conforme sua conveniência.

Cada um deseja maximizar sua produção a partir de seus próprios bois, aumentando o tamanho do seu rebanho na propriedade comunal da terra sempre que for possível. O problema é que quanto mais gado numa mesma pastagem, mais se degrada a terra. Há uma quantidade limitada de pasto com alimento e se o número de bois aumentar muito, o alimento se escasseará para todos.

Cada boi a mais gera lucros adicionais para cada cidadão, mas reduz a disponibilidade de pasto para os bois dos demais (por isso o efeito de externalidade negativa). Ou seja, a divisão destes custos e benefícios é desigual: o pastor individual ganha todas as vantagens, mas as desvantagens são compartilhadas entre todos os pastores que usam a pastagem. Consequentemente, para um integrante individual comunitário, a ação racional é sempre acrescentar um animal extra.

Todavia, visto que todos os pastores chegam à mesma conclusão racional, a superexploração e a degradação são o destino de longo prazo da pastagem. Cada boi a mais no pasto reduz a produtividade de todos os outros bois cuja propriedade está espalhada entre os vários integrantes da comunidade. Hardin (1968) denominou essa situação como “tragédia dos bens comuns”.

5.3. O meio ambiente e as falhas de mercado

Os bens ambientais são usualmente bens de acesso livre, ou seja, bens cujo uso ou consumo, ainda que rival, não pode ser realizado de forma exclusiva, em razão de impossibilidade física ou mesmo dos elevados custos de vedação de acesso ao bem a terceiros. Adicionalmente, os recursos naturais durante muito tempo permitiram um consumo não rival, de modo que todos podiam usar ou consumir o bem sem que o uso ou o consumo de um afetasse a disponibilidade do recurso para os demais (BEZERRA E., 2018).

Todavia, os **bens ambientais têm se tornado rivais por conta da explosão populacional de seres humanos nos últimos séculos**. Assim, atualmente tais bens têm adquirido características de tragédia dos comuns.

Por se tratar de bens de acesso livre, existe tendência aos indivíduos que apresentem consumos rivais a retirar do bem, no menor espaço de tempo possível, os benefícios pelos quais procura, de modo a antecipar-se ao seu rival que, pensando e agindo da mesma forma, contribuirá, como todos que estejam se utilizando de um bem de acesso livre, para uma sobreutilização do recurso ou para seu consumo excessivo (BEZERRA E., 2018).

Ao se deparar com recursos naturais, cujo acesso é livre e cujo uso ou consumo é rival, o mercado falha, eis que os referidos bens ou não têm preço, ou seu preço não

traduz um reflexo fiel do seu valor, gerando distorções no seu uso e consumo (BEZERRA E., 2018). Essa postura individualista que leva cada um a procurar maximizar seu interesse à custa do outro, também conhecida na regulação como comportamento *free rider* (CARNEIRO, 2001, p. 69).

Para a Economia Ambiental, a solução para degradação causada pelo processo de produção se dá por meio da avaliação dos danos da poluição sobre o meio ambiente e consequente internalização dos custos pelo poluidor. Trata-se de uma clássica análise de custo-benefício dos mecanismos de controle e definição do mecanismo institucional a ser adotado (BRASIL, 2020g). Para Bezerra E. (2018), a solução apontada pela Economia para tais situações é que sejam criados mecanismos para que os custos ambientais das atividades produtivas sejam internalizados pelas próprias atividades, e não transferidos à sociedade.

Um desses mecanismos pode ser a tributação, nos moldes do **tributo pigouviano**. Fundamentado no Princípio do Poluidor-Pagador e desenvolvido na Teoria do Bem-Estar Social, de Arthur Cecil Pigou (1924), o gerador da externalidade negativa deve pagar um tributo que equaliza o custo marginal social e privado. Pigou defendia a intervenção estatal para a correção de externalidades negativas, por meio da cobrança de compensação financeira do agente econômico gerador dessa externalidade negativa (BRASIL, 2020g).

Para Pigou (1920), os impostos são os instrumentos mais adequados para alinhar o preço de um produto a seus custos, incluindo aqueles suportados por quem está sujeito às suas externalidades negativas. Portanto, impostos desempenhariam papel importante no processo de internalização de externalidades ambientais, assim melhorando a eficiência econômica.

No entanto, Bezerra E. (2018) alerta que essa abordagem de estabelecer um preço ótimo para determinado recurso, ajustando-o ao longo do tempo para se adaptar às mudanças de demanda e características do mercado regulado, não é simples de ser administrada.

Em direção oposta à teoria de Pigou, o economista Ronald Coase, em seu artigo "*The Problem of Social Cost*", de 1960, identificava a poluição como um problema decorrente de uma incompleta definição de direitos de propriedade aos bens coletivos, para os quais a internalização eficiente dos efeitos de suas atividades poderia ser negociada entre as partes interessadas, sem qualquer interferência estatal (BEZERRA E., 2018).

O Teorema de Coase preconiza que "quando os direitos de propriedade são bens definidos e o custo de transação é igual a zero, a solução final do processo de negociação entre as partes será eficiente, independentemente da parte a que assinalam os direitos de propriedade" (COASE, 1960).

Pelo teorema, independentemente de quem tenha os direitos de propriedade, o poluidor ou aqueles que sofrem a poluição, esses agentes vão negociar até chegar a um acordo em que cada uma das partes fique em melhor situação e o resultado seja eficiente, no nível ótimo de poluição (BRASIL, 2020g).

Para Coase, a intervenção do Estado só é eficiente se eliminar os inconvenientes da externalidade ao menor custo. Ainda assim, mesmo que se possa eliminar a externalidade de forma eficiente, a intervenção do Estado é desnecessária se o mercado pode fazê-lo, sendo necessária apenas na definição do direito de propriedade, desde que não haja custos de transação relevantes (BEZERRA E., 2018, apud RODRIGUES, 1994).

Enquanto a teoria de Pigou utilizava a poluição ambiental como um clássico exemplo de externalidade negativa, como consequência não intencional da produção ou do consumo que reduz o bem-estar de um outro agente, prescrevendo como solução a intervenção do Estado com a instituição de um imposto, Ronald Coase identificava a poluição ambiental essencialmente como um problema decorrente de uma incompleta definição de direitos de propriedade (BEZERRA E., 2018). São duas formas diferentes de enxergar o mesmo problema.

Uma formulação mais realista do Teorema de Coase pressupõe que, em situações reais, sempre haverá custos de transação, mas basta que eles sejam reduzidos para que a livre negociação assegure um resultado eficiente: “se os custos de transação forem suficientemente baixos, qualquer definição inicial dos direitos de propriedade leva a um resultado eficiente (BEZERRA E., 2018, apud RODRIGUES, 1994).

Importante deixar claro que Coase não acreditava que os mercados resolveriam todos os problemas econômicos, tampouco pregou que ao Estado não cabia outro papel senão definir direitos de propriedade. O que pretendeu em seus estudos foi apontar para a importância de custos de transação reduzidos, a demandar, por vezes, a intervenção do Estado. Seriam necessários, portanto, direitos de propriedade bem definidos e custos de transação reduzidos, além de livre acesso à informação, para que as partes chegassem a bom termo acerca da alocação eficiente dos custos ambientais (BEZERRA E., 2018, apud RODRIGUES, 1994).

Independentemente de críticas e discussões, estes primeiros estudos da Economia Ambiental indicavam, para a internalização das externalidades negativas, (i) a necessidade de intervenção do Estado com a cobrança de impostos (Pigou) ou (ii) a adequada definição de direitos de propriedade e baixos custos de transação (Coase).

Essas teorias foram cruciais para a construção do Princípio do Poluidor-Pagador e seus corolários, cuja essência é garantir a internalização das externalidades negativas. Afinal, “o agente econômico que provoca uma externalidade negativa recebe a totalidade dos benefícios da sua atividade, mas impõe parte dos custos a outros membros da sociedade” (BEZERRA E., 2018, apud RODRIGUES, 1994).

Ainda hoje, são as abordagens de Pigou e Coase que fundamentam as bases nas quais se sustentam as políticas públicas de defesa do meio ambiente. Além disso, também refletem a tendência de as políticas ambientais deixarem de ser apenas de comando e controle para se basearem em mecanismos econômicos que fornecem maior flexibilidade e efetividade para o alcance das metas, como indicado por Ronald Coase e Arthur Pigou (BRASIL, 2020g).

Além dos instrumentos “pigouviano” e os “coaseanos”, os instrumentos de comando e controle, também chamados de instrumentos de regulação direta, são aqueles que fixam normas, regras, procedimentos e padrões determinados para as atividades econômicas a fim de assegurar o cumprimento dos objetivos da política em questão e o não cumprimento acarreta sanções de cunho penal e administrativo. Requerem fiscalização contínua e efetiva por parte do regulador, implicando altos custos de implementação (LUSTOSA; YOUNG, 2013).

Os mandatos de biocombustíveis são os mais tradicionais, de longe, os mais amplamente divulgados e, sem dúvida, o instrumento regulatório de comando e controle mais relevante de apoio ao desenvolvimento de biocombustíveis em todo o mundo, atingindo 65 países em 2021 (LACERDA *et al.*, 2022).

O mandato de mistura obrigatória de etanol anidro à gasolina A perfaz, então, um típico instrumento regulatório de comando e controle, por meio do qual o Estado simplesmente determina o uso da alternativa menos poluente, assim mitigando os efeitos da falha de mercado. Essa alternativa é eficaz na redução de GEE, todavia pode ser incompleta na seleção da alternativa de menor custo para reduzir emissões.

5.4. Os instrumentos de precificação de carbono

Na presença de externalidade negativa ou tragédia dos comuns, como no caso de emissão de GEE, o preço dos bens, em geral, não reflete os impactos ambientais causados ao longo do seu ciclo de vida. A precificação do carbono é uma forma de atribuir custo aos impactos gerados pelo aumento de emissões na atmosfera. A precificação afeta os preços relativos de produtos, aumentando a atratividade daqueles com menor intensidade de carbono. Assim, o preço do carbono visa gerar incentivos para mudar o comportamento dos agentes econômicos, que buscarão desenvolver produtos e serviços menos carbono-intensivos (BRASIL, 2020g).

A falta de sinalização dos custos das emissões de GEE é uma das maiores dificuldades do controle das emissões no setor energético, resultando em ineficiência econômica. Nesse contexto, a valoração dessas emissões permite a internalização das externalidades produzidas pelo setor de energia, assim como dos outros setores. A precificação é derivada do Princípio do Poluidor-Pagador e tem como um dos objetivos impulsionar a diminuição das emissões de carbono por meio de sua reflexão nos custos e nos preços dos produtos e serviços (BRASIL, 2020g).

A precificação de carbono como parte de estratégias de intervenção pública pode ser classificada em três categorias: preço negativo, implícito ou explícito. A primeira inclui subsídios ou suporte para produção ou uso de combustíveis fósseis que levam a emissões de carbono, atuando no sentido contrário à redução de emissões de GEE. No preço implícito, restrições de emissão estipuladas pelo órgão competente representam, implicitamente, um custo sobre a emissão, na medida em que demandam alterações em tecnologias, combustíveis ou processos, que implicam um gasto adicional para o responsável pelas emissões, como por exemplo os tributos que incidem sobre combustíveis fósseis (BRASIL, 2020g).

Brasil (2020f) anota que na categoria de preço explícito, a precificação é direta e pode ser estruturada em dois principais formatos:

- tributo sobre carbono (*carbon tax*) aplicado diretamente às emissões de GEE ou ao carbono presente nos combustíveis fósseis produzidos;
- sistema de comércio de emissões (SCE), (*emissions trading mechanisms*).

A tributação do carbono e os SCE são considerados equivalentes teóricos, pois partem do mesmo princípio, a precificação do carbono, para alcançar o mesmo fim, a redução das emissões de GEE, por meio da equalização dos custos marginais de abatimento dos diferentes agentes do mercado (BRASIL, 2020g).

Tanto a tributação quanto o SCE são mecanismos econômicos. No primeiro, o preço da emissão de uma tCO_{2eq} é definido pelo órgão competente e, em seguida, o mercado define a quantidade de GEE emitida. Pode ser aplicada proporcional à tonelada de dióxido de carbono equivalente emitida ($R\$/tCO_{2eq}$) ou **por meio da tributação dos combustíveis fósseis**, de acordo com seu teor de carbono. No segundo, cabe ao órgão regulador definir a quantidade a ser emitida (o teto ou limite de emissões) para que o mercado defina o preço da tonelada (BRASIL, 2020g).

De acordo com o relato de Baldwin, Cave e Lodge (2015), os SCE apresentam inúmeras variações, dentre as quais se destacam os sistemas de *cap and trade* e de *baseline and credit*. No *cap and trade*, um número pré-determinado de licenças é criado, permitindo a emissão de uma quantidade de poluentes. Estas licenças são então alocadas ou vendidas aos agentes de mercado, que podem comercializá-las. No sistema de *baseline and credit*, por outro lado, uma linha de base é estabelecida. A partir delas, os agentes de mercado podem gerar créditos para si, reduzindo as suas emissões a níveis inferiores aos da linha de base que lhe foi estipulada. Os créditos gerados podem então ser negociados no mercado.

A tributação, por um lado, fornece **certeza sobre custos e reduz riscos para investidores**. Por outro lado, **não garante o resultado ambiental almejado**. Já um SCE, uma vez que estabelece um teto de emissões, **assegura resultados ambientais**. Contudo, **implica volatilidade de preço e riscos aos atores econômicos envolvidos** (BRASIL, 2020g).

A principal vantagem do SCE é que o mercado normalmente conhece melhor que o governo qual a solução menos custosa para cortar emissões. Na tributação é o governo quem faz essa escolha, normalmente na forma de uma tributação igual para todos os setores. Logo, o preço das emissões de CO₂ é bem definido. Nos SCE o preço sobre licenças é volátil, vez que seu número é fixo e a demanda varia. Além disso, os custos de transação para implantação do sistema tendem a ser maiores.

Seja por meio da tributação ou do estabelecimento de um SCE, a precificação de carbono, ao introduzir um sinal de preços no mercado, dá a flexibilidade necessária aos entes regulados, que podem escolher entre pagar o preço de carbono ou reduzir suas emissões, dependendo do custo marginal de abatimento e do preço de mercado (BRASIL, 2020g).

Os fundamentos teóricos ora apresentados são a base para compreensão do RenovaBio e seus principais instrumentos regulatórios, que serão apresentados no próximo capítulo.

6. O RenovaBio

O RenovaBio é uma política de Estado instituída pela Lei 13.576/2017, posteriormente regulamentada pelo Decreto 9.888/2019, sendo este o marco legal da Política Nacional de Biocombustíveis (BRASIL, 2017b).

A política reconhece o papel estratégico de todos os biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano, bioquerosene etc.) na matriz energética brasileira, quanto à sua contribuição para a segurança energética, a previsibilidade do mercado e a mitigação de redução de emissões de GEE no setor de transportes, contribuindo assim para cumprimento das NDC brasileira nos acordos internacionais do clima.

Segundo Brasil (2016), são objetivos do RenovaBio:

- fornecer uma importante contribuição para o cumprimento das NDC do Brasil no âmbito do Acordo de Paris;
- promover a adequada **expansão dos biocombustíveis na matriz energética**, com ênfase na **regularidade do abastecimento**; e
- assegurar previsibilidade para o mercado de combustíveis, induzindo **ganhos de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa** na produção, comercialização e uso de biocombustíveis.

A formulação do programa valeu-se da experiência de outros países, como o *Renewable Fuel Standard Program*, dos Estados Unidos (2005), o *Low Carbon Fuel Standard*, também americano, mas específico para o estado da Califórnia (2011), e o *Renewable Energy Directive*, da União Europeia (2009) (BRASIL, 2017b).

O RenovaBio entrou em operação em 24 de dezembro de 2019, quando se iniciou a o registro e a comercialização dos créditos de carbono na B3, principal bolsa de valores brasileira.

6.1. O funcionamento

Nos termos do art. 4º da Lei 13.576/2017, o RenovaBio dispõe de seis instrumentos regulatórios (BRASIL, 2017a):

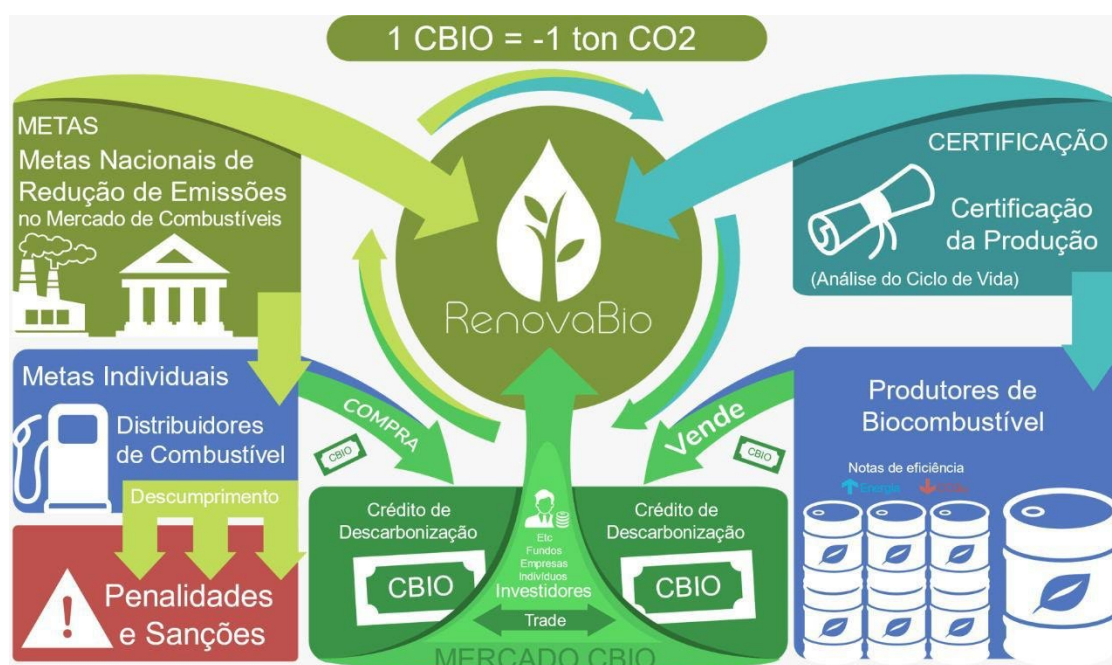
- as **metas** de redução de emissões de GEE na matriz energética (inciso I);
- a **certificação** de biocombustíveis (inciso III);
- os **créditos de descarbonização** (inciso II);
- as **adições compulsórias** de biocombustíveis aos fósseis (inciso IV);

- os **incentivos fiscais**, financeiros e creditícios (inciso V); e
- as ações no âmbito do Acordo de Paris (inciso VI).

Os incentivos fiscais e as adições compulsórias já existiam anteriormente ao programa e serão mais bem caracterizados nos capítulos seguintes, enquanto as ações no âmbito do Acordo de Paris não serão consideradas nesta pesquisa, dado não se tratar de instrumento regulatório econômico.

As metas, a certificação e os CBIO são instrumentos integrados, cujo funcionamento segue representado à Figura 2. Esses três instrumentos perfazem o cerne da inovação regulatória trazida pelo RenovaBio.

Figura 2 - Esquema de funcionamento do RenovaBio



Fonte: fornecido por MME

Anualmente, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) estabelece metas nacionais de redução de emissões para os dez anos seguintes, as quais são desdobradas para os distribuidores de combustíveis, que são a parte obrigada da política. Os produtores voluntariamente certificam sua produção e recebem notas de eficiência energético-ambiental (NEEA). Essas notas são multiplicadas pela parcela elegível do volume de biocombustível produzido, resultando na quantidade de CBIO que o produtor poderá emitir e vender no mercado (BRASIL, 2016).

A seguir, esses instrumentos serão detalhados.

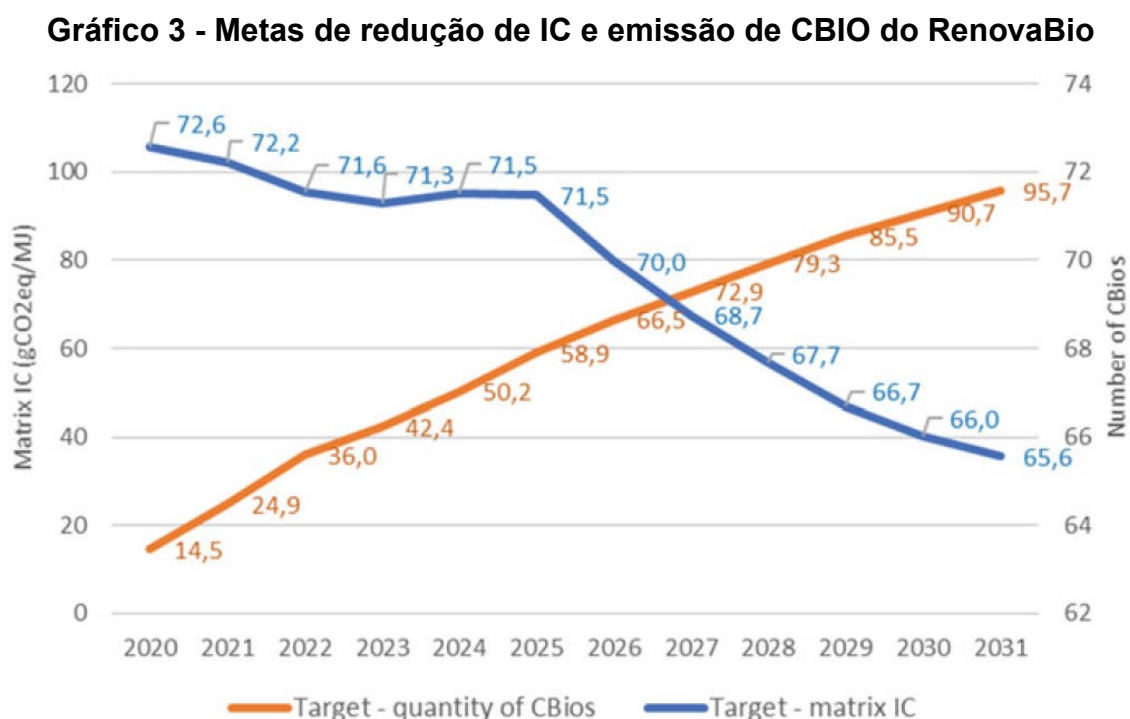
6.1.1. As metas de descarbonização

A meta de descarbonização traduz a redução da intensidade de carbono (IC) desejada para a matriz de transportes. A IC, expressa em gramas de CO₂ equivalente por mega joule (g CO_{2eq}/MJ), é determinada a partir da IC média de cada combustível que compõe a matriz de transportes, ponderada pela contribuição energética dos respectivos produtos na oferta total de energia do setor (LACERDA *et al.*, 2022).

Para o cálculo das metas o MME utilizou modelagem numérica baseada em sistemas dinâmicos. Tem como entrada de dados a capacidade nacional de produção de combustíveis, preços e margens, projeções de ganho de eficiência dos motores, IC dos combustíveis, percentuais de mistura, taxas de crescimento da frota e variações de demanda, entre outras, para calcular a IC da matriz de combustíveis brasileira (gCO_{2eq}/MJ), as emissões totais (ton CO_{2eq}) e a demanda de combustível, para assim estimar a oferta de CBIO e seu impacto na cesta de combustíveis (BRASIL, 2017b).

As metas nacionais de redução de emissões para a matriz de combustíveis são desdobradas anualmente pela ANP em metas individuais de compra de CBIO para os distribuidores de combustíveis, conforme sua participação no mercado de combustíveis fósseis no ano anterior (BRASIL, 2017b).

As metas foram redefinidas na Resolução-CNPE 8/2020 (BRASIL, 2020j), em função dos efeitos recessórios causados pela pandemia do Covid-19. O CNPE revisou a meta para 2020 e para o período de 2022 a 2030, conforme ilustra o Gráfico 3.



Fonte: (LACERDA *et al.*, 2022, p. 378)

6.1.2. A certificação

Por meio da certificação da produção de biocombustíveis são atribuídas para cada produtor ou importador uma NEEA, em valor inversamente proporcional à intensidade de carbono do biocombustível produzido. A NEEA refletirá a contribuição individual de cada agente produtor para a mitigação de uma quantidade específica de GEE, em comparação ao seu substituto fóssil, em toneladas de CO₂ (BRASIL, 2020h).

A NEEA é calculada a partir da análise do ciclo de vida (ACV) do biocombustível produzido, assim determinando sua “pegada de carbono”. A ACV é uma metodologia padronizada por normas técnicas internacionais, que avalia as consequências ambientais associadas a um produto ou processo, determinando a quantidade de CO_{2eq} emitida em todas as etapas por unidade de energia relativa a cada combustível.

Maior será a nota do produtor que produzir maior quantidade de energia líquida, com menores emissões de CO_{2eq} no ciclo de vida. Para esse cálculo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desenvolveu uma calculadora informatizada para comprovação do desempenho ambiental da produção de biocombustíveis pelas usinas. Por meio da RenovaCalc os produtores detalham aspectos agrícolas e industriais de seus processos produtivos que resultam na emissão de carbono, relacionando eficiência energética e emissão de GEE (BRASIL, 2017b). Assim, a RenovaCalc determina a IC da produção de cada biocombustível, comparando-a com a dos combustíveis fósseis, assim determinando a NEEA.

Além da NEEA, o processo de certificação da produção de biocombustíveis leva em conta a origem da biomassa que serve de matéria-prima do biocombustível. No caso de biomassa produzida em território nacional, somente pode ser considerada aquela produzida em imóvel com Cadastro Ambiental Rural (CAR) ativo ou pendente e **sem ocorrência de supressão de vegetação nativa**. A parcela da produção devidamente comprovada em área regularizada dá origem ao volume elegível a ser multiplicado pela NEEA, determinando a quantidade de CBIO emissíveis (BRASIL, 2017b).

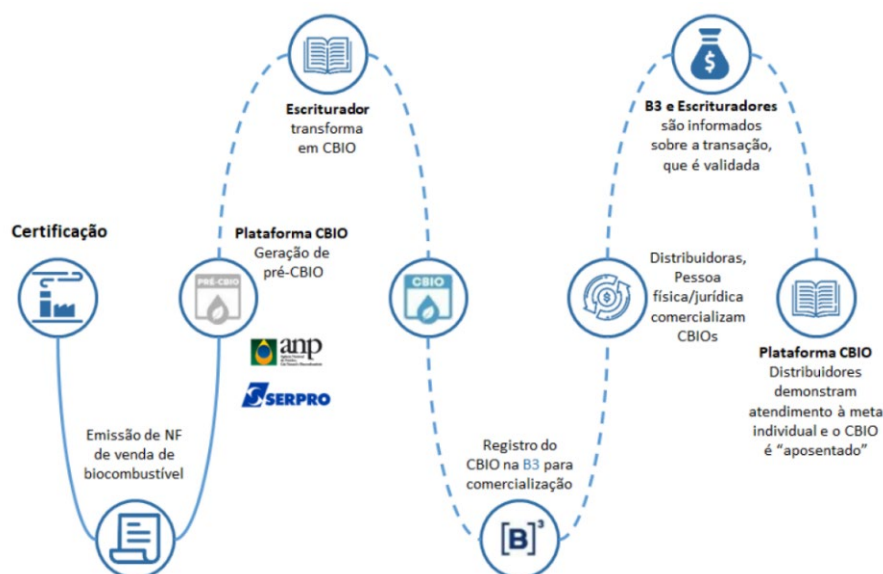
Os produtores e importadores de biocombustíveis que desejem aderir ao programa contratam firmas inspetoras credenciadas na ANP para realização da certificação, validação da NEEA e do volume elegível. O Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis terá validade de três anos, contados a partir da data de sua aprovação pela ANP e somente poderá ser emitido pela firma inspetora após a aprovação do processo pela agência (BRASIL, 2020h).

6.1.3. O CBIO

O CBIO é o ativo financeiro ambiental que equivale a 1 tonelada de emissões evitadas. As distribuidoras de combustíveis deverão comprovar o cumprimento de metas individuais compulsórias por meio da compra de CBIO, negociável em bolsa, derivado da certificação do processo produtivo de biocombustíveis, com base nos respectivos níveis de eficiência alcançados em relação a suas emissões (BRASIL, 2020h).

O fluxo do CBIO, desde a emissão até a aposentadoria, é dado na Figura 3, adiante.

Figura 3 - Funcionamento do mercado de CBIO



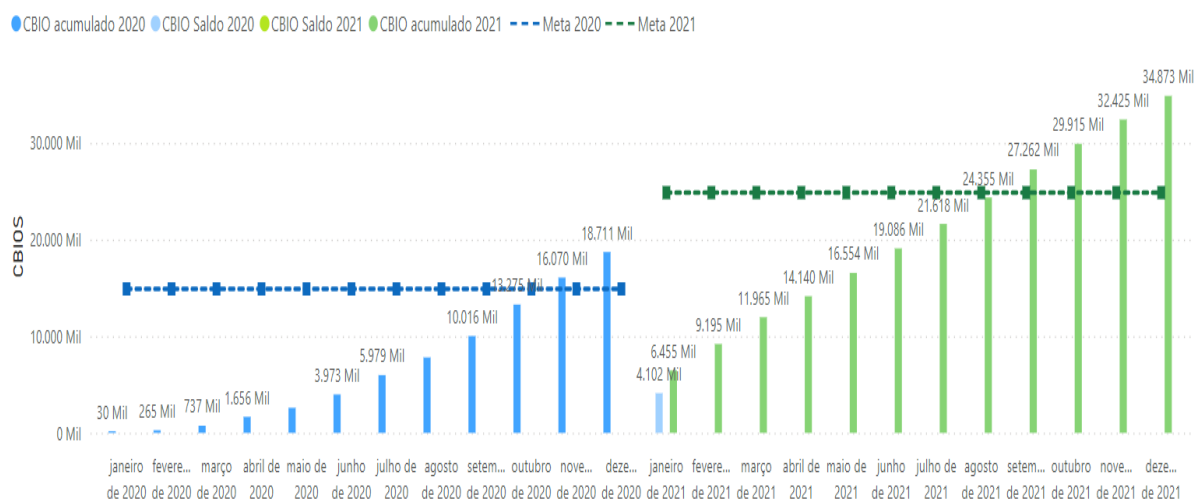
Fonte: (BRASIL, 2020a).

A seguir os principais resultados obtidos pelo RenovaBio ao longo de 2020 e 2021.

6.2. Os resultados

No Painel Dinâmico do RenovaBio mantido pela ANP consta que foram emitidos 53,6 milhões de CBIO entre 2020 e 2021 (Gráfico 4), assim evitando a emissão da mesma quantidade de toneladas de CO₂ (BRASIL, 2022i). Tal resultado é 36% superior à meta para o biênio estabelecida na Resolução-CNPE 8/2020 (BRASIL, 2020j).

Gráfico 4 - Evolução na geração de CBIO em 2020 e 2021



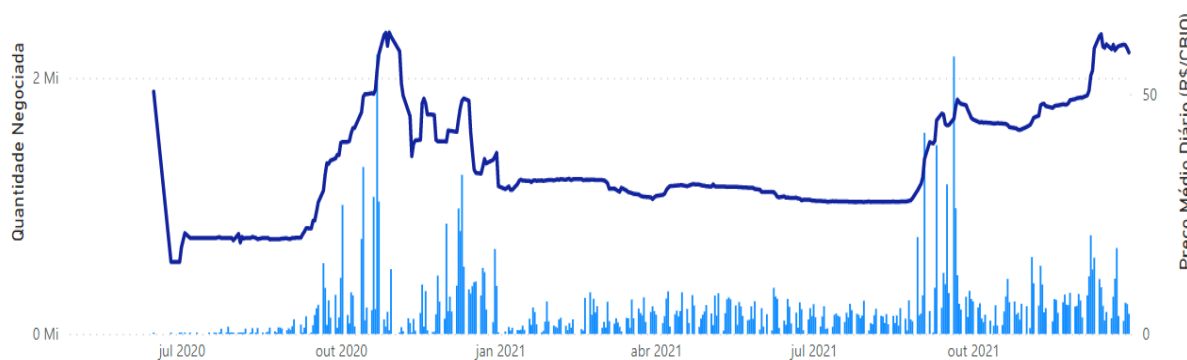
Fonte: Painel dinâmico do RenovaBio (BRASIL, 2022i)

Do total de CBIO emitidos, 49,5 milhões tiveram lastro gerado no período. Desses, **85,07% advêm da produção de etanol**, 14,64% de biodiesel e 0,29% de biometano. Os estados de SP, GO, MS, MG e MT são, nessa ordem, os detentores de 84% dos CBIO lastreados (BRASIL, 2022i).

Durante o biênio 2020-2021, a quantidade negociada e o preço dos CBIO variaram conforme ilustra o Gráfico 5. Percebe-se uma maior concentração das negociações, com conseqüente aumento do preço, na passagem do último trimestre do ano para o primeiro do ano subsequente. O preço médio do CBIO no período foi de **R\$ 40,69**.

Gráfico 5 - Quantidade negociada e preço médio (R\$/CBIO) entre 2020 e 2021

● Quantidade Negociada ● Preço Médio Diário (R\$/CBIO)



Fonte: Painel dinâmico do RenovaBio (BRASIL, 2022i)

No final do primeiro semestre de 2022 o preço do CBIO ultrapassou R\$ 200,00, quando então o Governo Federal interveio por meio do Decreto 11.141/2022, que adiou para 30 de setembro de 2023 — e não mais o fim de 2022 — o prazo para comprovar a compra de CBIO (BRASIL, 2022e), o que derrubou seu preço na B3.

Segundo levantamento de custos de produção do etanol do Instituto Pecege, com o amadurecimento do RenovaBio, os custos associados ao programa se reduziram, aumentando a margem líquida das usinas na comercialização dos certificados de descarbonização, conforme Tabela 1.

O maior ônus para as usinas corresponde às deduções tributárias. Os custos operacionais, os quais compreendem o processo de certificação e consultorias, a plataforma CBIO, bem como o processo de escrituração, custódia, corretagem e taxas, representaram cerca de 7,4% da receita bruta no primeiro ano do programa e 4,2% no segundo. Desta forma, conclui Pecege (2022) que **os custos operacionais são marginais ante a tributação incidente sobre a receita bruta**.

Tabela 1 - Rentabilidade da comercialização de CBIO (safras 20/21 e 21/22)

Item	2020/2021	2021/2022
Receita Bruta (R\$/l)	0,0568	0,0669

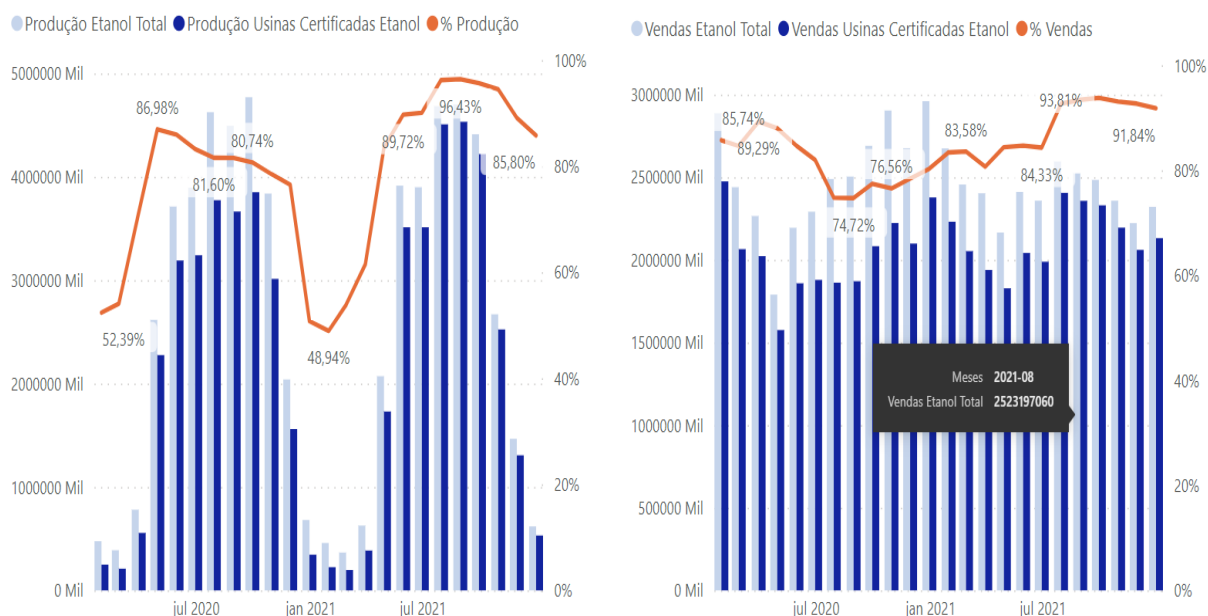
Receita Líquida (R\$/l)	0,0414	0,0486
Custos operacionais (% da Receita Bruta)	7,4%	4,2%
<i>Custos (R\$/l)</i>	<i>0,0042</i>	<i>0,0028</i>
<i>Certificação e Consultorias (R\$/l)</i>	<i>0,0013</i>	<i>0,0007</i>
<i>Plataforma CBIO (R\$/l)</i>	<i>0,0004</i>	<i>0,0002</i>
<i>Escrituração, Custódia, Corretagem e Taxas (R\$/l)</i>	<i>0,0024</i>	<i>0,0014</i>
<i>Outros custos (R\$/l)</i>		<i>0,0006</i>

Fonte: elaboração própria com base em (PECEGE, 2021) e (PECEGE, 2022).

Segundo Brasil (2020e), das 358 usinas de etanol em operação ao final de 2021, 277 estavam certificadas (74,82%). Dessas, 266 são usinas de primeira geração de cana, 6 de primeira geração flexíveis e 5 de etanol de milho. A maior parte das usinas certificadas encontra-se nos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Conforme indica o Gráfico 6, ao final de 2021 a produção de etanol era mais de 85% certificada. Em termos das vendas do biocombustível, no mesmo momento, mais de 90% eram oriundas de usinas certificadas.

Gráfico 6 - Certificação da produção e das vendas de etanol em 2020 e 2021

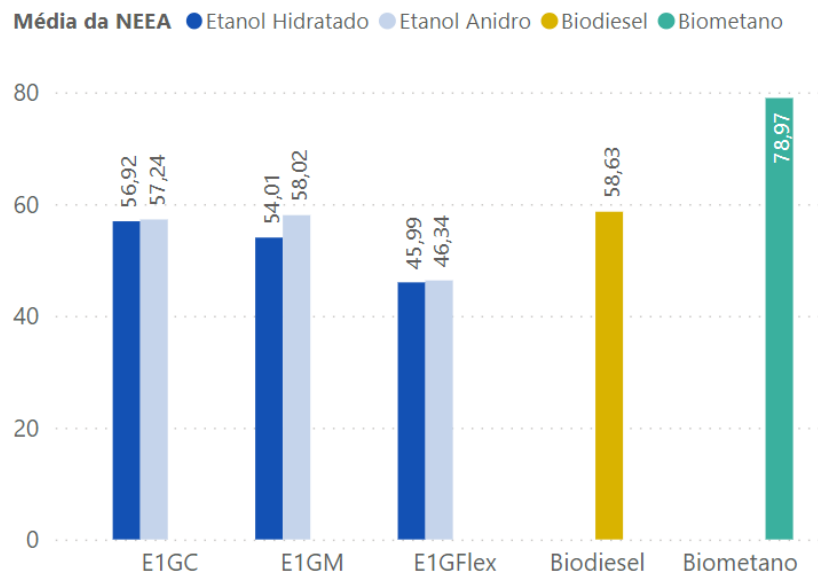


Fonte: (BRASIL, 2020f)

A NEEA das usinas de etanol é, em regra, inferior à das plantas de biodiesel e biometano, conforme pode ser visto no Gráfico 7. Isso se dá pelo fato de parte significativa da produção desses biocombustíveis advir de rejeitos (sebo bovino, bagaço, palha de cana e efluentes sanitários), o que lhes confere menor pegada de

carbono. Entre as usinas de etanol, as flexíveis são as mais eficientes ambientalmente, dado o melhor aproveitamento energético

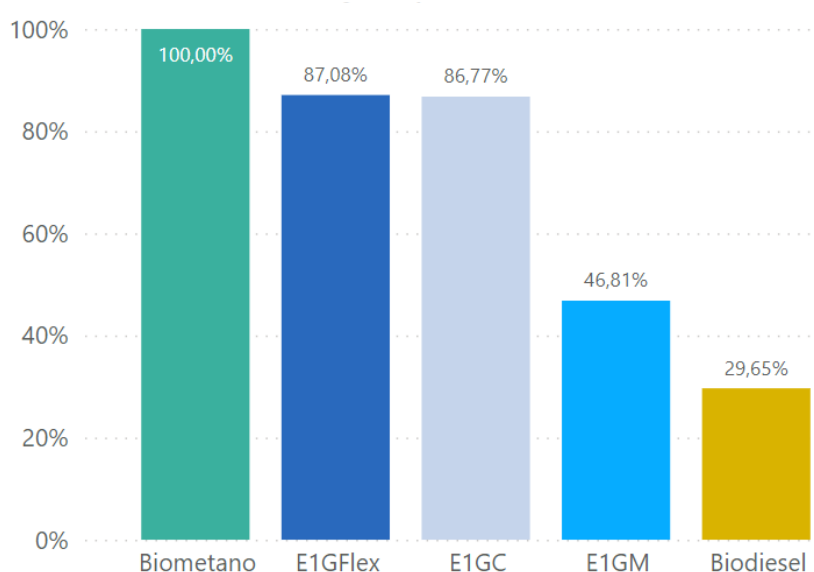
Gráfico 7 - Média da NEEA por rota tecnológica



Fonte: (BRASIL, 2020f)

Em contrapartida, a produção de etanol dispõe de maiores percentuais de volume elegível que a produção de biodiesel, tal qual indica o Gráfico 8. Dada a perecibilidade da cana, os canaviais se localizam próximos às usinas, sendo mais simples a comprovação da origem da biomassa. No caso da produção de biodiesel, cuja produção se concentra na soja, a rastreabilidade dos grãos é mais complexa, sendo esse um dos maiores desafios do RenovaBio: encontrar meios para conferir rastreabilidade à cadeia de custódia de grãos, para fins de comprovação da exigência de zero supressão de matas nativas.

Gráfico 8 - Média do % de volume elegível por rota



Fonte: (BRASIL, 2020f)

Vistos os principais elementos que compõem o RenovaBio, assim como seus principais resultados ao longo dos primeiros dois anos de funcionamento, no próximo item o programa será caracterizado a partir da fundamentação teórica.

6.3. O RenovaBio como instrumento de precificação de carbono

A partir dos fundamentos teóricos apresentados no Capítulo 5, verifica-se que estão presentes no RenovaBio as condições do Teorema de Coase para que este mecanismo de mercado possa ser considerado eficiente na internalização dos custos da externalidade negativa causada pela emissão de GEE.

De fato, as metas de redução da intensidade de carbono, associadas ao processo de certificação, composto pela NEEA e o volume elegível, e ao processo de geração de lastro do CBIO, perfazem elementos necessários e suficientes para a criação dos **direitos de propriedade** preconizados por Coase.

De igual modo, a comercialização dos CBIO em mercado organizado e o processo de certificação pelos produtores de biocombustíveis demandam custos que, conforme indicado na Tabela 1, são marginais em relação à receita bruta, logo perfazem **custos de transação** desprezíveis, que atendem a segunda condição do Teorema de Coase.

Contudo, o RenovaBio tem uma característica que o limita enquanto instrumento de mercado para internalização das externalidades negativas advindas da emissão de GEE. Esta reside no fato de que o programa foi montado restrito ao segmento de transportes. Por se tratar de um programa setorial, o RenovaBio indica as usinas ou as rotas tecnológicas mais eficientes na produção de biocombustíveis com menor pegada de carbono, **mas não a alternativa nacionalmente mais eficiente para a redução de emissões**.

Como um exemplo hipotético, imagina-se um mercado nacional de carbono, composto por todos os tipos de emissores de GEE (geradoras de energia elétrica, transportadores, empresas aéreas, indústrias energo-intensiva, grandes produtores rurais etc.), que poderia indicar que, no caso específico do Brasil, país no qual grande parte das emissões vêm do desmatamento de matas nativas, a alocação mais eficiente de recursos para redução das emissões poderia vir do reflorestamento de pastagens degradadas, sem necessidade de grandes investimentos para redução da intensidade de carbono das matrizes de transporte ou de geração de energia elétrica.

O grande número de competidores em um mesmo mercado, oriundos de diferentes segmentos ou elos de uma mesma cadeia produtiva e detentores de variadas tecnologias ou conhecimento sobre processos produtivos, selecionaria a alternativa mais eficiente para redução de emissões, considerando as especificidades daquele mercado. No caso do RenovaBio, este racional se restringe à seleção de usinas ou rotas tecnológicas mais eficientes. Em outras palavras, o ganho de eficiência alocativa do programa é tão menor quanto mais limitada sua abrangência.

Conforme anotou Lacerda et al. (2022), no mecanismo proposto pelo RenovaBio, as externalidades positivas se tornam um retorno econômico para o produtor de biocombustíveis, ao passo que as negativas se tornam um custo privado adicional aos fósseis. Cabe aos consumidores fazerem sua escolha, com base nos preços relativos, agora ajustados, de cada combustível.

Com esse desenho, o RenovaBio valoriza ganhos de eficiência na produção, induzindo investimentos em novas práticas e produtos para redução de emissões. Tais ganhos de eficiência, por sua vez, **podem ser transferidos para o consumidor final por meio da competição entre diferentes combustíveis e até mesmo entre os diferentes biocombustíveis** (LACERDA *et al.*, 2022).

Com base nesta exposição, verifica-se que o RenovaBio pode ser definido como um programa de incentivo aos biocombustíveis que reconhece seu papel estratégico de descarbonização da matriz energética. Ou ainda, um programa com função redistributiva, que transfere renda do consumidor para o produtor de biocombustível.

Tal constatação de modo algum desmerece as virtudes do programa enquanto política pública. Além de induzir a modernização da indústria dos biocombustíveis, outra grande contribuição do RenovaBio é que o incentivo financeiro propiciado pelo programa faz com que os agentes se submetam à certificação e forneçam dados sobre seu processo produtivo, o que não fariam sem essa contrapartida.

Assim o Governo Federal passa a dispor de informações para contra-argumentar nos fóruns internacionais sobre o papel dos biocombustíveis no movimento de transição energética, seu impacto no desmatamento ou na insegurança alimentar, além de suas vantagens em comparação ao movimento global de eletrificação do transporte, vista por muitos como a alternativa mais eficiente para descarbonização da economia.

Os mandatos de mistura obrigatória de biocombustíveis e a diferenciação tributária, demais instrumentos regulatórios disponíveis no RenovaBio, não oferecem tais vantagens de indução da eficiência produtiva e transparência de informações.

O RenovaBio tem a virtude de criar a base de um mercado coasiano que pode ser expansível a todos os mercados de energia. Uma vez superados os requisitos para se promover a fungibilidade do RenovaBio aos mercados globais de carbono, é possível imaginar um futuro no qual o país seria “exportador” de serviços ambientais, assim recebendo receitas novas.

Apresentado o RenovaBio e os seus principais resultados nos primeiros dois anos de funcionamento, o próximo capítulo trará um retrato da indústria de etanol no Brasil.

7. O etanol no Brasil

7.1. As características

O etanol é representado pela fórmula $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. A presença do grupo OH, chamado de hidroxila, em sua composição, faz com que o etanol se torne uma substância polar, assim se misturando facilmente com a água e outros líquidos também polares. Entre os compostos orgânicos, o etanol faz parte da família dos álcoois, compostos em que o carbono saturado se liga com a hidroxila (NOVACANA, [s. d.]).

Seu nome deve-se à junção do prefixo "etano", comum a todos os compostos orgânicos com dois átomos de carbono na cadeia, com o sufixo "ol", relativo aos álcoois que possuem apenas uma hidroxila na formação. Dessa forma, não é inteiramente correto chamar o etanol apenas de "álcool", pois álcool é qualquer elemento orgânico que possui a hidroxila ligada a um carbono saturado, como metanol, butanol e propanol (NOVACANA, [s. d.]).

Dentre todos os álcoois, o etanol é o mais fácil de ser obtido. Se mistura facilmente com água e com a grande maioria dos líquidos de baixo peso molecular. Ele é leve, altamente inflamável, podendo entrar em combustão se submetido a uma fonte de calor, a partir de 13°C (NOVACANA, [s. d.]).

Por suas propriedades físico-químicas, o etanol pode ser utilizado como combustível em motores de combustão interna do Ciclo Otto, com ignição por centelha. Entretanto, o poder calorífico do etanol é, aproximadamente, 30% inferior ao da gasolina (Tabela 2), o que deu origem a uma relação aproximada de paridade de preços (P_E/P_G), aplicada pelos consumidores, que apenas considera vantajoso o uso do etanol quando o seu preço corresponde a até 70% do preço da gasolina (relação $P_E/P_G < 70\%$). O desempenho automotivo, no entanto, não depende apenas do poder calorífico, sendo função também de outros parâmetros, como a octanagem, e da própria eficiência do motor, que pode variar entre os modelos e o ano de fabricação dos carros (FGV, 2017).

Tabela 2 - Propriedades da gasolina e do etanol

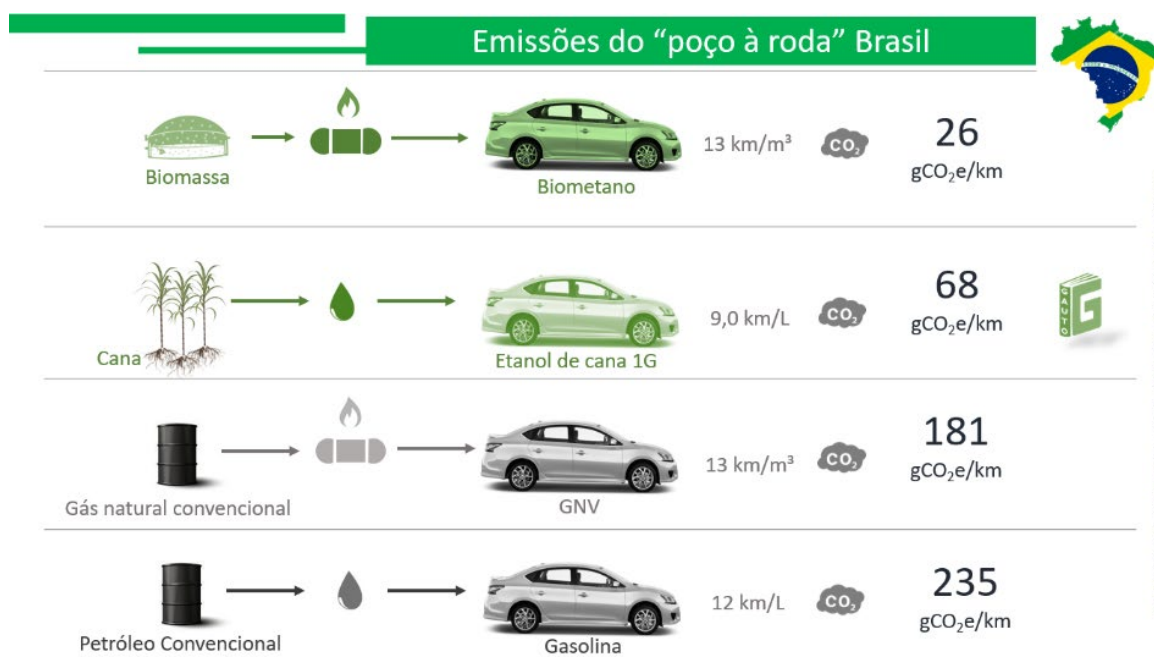
Propriedade	Gasolina	Etanol
Poder calorífico inferior (MJ/l)	32,18	22,35
Massa específica (kg/m ³)	720-780	792
Nº de octanas do motor (MON)	80-92	89-96
Relação ar/combustível estequiométrica	14,5	9

Fonte: (FGV, 2017)

A adição de etanol anidro à gasolina não requer grandes alterações no motor preparado para a gasolina e, ainda, traz vantagens relacionadas à performance do veículo e à redução de emissões de GEE. A octanagem do etanol é maior do que a da gasolina, conforme ilustra a Tabela 2. Esse parâmetro indica a capacidade que o combustível tem de resistir à detonação espontânea, sendo um dos principais indicadores de qualidade da gasolina automotiva. Maior octanagem implica maior rendimento do motor. Uma das formas de aumentar esse parâmetro é pelo uso de aditivos antidetonantes. No Brasil, o etanol passou a ser usado em substituição a esses aditivos, atualmente em desuso por serem tóxicos (FGV, 2017).

Conforme se observa na Figura 5, considerando-se os GEE emitidos ao longo de todo o ciclo de vida dos combustíveis do Ciclo Otto, chamado no jargão da indústria automotiva de análise do “poço à roda”, um veículo movido a etanol de cana-de-açúcar emite 68 gCO₂eq/km, menos de 30% do que emite um veículo movido à gasolina.

Figura 4 - Emissões de GEE do poço à roda



Fonte: (GAUTO, 2022)

O etanol é produzido usualmente pelo processo de fermentação de açúcares. O mais simples é o que emprega matérias-primas açucaradas, como a cana de açúcar e a beterraba, pois o açúcar a ser fermentado já está disponível. A biomassa passa por uma etapa de extração dos açúcares (moagem ou difusão), e depois segue para a fermentação. A produção de etanol a partir de matérias-primas contendo amido, como é o caso do milho e da mandioca, demanda uma etapa a mais, chamada de hidrólise enzimática, na qual o amido é quebrado em açúcar por meio de enzimas (FGV, 2017).

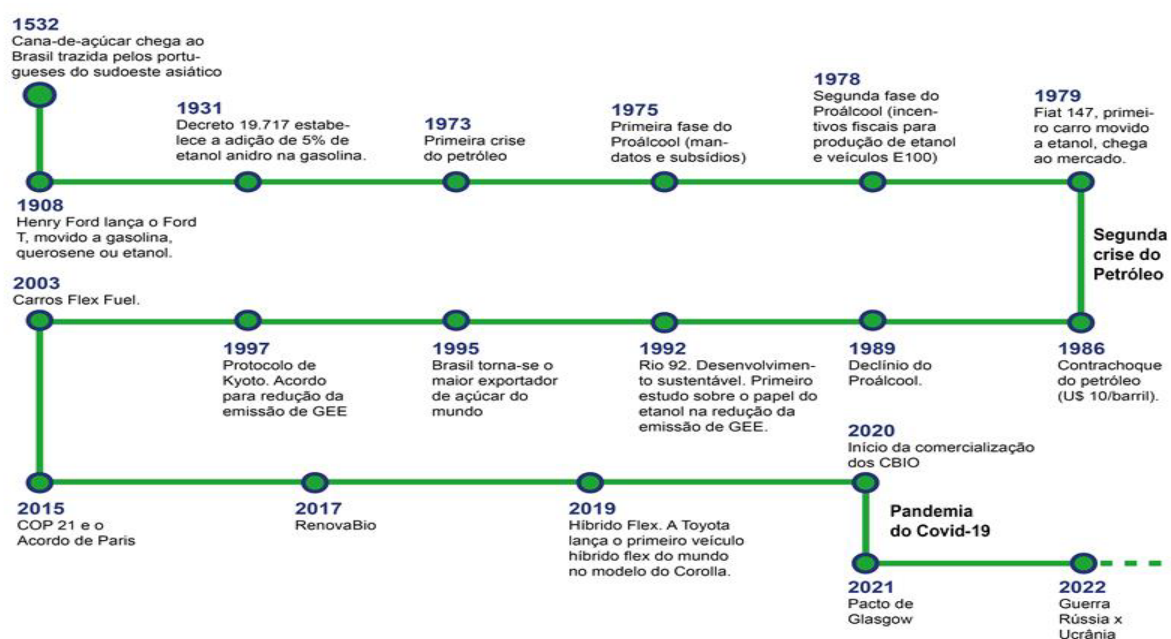
Essas duas rotas de produção são consideradas convencionais e o álcool obtido é chamado de etanol de primeira geração (E1G). O processo mais complexo é o da produção de etanol celulósico, ou de segunda geração, obtido a partir de biomassa

celulósica, como o bagaço e a palha da cana (E2G). Os materiais celulósicos possuem uma estrutura rígida e ordenada, dificultando o acesso das enzimas ao substrato, sendo necessária uma etapa de pré-tratamento antes da hidrólise (FGV, 2017).

7.2. O histórico

A Figura 4 sintetiza os principais momentos da história do etanol no Brasil.

Figura 5 - Linha do tempo do etanol no Brasil



Fonte: elaboração própria.

Conta Távora (2011, p. 13) que já em 1525, Martim Afonso de Souza introduziu a cana-de-açúcar no país, dando início a um dos mais bem sucedidos negócios da história brasileira. A cana-de-açúcar começou a ser utilizada como ração animal e para produção de alimentos. No século XVII, a cana-de-açúcar se expandiu nas regiões com solos propícios e se tornou a principal atividade econômica do país, tendo o açúcar como o grande produto da exportação nacional.

Contudo, foi no começo do século XX que outro subproduto da cana-de-açúcar despontou com potencial energético: o álcool. Primeiramente, o lampião a álcool se destacou por ser menos poluente que os tradicionais lampiões a óleo de baleia ou querosene (TÁVORA, 2011). Nos transportes, o Brasil utiliza o álcool combustível como aditivo da gasolina desde a década de 1920. Oficialmente, o combustível produzido a partir da cana-de-açúcar foi adicionado em 5% em volume à gasolina, então importada, a partir do Decreto 19.717/1931 (BRASIL, 2020i).

Somente com o advento do Proálcool, em 1975, que o setor sucroalcooleiro pôde estabelecer definitivamente a indústria do etanol combustível (BRASIL, 2020i). O

Governo Federal criou o programa para desenvolvimento do etanol como substituto energético da gasolina, em alternativa às altas nos preços do petróleo ocorridas nos choques do petróleo de 1973 e 1979 (TÁVORA, 2011).

Esses dois choques no preço do petróleo impactaram o Brasil pois havia forte dependência materializada em duas realidades: (i) 80% do petróleo consumido era então importado; e (ii) 98% do transporte de passageiros e de carga era realizado utilizando-se derivados de petróleo (BRASIL, 2020i). Na segunda fase do programa (1979 a 1986), o advento do motor movido exclusivamente a etanol hidratado e a expansão da infraestrutura de abastecimento do combustível levou o país a um papel de destaque no uso do biocombustível (BRASIL, 2020e).

A frota nacional de veículos leves contava, ao final de década de 1980, com elevada participação de veículos movidos exclusivamente a etanol hidratado. Após uma década de incentivos à produção dos veículos a etanol, de subsídios ao produtor e de preços controlados, o etanol chegou a atender quase 55% da matriz de combustíveis para veículos leves (Ciclo Otto) e 26% da matriz nacional de combustíveis (Ciclo Diesel incluído) (BRASIL, 2020i).

No final da década de 1980, o Proálcool passou a não ter mais a mesma relevância, em decorrência de fatores como a queda dos preços internacionais de petróleo (contrachoque do petróleo), o aumento da produção de petróleo nacional e o aumento de preço do açúcar no mercado internacional, que ocasionou a redução da produção de etanol e uma séria crise de abastecimento, em 1989 (FGV, 2017).

A história do etanol no Brasil recebe novo impulso com a introdução do motor *flex fuel*, a partir de 2003. A entrada dos veículos *flex fuel* permitiu maior aproveitamento do etanol no mercado de combustíveis automotivos, deslocando os energéticos concorrentes (gasolina) devido à atratividade de um custo operacional menor para o veículo. A estrutura de preços relativos favorável ao etanol (em função de menores tributos) também incentivou a renovação da frota no país ao influenciar o tempo de retorno do investimento. O crescimento das vendas de veículos *flex fuel*, por sua vez, ampliou o efeito da competitividade entre o etanol e a gasolina (CAVALCANTI, 2011).

A introdução do *flex fuel* permitiu, simultaneamente: i) a garantia de abastecimento almejada pelo consumidor; ii) a flexibilidade de mercado desejada pelo setor sucroalcooleiro; e iii) a estabilidade produtiva e de mercado para a indústria automobilística, favorecendo economias de escala e custos nas linhas de montagem (CAVALCANTI, 2011).

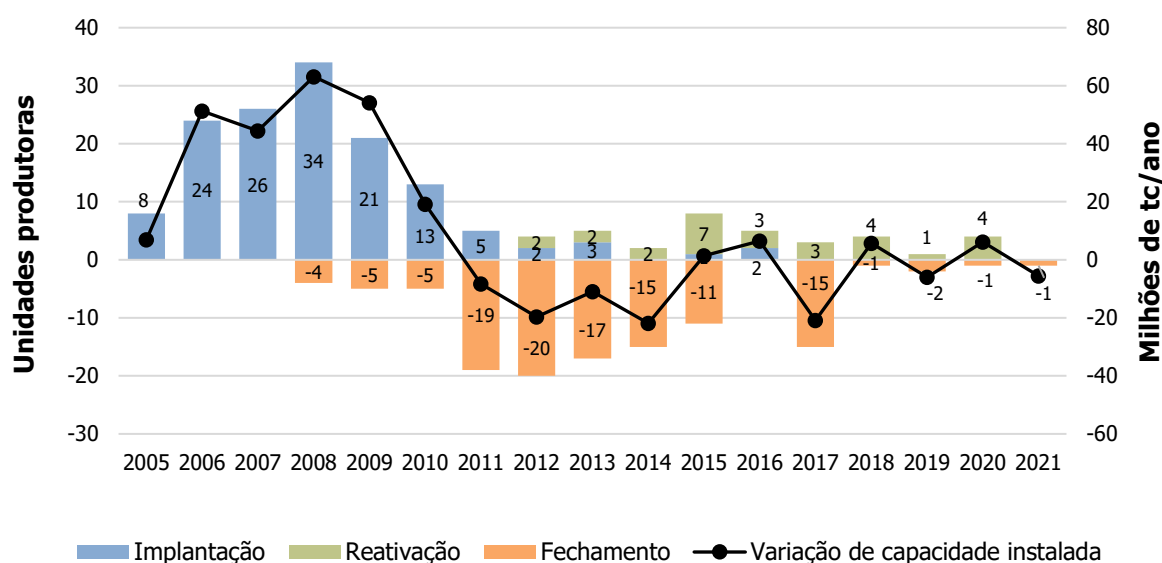
Com a expectativa de demanda internacional gerada pelo Protocolo de Kyoto (1997), surge uma euforia de investimentos no setor sucroalcooleiro, que veio a arrefecer somente após a crise financeira de 2008, desaguando numa crise do próprio setor, em 2011 (BRASIL, 2020e).

Segundo FGV (2017, p. 37-38), a produção de etanol foi crescente até esse ano (2011), quando então passou a cair em função de uma combinação de fatores. Primeiramente, a perda de produtividade do setor canavieiro, motivada pela redução dos investimentos em reforma do canavial e tratos culturais, problemas climáticos e aumento do índice de perdas de sacarose devido dificuldades na introdução da mecanização da colheita, levando ao aumento do custo de produção. Paralelamente, as decisões políticas visando à estabilidade da inflação, contribuíram fortemente para a perda de competitividade do etanol hidratado relativo à gasolina a partir de 2011, ano em que a relação entre os preços dos dois combustíveis ultrapassou a barreira dos 70%, muito em função de adoção mecanismos tributários favoráveis ao etanol.

A partir de 2012, essa relação tornava-se mais favorável ao uso do etanol, chegando ao valor médio de 66%, em 2015. Em 2013, a produção voltou a crescer, como resultado de algumas decisões governamentais, como a elevação do percentual de etanol anidro na gasolina (de 25% para 27%), o retorno da cobrança da Cide sobre a gasolina e a manutenção da alíquota zero do PIS/Cofins para o etanol, enquanto subia a alíquota para a gasolina. Além disso, a partir de 2015, os preços da gasolina deixaram de sofrer intervenção do governo. Assim, houve melhora das margens e o setor pôde recompor parcialmente suas finanças (FGV, 2017).

O Gráfico 9 mostra o reflexo desse histórico recente no fluxo de implantação, reativação e fechamento de usinas, entre 2005 e 2021. Verifica-se que o número de novas implantações cresceu bastante após a consolidação dos veículos *flex fuel*, a partir de 2003, mas caiu significativamente a partir de 2011.

Gráfico 9 - Histórico do fluxo de usinas de cana no Brasil



Fonte: (BRASIL, 2021a)

7.3. O mercado

A produção brasileira de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, de etanol, pode ser analisada dividindo-se as áreas produtoras em duas regiões: Norte-Nordeste e Centro-Sul. A região Centro-Sul concentra mais de 90% da produção. Sua safra vai de 1º abril a 31 de março, com período de colheita entre abril e novembro, enquanto a safra da região Norte-Nordeste varia entre os estados (FGV, 2017).

As unidades produtoras podem ser classificadas em: usinas, que produzem exclusivamente açúcar; destilarias autônomas, que produzem exclusivamente etanol; e usinas mistas (ou com destilarias anexas), que produzem ambos os produtos. Além de açúcar e etanol, as usinas geram, ainda, eletricidade a partir do bagaço e da palha de cana, principalmente por meio do processo de cogeração (FGV, 2017).

Como o etanol brasileiro é majoritariamente produzido a partir da cana-de-açúcar, isso implica a possibilidade de surgimento de **gargalos na oferta e pressão nos preços** do biocombustível por conta da oferta sazonal da cana-de-açúcar e por suas limitações de estocagem. Uma vez que da cana pode-se produzir tanto açúcar como etanol, a escolha de produzir o combustível é altamente influenciada pelo preço internacional do açúcar. Vale ressaltar ainda que a produção de etanol depende de fatores estruturais – climáticos, geológicos e tecnológicos (área plantada, idade média do canavial, tratamentos agrícolas) –, bem como das condições de crédito ao setor sucroalcooleiro (BRASIL, 2020e).

De Lucca (2020) investigou os determinantes da decisão pelas usinas quanto à alocação da cana-de-açúcar entre as produções de etanol e de açúcar. Trata-se de uma flexibilidade que capacita a indústria sucroenergética brasileira a responder às mudanças nas cotações dessas *commodities* ainda no curto prazo, algo sem paralelo na agroindústria canavieira do mundo. Contudo, essa flexibilidade produtiva é limitada.

Os resultados do trabalho de De Lucca (2020) indicam que **os preços de etanol e do açúcar influenciam a escolha da destinação da matéria-prima**. Todavia, a despeito disso, **a elasticidade da oferta, tanto do etanol quanto do açúcar, se mostrou moderada**. Essa sensibilidade limitada da oferta frente às flutuações de preços decorre das restrições impostas por aspectos comerciais, técnicos e operacionais, como multas por descumprimento da entrega do combustível.

Concluiu De Lucca (2020) que o impacto dos preços sobre o *mix* de produção é expressivamente maior do que àquele associado aos controles de ordem técnica, muito embora a vertente econômica, por si só, não fundamenta a decisão alocativa das usinas. A depender das multas aplicáveis nos contratos fixados com os distribuidores de combustíveis, visando à oferta contínua de etanol anidro ao longo da safra para cumprimento de imposição legal, pode ser inviável direcionar mais matéria-prima à produção de açúcar.

Associados ao processo produtivo, há aspectos influenciadores da decisão, como a **capacidade instalada**, a **qualidade da matéria-prima**, o nível de **aproveitamento de moagem** ao longo dos ciclos agrícolas e o **período de safra** (dias corridos de operação) (DE LUCCA, 2020).

Nos meses de julho a setembro as empresas trabalham com 100% da capacidade instalada na fabricação de ambos os produtos, pois é o período da maior quantidade de açúcares na cana-de-açúcar. Os períodos nos quais as empresas podem alterar o *mix* de produção é no início e no último terço de safra, quando a qualidade da cana é inferior. No início e no final da safra, 1 tonelada de cana-de-açúcar contém cerca de 120 kg de açúcares totais, enquanto no período de julho a setembro, entre 150 kg e 160 kg (DE LUCCA, 2020).

Entre as usinas brasileiras, 85% delas podem produzir tanto açúcar quanto etanol. Nelas, a flexibilidade para produção de açúcar pode variar de 10% a 80%. Na prática, a despeito das variações significativas da remuneração relativa, a proporção de cana-de-açúcar destinada à fabricação de etanol variou entre um máximo de 65% e um mínimo de 45% nas últimas safras (Gráfico 14, adiante no item 7.3.2).

Mais recentemente, a partir de 2011, começaram a surgir no Brasil usinas que utilizam o milho como matéria-prima para a produção de etanol, usualmente de forma integrada com a cana-de-açúcar, chamadas de usinas *flex*. Nessas, a produção de etanol ocorre no período da entressafra da cana, entre dezembro e março, e pode durar de 90 a 120 dias por ano. Como a cana é perecível e não pode ser estocada, as usinas que utilizam apenas essa matéria-prima operam somente nos meses de safra, ficando ociosas nos demais meses (FGV, 2017).

A integração com o milho, portanto, aproveita o momento de inatividade para aumentar a produção de etanol, além de outros subprodutos do milho, como óleo e proteínas para ração animal. A alternativa tem se tornado particularmente interessante na região Centro-Oeste, que tem gerado grandes excedentes na produção de milho a preço baixo (FGV, 2017).

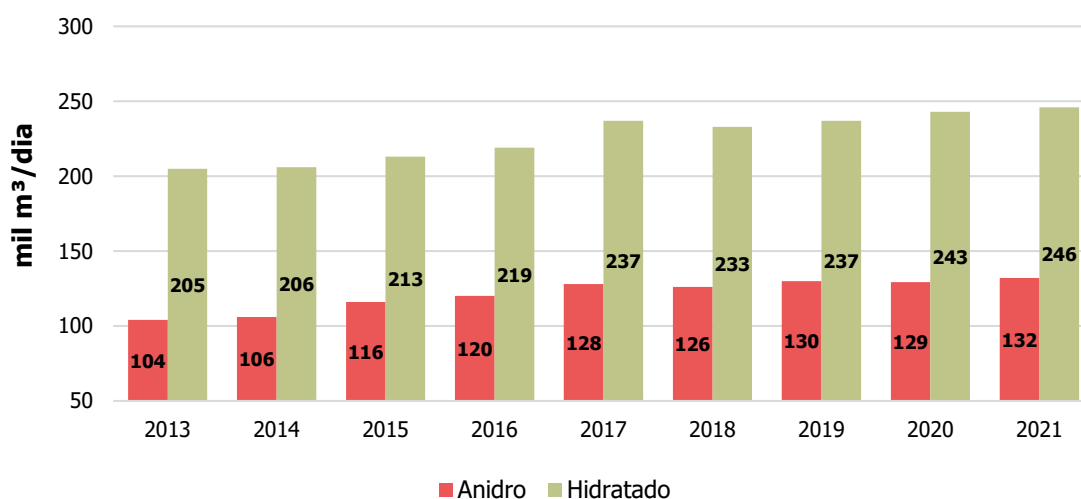
7.3.1. A capacidade instalada para produção

Ao final de 2021, o país dispunha de 358 usinas de etanol, dispostas conforme ilustra o mapa aposto à Figura 6. Em 2020 e 2021, elas foram responsáveis pela produção de 62,7 milhões de m³ de etanol, sendo 21,7 milhões de etanol anidro (34,6%) m³ e 41,0 milhões de m³ de etanol hidratado (65,4%). Mais da metade da produção veio da Região Sudeste (52,8%), seguida da Região Centro-Oeste (36,5%), sendo menos relevante a produção das demais regiões. A cana-de-açúcar é matéria-prima de 94,3% dessa produção (BRASIL, 2021e).

Figura 6 - Distribuição das usinas de etanol brasileiras em 2021

Fonte: (BRASIL, 2021e)

Segundo Brasil (2022a), essas unidades podiam produzir 132 mil m³/dia de etanol anidro e 246 mil m³/dia de etanol hidratado. O Gráfico 10 apresenta a evolução da capacidade instalada de produção de etanol no país desde 2013, no qual se observa um incremento de 41 mil m³/dia para o hidratado e 28 mil m³/dia para o anidro.

Gráfico 10 - Evolução da capacidade instalada de produção de etanol

Fonte: (BRASIL, 2022a)

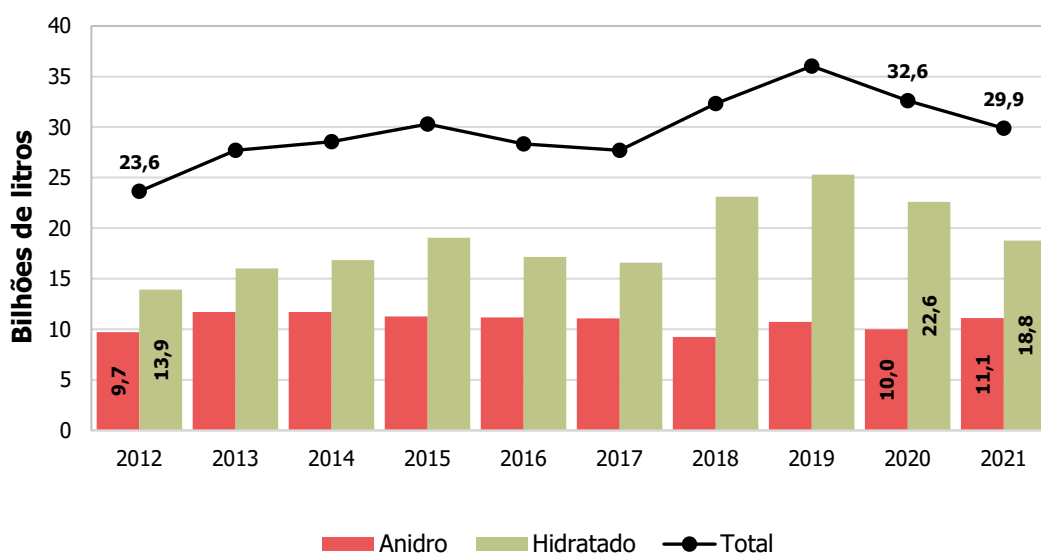
Multiplicando-se a capacidade diária por 210 dias (número médio de dias de moagem das usinas de cana informado em entrevistas com especialistas do setor), ter-se-ia uma capacidade de produção anual de cerca de 51,6 bilhões de litros de etanol hidratado e de 27,7 bilhões de litros de anidro.

Contudo, tais números não refletem a capacidade máxima de produção “firme” do setor, dado que alguma das variáveis que a determinam tem características estáticas, como o tipo da biomassa (cana ou milho) ou as capacidades de moagem e destilação, ao passo que outras apresentam caráter mais dinâmico, como a disponibilidade de biomassa para moagem e o teor sazonal de açúcares na biomassa (ver item 7.3). Dada sua importância para os objetivos da pesquisa, esse aspecto que será retomado mais adiante no subitem 7.3.5.

7.3.2. A oferta

A produção nacional de etanol anidro nos últimos anos acompanhou o movimento de produção de gasolina A, enquanto a produção de etanol hidratado interrompeu o movimento ascendente a partir de 2020, conforme se observa no Gráfico 11.

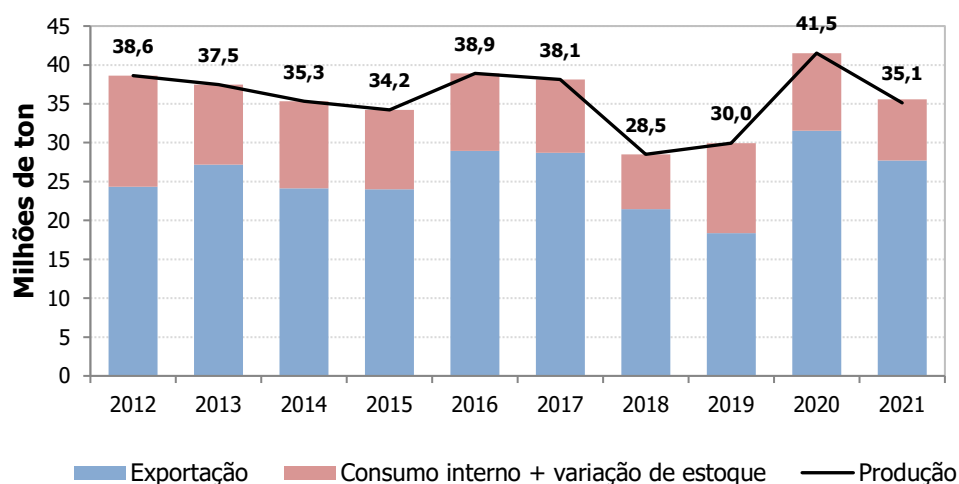
Gráfico 11 - Produção brasileira de etanol anidro e hidratado (cana e milho)



Fonte: (BRASIL, 2022a)

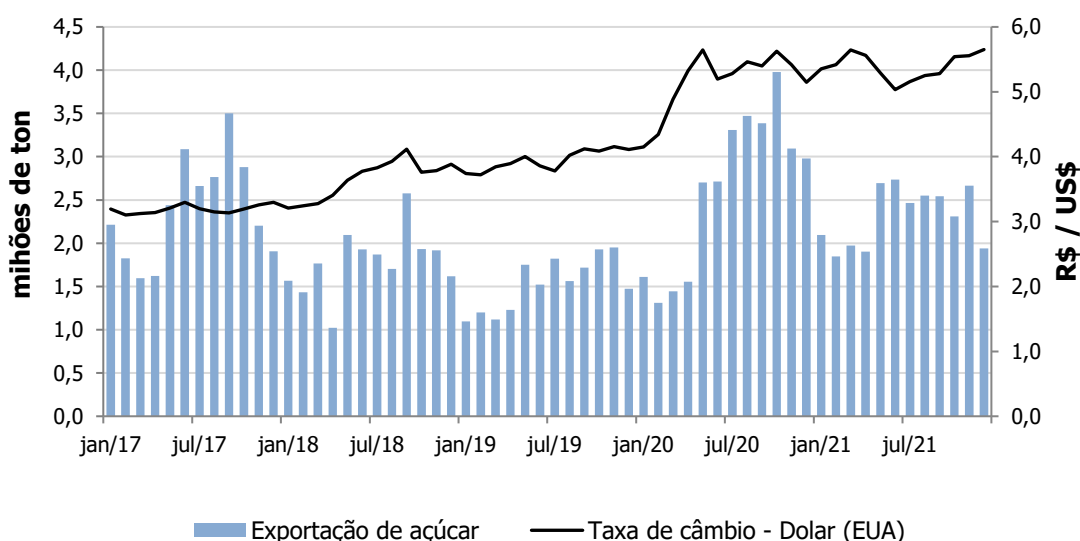
Para Brasil (2021a, p. 11), a pandemia de Covid-19 impactou o consumo de etanol hidratado no Brasil, sendo um dos principais fatores para maior destinação do *mix* para a produção de açúcar na safra 2020/21. O aumento nas cotações da *commodity* no mercado internacional, desde o início de 2020, também contribuiu para essa tendência, bem como a alta cotação do dólar americano. O Gráfico 12 revela o aumento da produção de açúcar em 2020, em grande parte destinada à exportação, enquanto o Gráfico 13 indica que esse aumento de exportações foi acompanhado pelo aumento da cotação do dólar.

Gráfico 12 - Produção e exportação brasileira de açúcar



Fonte: (BRASIL, 2022a)

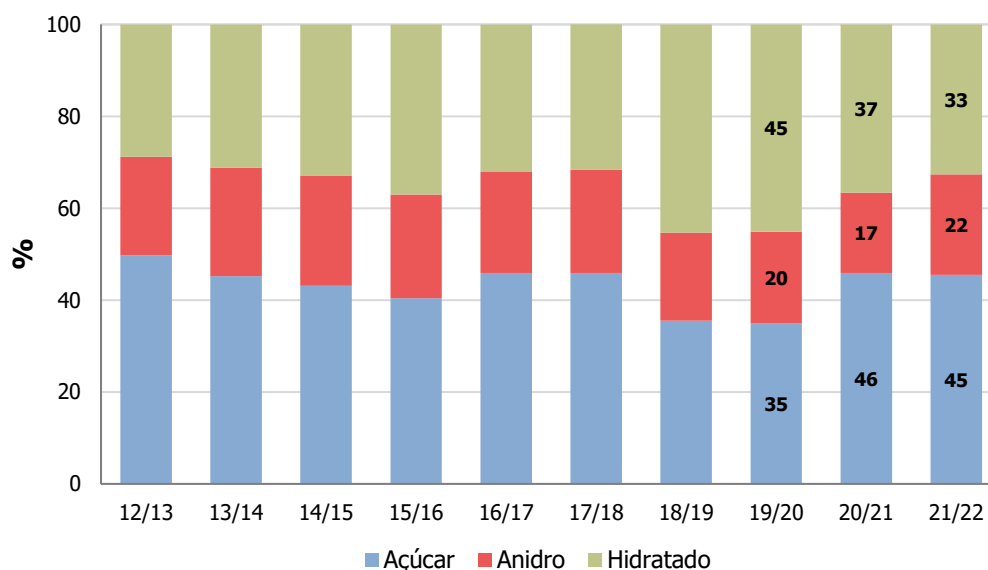
Gráfico 13 - Exportação brasileira de açúcar e câmbio



Fonte: (BRASIL, 2022a)

Com o déficit no balanço mundial de açúcar e o aumento de sua atratividade, houve uma maior destinação para a sua produção no Brasil. Note-se no Gráfico 14 que as usinas brasileiras destinavam a maior parte do Açúcar Total Recuperável (ATR) para o etanol até a safra 2019/2020, quando então o açúcar retomou patamar de 45% do *mix* (BRASIL, 2021a). O ATR representa a qualidade da cana, ou seja, sua capacidade de ser transformada em açúcar ou álcool. O índice é utilizado para o cálculo da produção, a fim de se efetuar o pagamento dos fornecedores.

Gráfico 14 - Mix de produção (açúcar x etanol)

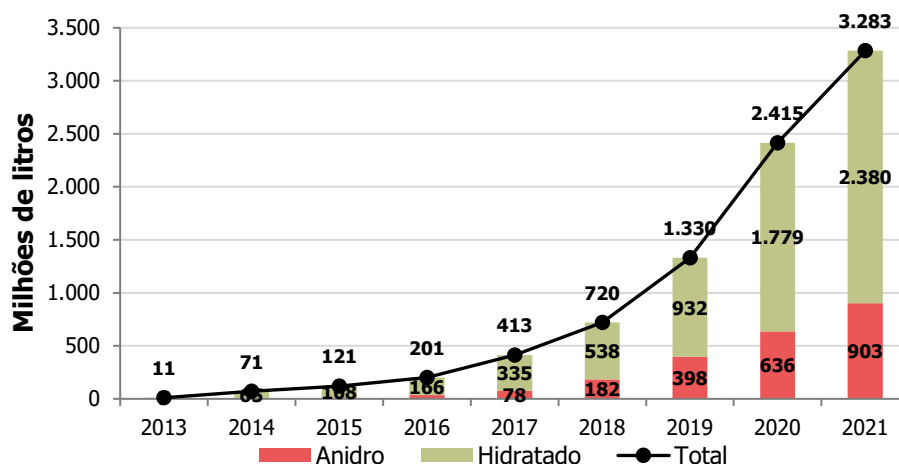


Fonte: (BRASIL, 2022a)

Com a redução da demanda, dados os efeitos recessórios causados pela pandemia do Covid 19, e a maior atratividade da produção de açúcar, em 2020, enquanto a produção brasileira de etanol (32,6 bilhões de litros) apresentou decréscimo de 9,5% em relação a 2019, a produção de açúcar apresentou um aumento de 39%, alcançando **recorde histórico**. O setor sucroenergético processou 663 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 1,3% superior ao ano anterior (BRASIL, 2021a).

Mesmo nesse contexto desafiador, a produção nacional de etanol de milho quase duplicou, alcançando 2,4 bilhões de litros em 2020, um aumento de 82%, conforme destaque do Gráfico 15. A produção nacional de etanol de milho tem apresentado um elevado crescimento nos últimos anos (mais de 15 vezes desde 2016) e já representa cerca de 10% da produção total de etanol. Essa produção se concentra nos estados de Mato Grosso e Goiás (BRASIL, 2021a). O etanol de milho é, atualmente, a “nova fronteira” da produção de etanol no Brasil, com potencial de ser o grande responsável pelo aumento da oferta deste biocombustível no mercado nacional.

Gráfico 15 - Produção brasileira de etanol de milho



Fonte: (BRASIL, 2022a)

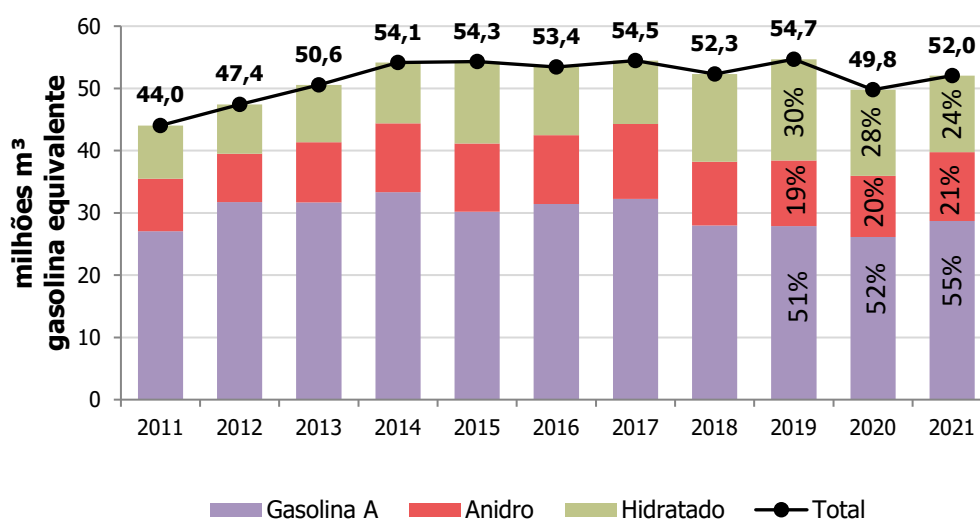
No ano seguinte (2021), a produção sucroenergética foi ainda impactada pelo déficit hídrico e geadas, resultando nos **menores indicadores dos últimos dez anos**. O processamento de cana-de-açúcar foi de 581 milhões de toneladas, uma queda de 12,3% em relação a 2020. A produção de açúcar diminuiu 15,4%, totalizando 35,1 milhões de toneladas. Em relação ao etanol, foram produzidos 29,9 bilhões de litros (8,4% inferior), mesmo com o aumento da participação do biocombustível oriundo do milho, que contribuiu com 3,3 bilhões de litros (crescimento de 35%)(BRASIL, 2022a).

Nesse ano (2021), o consumo dos combustíveis do Ciclo Otto apresentou recuperação, contudo, com **redução da participação do etanol hidratado**. A cotação do açúcar no mercado internacional manteve-se em alta, resultando em um *mix* de produção nos mesmos patamares da safra 2020/21 (BRASIL, 2022a).

7.3.3. A demanda

Conforme se observa no Gráfico 16, as vendas de etanol no mercado interno mostravam-se crescentes até 2019, principalmente quando comparadas às vendas de gasolina, que se mostravam sempre próximas ao patamar de 30 milhões de m³. A demanda total de energia dos veículos do Ciclo Otto, em 2020, teve uma queda de 9,2% sobre o ano anterior. Para Brasil (2021a), tal retração reflete os impactos da pandemia no mercado brasileiro. Em 2021, a demanda total de energia aumentou 4,4% em relação ao ano anterior. Brasil (2022a) anota que tal acréscimo reflete o início do Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a Covid-19, que permitiu que houvesse retomada parcial das atividades presenciais.

Gráfico 16 - Demanda do Ciclo Otto



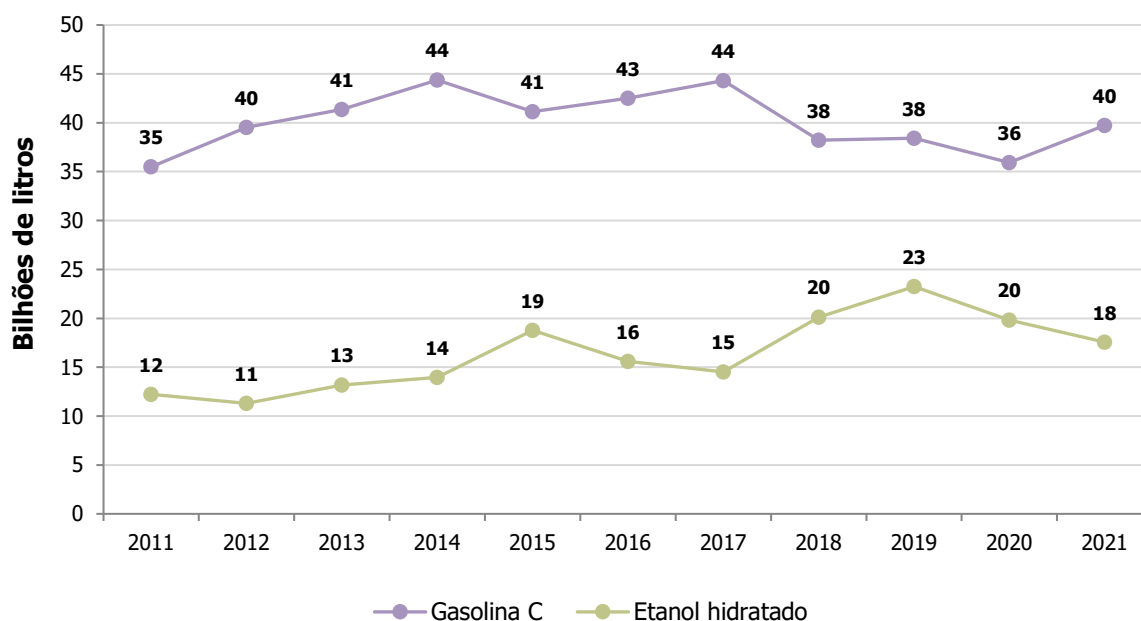
Fonte: (BRASIL, 2022a)

A pandemia de Covid-19 impactou fortemente o mercado brasileiro de gasolina C e etanol hidratado, relacionados ao transporte individual de passageiros. Dentre os fatores que contribuíram para a redução da demanda desses combustíveis, podem ser citadas as medidas de isolamento social, a disseminação do trabalho remoto e a crescente atividade do comércio digital e das entregas domiciliares (BRASIL, 2022a).

Na distribuição por combustíveis, a demanda por gasolina A subiu de 52,5% para 55,2%, e o etanol hidratado caiu de 27,9% para 23,6%. Esse movimento justifica-se, sobretudo, pela maior atratividade do açúcar no mercado internacional e variação do preço *spot* do *brent* que, dentre outros fatores, resultaram em um aumento da relação de preços P_E/P_G (mais detalhes no item seguinte). Já a participação do etanol anidro subiu de 19,6% para 21,2%. Este movimento fez com que o etanol total carburante reduzisse novamente sua participação, saindo de 47,5% em 2020 para 44,8% em 2021, **impactando na renovabilidade da matriz de Ciclo Otto** (BRASIL, 2022a).

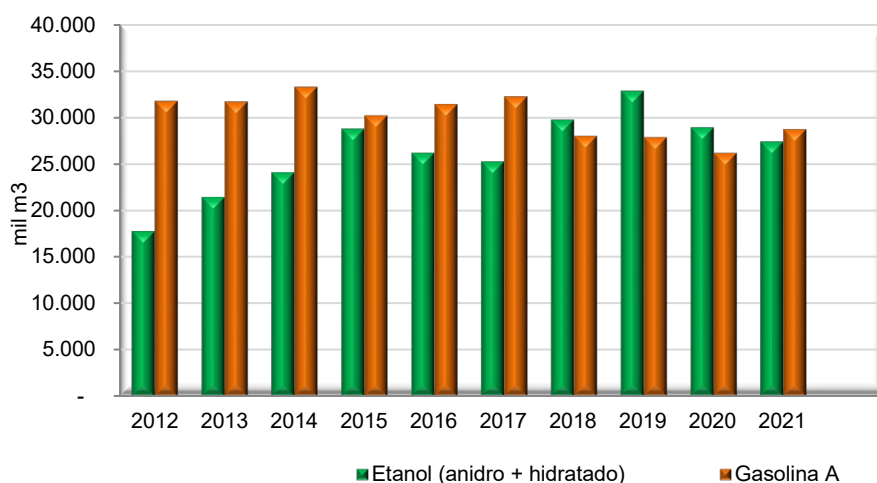
A demanda do etanol hidratado em 2021 totalizou 17,6 bilhões de litros, representando uma queda de 11,5% em relação ao ano anterior e o consumo de gasolina C fez 39,7 bilhões de litros, 10,6% superior ao observado em 2020 (BRASIL, 2022a), como ilustra o Gráfico 17.

Gráfico 17 - Demanda anual de etanol hidratado e gasolina C



Fonte: (BRASIL, 2022a)

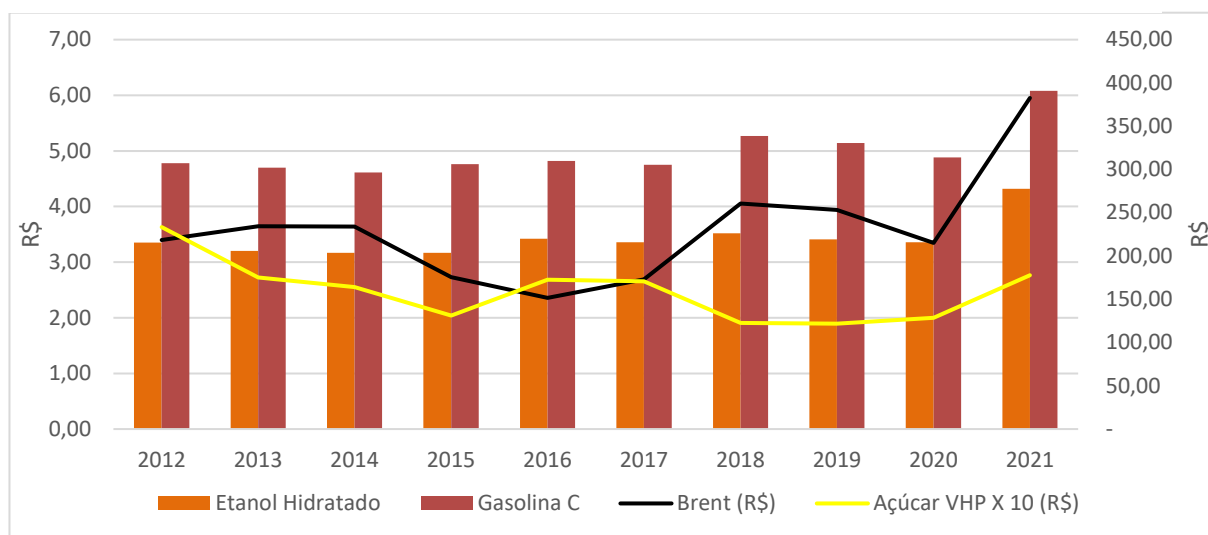
O Gráfico 18 ilustra que, justamente a partir do primeiro ano de operação do RenovaBio (2020), a participação do etanol carburante (anidro + hidratado) na matriz de transportes brasileira, que havia se tornado majoritária a partir de 2018, foi sendo reduzida a partir de 2020, tornando-se novamente minoritária em 2021.

Gráfico 18 - Vendas de etanol e gasolina A no Brasil

Fonte: (BRASIL, 2022b)

7.3.4. O comportamento dos preços

O Gráfico 19 traz o comportamento volátil dos preços do etanol, da gasolina, do barril de petróleo (brent) e do açúcar VHP (*Very High Polarization*) nos últimos dez anos, período no qual se observa uma tendência de alta acentuada nos anos de 2020 e 2021. O VHP é o açúcar bruto usado como matéria-prima para o refinado.

Gráfico 19 - Comportamento de preços do etanol, gasolina, brent e açúcar

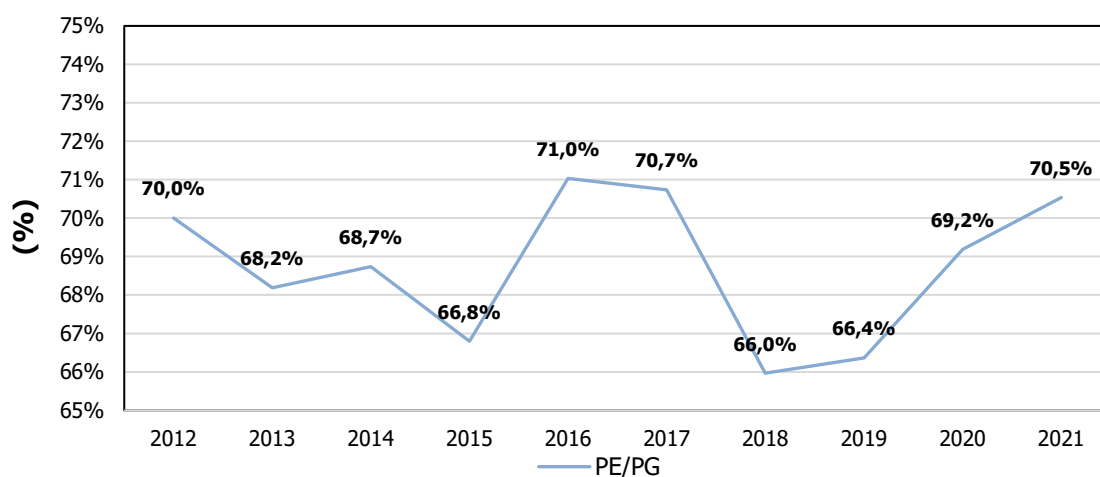
Fonte: elaboração própria com dados de (BRASIL, 2022b) e (CEPEA; ESALQ, 2022)

Apesar dos impactos da pandemia da Covid-19, em 2020 o preço do etanol na bomba apresentou um comportamento similar ao dos anos anteriores. Como costuma ocorrer, devido às oscilações relativas aos ciclos de plantio e colheita da cana-de-açúcar e evolução de estoques de etanol, o preço do etanol elevou-se durante a

entressafra, no início de 2020, reduziu-se com o início da safra e, posteriormente, voltou a aumentar quando esta se encaminhava para o fim (BRASIL, 2021a).

O valor médio do etanol hidratado na bomba sofreu uma redução de 6,4% comparado com o ano anterior (2019), enquanto a gasolina C caiu 10,7%. O preço do biocombustível caiu em menor intensidade que o da gasolina C, resultando na elevação na relação P_E/P_G de 2020, que alcançou 69,2%, valor ainda assim considerado favorável ao consumo do etanol, conforme ilustra o Gráfico 20.

Gráfico 20 - Relação de preços entre o hidratado e a gasolina C

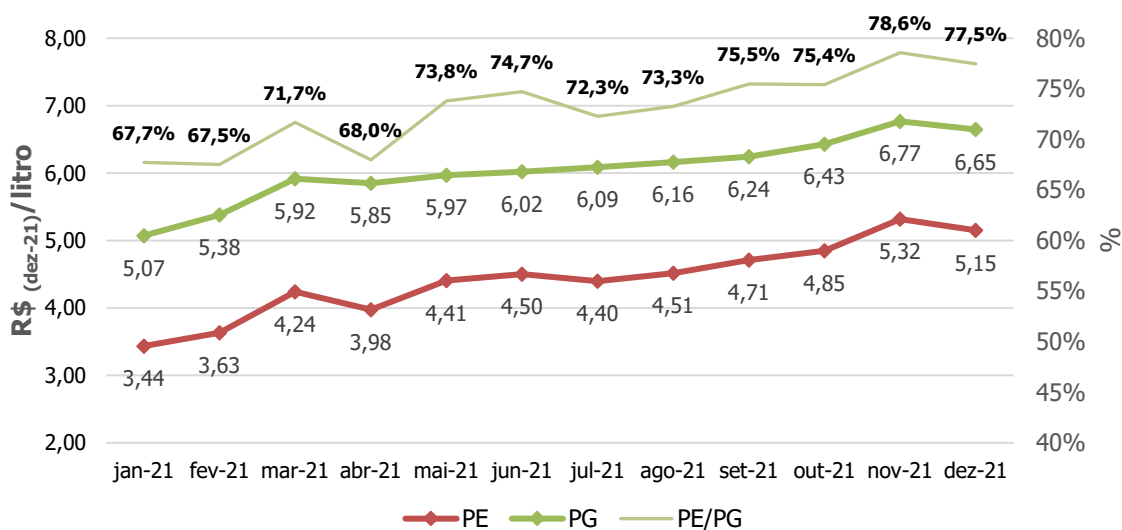


Fonte: (BRASIL, 2022a)

Porém, a partir do 2º trimestre de 2021 a demanda do setor de transporte voltou a se aquecer. Os preços de derivados sofreram pressões de alta, observando-se um aumento no preço médio da gasolina C de 24,6% e do etanol hidratado de 28,6%. O preço do biocombustível aumentou em maior intensidade que o do fóssil, resultando na elevação de 1,35 p.p. no preço relativo médio (P_E/P_G) de 2021, que alcançou 70,5%, valor de indiferença para o consumo do etanol hidratado (BRASIL, 2022a).

Em 2021 o preço do etanol apresentou um comportamento diferente de anos anteriores, com crescimento contínuo ao longo do ano, sendo suavizado com a entrada da safra de cana (Gráfico 21). Com isso, a margem média anual na revenda de etanol hidratado em 2021, ficou 15,4% acima da observada em 2020, enquanto as margens na distribuição atingiram aumento de 42% (BRASIL, 2022a).

Gráfico 21 - PE, PG e relação PE/PG mensal em 2021



Fonte: (BRASIL, 2022a)

O comportamento do aumento desproporcional nas margens de distribuição para o caso dos combustíveis líquidos foi estudado pela ANP (BRASIL, 2020d). Apesar de se estender para todos os combustíveis líquidos e se limitar ao período de junho de 2019 a maio de 2020, as conclusões do estudo se mostram aplicáveis aos entendimentos perseguidos nesta pesquisa.

Em síntese, na maior parte do período analisado, os reajustes (positivos e negativos) praticados pelos produtores de combustíveis são acompanhados pelos distribuidores, porém em **intensidades diferentes** e com certa **defasagem temporal**. Tal constatação caracteriza o fenômeno da **assimetria de transmissão de preços (ATP)** nos diferentes elos da cadeia de abastecimento de combustíveis no Brasil (BRASIL, 2020d).

7.3.5. A produtividade, a taxa de utilização e os custos da indústria

Para Lemos et al. (2016), a análise da produtividade geral de um sistema de cana-de-açúcar pode ser vista como a soma da produtividade do campo, da produtividade agrícola e da produtividade da indústria. A produtividade é definida como a relação entre a produção e os fatores de produção utilizados, sendo estes definidos como pessoas, máquinas, matéria-prima, materiais e área.

A indústria sucroalcooleira visa à recuperação máxima da sacarose da cana-de-açúcar ao menor custo possível, sendo que a qualidade da matéria prima da cana-de-açúcar a ser processada é de fundamental importância para se conseguir atingir esse objetivo. A combinação dos fatores clima, solo e variedades genéticas determinam a produtividade da cana-de-açúcar, sendo que uma produtividade mais alta pode ser

conseguida por meio da seleção de variedades adequadas ao ambiente a ser cultivado (LEMOS *et al.*, 2016).

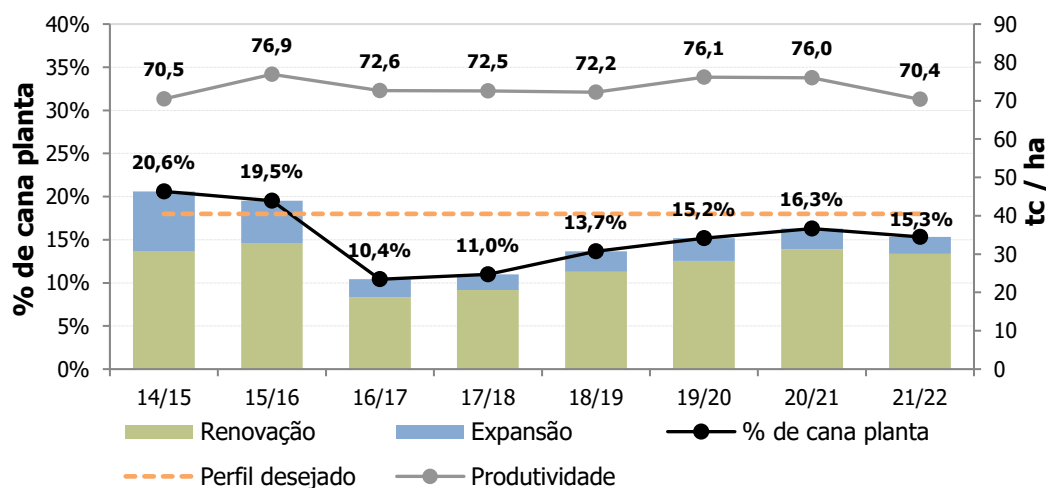
Para produzir uma maior quantidade de etanol por tonelada de cana-de-açúcar plantada ou por hectare, são necessárias melhorias nos fatores tecnológicos, nos processos produtivos, no manejo e cultivo, além do aumento da área cultivada. Desta forma, ao analisar-se a produtividade do sistema cana-de-açúcar é preciso levar em conta o ótimo global e não o ótimo local, seja ele o subsistema agrícola ou o subsistema industrial (LEMOS *et al.*, 2016).

A avaliação do desempenho da produção sucroenergética requer verificar como está distribuída a área de cultivo da cana, diferenciada em: reformada, em reforma, de expansão e de cana soca (BRASIL, 2022a).

Área reformada é aquela recuperada no ano da safra anterior e que está disponível para colheita. Área em reforma é aquela que não será colhida, pois se encontra em período de recuperação para o replantio da cana ou outros usos. Área de expansão é a classe de lavouras de cana que, pela primeira vez, está disponível para colheita. Área de cana soca é aquela que já passou por mais de um corte. Ao somatório das áreas reformada e de expansão denomina-se área de cana planta. A participação da cana planta considerada ideal é de 18%, percentual relativo a uma renovação do canavial após cinco safras. Quanto maior for a idade do canavial, menor será a área com cana mais nova e, conseqüentemente, menor a produtividade média, visto que essa decresce a cada corte (BRASIL, 2022a).

Conforme ilustra o Gráfico 22, a produtividade média do setor sucroenergético brasileiro iniciou um movimento de queda na safra 2020/21, acentuado na safra 2021/22, chegando a 70,4 tc/ha, queda de 7,4% com relação à anterior (76,0 tc/ha), e **menor valor registrado desde a safra 2014/15**. A participação de cana planta na cana total se elevava desde a safra 2017/18, entretanto apresentou uma redução de 5,8% na safra 2021/22, alcançando 15,3%, se distanciando do ideal (BRASIL, 2022a).

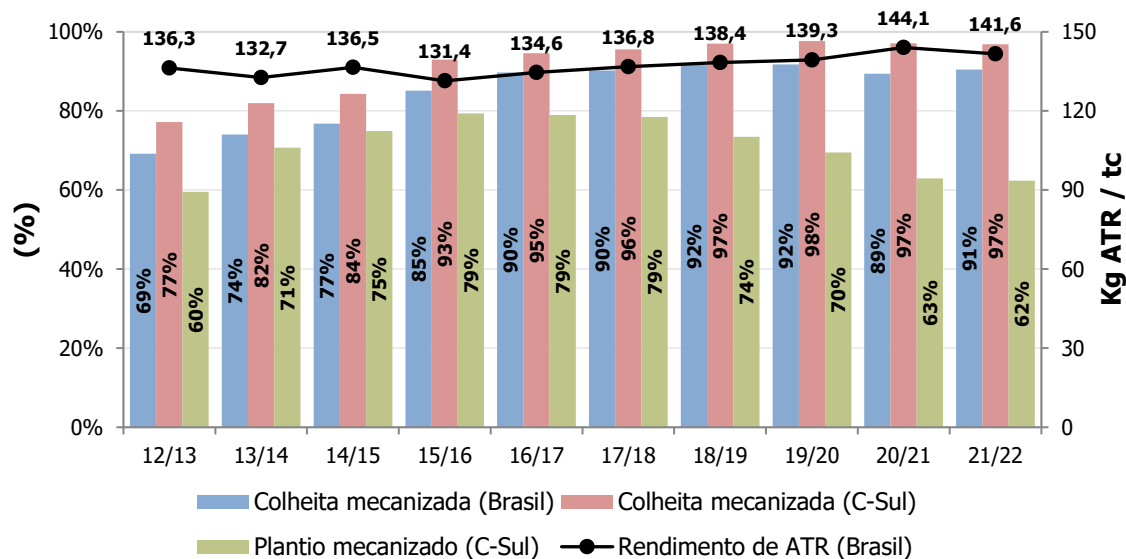
Gráfico 22 - Participação da cana planta na área total colhida e produtividade



Fonte: (BRASIL, 2022a)

O rendimento da cana-de-açúcar nas últimas safras segue ilustrado no Gráfico 23. Na safra 2021/22 houve uma diminuição do rendimento de 1,7% em relação à anterior (144,1 kg ATR/tc), após cinco anos de aumentos consecutivos. As condições climáticas, idade das lavouras, impurezas minerais e vegetais e a defasagem entre a implantação da mecanização do plantio e da colheita da cana são os principais fatores que influenciam esse indicador (BRASIL, 2022a).

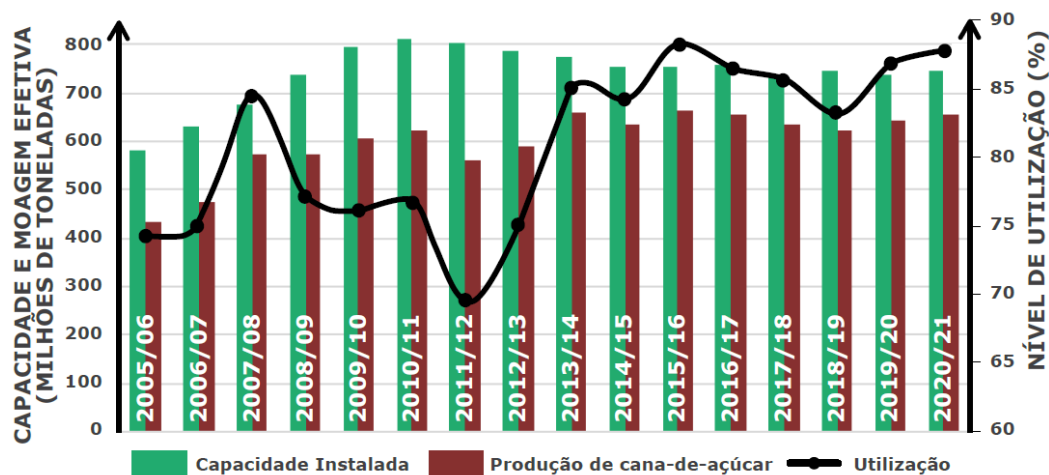
Gráfico 23 - Colheita plantio mecanizados e rendimento da cana



Fonte: (BRASIL, 2022a)

Brasil (2022a, p. 6) explica que a colheita mecanizada da cana-de-açúcar foi implantada no país, principalmente, para atingir as metas impostas pelas leis e acordos ambientais de redução das queimadas. Entretanto, houve um descompasso entre a mecanização da colheita e a do plantio, além de outras operações ligadas ao seu cultivo. Dessa forma, ocorreu um aumento da quantidade de impurezas minerais e vegetais que é conduzida para dentro da unidade industrial, junto com a cana, degradando a sua qualidade.

Para Silva e Santos (2022), após a introdução dos veículos *flex fuel* (2003), o aumento dos investimentos em capacidade industrial não foi acompanhado por ganhos de produtividade e de área colhida na mesma proporção, resultando em **aumento da ociosidade**. Na década de 2010, em especial, a partir de 2015, a combinação de redução da área colhida com estagnação da produtividade agrícola foi fundamental para que a ociosidade da indústria sucroalcooleira permanecesse (Gráfico 24).

Gráfico 24 – Capacidade instalada, moagem efetiva e nível de utilização

Fonte: (SILVA; SANTOS, 2022)

A capacidade de moagem de cana-de-açúcar atingiu um pico na safra 10/11, caindo progressivamente, em função do fechamento de algumas usinas, porém se mantendo relativamente constante a partir do ciclo 14/15. A ociosidade na indústria teve seu apogeu na safra 11/12, proximamente ao pico de capacidade instalada, tal que o nível de utilização ficou abaixo de 70%. Similarmente à capacidade instalada em si, o nível de utilização apresentou maior estabilidade entre as safras 13/14 e 20/21, oscilando entre 83% e 88% (SILVA; SANTOS, 2022).

Silva e Santos (2022) acreditam que esse cenário tende a permanecer nas próximas safras na medida em que a produtividade agrícola foi reduzida devido às adversidades climáticas e os elevados preços de grãos (soja e milho), que atraem produtores independentes para migrar de cultura no momento de reforma dos canaviais.

Além disso, anotam Silva e Santos (2022) que a permanência de uma elevada ociosidade na indústria tem impactos diretos sobre os custos unitários de produção, uma vez que existe elevada representatividade de custos fixos que acabam não sendo diluídos, pressionando as margens da atividade.

Para o Instituto Pecege, a safra 2021/2022 de cana-de-açúcar no Centro-Sul foi marcada por movimentos de mercado com impactos antagônicos sobre o setor. A recuperação do preço do petróleo e a manutenção de um câmbio elevado, resultaram em ganhos expressivos no preço do etanol (67% no hidratado e 69% no anidro).

A despeito dos bons preços desses produtos, a **redução da produtividade e o encarecimento dos insumos agrícolas e industriais** pressionaram as margens das usinas sucroenergéticas *vis-à-vis* o observado na safra 2020/2021. A rápida recuperação da atividade econômica chocou-se com uma **baixa disponibilidade de matérias-primas** em geral, resultado da pandemia (PECEGE, 2022).

Conforme citado no subitem 7.3.1, a capacidade máxima de produção firme de um sistema de cana-de-açúcar (campo + agrícola + industrial) é função de um conjunto

de variáveis. Para determiná-la, o Instituto Pecege adota metodologia que considera fatores de conversão de açúcares em etanol típicos da indústria e dados de produção atualizados, cujos resultados seguem à Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativa da capacidade de produção firme de etanol no Brasil

Item	Unidade	Valor**	Fonte
Capacidade de moagem - (A)	milhões t	750,0	Gráfico 24
Capacidade efetiva - (B)	milhões t	660,0	Gráfico 24
Hiato de produto - (A - B)	milhões t	90,0	-
ATR Médio - (C)*	kg de ATR/t	140	Unica
Fator de conversão etanol anidro - (D)*	l/kg de ATR	1,7492	Pecege
Fator de conversão etanol hidratado - (E)*	l/kg de ATR	1,6761	Pecege
Mix etanol/açúcar - (F)	%	55%	Gráfico 14
Mix do incremental para etanol - (G)	%	100%	-
Mix anidro/etanol total - (H)	%	40%	Gráfico 16
Mix hidratado/etanol total - (I)	%	60%	Gráfico 16
Produção atual de etanol anidro de cana – (J) = $(10^6 \times B \times C/D) \times F \times H / 10^9$	bilhões de l	11,62	-
Produção atual de etanol hidr. de cana – (K) = $(10^6 \times B \times C/E) \times F \times I / 10^9$	bilhões de l	18,19	-
Produção de etanol anidro de milho (2021) – (L)	bilhões de l	0,90	Gráfico 15
Produção de hidratado de milho (2021) – (M)	bilhões de l	2,38	Gráfico 15
Prod. incr. de etanol anidro de cana – (N) = $(10^6 \times (A-B) \times C/D) \times F \times H / 10^9$	bilhões de l	2,88	-
Prod. incr. de hidratado de cana – (O) = $(10^6 \times (A-B) \times C/E) \times F \times I / 10^9$	bilhões de l	4,51	-
Produção firme de etanol de cana – (P) = J + K + N + O	bilhões de l	37,21	-
Potencial firme de produção de etanol (cana + milho) – (Q) = P + L + M	bilhões de l	40,49	-

Fonte: elaboração própria a partir de dados de (BRASIL, 2022a)

* informado em entrevista com o Instituto Pecege e União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia

** a área hachurada corresponde aos dados de entrada conforme a fonte indicada

Confirma-se na Tabela 3 que há **ociosidade de cerca de 12% na moagem**, em função da indisponibilidade de cana-de-açúcar (hiato de produto), o que limita a produção de etanol de cana aos atuais 30 bilhões de litros anuais. Considerando que

essa biomassa pudesse ser integralmente suprida para produção exclusiva de etanol (*mix* incremental para o etanol de 100%), ter-se-ia uma produção firme de 37,21 bilhões de litros de etanol de cana, valor que indica uma **ociosidade na produção de etanol anidro e hidratado de cana-de-açúcar de cerca de 20%**.

Adicionando-se a esse montante a produção de etanol de milho em 2021, estima-se a capacidade máxima de produção firme de etanol em 40,49 bilhões de litros. Ou seja, estima-se que o Brasil poderia acrescentar cerca de 8-10 bilhões de litros à sua produção atual de etanol, sem necessidade de ampliação do parque existente, desde que aumentasse a disponibilidade de cana-de-açúcar.

Essa estimativa vai ao encontro das conclusões de Silva e Santos (2022) que, considerando os atuais níveis de ociosidade da indústria de cana-de-açúcar, não se vislumbram, no curto prazo, oportunidades para expansão do parque de açúcar e etanol no país, sendo reduzida a probabilidade de crescimento via *greenfields*. No curto prazo, avaliam os autores, que o setor sucroenergético brasileiro tem um desafio para o seu crescimento: **destravar a produtividade agrícola da cana-de-açúcar**. Os ganhos de produtividade são necessários para catalisar a expansão da oferta de açúcar e etanol pelo país, implicando redução de custos e ganhos de eficiência.

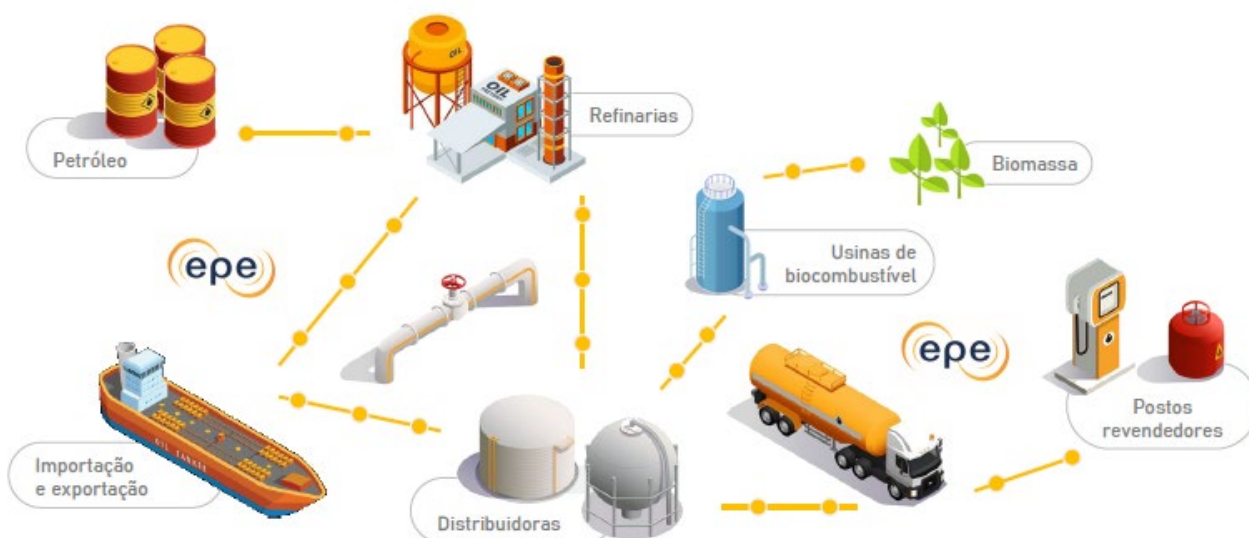
Finda a apresentação dos principais fatores que determinam a dinâmica do mercado brasileiro de etanol, o próximo capítulo mostrará como são formados os preços dos combustíveis no Brasil.

8. Precificação de combustíveis no Brasil

8.1. A formação de preços

Segundo Brasil (2022), desde 2002 vigora no país o regime de liberdade de preços em todos os segmentos do mercado de combustíveis: produção/importação, distribuição e revenda. Os preços dos combustíveis ao consumidor final variam como consequência dos preços nas refinarias, dos tributos estaduais e federais incidentes ao longo da cadeia de comercialização, dos custos e despesas operacionais de cada empresa da cadeia, dos biocombustíveis adicionados aos fósseis e das margens de distribuição e de revenda. Não há tabelamento nem fixação de valores máximos e mínimos, ou qualquer exigência de autorização oficial prévia para reajustes. A Figura 7 ilustra a estrutura básica do mercado de combustíveis no Brasil.

Figura 7 - Estrutura básica do mercado de combustíveis no Brasil



Fonte: (BRASIL, 2021d)

Essa complexa estrutura da formação de preços é impactada por diversos condicionantes, como a taxa de câmbio e os preços dos derivados no mercado internacional. Além desses, há também os tributos que, geralmente, contribuem para composição das receitas governamentais e direcionam a atividade econômica (COSTA *et al.*, 2020).

Os preços dos derivados, ainda que tenham especificações diferenciadas, são autorregulados pela oferta e demanda no mundo, por meio dos mecanismos conhecidos como as **paridades de importação e exportação**. A paridade de preço de importação (PPI) é o preço que o importador consegue colocar o derivado no mercado doméstico, enquanto a paridade de preço de exportação (PPE) é o preço que o produtor nacional consegue realizar a venda no mercado internacional (CAVALCANTI, 2011).

As paridades de exportação e de importação são calculadas, respectivamente, retirando ou inserindo os custos de fretes, seguros e outras despesas associadas à movimentação necessária para a passagem física dos derivados entre o mercado de referência e o país analisado (CAVALCANTI, 2011).

Segundo Brasil (2021, p. 5), a composição de preços ao consumidor para a gasolina C subdivide-se em parcelas, conforme ilustrado à Figura 8.

Figura 8 - Formação de preços finais de combustíveis no Brasil



Fonte: (BRASIL, 2021, p. 5)

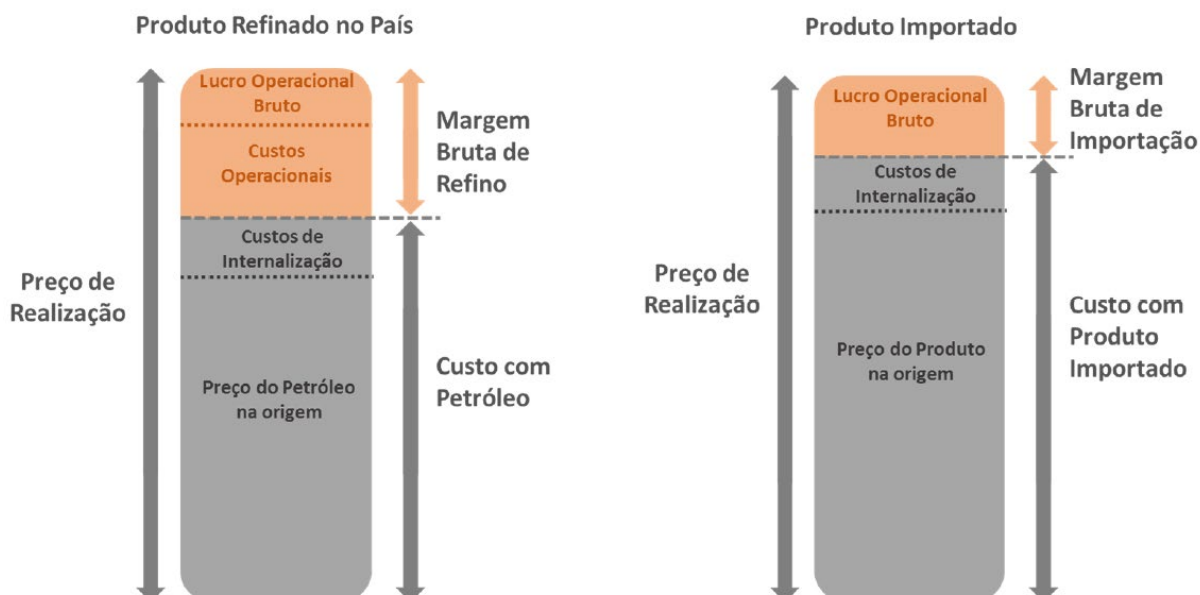
O preço de realização é o preço dos derivados na saída da refinaria (quando produzidos no país) ou na saída do terminal (PPI, quando importados; PPE, quando exportados), deduzidos, em ambos os casos, dos tributos e subsídios. Compõem o preço de realização os custos relativos à importação do produto ou à aquisição dos insumos e à estrutura de custos do produtor/refino, além da margem de lucro do produtor ou importador (BRASIL, 2019). A Figura 9 compara a composição do preço de realização de um derivado de petróleo refinado no país com um importado.

Acrescenta Brasil (2019, p. 5) que apesar de usualmente os preços de realização de cada derivado de petróleo serem apresentados individualmente, a decomposição dos custos inerentes à refinação por cada produto se reveste de certo grau de subjetividade. Como a cesta de produtos gerados em cada planta de refino difere substancialmente de uma para outra, as margens de refino são mais usualmente analisadas sob a ótica de barril de petróleo processado, ao invés de pôr volume de derivado produzido. Entre as diversas variáveis que afetam a economicidade de uma refinaria ou importadora, destacam-se:

- preço de aquisição do petróleo ou derivado;

- internalização;
- custos operacionais; e,
- lucro operacional bruto.

Figura 9 - Preço de realização da gasolina C - refinada x importada



Fonte: Brasil (2019, p. 5)

O preço de aquisição do petróleo na origem é o principal componente do preço de realização. No caso do combustível importado, considera-se o preço de aquisição. O custo de internalização é o transporte do petróleo desde sua origem até a refinaria destino, incluindo custos de transporte marítimo, adicional ao frete para renovação da marinha mercante (AFRMM), armazenagem, transporte terrestre, perdas, seguro, entre outros custos. Para o combustível importado, consideram-se os custos de internalização até a saída do terminal (BRASIL, 2021d).

Incluem-se nos custos operacionais do refino os custos de pessoal, manutenção, energia, utilidades, insumos, outros custos de produção e depreciação. No caso dos importados, estes custos estão inclusos no preço de aquisição. Por fim, o lucro operacional é o resultado econômico do agente (refinador ou importador), descontadas as despesas administrativas, financeiras, de vendas, de tributos e perdas com ajuste do valor recuperável de ativos (BRASIL, 2021d).

Analogamente, o custo do biocombustível acrescido compulsoriamente ao combustível fóssil ou vendido diretamente na bomba é formado pelos preços de realização ex-usina (quando produzido nacionalmente) ou ex-terminal (importado), deduzidos de tributos e subsídios. O preço de realização ex-usina é formado por:

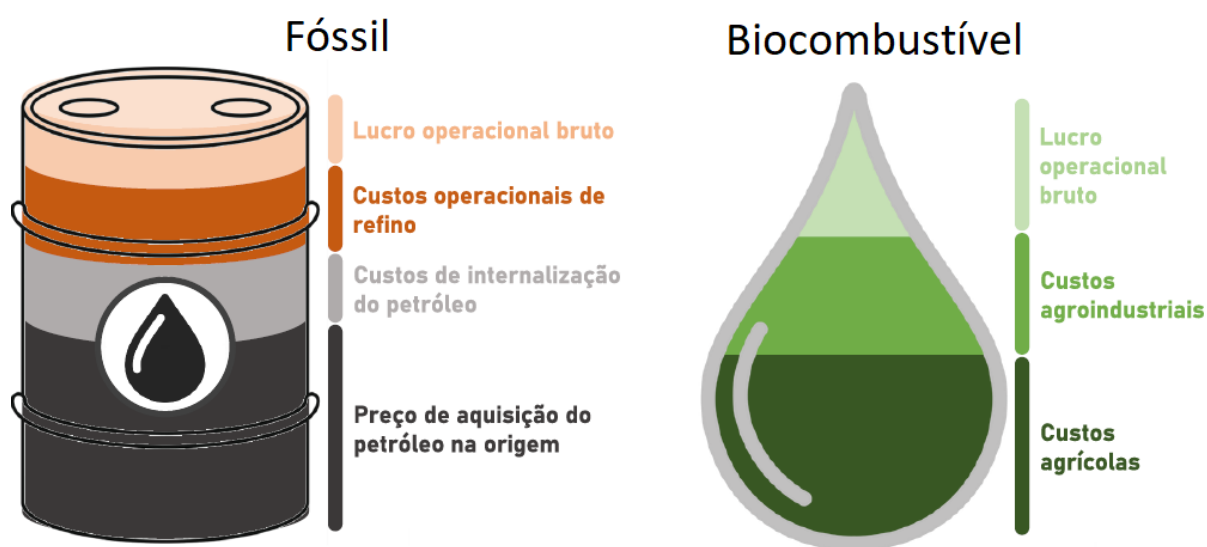
- custos agrícolas;

- custos agroindustriais; e
- lucro operacional bruto.

Entre os custo agrícolas incluem-se despesas com arrendamento, terreno, formação da plantação, mão de obra, mecanização, máquinas agrícolas, irrigação, insumos agrícolas (ex. fertilizantes e defensivos), colheita, transbordo e transporte da biomassa, e depreciação. Já os custo agroindustriais são compostos pelos custos com a transformação da biomassa em biocombustível, o que inclui despesas de pessoal, manutenção, equipamentos, insumos, energia, utilidades, outros custos operacionais, e depreciação. Por fim, o resultado econômico do agente (usina ou importador). Para cálculo do lucro líquido devem ainda ser descontadas despesas administrativas, financeiras, de vendas e de tributos, e perdas com ajuste ao valor recuperável de ativos (BRASIL, 2021d).

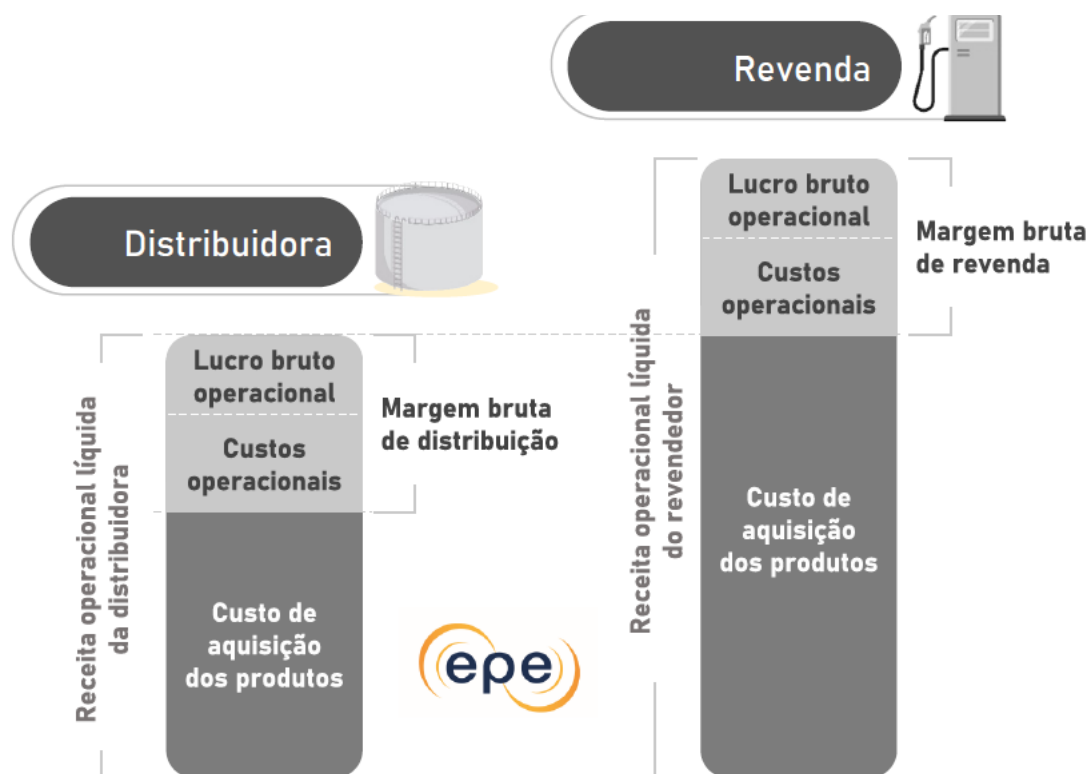
A Figura 10 compara os preços de realização do combustível fóssil e do biocombustível.

Figura 10 - Preço de realização de combustível: fóssil x biocombustível



Fonte: (BRASIL, 2021, p. 6-7)

As margens brutas de distribuição e revenda variam para cada combustível comercializado, em função das distintas estruturas de custo e do mercado de cada produto, conforme ilustra a Figura 11. Importante anotar que os custos com a aquisição de CBIO constam dos custos operacionais das distribuidoras, reduzindo o lucro operacional

Figura 11 - Margens brutas de distribuição e revenda

Fonte: (BRASIL, 2021, p. 8)

8.2. A tributação

A descrição que se segue considera o regramento tributário vigente em 2020 e 2021. No primeiro semestre de 2022 foram aprovadas inovações na legislação tributária, cujo impacto no objeto da pesquisa será tratado no Capítulo 9.

Os impostos são representados na composição de preços dos combustíveis pelo Imposto de Importação (II) e pelo Imposto de Exportação (IE), ambos de competência federal, além do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual, Intermunicipal e de Comunicação (ICMS), de competência estadual. Adicionalmente, há três contribuições federais que constituem o preço final ao consumidor: a Contribuição para o Programa de Integração Social do Trabalhador e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/Pasep); a Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins); e a Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico (Cide) (COSTA *et al.*, 2020).

Entre os tributos incidentes sobre a comercialização dos combustíveis, os de competência federal são arrecadados diretamente pela União e, exceto em condições específicas, possuem alíquotas e metodologias homogêneas para todo o país. O IE e o II têm alíquota zero ao menos desde a liberalização dos preços dos combustíveis,

ocorrida em 2002. A Cide possui alíquota *ad rem* (valor monetário por unidade volumétrica ou de massa), definida na Lei 10.366/2001. O PIS e a Cofins têm alíquotas *ad valorem* (a base de cálculo é o valor venal do bem ou serviço tributado), porém, desde 2003, há a flexibilização do recolhimento de combustíveis por meio de alternativa *ad rem*. O único tributo de competência estadual (ICMS) representa, usualmente, a **parcela majoritária do montante arrecadado com a comercialização dos principais combustíveis no Brasil**. O ICMS é um imposto *ad valorem* com diferentes alíquotas em cada ente federativo (COSTA *et al.*, 2020).

O ICMS é um imposto sobre valor agregado, que possui como fato gerador todas as vendas ao longo da cadeia de comercialização do combustível, enquanto o II e o IE possuem fatos geradores, respectivamente, a entrada e a saída do território nacional de produto comercializado, e incidência monofásica no agente que realiza o comércio internacional. As contribuições sociais, PIS/Pasep e Cofins, incidem sobre o faturamento dos agentes econômicos. Por sua vez, a Cide é uma contribuição extrafiscal, que atua preferencialmente com o objetivo de intervir na atividade econômica. Seu fato gerador é a venda por produtores, formuladores e importadores de derivados de petróleo e álcool etílico combustível. Assim, **quase todos os tributos que recaem sobre a cadeia de comercialização de combustíveis são monofásicos no elo de produção** (BRASIL, 2020k). O Quadro 1 resume todos os tributos incidentes sobre a comercialização de combustíveis no Brasil.

Quadro 1 - Tributos sobre a comercialização de combustíveis no Brasil

Tributo	Criação	Finalidade
I.I.	Lei 3.244/1957	➤ Despesas gerais
ICMS	EC 18/1965	➤ Despesas gerais
PIS/Pasep	Lei Complementar 7/1970 (PIS) Lei Complementar 8/1970 (Pasep) Lei Complementar 26/1975 (unificação)	➤ Programas de desenvolvimento econômico ➤ Seguro-desemprego ➤ Abono anual ➤ Outras ações da previdência social
I.E.	Decreto-Lei 1.578/1977	➤ Despesas gerais
Cofins	Lei Complementar 70/1991	➤ Saúde ➤ Previdência ➤ Assistência social

Cide	Lei 10.336/2001	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Infraestrutura de transportes ➤ Projetos ambientais ➤ Subsídios ao álcool e ao gás natural, e aos derivados de petróleo
-------------	-----------------	---

Fonte: (BRASIL, 2020k)

A Tabela 4 traz o valor dos tributos federais vigentes, por contribuições incidentes sobre as vendas de gasolina e etanol (anidro e hidratado). As alíquotas para a gasolina C decorrem da média ponderada das alíquotas para etanol anidro (23%) e gasolina A (77%). O cálculo da Cide também considera a proporção de gasolina A (77%).

Tabela 4 – Valor dos tributos federais sobre a gasolina e etanol (2020-2021)

Combustível	PIS/Pasep (R\$/l)	Cofins (R\$/l)	Cide (R\$/l)
gasolina A	0,1411	0,6514	0,10
etanol anidro	0,02338	0,10752	-
etanol hidratado	0,04321	0,19862	-
gasolina C	0,10931	0,50455	0,073

Fonte: adaptado de (BRASIL, 2020a, p. 6)

A carga efetiva do ICMS sobre a comercialização da gasolina e do etanol em todas as UF brasileiras revela um caráter mais dinâmico. Os governos estaduais costumam alterar essas alíquotas com maior frequência. Vários estados brasileiros mantêm incentivos fiscais ao etanol, consistentes com uma alíquota inferior à da gasolina (diferenciação tributária).

Em 2020, apenas o estado de Mato Grosso do Sul alterou a alíquota de ICMS sobre o etanol, reduzindo-a de 25% para 20%, em fevereiro, o que contribuiu para aumentar o consumo estadual do biocombustível em 40,9% no estado. Com isso, Mato Grosso do Sul se juntou aos outros 15 estados que já praticavam diferenciação nas alíquotas de ICMS do etanol e da gasolina, como fomento ao biocombustível (BRASIL, 2021a).

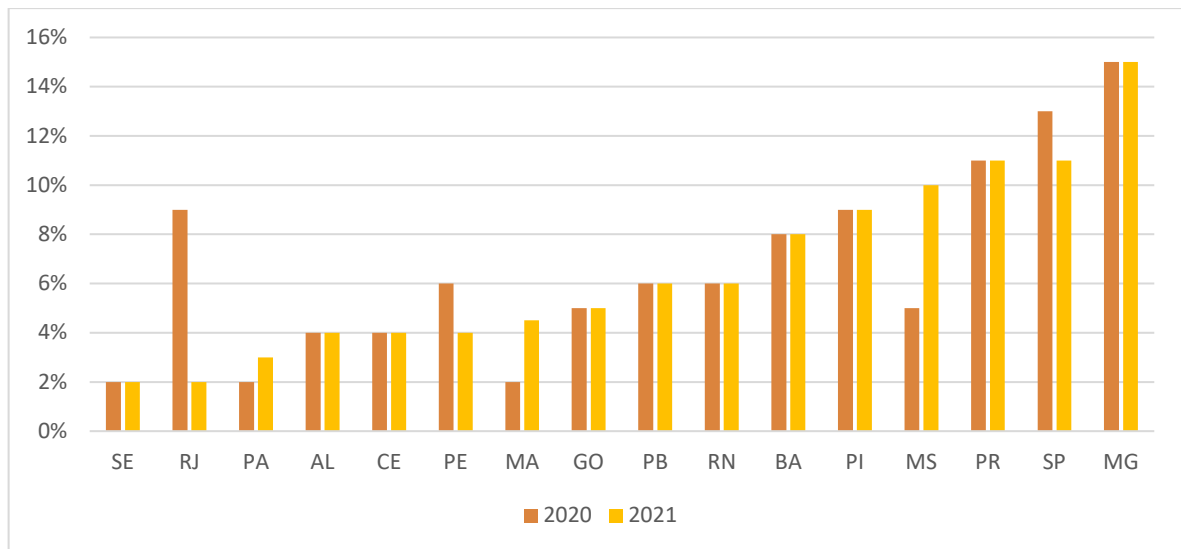
Já em 2021, alguns estados alteraram as alíquotas do ICMS sobre o etanol, assim como sobre a gasolina. Os estados de Pernambuco e São Paulo aumentaram as alíquotas de ICMS sobre o etanol para 25% e 13,3%, respectivamente. Além disso, os estados de Mato Grosso do Sul e Maranhão aumentaram as alíquotas sobre a gasolina, respectivamente para 30% (de 25%) e para 30,5% (de 28%). O estado do Pará reduziu a alíquota sobre o etanol de 26% para 25% (BRASIL, 2022a).

Tanto em 2020 quanto em 2021, o estado de Mato Grosso apresentou a menor razão P_E/P_G do país, muito pela expressiva produção de etanol de milho. Em São Paulo, maior produtor e consumidor brasileiro, a alíquota de ICMS para o etanol foi a menor em âmbito nacional, seguido por Minas Gerais, que possui a segunda menor alíquota.

Os estados menos competitivos foram Amapá e Rio Grande do Sul, onde o preço do etanol atingiu, em média, 107% e 95% do preço da gasolina C, respectivamente (BRASIL, 2022a).

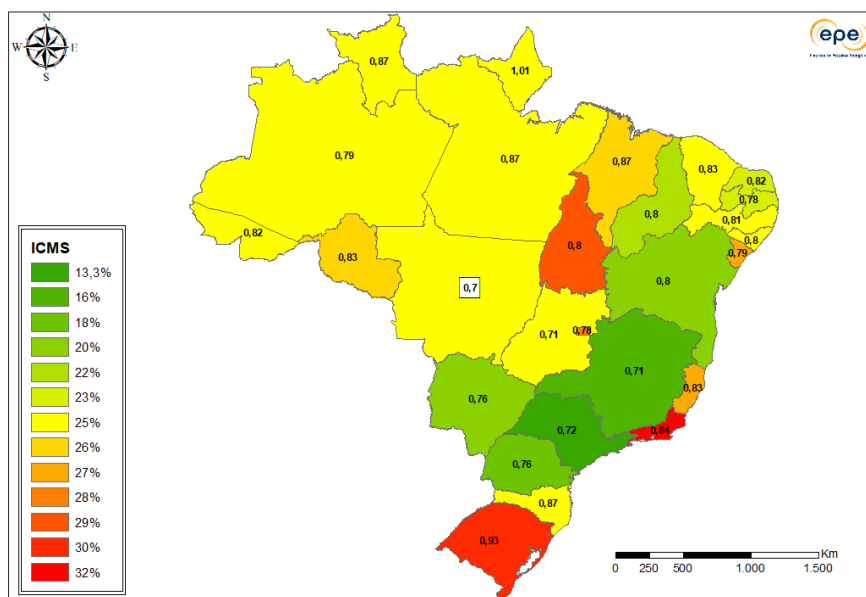
Com essas mudanças, **16 estados mantiveram a prática de diferenciação nas alíquotas de ICMS do etanol e da gasolina**, como forma de fomento ao mercado do biocombustível, conforme ilustra o Gráfico 25. Minas Gerais e São Paulo mantiveram a maior diferença entre os tributos, 15% e 11,7%, respectivamente. A Figura 12 ilustra a distribuição das diferentes taxações do ICMS nos estados brasileiros em 2021.

Gráfico 25 - Diferenciação tributária - ICMS (gasolina x etanol) 2020 x 2021



Fonte: elaboração própria a partir de (BRASIL, 2021a)

Figura 12 - Alíquota de ICMS do etanol e relação P_E/P_G por estado em 2021



Fonte: (BRASIL, 2021a)

Brasil (2020a, p. 8-9) aduz que as diferentes cargas tributárias aplicadas às vendas dos combustíveis fósseis e biocombustíveis em uma mesma UF ressaltam políticas diferentes para esses produtos, com reflexos nas atividades econômicas e na adoção de opções energéticas locais e regionais. Observa-se uma significativa disparidade de carga de ICMS entre as UF para quaisquer dos combustíveis elencados.

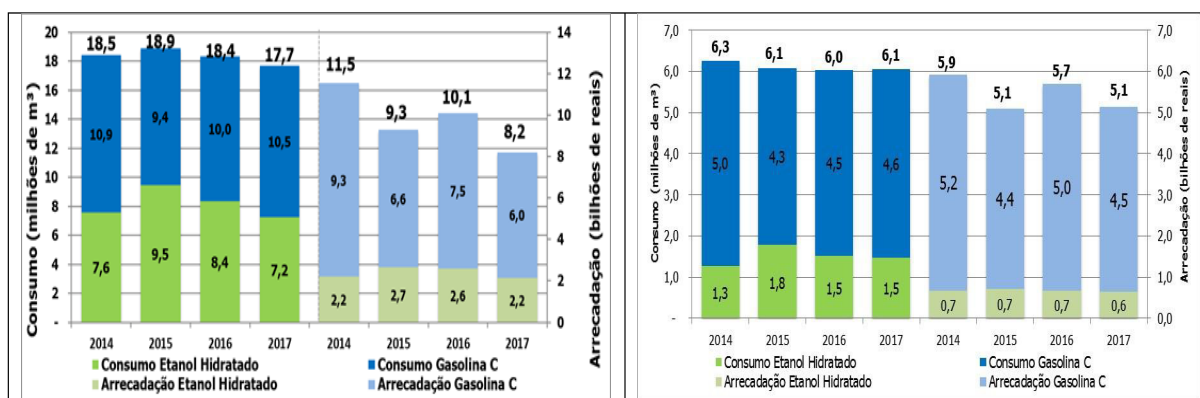
Por se tratar do maior tributo de valor agregado incidente na cadeia, a competitividade dos combustíveis e, conseqüentemente, **o comportamento do consumidor é bastante influenciado pela carga do ICMS**. Para os propósitos desta pesquisa convém compulsar as conclusões de dois importantes trabalhos sobre o tema.

Costa et al. (2018) analisou o papel da política tributária estadual no fomento ao mercado de etanol, a partir da avaliação das diferenças nas alíquotas de ICMS do etanol hidratado e da gasolina C nos estados de São Paulo e Minas Gerais e os impactos para produção e consumo do biocombustível.

São Paulo é o maior produtor nacional de etanol. Desde 2003, manteve estáveis as alíquotas do ICMS sobre o biocombustível em 12%, menor valor praticado no país, sustentando elevadas diferenciações em relação à gasolina. Tal conjunto de fatores tem rendido ao estado paulista um consumo bastante expressivo para o etanol. Já Minas Gerais, também um produtor nacional de destaque, vem realizando diversas alterações tributárias para estimular um aumento do consumo do etanol hidratado em substituição ao uso de gasolina no abastecimento de veículos leves. Destaca-se a significativa modificação do ICMS do etanol hidratado e da gasolina, promovida pelo governo de Minas Gerais em 2015, que resultou em diferenciação tributária de 15%. Tal ação logrou aumentar o consumo de etanol no estado (COSTA *et al.*, 2018).

No Gráfico 26 comparam-se o consumo de etanol hidratado e gasolina C, além da arrecadação de ICMS correspondente aos dois combustíveis nos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Gráfico 26 - Consumo e arrecadação em SP (esquerda) e MG (direita)



Fonte: (COSTA et al., 2018, p. 7)

Concluíram os autores que para o caso dos combustíveis do Ciclo Otto em São Paulo e Minas Gerais, a política de diferenciação tributária adotada, seja de curto ou longo

prazo, resulta no **aumento da demanda de etanol hidratado**, direcionando o perfil de consumo para uma matriz de combustíveis mais renovável. Não obstante, decorre uma **menor massa de arrecadação de tributos com a venda agregada dos combustíveis**. Apesar de reduzir a arrecadação total, o incremento da demanda de biocombustíveis resulta em diversos benefícios colaterais, na forma de aumentos expressivos em emprego, atividade econômica, oferta de bioeletricidade da cana, produção de biogás, bem como da contribuição do setor sucroenergético para a **redução das emissões de gases de efeito estufa** (COSTA *et al.*, 2018).

Em outra direção, Cavalcanti (2011) avaliou a competitividade dos combustíveis automotivos e analisou a influência da carga tributária sobre seu preço final. O foco do trabalho consistiu na investigação da permanência dos incentivos fiscais ao etanol brasileiro e análise da viabilidade da introdução da tributação ambiental no mercado de combustíveis automotivos brasileiro.

Consignou o autor que, com o advento dos veículos *flex fuel*, o consumidor brasileiro obteve a opção de escolha a curto prazo por um combustível substituto, tendo a carga tributária como elemento fundamental na definição da competitividade entre combustíveis, não apenas no momento da aquisição do veículo, mas permanentemente durante o seu uso (CAVALCANTI, 2011).

Cavalcanti (2011) refletiu que, ao elevar a competitividade do mercado, os carros *flex fuel* trouxeram uma questão: álcool e gasolina, como bens substitutos (que deveriam ter isonomia tributária pela ótica econômica), são competitivos, ou se tornam competitivos em função de diferenças na incidência tributária?

O **diferencial tributário** do etanol em relação à gasolina representa um favorecedor na disputa por mercado, uma vez que afeta sobremaneira a competitividade destes combustíveis pelo impacto no nível de demanda e oferta. Contudo, esta situação pode não ser sustentável no longo prazo devido, principalmente, à perda de arrecadação do Estado (CAVALCANTI, 2011).

Para o autor, como o Estado brasileiro necessita de recursos para realizar suas funções e objetiva a permanência da competitividade econômica do etanol, seria crucial identificar qual o nível de incidência de tributos que mitigaria as perdas de arrecadação do Estado brasileiro em favor do setor sucroalcooleiro e simultaneamente manteria o etanol competitivo frente à gasolina, inclusive internalizando vantagens ambientais relativas deste biocombustível (CAVALCANTI, 2011).

Valendo-se de abordagem econométrica, a partir da projeção de preço do petróleo *brent* (2010-2019) e dos cenários de política tributária, Cavalcanti (2011) mostrou que a elevação da tributação sobre o etanol no Brasil não é capaz de compensar integralmente a perda de arrecadação fiscal devido à substituição do consumo de gasolina, **sem tornar o etanol inviável economicamente**, dado o padrão tecnológico atual da indústria. No entanto, **parte da perda de arrecadação fiscal pode ser**

compensada por uma maior tributação sobre o etanol, mantendo-o competitivo. Isto é particularmente verdade em cenários de elevado preço de petróleo.

A tese demonstrou que **os incentivos fiscais vigentes superavam o valor do benefício externo de redução das emissões de GEE**, para diferentes cenários de preço de carbono (CAVALCANTI, 2011). Ou seja, **o volume de subsídios vai além do benefício ambiental.**

Cavalcanti (2011) ainda destacou a necessidade de se **minimizar os efeitos negativos da tributação sobre a eficiência e a competitividade do setor produtivo**, assegurando a integração comercial. Para o autor, uma potencial fonte de ineficiência seria a **interferência da tributação sobre a alocação de recursos do mercado**. Isto porque, dependendo da forma de tributação e de sua magnitude, podem-se gerar **distorções nas condições de escassez** e, por conseguinte, na alocação de recursos econômicos.

A tributação sobre o valor de certo bem desloca para cima a curva da oferta no curto prazo na medida do valor do tributo, o que eleva o preço de mercado do produto, reduzindo o nível de produção total da indústria. Para o consumidor, o imposto afeta a dotação orçamentária, o que tende a modificar suas escolhas por meio da substituição do bem mais caro (CAVALCANTI, 2011, apud VARIAN, 2012).

De tal modo, o diferencial tributário destes combustíveis deveria ser cuidadosamente analisado para que a concorrência não comprometa outras funções do Estado. Com isso, a tributação da gasolina passa a ser um fator determinante para a sua competitividade no mercado interno, bem como a tributação do principal concorrente, o etanol hidratado (CAVALCANTI, 2011).

Notou o autor, porém, que os incentivos fiscais geram perdas na arrecadação, estabelecendo um *trade off* com o qual estados e União, cada vez mais, se depararão: estímulo a setores e/ou agentes *versus* arrecadação para arcar com serviços do Estado. A partir desta discussão, amplia-se a importância da compreensão do sistema tributário incidente sobre o setor de combustíveis (CAVALCANTI, 2011).

A tributação da energia não tem como única finalidade gerar receitas, sendo cada vez mais considerada como um instrumento eficaz para internalizar as externalidades. Simultaneamente, a tributação da energia tem como efeito **incentivar a busca pelo aumento da eficiência energética**. Nesta perspectiva, o efeito incentivador que a renúncia fiscal concedida gera no desenvolvimento de determinado combustível pode não justificar a continuidade desta política no longo prazo (CAVALCANTI, 2011).

Desta forma, sugeriu o autor que, em condições normais, **a política tributária incidente sobre os combustíveis automotivos no Brasil poderia ser revista**, a fim de evitar a excessiva transferência de renda da sociedade para os produtores e internalizar os custos externos decorrentes da emissão de GEE no consumo de combustíveis fósseis (CAVALCANTI, 2011).

8.3. A dinâmica de precificação do etanol

De acordo com Cavalcanti (2011), os agentes econômicos respondem a mudanças nos preços dos energéticos, aumentando e diminuindo oferta e demanda, e se ajustam no longo prazo. Em se tratando de um recurso exaurível, espera-se que o preço aumente no tempo, reduzindo a demanda e conduzindo o consumidor a energéticos substitutos.

O autor ainda anotou que, atualmente, os preços do etanol são influenciados por diversos fatores mercadológicos, tais como perspectivas de desbalanceamento entre oferta e demanda, evolução do mercado de açúcar e preço da gasolina (custo de oportunidade) (CAVALCANTI, 2011).

Em mesmo sentido vai Moura (2014) ao acrescentar que, no Brasil, o mercado de etanol encontra-se intrinsecamente ligado a dois outros produtos: a gasolina e o açúcar. À gasolina porque ora a **complementa** (etanol anidro), ora a **substitui** (etanol hidratado), no abastecimento de veículos leves. Ao açúcar porque é majoritariamente produzido da mesma matéria-prima: a cana-de-açúcar.

Brasil (2020d) acrescenta que o consumo de etanol é, portanto, influenciado de duas formas pela gasolina C. Primeiramente, a demanda por etanol anidro possui relação direta com as vendas de gasolina C, em função da mistura obrigatória. Em segundo, pelo fato de a demanda por etanol hidratado variar conforme a relação entre os preços do etanol hidratado e da gasolina C (P_E/P_G), se esta se situe abaixo ou acima de 70%, limite determinante do que se convencionou chamar **vantagem competitiva de um combustível sobre o outro**.

A preferência dos consumidores entre o etanol e gasolina também foi estudada pela EPE, em 2013. Com o desenvolvimento da tecnologia *flex fuel* e o crescimento dessa frota, o comportamento do consumidor usuário destes veículos bicompostíveis assumiu importância elevada para a construção de cenários de oferta e demanda de combustíveis do Ciclo Otto. A pesquisa da EPE buscou estudar o comportamento destes usuários e aprofundar o conhecimento sobre os principais critérios que influenciam a decisão do consumidor na hora do abastecimento (BRASIL, 2013).

De um modo geral, Brasil (2013) percebeu que os usuários de veículos *flex fuel*, nas várias regiões do país, apresentam comportamentos e crenças similares em relação ao consumo de combustível. Entretanto, dois pontos diferenciam seus comportamentos e o consumo de combustível nas diversas cidades avaliadas: o **clima da cidade** e o **preço relativo dos combustíveis** (P_E/P_G). Embora existam diversas variáveis (autonomia, confiabilidade, entre outros) que influenciam o comportamento do consumidor, o preço relativo (P_E/P_G) representa a variável mais importante para a determinação da demanda relativa de etanol (V_E/V_T).

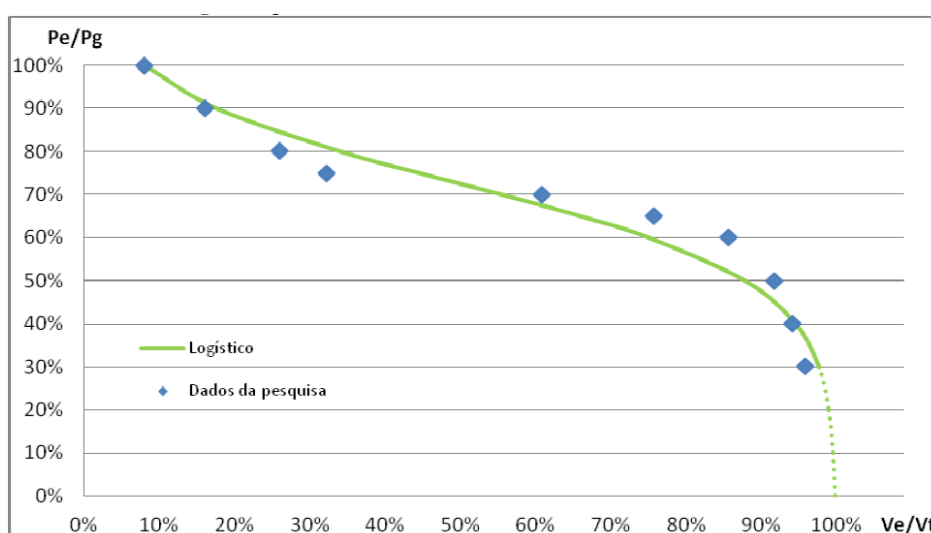
Ressaltou ainda Brasil (2013) que o consumidor sabe que o etanol é renovável e menos prejudicial ao meio ambiente, mas **não está disposto a ter um gasto superior com seu uso**. A preservação do meio ambiente é um critério secundário de decisão.

As curvas de demanda relativa mostram que o consumidor troca o etanol pela gasolina conforme aumenta P_E/P_G , o que indica um **comportamento econômico racional**. Tal comportamento fica ainda mais evidente quanto mais próximo o preço relativo está do ponto de equilíbrio representado pela razão $P_E/P_G = 0,7$. Nesta região, pequenas variações de preço levam a grandes alterações de consumo, sinalizando que, **quanto mais próximo da relação 0,7, maior a elasticidade-preço da demanda**. Por outro lado, quanto mais distante desta razão de competitividade, menor é a sensibilidade do consumidor com relação a alterações nas tarifas dos combustíveis (BRASIL, 2013).

Contudo, registra-se que mesmo quando o preço do etanol é alto em relação ao da gasolina, há um conjunto de usuários que prefere usar etanol (consumidores cativos de etanol). Da mesma forma, quando o preço da gasolina é alto em relação ao do etanol, também há um conjunto de usuários que se mantém fiel à gasolina (consumidores cativos de gasolina) (BRASIL, 2013).

O Gráfico 27 ilustra resultado convergente da pesquisa de preferência do consumidor conduzida no estudo da EPE e do modelo logístico desenvolvido pela empresa para o consumo relativo de etanol hidratado consumido pelos proprietários de veículos bicompostíveis (V_E/V_T), a partir da relação de preços entre o etanol e a gasolina (P_E/P_G). Essa curva $P_E/P_G \times V_E/V_T$ construída pela EPE vem servindo de base para a maior parte dos estudos relacionado ao tema competitividade do etanol no Brasil.

Gráfico 27 - Preço relativo x consumo relativo de etanol e gasolina

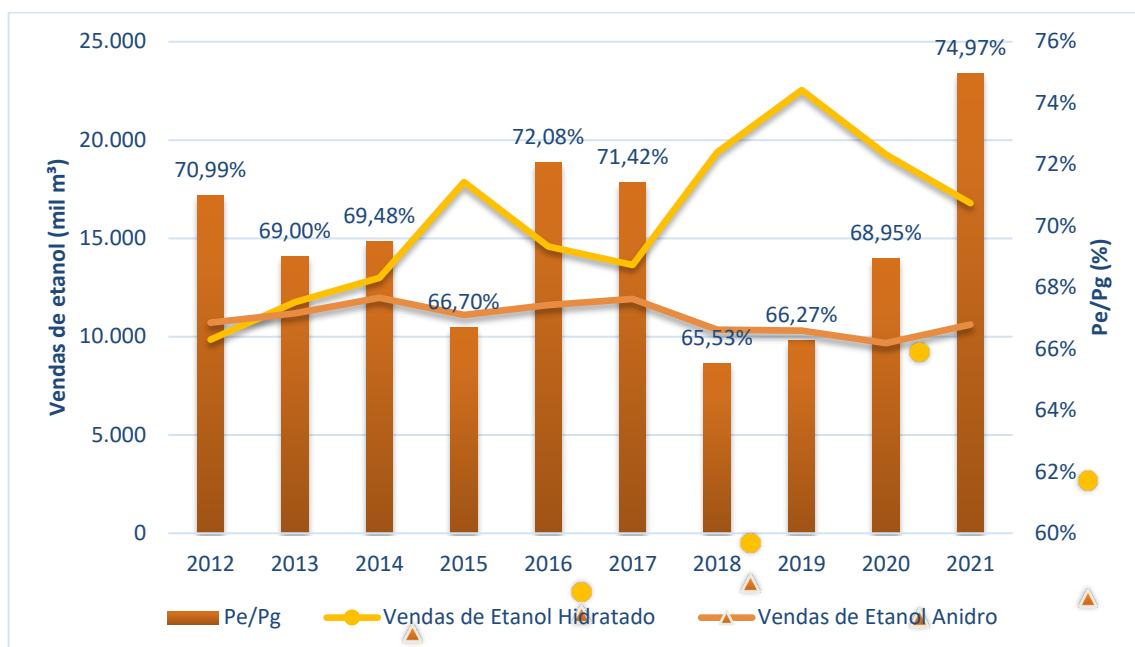


Fonte: (BRASIL, 2013, p. 35).

Com a maior competitividade do preço médio do etanol hidratado frente à gasolina C, quer dizer, com o preço médio do etanol hidratado abaixo de 70% do preço da gasolina C, as vendas mensais de etanol hidratado crescem significativamente, conforme se

observa no Gráfico 28, no qual se identifica que os picos de venda de etanol hidratado nos últimos anos coincidem com os momentos nos quais a relação P_E/P_G é menor.

Gráfico 28 - Vendas de etanol anidro e hidratado x P_E/P_G



Fonte: elaboração própria a partir de (BRASIL, 2022b)

Moura (2014) buscou explicar de que modo os preços do açúcar e da gasolina interferem e/ou determinam os preços do etanol no Brasil. O autor comparou diversos estudos, nacionais e internacionais, realizados entre 2009 e 2013, que objetivavam identificar e esclarecer os mecanismos de causalidade entre os preços do petróleo e os preços das *commodities* agrícolas, analisar o comportamento das produções de etanol e açúcar frente a variações nos seus preços e explicar as interrelações que os preços de gasolina, petróleo e/ou do açúcar mantêm com os preços de etanol.

Observou Moura (2014, p. 35-39) que a maioria desses trabalhos concluem que o preço de etanol hidratado no varejo é determinado, em grande parte:

- pelos preços de gasolina no varejo, com pouca ou nenhuma defasagem; e
- pelos preços de açúcar no atacado (mercado interno e externo), com menor intensidade e defasagem um pouco maior.

A partir de sua própria análise econométrica de séries temporais de preços dos combustíveis ao consumidor final, Moura (2014, p. 103) encontrou elasticidades que sugerem que ante a variação positiva de 1,00% no preço da gasolina C na revenda, o preço do etanol hidratado na revenda aumentaria 0,80%, *coeteris paribus*, no mesmo mês. No entanto, em resposta a variação positiva de 1,00% no preço internacional do açúcar, o preço do etanol na revenda aumentaria 0,23%, ao cabo de quatro meses.

Convém notar que faz sentido que o aumento do etanol hidratado seja percentualmente inferior ao da gasolina (0,80% contra 1,00%). Afinal, no Brasil, a produção de gasolina é um “quase monopólio” da Petrobras, enquanto a produção de etanol vem da concorrência entre 358 usinas. Destaca-se então, mais um importante papel do etanol no mercado brasileiro: **limitação do preço monopolista da gasolina.**

De modo geral, os resultados encontrados por Moura (2014, p. 105-106) corroboram os achados da literatura revisada, tanto na interferência dos preços entre si, como em sua influência na composição da produção das usinas entre etanol e açúcar. E, mais do que isso, lançam luz sobre questões de destacada relevância no âmbito do planejamento energético: a **grande importância do preço da gasolina na determinação dos preços do etanol, o trade-off entre etanol e açúcar estabelecido pela produção de primeira geração** e o recrudescimento das restrições de matéria-prima representado pela **queda de produtividade da cana-de-açúcar nos últimos anos.**

Em síntese dessa exposição, resume-se a dinâmica de preços do mercado brasileiro de etanol.

Supondo um choque no preço internacional do petróleo, as refinarias passarão ao distribuidor o aumento nos preços internacionais da gasolina (PPI), acrescidos dos custos de internalização. Tal aumento de preços é transmitido aos postos de combustíveis, acrescido das margens de distribuição e revenda.

O consumidor reagirá, aumentando o consumo de etanol hidratado na bomba. Isso pressionará para cima o preço do biocombustível, o que deveria ampliar sua oferta pelo mercado. Todavia, como a oferta de etanol é inelástica no curto prazo - dada pelos baixos níveis de estoques, assim como pelas limitações de importação e aumento da produção -, o aumento no consumo não é seguido por uma redução de preços do etanol. O consumo do Ciclo Otto tende a se reduzir, dada a limitação orçamentária dos consumidores. O preço do CBIO tende a cair, vez que a alta no preço dos fósseis desestimula seu consumo. Os usineiros realizarão lucro com a venda de etanol a um preço maior.

Supondo agora uma queda no preço da gasolina, haverá aumento do efeito renda dos consumidores que encontram incentivo para aumento no consumo do fóssil nos postos. Este aumento de consumo do fóssil é limitado pela oferta do etanol hidratado, cujos preços acompanharão o movimento de queda. Com o aumento do consumo do fóssil num primeiro instante, o preço do CBIO tende a aumentar, reequilibrando a competitividade do biocombustível ($P_E/P_G < 0,7$).

Em ambas essas situações de mercado, o preço do açúcar passa a ser determinante da oferta de etanol no médio prazo. Na hipótese de um choque no preço do açúcar, parte da produção poderá migrar do etanol para ele no médio prazo. Em condições típicas, a redução da produção não chega a abalar a oferta de etanol anidro, mas

tende a diminuir a oferta do hidratado. A decisão dos usineiros depende também das sinalizações do mercado do petróleo, mormente o PPI da gasolina.

Se este também em alta, os usineiros podem manter ou até mesmo aumentar a produção de etanol e realizar lucros, acompanhando a alta de preços. Se o PPI estiver em baixa, os usineiros podem migrar seu *mix* para uma produção mais “açucareira”. Como não há meios para se reequilibrar a diminuição de oferta de etanol no curto prazo, o preço do etanol hidratado sofre pressão de alta.

O preço do etanol só sofre pressão de baixa na hipótese de queda simultânea nos preços da gasolina e do açúcar. Nessa situação, o preço do CBIO tende a subir, compensando parte das perdas dos produtores. Para todos esses cenários, repisa-se que a oferta de etanol ainda pode ser limitada pelas variáveis operacionais que afetam a indústria, como demanda e preço do açúcar, o clima e demais fatores determinantes da produtividade vistos no item 7.3.5.

Observa-se então que, enquanto **tomador de preços** da gasolina, a **inelasticidade da oferta também é forte determinante da competitividade do etanol**. Para que o etanol hidratado possa competir com a gasolina, também é necessária uma **sobre oferta** do biocombustível. Conforme visto no item 7.3, **não há etanol suficiente para substituir a demanda brasileira de gasolina por indisponibilidade de biomassa**.

Para tanto, são necessários investimentos para expandir a produção (milho ou cana-de-açúcar) e/ou destravar a produtividade agrícola da cana-de-açúcar, que permitam ao etanol competir com a gasolina, não apenas em preço, **mas também em volume**.

Conforme visto no subitem 7.3.3, cerca de 1/3 da demanda do Ciclo Otto utiliza etanol hidratado e 2/3, gasolina. Para que essa distribuição no mínimo se equalize ($\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{2}$), seriam necessários cerca de 8 a 10 bilhões de litros de etanol hidratado a mais no mercado. Esse volume é alcançável com o parque de usinas existente, desde que disponível a biomassa. A substituição é viável, uma vez que a frota de veículos leves é composta majoritariamente por veículo *flex fuel*.

Com o excesso de oferta, os incentivos dados à indústria sucroalcooleira por meio dos instrumentos do RenovaBio passariam a se refletir em descontos aos consumidores nas bombas de combustível. Nessa composição, o etanol hidratado passaria à condição de **formador de preços**, causando maior pressão redutora nos preços da gasolina. Para os produtores nacionais do fóssil, o racional econômico seria o de busca por mercados externos à procura da PPE.

Conclui-se então que, no curto prazo, o CBIO não se mostra como um instrumento hábil para aumento da competitividade do preço do etanol. Todavia, perfaz um indutor do aumento de produtividade da indústria sucroalcooleira nacional, condição para aumento da sua competitividade no médio e longo prazo.

Vistos os principais elementos da dinâmica de precificação do etanol, no próximo item serão avaliados os principais instrumentos regulatórios do RenovaBio.

9. Avaliação dos instrumentos regulatórios do RenovaBio

Nos capítulos precedentes foram esmiuçados os diversos fatores que afetam a competitividade do etanol no mercado brasileiro. Dado esse contexto, o objetivo do presente capítulo é, a partir dessa dinâmica própria do mercado brasileiro de etanol vista nos Capítulos 7 e 8, estimar qual foi o custo relativo de cada um dos instrumentos regulatórios do RenovaBio na competitividade do etanol, ao longo dos seus dois primeiros anos de funcionamento.

9.1. A diferenciação tributária do etanol

Historicamente, as políticas de diferenciação tributária foram fundamentais para a consolidação do etanol na economia brasileira. O Brasil é um dos líderes mundiais no setor de biocombustíveis e caminha para fortalecer essa posição com o RenovaBio. Entretanto, o país apresenta uma das mais complexas políticas tributárias, com a possibilidade de diferenciação, por unidade da federação, por produtos, origem e destino, entre outros.

Conforme visto no Capítulo 8, o preço final ao consumidor dos combustíveis automotivos possui uma parcela considerável de tributos, diferenciada para cada tipo de combustível e que influencia diretamente a sua competitividade. O Brasil vem aplicando a diferenciação tributária como um instrumento de política pública de incentivo aos biocombustíveis.

O objetivo da presente seção é estimar o montante financeiro renunciado na forma de política pública de fomento ao etanol, no período de 2020 e 2021. Dada a complexidade da política tributária brasileira, assim como o grau de detalhamento dos dados disponíveis, adotou-se metodologia inspirada na tese de doutorado de Cavalcanti (2011), que avaliou a tributação aplicada aos combustíveis líquidos utilizados nos veículos leves no Brasil.

É preciso ter em conta que a estimativa deve considerar as especificidades relacionadas à renúncia de imposto federais (PIS/Cofins e Cide), assim como estaduais (ICMS). Assim, de exórdio, tomam-se os volumes de vendas de gasolina C e etanol hidratado no período, assim como os preços médios ao consumidor, obtidos do Anuário Estatístico da ANP, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Volumes e preços de vendas de gasolina C e etanol hidratado

Item	Gasolina C		Etanol Hidratado	
	2020	2021	2020	2021
Vendas pelas distribuidoras (bilhões de litros)	35,86	39,32	14,85	12,63

Item	Gasolina C		Etanol Hidratado	
	2020	2021	2020	2021
Preço médio ao consumidor (R\$/l)	4,28	5,77	2,94	4,21

Fonte: elaboração própria a partir de (BRASIL, 2022b)

Para estimativa da renúncia fiscal de impostos federais em favor do etanol, tomam-se as alíquotas *ad rem* indicadas na Tabela 4, constante do item 8.2, que descreveu a tributação de combustíveis no Brasil. Desta tabela verifica-se que o total da impostos federais para o período de 2020 e 2021, incidentes sobre o etanol hidratado foi de **R\$ 0,2418/l**, enquanto para a gasolina C foi de **R\$ 0,6869/l**. Esclarece-se que o valor correspondente à gasolina C é dado pela ponderação das alíquotas pela proporção de etanol anidro (27%) e gasolina A (73%). A razão dessas alíquotas com os correspondentes preço médio ao consumidor (obtido da pesquisa de preços da ANP), resulta nos percentuais de impostos federais indicados na Tabela 5.

A estimativa da renúncia fiscal de impostos estaduais (ICMS) sobre o etanol hidratado foi realizada por meio da média das alíquotas estaduais do ICMS, ponderadas pelos volumes de vendas anuais por unidade da federação. A diferença entre as alíquotas médias de ICMS para a gasolina C e para o etanol hidratado indica a diferenciação tributária de impostos estaduais em favor do etanol. No caso do etanol anidro, não há diferenciação tributária do ICMS, uma vez que este é cobrado apenas na gasolina C.

A Tabela 6 mostra que o somatório de tributos incidentes sobre a gasolina C e o etanol hidratado perfizeram, respectivamente, 44,05% e 24,44%, do preço final ao consumidor em 2020, e, 39,97% e 23,08%, no ano seguinte. Em ambos os anos se verifica que a carga total de tributos sobre o etanol é bem menor do que a da gasolina.

Tabela 6 - Percentual de tributos incidentes sobre a gasolina e o etanol

Ano	Tributos Federais		ICMS		Carga total de tributos	
	Gasolina C	Etanol Hidratado	Gasolina C	Etanol Hidratado	Gasolina C	Etanol Hidratado
2020	16,05%	8,23%	27,99%	16,21%	44,05%	24,44%
2021	11,91%	5,51%	28,06%	17,50%	39,97%	23,08%

Fonte: elaboração própria a partir de (BRASIL, 2022b), (FECOMBUSTÍVEIS, 2021) e (BRASIL, 2020c)

A carga do total de tributos multiplicada pelo preço médio ao consumidor indica qual parcela desse preço cabe à tributação. A fim de se estimar o montante total da diferenciação fiscal em favor do etanol, converte-se as diferentes cargas totais de tributos para uma mesma base, a gasolina equivalente (geq). A partir da razão entre o poder calorífico inferior de cada combustível, constante da Tabela 2 (item 7.1), tem-se a relação de equivalência energética de **0,6945**. Aplicando-se esse coeficiente ao

preço do etanol, tem-se a medida de valor monetário correspondente à tributação, ponderada pela energia equivalente em um litro de gasolina C.

A Tabela 7 resume os resultados indicando que sobre o etanol incidiram 45,15% menos tributos que a gasolina C, em 2020, e 37,46%, em 2021. Cerca de R\$ 0,85 por litro, em ambos os anos, o que, multiplicado pelo volume de etanol hidratado vendido, resulta num custo total com a diferenciação tributária em favor do etanol de cerca de **R\$ 30,89 bilhões** no biênio 2020/2021.

Tabela 7 - Comparação da carga tributária em gasolina equivalente (geq)

Ano	Gasolina C (R\$/L)	Etanol Hidratado (R\$/L _{geq})	Diferença (R\$/L _{geq})	Diferença (%)	Custo Diferenciação Tributária (R\$ bilhões)
2020	1,88	1,03	0,85	45,15%	16,39
2021	2,31	1,44	0,86	37,46%	14,51

Fonte: elaboração própria

Ou seja, é possível dizer que, ainda que não necessariamente de maneira intencional, posto que a maior parte do incentivo é em nível estadual, o consumo de etanol hidratado no Brasil já conta com um subsídio anual de aproximadamente R\$ 15 bilhões em função da diferenciação tributária.

Importante consignar que esta estimativa se mostra conservadora, vez que a política tributária brasileira ainda apresenta outros elementos que, na prática, podem aumentar a diferenciação tributária: o Preço Médio Ponderado ao Consumidor Final (PMPF) e os créditos presumidos.

O PMPF é um artifício tributário utilizado pelos estados para viabilizar a substituição tributária do ICMS. O substituto tributário é o terceiro que a lei obriga a apurar o montante devido e cumprir a obrigação de pagamento do tributo no lugar do contribuinte. No caso da gasolina, as refinarias são responsáveis pela arrecadação dos tributos, enquanto para o etanol essa obrigação se divide entre o produtor e o distribuidor. Assim, para o cálculo do tributo relativo a todos os elos da cadeia de combustíveis (produção, distribuição e revenda) o substituto tributário necessita do preço final de venda ao consumidor.

Este é o PMPF, que é determinado quinzenalmente por cada estado a partir do histórico de preços locais e informado ao Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), que então divulga no Diário Oficial da União, o preço-base que cada estado cobrará pela arrecadação com combustíveis nos 15 dias seguintes. Indiretamente, o PMPF contribui para diferenciação tributária, vez que cada estado tem autonomia não apenas para determinar seu valor para cada combustível, mas também para

determinar descontos ou congelamentos, o que, na prática, pode aumentar ou diminuir a diferenciação tributária. No entanto, não há motivos, a priori, para acreditar que haveria alguma defasagem de preços em benefício do etanol na metodologia de cálculo do PMPF pelos Estados.

Já o crédito presumido de ICMS consiste em mais uma forma de benefício fiscal concedido pelos estados para incentivar o desenvolvimento de determinados setores da economia, a partir da redução da despesa tributária, na forma de um percentual aplicado ao valor total da operação.

Ambos esses incentivos podem impactar a competitividade do etanol dentro de um mesmo estado. Todavia, as estimativas realizadas revelaram pouco impacto nas médias nacionais, o que justificou sua desconsideração no presente trabalho.

9.2. O mandato de mistura obrigatória do etanol

No Brasil, atualmente, o percentual obrigatório de mistura de etanol anidro na gasolina (mandato) pode variar de 18% a 27,5%, em volume, a partir de decisão do Poder Executivo, nos termos da Lei 9.478/1997. Desde março de 2015, o percentual de mistura para todo o território nacional é de 27% na gasolina comum e 25% na gasolina *premium* (FGV, 2017).

Para IRENA, IEA e REN21 (2018), combinados com incentivos fiscais e financiamentos, os mandatos de mistura obrigatória de biocombustíveis aos fósseis são a forma mais comum de apoio às energias renováveis no setor dos transportes. IRENA (2022) os lista, juntamente com os planos nacionais de longo prazo, e as metas de uso de bioenergia e o banimento de uso de combustível fóssil, entre as **principais políticas transversais para diminuição de incertezas para desenvolvimento do setor**. Mandatos podem aumentar a demanda por bioenergia e atrair investimentos, no entanto, devem ser decididos de acordo com a biomassa para evitar a criação de potenciais preocupações de sustentabilidade.

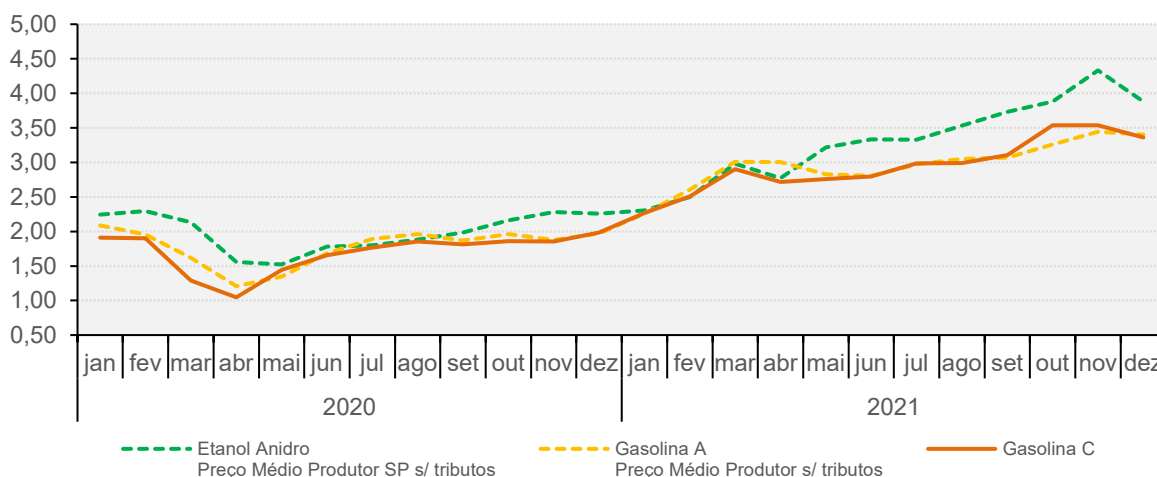
Entretanto, segundo o MME, apesar dos mandatos compulsórios de mistura de biocombustíveis terem sido fundamentais para o desenvolvimento do setor no Brasil, estes podem apresentar **efeito deletério à competitividade**, conforme trecho a seguir:

Ao estabelecer mandatos volumétricos, são criadas as **reservas de mercado** individuais, como comentado. Decorrente disso, **não se estimula os efeitos benéficos da competição para a sociedade**. Na solução do RenovaBio, ainda que como premissa estejam respeitados os mandatos volumétricos vigentes, **impõe competitividade na expansão dos biocombustíveis**. Todos serão tratados no conjunto, onde será o próprio mercado que indicará os vencedores, em termos de maior quantidade de energia com a menor emissões de gases causadores de efeito estufa (grifamos)(BRASIL, 2017b, p. 89).

Também importante notar que, quando P_E/P_G está acima de 70% (*brent* em baixa), a demanda por etanol hidratado naturalmente cai, enquanto a de anidro sobe, acompanhando o aumento de demanda da gasolina. Então existe um mecanismo implícito de proteção parcial (*hedge*) para o produtor de etanol por conta da política de mandatos, em **sobreposição** ao que também objetiva os CBIO.

O Gráfico 29 revela o comportamento dos preços mensais sem tributos da gasolina A e do etanol anidro, ao longo de 2020 e 2021. Percebe-se que há momentos nos quais o preço do etanol anidro é menor que o da gasolina A, assim contribuindo para uma redução de custo da gasolina C. Em outros momentos a relação se inverte, tornando o etanol anidro um fator de onerosidade à gasolina C. Esse segundo efeito é preponderante, no entanto, pois durante o período analisado em apenas cinco meses o preço do anidro ficou abaixo do da gasolina C.

Gráfico 29 - Preços médios mensais da gasolina e etanol anidro



Fonte: elaboração própria a partir de dados de (BRASIL, 2022k), (BRASIL, 2022j), (BRASIL, 2022c) e (CEPEA; ESALQ, 2022)

A Tabela 8 traz o custo mensal do mandato no período de análise, dado pela diferença dos preços da gasolina A e do etanol anidro, ambos sem impostos, multiplicado pelo volume de vendas mensal do etanol anidro. O cômputo entre os saldos positivos e negativos é de R\$ 5,88 bilhões.

Tabela 8 - Custo do mandato de mistura de etanol anidro 2020 - 2021

Ano	Mês	Preço Gasolina A - Preço Etanol Anidro (R\$)	Vendas de Etanol Anidro (l)	Custo Mandato (R\$)
2020	jan	-0,154	855.154.688	- 131.584.789,805
	fev	-0,339	832.674.812	- 282.651.465,100
	mar	-0,514	728.196.646	- 374.593.092,810
	abr	-0,348	617.350.868	- 214.657.527,001
	mai	-0,179	674.827.728	- 120.689.565,036

Ano	Mês	Preço Gasolina A - Preço Etanol Anidro (R\$)	Vendas de Etanol Anidro (l)		Custo Mandato (R\$)	
2021	jun	-0,098	735.068.260	-	72.170.471,902	
	jul	0,093	805.019.037		74.705.766,636	
	ago	0,079	791.929.587		62.896.631,649	
	set	-0,116	844.349.142	-	97.691.195,778	
	out	-0,201	915.506.432	-	183.735.274,606	
	nov	-0,403	868.771.753	-	349.797.045,861	
	dez	-0,288	1.003.526.871	-	288.804.998,214	
	jan	-0,048	858.942.449	-	41.051.006,986	
	fev	0,107	747.957.376		79.833.230,565	
	mar	0,030	761.625.499		22.891.416,002	
	abr	0,231	739.418.990		171.049.794,841	
	mai	-0,393	834.062.077	-	327.537.845,581	
	jun	-0,529	863.020.687	-	456.840.000,690	
	jul	-0,355	949.074.898	-	337.021.241,672	
	ago	-0,482	925.194.139	-	445.823.299,986	
	set	-0,660	943.529.006	-	622.295.120,604	
	out	-0,624	966.898.373	-	603.745.847,546	
	nov	-0,889	927.532.172	-	824.212.508,119	
	dez	-0,475	1.098.428.062	-	522.288.812,940	
		Total		20.288.059.552	-	5.885.814.270

Fonte: elaboração própria a partir de dados de (BRASIL, 2022k), (BRASIL, 2022j), (BRASIL, 2022c) e (CEPEA; ESALQ, 2022)

Considerando-se a mesma relação de equivalência energética entre o etanol e a gasolina utilizada no item anterior (0,6945), chega-se a uma estimativa do custo do mandato de mistura do etanol anidro na gasolina A de **R\$ 8,47 bilhões**.

Quanto a esse valor, cumpre trazer um importante registro. A mistura do etanol anidro à gasolina A confere à gasolina C outra externalidade positiva, além da redução da intensidade de carbono, não quantificada pela metodologia de cálculo adotada. No Brasil, o gasolina C é especificada com octanagem mínima 82 unidades pelo método MON (*Motor Octane Number*).

Ocorre que a gasolina A produzida no país não atende essa especificação. Para tanto é necessário o uso de aditivos que aumentem o número de octanas da mistura. Os aditivos fósseis disponíveis no mercado são caros e, por vezes, tóxicos à saúde humana. Sendo assim, a mistura do etanol anidro à gasolina A perfaz solução mais barata e segura para atendimento a especificação.

O cômputo dessa externalidade positiva reduziria a estimativa de custo apontada. Todavia, foi desprezado no cálculo acima dada a dificuldade de obtenção de dados sobre o custo da solução via aditivos fósseis. Tal limitação não compromete os objetivos dessa pesquisa, sendo suficiente o presente registro.

9.3. Os CBIO

Segundo informa a B3, no biênio 2020-2021 foram negociados 77,42 milhões de CBIO, ao preço médio de R\$ 40,69 (Tabela 9). Como de acordo com o Painel Dinâmico do RenovaBio mantido pela ANP, 85,07% do lastro de emissão dos CBIO veio da produção de etanol, no biênio 2020-2022, estima-se, então, que o setor auferiu R\$ 2.68 bilhões em receitas com a venda de créditos de carbono do RenovaBio.

Tabela 9 - Negociações de CBIO na B3

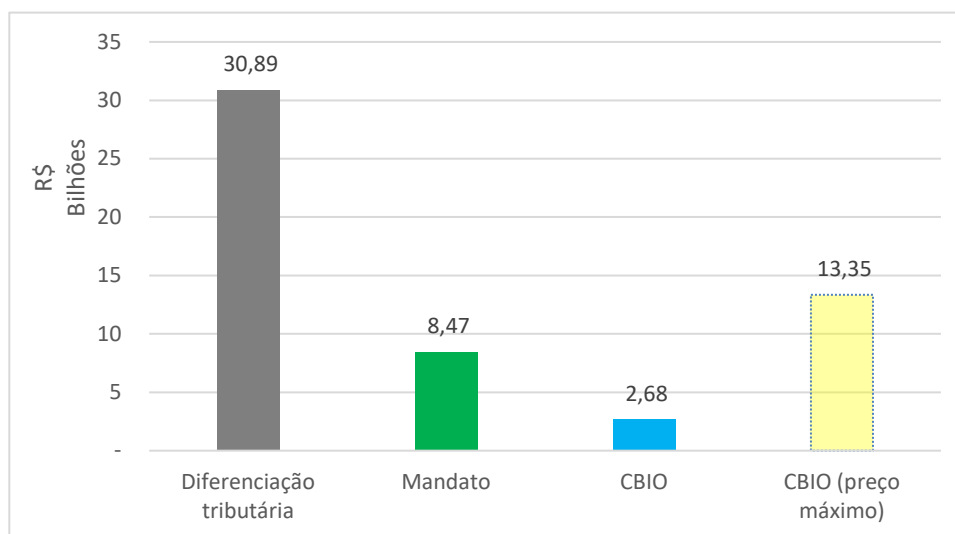
Ano	Valor Financeiro (R\$)	Quantidade Negociada	Preço Médio (R\$/CBIO)
2020	1.135.252.985,93	26.154.533	43,41
2021	2.015.052.250,56	51.262.489	39,31
Total	3.150.305.236,49	77.417.022	40,69

Fonte: elaboração própria com dados de (B3, 2022)

9.4. Análise comparativa

O Gráfico 30 resume o resultado das estimativas obtidas nos subitens precedentes. Ressalta-se no gráfico o **desequilíbrio entre o volume de incentivos** dado pelos três instrumentos regulatórios para alcance dos objetivos do RenovaBio. O volume de renúncia de receitas tributárias em favor do etanol é 2,5 vezes maior que a soma dos custos do mandato de mistura obrigatória e dos CBIO. Mesmo projetando-se a receita com CBIO a partir do maior preço apurado no período (R\$ 13,35 bilhões), ainda assim a receita auferida com esse instrumento financeiro seria menos da metade daquela referente ao diferencial tributário concedido ao etanol.

Além do mais, subtraindo-se do montante de renúncia de receitas tributárias (R\$ 30,89 bilhões) os montantes relativos aos justificáveis objetivos de internalização de custos do carbono dados pelo CBIO (R\$ 2,68 bilhões) e a minoração do diferencial energético entre o etanol e gasolina, em grande parte dada pelos mandatos (R\$ 8,47 bilhões), ainda assim se observa um elevado montante residual relativo à diferenciação tributária do etanol (R\$ 19,74 bilhões).

Gráfico 30 - Custo dos incentivos regulatórios ao etanol 2020-2021

Fonte: elaboração própria

Essa avaliação mostra-se conexa ao estudo de Cavalcanti (2011), citado no subitem 8.2, cujos resultados indicaram que até 73% da perda de arrecadação poderia ser recuperada, mantendo o etanol competitivo, e ainda estar em conformidade com a política tributária de viés ambiental.

Acrescentou Cavalcanti (2011) que os incentivos fiscais para os biocombustíveis líquidos devem ser adotados, mesmo em países como o Brasil, que apresentam os menores custos de produção. No entanto, estes incentivos devem **sempre ser cuidadosamente revistos**, pois representam uma crescente perda de receita do Estado e podem afetar negativamente o financiamento de políticas públicas.

Propôs o autor que a política tributária incidente sobre os combustíveis automotivos no Brasil poderia ser revista, a fim de **evitar a excessiva transferência de renda da sociedade para os produtores** sem deixar de internalizar os custos externos decorrentes da emissão de GEE no consumo de combustíveis fósseis, para que **o volume de subsídios não vá além do benefício ambiental**. O início da comercialização dos CBIO, em 2019, agravou o cenário apontado por Cavalcanti (2011), uma vez que aumentou o nível de incentivos ao etanol.

De tal modo, o desequilíbrio entre o volume de incentivos dados pelos três instrumentos regulatório do RenovaBio revela um certo contrassenso no desenho original da política, uma vez que se **privilegia aquele instrumento regulatório de menor eficiência alocativa**. Apesar de esta ser limitada pelo alcance setorial do programa, o RenovaBio (SCE) apresenta vantagens em relação à diferenciação tributária (*carbon tax*) e aos mandatos de mistura obrigatória (comando e controle) em função dos ganhos de eficiência produtiva proporcionados pelo programa.

O elevado volume de incentivos tributários não implicam qualquer contrapartida por parte dos produtores. Assim, a atratividade do RenovaBio é limitada pelo maior apelo

da diferenciação tributária, que pode até mesmo ser vista como **barreira à indução de eficiência proporcionada pelos CBIO**, perfazendo fonte de **acomodação competitiva** da indústria sucroalcooleira brasileira. Essa situação estimula reflexões sobre equilíbrio entre os instrumentos regulatórios do RenovaBio. O esperado seria, no mínimo, uma **migração** do volume de incentivos tributários para os CBIO.

Contudo, fatos ocorridos ao longo da realização dessa pesquisa indicam que essa oportunidade de aperfeiçoamento dificilmente ocorrerá. A Lei Complementar 194/2022, passou a limitar a cobrança ICMS sobre produtos e serviços essenciais (combustíveis, energia elétrica, comunicações e transporte coletivo) à alíquota mínima de cada estado, que varia entre 17% e 18% (BRASIL, 2022h).

Para manter a competitividade dos biocombustíveis, a Emenda Constitucional (EC) 123/2022, concedeu a eles regime fiscal favorecido, por meio de tributação inferior a incidente sobre os combustíveis fósseis, com a manutenção, em termos percentuais, da diferença entre as alíquotas aplicáveis a cada combustível fóssil e aos biocombustíveis que lhe sejam substitutos em patamar igual ou superior ao vigente em 15 de maio de 2022 (BRASIL, 2022g).

Em outras palavras, o Governo Federal solidificou na Constituição Federal o diferencial tributário ao etanol. Se por um lado tal medida se mostra positiva, pois consolida a orientação do país em direção aos biocombustíveis, por outro, mostra-se deletéria à competitividade, pois prestigia o instrumento regulatório de menor eficiência alocativa. A decisão do Governo Federal põe um ponto de interrogação sobre o futuro dos CBIO, relegado constitucionalmente a um papel de menor destaque na Política Energética Nacional, correndo o risco de ser absorvido por outras iniciativas governamentais na consolidação dos mercados de carbono no país.

De tal modo, da mesma forma que a introdução dos CBIO, em 2019, inaugurou uma nova dinâmica competitiva no setor sucroalcooleiro, a mudança estrutural na política tributária sobre os combustíveis decorrente do novo arcabouço legal deve trazer novas e profundas mudanças ao setor.

Tais circunstâncias indicam que novas avaliações executivas *ex post* do RenovaBio como essa devem ser realizados, tão logo se consolidem os efeitos do novo marco legal e os dados necessários estejam disponíveis.

10. Considerações finais

O objetivo da presente pesquisa foi entender por que os créditos de carbono criados pelo RenovaBio ainda não lograram êxito em impulsionar a participação do etanol na matriz de transportes nacional, após seus dois primeiros anos de funcionamento. O caminho para atingimento desse objetivo passa pela compreensão da dinâmica dos mercados de carbono, do mercado nacional de etanol e da sistemática de precificação de combustíveis no Brasil

Preliminarmente, a partir da revisão da literatura concernente aos três instrumentos regulatórios do RenovaBio, verificou-se que os mercados de carbono são mais eficientes do que a tributação do carbono e os mandatos de mistura obrigatória de biocombustíveis na asseguarção de resultados ambientais, pois incentivam os agentes a encontrar soluções menos custosas para reduzir emissões.

Com base nos fundamentos teóricos apresentados no trabalho, verifica-se que estão presentes no RenovaBio as condições do Teorema de Coase para que esse mecanismo do mercado possa ser considerado a alternativa mais eficiente na internalização dos custos da externalidade negativa causada pela emissão de GEE.

O programa é virtuoso em indicar as usinas e rotas tecnológicas mais eficientes na produção de biocombustíveis com menor pegada de carbono. Contudo, por ter sido concebido com um programa setorial, restrito ao segmento de transportes, o RenovaBio impõe os biocombustíveis como solução, o que pode não ser a alternativa nacionalmente mais eficiente para a redução de emissões.

Por essa característica, o RenovaBio mais se afeiçoa a um programa setorial de incentivo aos biocombustíveis, que transfere renda do consumidor para os produtores mais eficientes, assim reconhecendo o papel estratégico dos biocombustíveis na descarbonização da matriz energética, sem deixar de promover sua competitividade. Ou ainda, o programa pode ser visto como um sistema de pagamento pelo serviço ambiental prestado pelos produtores de biocombustíveis.

Tal constatação de modo algum desmerece as virtudes do RenovaBio enquanto política pública, mas se faz necessária para reconhecer suas limitações e assim vislumbrar seu futuro. O programa tem a virtude de criar a base de um mercado coasiano que pode ser expansível a outros mercados do país, como os setores de energia e indústria em geral.

Além disso, o RenovaBio incentiva financeiramente que os agentes se submetam à certificação e forneçam dados sobre seu processo produtivo, dando ao Governo Federal valiosas informações sobre o papel dos biocombustíveis na transição energética, como seu impacto no desmatamento ou na insegurança alimentar, além de suas vantagens em comparação ao movimento de eletrificação do transporte.

Assim, o RenovaBio se revela com um primeiro passo na construção de um mercado de carbono no Brasil, que precisar ser aprimorado e expandido para outros setores da economia. Só assim essa política cumprirá o propósito de selecionar as alternativas mais eficientes para descarbonização da economia brasileira.

Nos demais capítulos, foram identificados os fatores influenciadores da dinâmica competitiva do mercado sucroenergético nacional. Viu-se que há no setor uma complexa dinâmica de preços, na qual o etanol hidratado se comporta como tomador de preços da gasolina C, e seu preço pode ser ainda influenciado pelo preço do açúcar, pelos impostos e pela inelasticidade da oferta.

Atualmente, não há oferta de etanol suficiente no mercado brasileiro para substituir a demanda por gasolina, devido a indisponibilidade de biomassa. São necessários investimentos para expandir a produção (milho ou cana-de-açúcar) e/ou destravar a produtividade agrícola da cana-de-açúcar, que permitam ao etanol competir com a gasolina, não apenas em preço, mas também em volume.

Para que a distribuição da demanda do Ciclo Otto se equalize entre etanol e gasolina, seriam necessários cerca de 8 a 10 bilhões de litros de etanol hidratado por ano a mais no mercado. Esse volume é alcançável com o parque de usinas existente, desde que disponível a biomassa.

De tal modo, no curto prazo, o potencial dos CBIO para alterar a dinâmica de preços do mercado nacional é limitada. No entanto, eles contribuirão para financiar os investimentos necessários ao crescimento da oferta do biocombustível, pela ampliação do parque de usinas ou pelo aumento da produtividade das existentes. Os objetivos do RenovaBio só devem ser atingidos em maior prazo, quando novas usinas ou plantas mais produtivas entrarem em operação, o que não deve acontecer até que a capacidade ociosa seja eliminada.

Nesse contexto, o etanol de milho figura como a principal aposta para ampliação da produção de etanol no Brasil, pelo menos até que a tecnologia do etanol de segunda geração amadureça, trazendo ainda mais dinamismo ao mercado brasileiro.

Com esse pano de fundo, o resultado das estimativas obtidas na pesquisa revelam um sensível desequilíbrio entre o volume de incentivos dados pelos três instrumentos regulatórios do RenovaBio para alcance de seus objetivos. O volume de renúncia de receitas tributárias em favor do etanol é algumas vezes maior que a soma do custo do mandato de mistura obrigatória e a receita com CBIO. Assim, a diferenciação tributária pode até mesmo ser vista como barreira à indução de eficiência proporcionada pelos CBIO. Tal situação revela um contrassenso no desenho da política, uma vez que se privilegia aquele instrumento regulatório de menor eficiência alocativa.

Portanto, confirmou-se a hipótese aventada na justificativa da pesquisa, de que há falha no desenho original da regulação, que combinou os CBIO em desequilíbrio com uma agressiva política de mandatos e incentivos fiscais.

Como oportunidade de aperfeiçoamento do programa, seria indicado avaliar a migração do volume de incentivos com diferenciação tributária para o CBIO, assim reequilibrando os instrumentos regulatórios conforme o respectivo objetivo - redução de emissões e desenvolvimento regional -, evitando a sobreposição de funções.

Igualmente válido seria avaliar, dada a conveniência e a oportunidade, a vantagem de se restringir a emissão de CBIO ao etanol hidratado, uma vez que o etanol anidro, por ter demanda garantida pelo mandato de mistura, não necessita de internalização dos custos da emissão de GEE para se viabilizar no mercado, ao passo que o etanol hidratado, dela necessita para viabilizar a competição com a gasolina.

Contudo, fatos supervenientes ocorridos ao longo da realização dessa pesquisa indicam limitações para eventuais oportunidades de aperfeiçoamento do RenovaBio.

O Governo Federal solidificou na Constituição Federal o diferencial tributário ao etanol, concedendo-lhe regime fiscal favorecido, por meio de tributação inferior a incidente sobre os combustíveis fósseis, com a manutenção, em termos percentuais, da diferença entre as alíquotas aplicáveis a cada combustível fóssil e aos biocombustíveis que lhe sejam substitutos em patamar igual ou superior ao vigente em 15 de maio de 2022.

Se por um lado tal medida consolida a orientação do país em direção aos biocombustíveis, por outro o faz com base no instrumento regulatório de menor eficiência alocativa. Ela fortalece o setor sucroenergético sem, contudo, garantia de contrapartida aos consumidores na forma investimentos em eficiência produtiva.

Tal medida põe um ponto de interrogação sobre o futuro dos CBIO, relegado constitucionalmente a um papel de menor destaque na Política Energética Nacional, correndo o risco de ser absorvido por outras iniciativas governamentais na consolidação dos mercados de carbono no país.

11. Referências

B3. **CBIO - Crédito de descarbonização: volume negociado**. São Paulo, 2022. Disponível em: http://estatisticas.cetip.com.br/astec/series_v05/paginas/lum_web_v04_10_03_consulta.asp. Acesso em: 31 Mar. 2022.

BALDWIN, Robert; CAVE, Martin; LODGE, Martin. ***Understanding Regulation***. 2ªed. Oxford: Oxford University Press, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://oxford.universitypressscholarship.com/view/10.1093/acprof:osobl/9780199576081.001.0001/acprof-9780199576081-chapter-2>. Acesso em: 11 Jun. 2022.

BEZERRA E., Luiz Gustavo. **Instrumentos econômicos: elementos para uma regulação ambiental efetiva e o papel dos instrumentos de mercado**. 2018. 1–159 f. - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.btdt.uerj.br:8443/handle/1/14248>. Acesso em: 6 Dez. 2021.

BRASIL. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - Ano 2019**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2020a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 6 Abr. 2022.

BRASIL. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2020**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2021a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 6 Abr. 2022.

BRASIL. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - Ano 2021**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2022a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 6 Abr. 2022.

BRASIL. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2022**. Rio de Janeiro: ANP, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/>. Acesso em: 21 Mar. 2022.

BRASIL. **Apresentação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil perante o Acordo de Paris**. Brasília: Ministério das Relações Exteriores, 2020b. Disponível em: https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2020/apresentacao-da-contribuicao-nacionalmente-determinada-do-brasil-perante-o-acordo-de-paris. Acesso em: 17 Mar. 2022.

BRASIL. **Avaliação de políticas públicas: guia prático de análise ex post**. Brasília: Casa Civil da Presidência da República, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/centrais-de-conteudo/downloads/guiaexpost.pdf/view>. Acesso em: 10 Jun. 2022.

BRASIL. **Avaliação do Comportamento dos Usuários de Veículos Flex Fuel no Consumo de Combustíveis no Brasil**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-296/EPE-DPG-SDB-001-2013-r0[1].pdf. Acesso em: 10 Jul. 2022.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional 2021**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2021b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 3 Mar. 2022.

BRASIL. **Boletim Trimestral de Preços e Volumes de Combustíveis**. Rio de Janeiro: ANP, 2022c. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/boletim-trimestral-preco-volumes-combustiveis>. Acesso em: 1 Set. 2022.

BRASIL. **Carga Tributária Incidente sobre a Comercialização de Combustíveis no Brasil - Série: Formação de Preços de Combustíveis**. Rio de Janeiro: EPE, 2020c. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-413/topico-567/SP-EPE-DPG-SDB-Abast-02-2020_Carga_tributaria_2020_r1.pdf. Acesso em: 19 May 2022.

BRASIL. **Composição e estruturas de formação dos preços**. Rio de Janeiro: ANP, 2022d. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/composicao-e-estruturas-de-formacao-dos-precos>. Acesso em: 19 May 2022.

BRASIL. **DECRETO Nº 11.141, DE 21 DE JULHO DE 2022**. Altera o Decreto nº 9.888, de 27 de junho de 2019, para dispor sobre o prazo para comprovação do atendimento à meta anual individual de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis, de que trata o § 2º do art. 7º da Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Brasília, 2022e. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-11.141-de-21-de-julho-de-2022-417054252>. Acesso em: 9 Ago. 2022.

BRASIL. **Demanda Energética do Setor de Transportes**. Rio de Janeiro: EPE, 2022f. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-591/Caderno_de_Demanda_de_Transportes_PDE_2031_2022.02.09.pdf. Acesso em: 10 Jun. 2022.

BRASIL. **Diagnóstico da concorrência na distribuição e revenda de combustíveis**. Rio de Janeiro: ANP, 2020d. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/livros-e-revistas/arquivos/diagnostico-sdc-2020.pdf>. Acesso em: 31 Out. 2022.

BRASIL. **Em nova meta, Brasil irá reduzir emissões de carbono em 50% até 2030**. Brasília: Presidência da República, 2021c. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2021/10/em-nova-meta-brasil-ira-reduzir-emissoes-de-carbono-em-50-ate-2030>. Acesso em: 31 Mar. 2022.

BRASIL. **Emenda Constitucional nº 123, de 14 de julho de 2022.** Altera o art. 225 da Constituição Federal para estabelecer diferencial de competitividade para os biocombustíveis; entre outros. Brasília, 2022g. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc123.htm. Acesso em: 31 Ago. 2022.

BRASIL. **Entendendo a formação dos preços finais de combustíveis no Brasil.** Rio de Janeiro: EPE, 2021d. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 22 Mai 2022.

BRASIL. **Lei 13.576, de 26 de dezembro de 2017.** Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Brasília, 2017a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: 20 Mar. 2022.

BRASIL. **Lei Complementar 194, de 23 de junho 2022.** Altera a Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966 (Código Tributário Nacional), e a Lei Complementar nº 87, de 13 de setembro de 1996 (Lei Kandir), para considerar bens e serviços essenciais os relativos aos combustíveis, à energia elétrica, às comunicações e ao transporte coletivo, e as Leis Complementares nºs 192, de 11 de março de 2022, e 159, de 19 de maio de 2017. Brasília, 2022h. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp194.htm. Acesso em: 31 Ago. 2022.

BRASIL. **Nota Explicativa sobre a Proposta de Criação da Política Nacional de Biocombustíveis.** Brasília: MME, 2017b. Disponível em: [BRASIL. **Os mercados brasileiro e norte-americano de etanol e a nova política de importação do biocombustível.** Rio de Janeiro: ANP, 2020e. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/btpvc-1/boletim-trimestral-4.pdf>. Acesso em: 19 Jun. 2022.](http://antigo.mme.gov.br/documents/36224/460049/RenovaBio+-+Nota+Explicativa.pdf/08c6adbe-afea-5456-514e-e2bc9b6a30d0?version=1.0#:~:text=Privilegiar e incentivar soluções que,brasileira%2C no menor prazo possível. Acesso em: 3 Mar. 2022.</p></div><div data-bbox=)

BRASIL. **Painel Dinâmico do RenovaBio.** Rio de Janeiro: ANP, 2020f. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-do-renovabio/painel-dinamico-de-certificacoes-de-biocombustiveis-renovabio>. Acesso em: 14 Ago. 2022.

BRASIL. **Painel Dinâmico dos Produtores de Etanol.** Rio de Janeiro: ANP, 2021e. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-etanol>. Acesso em: 20 Jul. 2022.

BRASIL. **Painel Dinâmico RenovaBio**. Rio de Janeiro: ANP, 2022i. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-do-renovabio/painel-dinamico-da-cbio>. Acesso em: 31 Mar. 2022.

BRASIL. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Brasília: MME/EPE, 2021f. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em: 20 Mar. 2022.

BRASIL. **Precificação de carbono: riscos e oportunidades para o Brasil**. Rio de Janeiro: EPE, 2020g. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-precificacao-de-carbono-riscos-e-oportunidades-para-o-brasil>.

BRASIL. **Preço de Realização**. Rio de Janeiro: EPE, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 19 Mai 2022.

BRASIL. **Preços de produtores e importadores de derivados de petróleo e biodiesel**. Rio de Janeiro: ANP, 2022j. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-produtores-e-importadores-de-derivados-de-petroleo>. Acesso em: 1 Set. 2022.

BRASIL. **RenovaBio**. Brasília: MME, 2016. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>. Acesso em: 20 Mar. 2022.

BRASIL. **RenovaBio**. Rio de Janeiro: ANP, 2020h. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>. Acesso em: 21 Mar. 2022.

BRASIL. **Reservas Estratégicas e Estoques de Operação do Sistema Nacional de Estoques de Combustíveis**. Brasília: MME, 2020i. Disponível em: Acesso em: 19 Jun. 2022.

BRASIL. **Resolução-CNPE 8/2020**. Brasília: Conselho Nacional de Pesquisa Energética, 2020j. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/arquivos/2020/resolucao_8_cnpe_metas_compulsorias.pdf. Acesso em: 3 Abr. 2022.

BRASIL. **Série histórica do levantamento de preços**. Rio de Janeiro: ANP, 2022k. 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: 1 Set. 2022.

BRASIL. **Tributos Incidentes sobre a Comercialização no Brasil**. Rio de Janeiro: EPE, 2020k. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-413/topico-562/SP-EPE-DPG-SDB-Abast-01-2020_Tributos_comercialização.pdf. Acesso em: 19 Mai 2022.

CAMPOS, Humberto Alves de. Falhas de mercado e falhas de governo: uma revisão da literatura sobre regulação econômica. **Prismas: Direito, Políticas Públicas e Mundialização**, [s. l.], v. 5, n. 2, 2009.

CARNEIRO, Ricardo. **Direito ambiental. Uma abordagem econômica**. Rio de Janeiro: Forense, 2001.

CAVALCANTI, Marcelo Castelo Branco. **Tributação relativa etanol-gasolina no Brasil: competitividade dos combustíveis, arrecadação do Estado e internalização de custos de carbono**. 2011. 248 f. - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: Acesso em: 22 Mai 2022.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada; ESALQ, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. **Série de Preços - Consultas ao Banco de Dados**. Piracicaba, 2022. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>. Acesso em: 1 Set. 2022.

COASE, Ronald H. **The Problem of Social Cost**. The Journal os Law & Economics, Chicago, v. III, p. 1–44, 1960. Disponível em: Acesso em: 6 Abr. 2022.

COSTA, Angela Oliveira da *et al.* **O papel da política tributária no fomento ao mercado etanol: análise comparativa dos estados de São Paulo e Minas Gerais**. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2018, [s. l.], p. 10, 2018.

COSTA, Angela Oliveira da *et al.* **O papel da tributação de combustíveis no planejamento energético Brasileiro**. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2020, [s. l.], v. 2020, n. Dezembro, p. 17, 2020. Disponível em: <https://consulta-biblioteca.ibp.org.br/pt-BR/search/39738?exp=%22Combustíveis%22%2Fassunto>.

DE LUCCA, Mariana Regina Zechin. **Análise empírica sobre os determinantes da decisão de produção de açúcar e etanol na agroindústria canavieira paulista**. 2020. 96 f. - Fundação Getúlio Vargas (FGV), São Paulo, 2020. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br:80/dspace/handle/10438/28835>. Acesso em: 6 Set. 2022.

FECOMBUSTÍVEIS. **Tributação**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.fecombustiveis.org.br/tributacao>. Acesso em: 1 Set. 2022.

FGV, Fundação Getúlio Vargas. **Biocombustíveis - Cadernos FGV Energia**. Rio de Janeiro: FGV, 2017. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_biocombustivel_-_baixa.pdf. Acesso em: 1 Jan. 2022.

GAUTO, Marcelo. **Emissões do poço à roda**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://almanaquedaenergia.blogspot.com/>. Acesso em: 3 Set. 2022.

HARDIN, Garrett. *The tragedy of commons*. Science, [s. l.], v. 162, n. December, p. 1243–1248, 1968.

IEA, International Energy Agency. *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*. Paris: IEA, 2021. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf.

Acesso em: 20 Mar. 2022.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>. Acesso em: 20 Mar. 2022.

IRENA, International Renewable Energy Agency. *Bioenergy for the Transition: Ensuring Sustainability and Overcoming Barriers*. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Disponível em: [/publications/2022/Aug/Bioenergy-for-the-Transition](#). Acesso em: 24 Ago. 2022.

IRENA, International Renewable Energy Agency. *Innovation Outlook - Advance Liquid Biofuels*. Masdar City: IRENA, 2016. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Innovation_Outlook_Advanced_Liquid_Biofuels_2016.pdf. Acesso em: 31 Mai 2022.

IRENA, International Renewable Energy Agency; IEA, International Energy Agency; REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. *Renewable Energy Policies in a Time of Transition*. Masdra City: IRENA, OCDE/IEA, REN21, 2018. Disponível em: www.irena.org. Acesso em: 20 Mar. 2022.

LACERDA, Miguel *et al.* Carbon Credits and the Bioethanol Industry: Governmental Programs and Incentives. *In*: SOCCOL, Carlos Ricardo *et al.* (org.). *Biofuel and Biorefinery Technologies*. [S. l.]: Sprineger, 2022. p. 516.

LEMOS, Stella Vannucci *et al.* *Análise comparativa entre produtividade agrícola e industrial do setor sucroenergético brasileiro nos últimos 10 anos*. Custos e @gronegocio on line, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 154–174, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3atotGZ>. Acesso em: 20 Set. 2022.

LUSTOSA, Maria Cecília J.; YOUNG, Carlos Eduardo F. Política Ambiental. *In*: KUPFER, David; HASENCLEVER, Lia (org.). *Economia Industrial: Fundamentos Teóricos e Práticos no Brasil*. 2 ed.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 346–357.

MANKIW, N. Gregory. *Princípios de Microeconomia*. 4ªed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. *E-book*. Disponível em: https://issuu.com/cengagebrasil/docs/9786555584066_princ_pios_de_microeconomi_a_capitulo. Acesso em: 20 Mar. 2022.

MOURA, Bruno Valle de. **O papel do açúcar e da gasolina na determinação dos preços de etanol no Brasil**. 2014. 120 f. Mestrado - UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/dissertacoes/2015-2/395-o-papel-do-acucar-e-da-gasolina-na-determinacao-dos-precos-de-etanol-no-brasil>. Acesso em: 20 Mar. 2022.

NOVACANA. **Propriedades Físico-Químicas do etanol**. Curitiba: NovaCana, [s. d.]. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/propriedades-fisico-quimicas>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

PECEGE. **Radar Sucroenergético - Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade na região Centro-Sul do Brasil: fechamento da safra 2020/2021**. Piracicaba: Pecege, 2021. Acesso em: 20 Set. 2022.

PECEGE. **Radar Sucroenergético - Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade na região Centro-Sul do Brasil: fechamento da safra 2021/2022**. Piracicaba: Pecege, 2022. Disponível em: www.radarsucro.com. Acesso em: 20 Set. 2022.

PIGOU, Arthur Cecil. **The economics of welfare**. 4^aed. Londres: Macmillan, 1920.

RODRIGUES, Vasco. **Análise económica do direito: uma introdução**. Coimbra: Almedina, 1994.

SILVA, Haroldo José Torres da; SANTOS, Peterson Felipe Arias. Resgate da eficiência agrícola e mitigação da ociosidade industrial. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, p. 58–60, 2022. Disponível em: <https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/revista/leitura/online/eficacia-da-automacao-da-inteligencia-artificial/>.

STIGLITZ, Joseph E. **Economics of the Public Sector**. 3^aed. [S. l.]: W.W, Biertib & Company, Inc, 2000.

TÁVORA, Fernando Lagares. **História e Economia dos Biocombustíveis no Brasil**. Brasília: Centro de Estudos da Consultoria do Senado, 2011. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-89-historia-e-economia-dos-biocombustiveis-no-brasil>. Acesso em: 28 Mar. 2022.

VARIAN, Hal R. **Microeconomia: uma abordagem moderna**. 8^aed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012-. ISSN 15206882.

Missão

Aprimorar a Administração Pública em benefício da sociedade por meio do controle externo

Visão

Ser referência na promoção de uma Administração Pública efetiva, ética, ágil e responsável