

4

O papel dos
biocombustíveis na
transição energética
da mobilidade

Artur Yabe Milanez
Diego Duque Guimarães
Marcelo Machado da Silva
Vinícius Toshio Pereira Nakano*

* Respectivamente, administrador, economistas e estagiário do Departamento do Complexo Agroalimentar e de Biocombustíveis da Área de Desenvolvimento Produtivo e Inovação do BNDES.

INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação mundial com a descarbonização, devido a seus efeitos no meio ambiente. Em 2021, a Conferência do Clima das Nações Unidas, realizada em Glasgow, Escócia, se encerrou com o compromisso de manter o limite de aquecimento global em 1,5°C, além de registrar uma série de compromissos independentes que contribuirão para a redução das emissões de GEE.

O setor de transportes é responsável por parte significativa dessas emissões, por ter seguido um modelo energético global extremamente dependente do uso de recursos naturais não renováveis, notadamente o petróleo. Dessa forma, a preocupação com a descarbonização vem se consubstanciando em estímulos para a redução do uso de combustíveis fósseis e sua substituição por outras fontes renováveis, o que tem acontecido gradualmente, com destaque para os biocombustíveis.

Os biocombustíveis desempenham papel essencial na transformação da matriz energética atual. Genericamente, o termo “biocombustíveis” refere-se a produtos de baixa emissão, de origem animal ou vegetal, renováveis e sustentáveis, destacando-se o etanol e o *biodiesel*, já utilizados em diversos países.

O Brasil sobressai na produção de biocombustível por ter sido pioneiro na implantação do etanol como combustível, ainda na década de 1930, primeiro como aditivo à gasolina (anidro) e, a partir de meados dos anos 1970, em razão do advento do Proálcool, como combustível exclusivo em motores (hidratado) (Nogueira, 2008). Esse histórico permitiu a criação de uma cadeia produtiva que se mostrou bastante inovadora ao longo das décadas. Porém a urgência que o tema da descarbonização vem alcançando nos últimos anos, com a entrada de novos mercados demandando novos produtos, como os setores de aviação e navegação, permite vislumbrar que um novo período de expansão e estruturação aparenta estar se iniciando no segmento de biocombustíveis. Assim, é importante que se utilize o papel de liderança que o país já tem na produção do etanol para manter sua posição e aproveitar as novas oportunidades para expansão e crescimento de nossa economia.

Neste artigo, são exploradas as diversas oportunidades que se apresentam ao mercado de biocombustíveis nos próximos anos. Na primeira parte, há um panorama da situação atual dos variados produtos desse mercado no mundo e das expectativas existentes para os próximos anos. A segunda parte foca na situação brasileira, com especial atenção ao potencial de expansão existente na produção para conseguir atender, seja por disponibilidade de recursos, seja pelo aumento de produtividade, ao aumento de demanda esperado. A terceira parte inicia mostrando o potencial de descarbonização existente no biocombustível gerado a partir da cana-de-açúcar e discute a articulação institucional necessária tanto de políticas públicas quanto de criação de novas instituições que divulguem e promovam a adoção do biocombustível a partir da cana-de-açúcar em outros países. Finalmente, o texto apresenta uma breve conclusão.

O MERCADO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

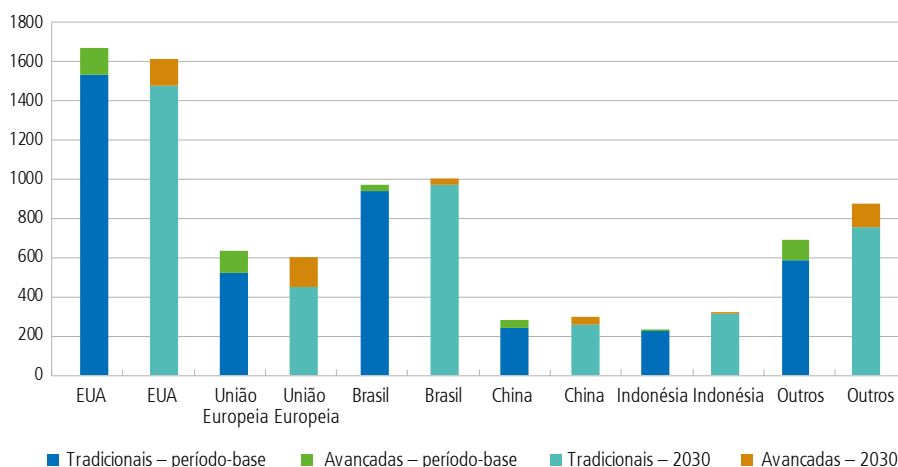
O mercado de biocombustíveis está relacionado à demanda das atividades de transporte, ao preço do petróleo e a políticas públicas que estimulem seu consumo. No Brasil, o principal produto em volume no mercado é o etanol, primeiro a ser introduzido como combustível e adicionado à gasolina em diversos países. Nos próximos anos, é esperado elevado crescimento do *biodiesel*, atualmente segundo principal produto do mercado de biocombustíveis, em razão de novos incentivos que estão sendo implementados em diversos países para estimular seu uso. Esses incentivos também são direcionados ao *diesel* verde, que, diferentemente do *biodiesel*, pode ser adicionado em até 100% ao *diesel* fóssil.¹

Os principais produtores globais de biocombustíveis são os Estados Unidos da América (EUA) e o Brasil, destacando-se em ambos os produtos. A União Europeia, terceiro maior produtor, concentra-se mais em *biodiesel*, com

¹ O *diesel* verde é produzido a partir do processamento de óleos vegetais ou gorduras animais que, por conta de sua composição semelhante ao óleo *diesel* de origem fóssil, pode ser utilizado puro, sem nenhum prejuízo aos motores de ciclo *diesel*. Já o *biodiesel* é obtido a partir da reação de óleos vegetais ou gorduras animais com um álcool, podendo ser adicionado ao óleo *diesel* de origem fóssil em proporções limitadas (Milanez *et al.*, 2022).

China e Indonésia também representando parcelas significativas, conforme mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1. Produção mundial de biocombustíveis a partir de matérias-primas tradicionais e avançadas (petajoules)



Fonte: Adaptado de OECD e FAO (2021, p. 207, tradução nossa).

Nota: Matérias-primas tradicionais são aqui definidas como provindas da agricultura e forrageiras. Petajoules = 10^{15} joules.

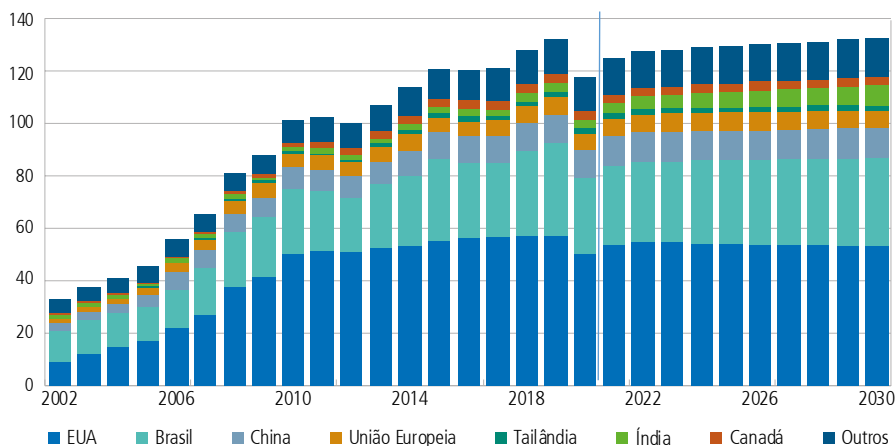
Segundo estimativa da Organização Internacional do Açúcar (OIA), a produção global de etanol em 2022 foi de 109,4 bilhões de litros, volume 2,19% maior que no ano anterior. Estados Unidos e Brasil concentraram a maior parte da produção mundial, produzindo, em média, 59 bilhões e 34,5 bilhões de litros por ano, respectivamente, nos últimos três anos. Ambos os países são referência em produtividade na produção a partir do milho (EUA) e da cana de açúcar (Brasil).

Com relação à demanda internacional de etanol, segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (Unica), atualmente mais de sessenta países já adotam uma mistura de biocombustível para tornar a gasolina mais “verde”, visando reduzir o impacto ambiental do setor de transporte. A Índia pretende atingir 20% na mistura de etanol à gasolina até 2025, cinco anos antes da meta anterior. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), até 2030 o setor de transporte precisa triplicar o uso de biocombustíveis como forma de reduzir as emissões de carbono e, para isso, propõe uma mistura padrão de 10% de etanol à gasolina.

Fora as iniciativas mais tradicionais e conhecidas de descarbonização do transporte no modo rodoviário, vale mencionar iniciativa recente da Raízen,² que anunciou um acordo de cooperação com a empresa finlandesa Wartsila, líder em motores de propulsão marítimos, para criação de um programa de pesquisas para o desenvolvimento de motores de embarcações movidos a etanol (Raízen, [2023]). A indústria do transporte marítimo estabeleceu metas para reduzir as emissões de carbono em 40% até 2030 e 70% até 2050, podendo aumentar ainda mais a demanda por esse combustível nos próximos anos. Atualmente, apenas poucos navios contam com motores que possam funcionar com algum combustível que não seja à base de petróleo.

Embora esses novos usos possam aumentar a demanda por etanol de primeira geração em longo prazo, para os próximos anos a expectativa é de crescimento lento na demanda, como é possível visualizar no Gráfico 2. Mesmo que em países como Índia e Indonésia a demanda tenda a crescer, em mercados importantes como a União Europeia a demanda tende a diminuir, devido a um declínio nos transportes rodoviários e maior utilização de carros elétricos.

Gráfico 2. Evolução do consumo global de etanol (bilhões de litros)

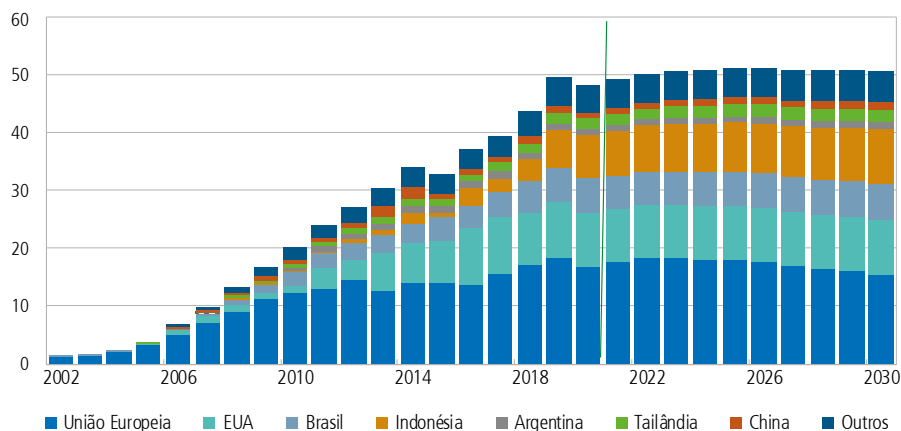


Fonte: Adaptado de OECD e FAO (2021, p. 208, tradução nossa).

- 2 A Raízen é o maior grupo produtor de etanol do Brasil, atuando desde a produção da cana-de-açúcar até a distribuição do combustível. Tendo como maiores controladoras a Shell e a Cosan, vem investindo bastante em inovação, dominando atualmente a tecnologia do etanol de segunda geração (E2G).

Movimento semelhante vem acontecendo no mercado de *biodiesel*, que cresceu significativamente nos últimos anos e apresenta perspectiva de crescimento lento nos próximos anos. Nesse mercado, a Europa (a partir do óleo de canola) e a Indonésia (a partir do óleo de palma) despontam com protagonismo maior, o que explica a importância de ambos no consumo de *biodiesel* apresentada no Gráfico 3.

Gráfico 3. Evolução do consumo global de *biodiesel* (bilhões de litros)



Fonte: Adaptado de OECD e FAO (2021, p. 208, tradução nossa).

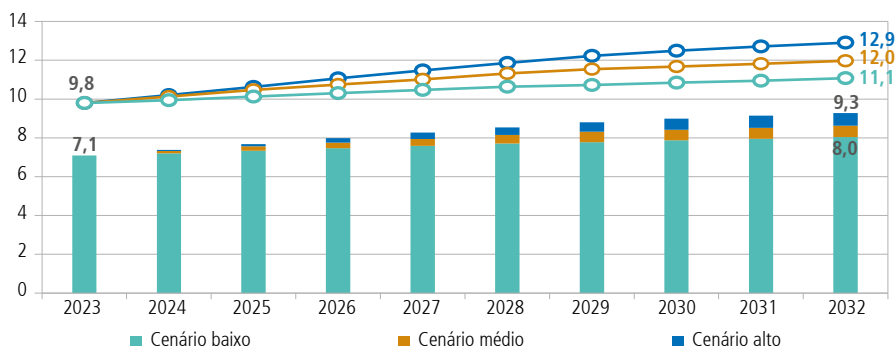
Outros biocombustíveis têm potencial para serem utilizados no mercado no futuro próximo, mesmo que em menor escala, por já terem tecnologia de produção desenvolvida e grande potencial de descarbonização devido ao fato de utilizarem subprodutos da produção do etanol. O biometano, substituto do gás natural já produzido por usinas no estado da arte, é um dos principais exemplos. Ele é obtido a partir da purificação do biogás oriundo da vinhaça residual e pellets de lignina, resíduos não fermentáveis da produção de etanol de segunda geração (E2G), além de dejetos de animais e fontes não agropecuárias, como os resíduos sólidos urbanos.

Embora o biogás possa ter diversas aplicações, inclusive na produção de energia elétrica, há expectativa de que o biometano venha a ser amplamente utilizado pelas usinas como combustível para a própria frota de tratores e caminhões, substituindo assim o *diesel*. O Brasil tem atualmente seis plantas de produção de biometano autorizadas pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e outras 11 plantas em processo de autorização para iniciar a produção. A expectativa é de que 81 novas usinas sejam instaladas

no Brasil até 2029, o que poderá levar a produção a cerca de 10% de todo o gás natural consumido atualmente no país.

O Gráfico 4, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), mostra que existe um potencial de aumento de até 82% na produção de biogás no Brasil nos próximos dez anos, considerando um comparativo de cenários apenas com as usinas dos grupos mais eficientes e outro com o potencial total do país.

Gráfico 4. Potencial da produção de biogás no Brasil (bilhões de Nm³)



Fonte: Adaptado de EPE (2022, p. 15).

Nota: No gráfico, as colunas se referem à análise do potencial relativo das usinas dos grupos mais eficientes economicamente do setor, e as linhas, ao potencial total.

Recentemente, foi aprovada pelo Governo Federal a Lei 14.993, de 8 de outubro de 2024 (Brasil, 2024a), apelidada de Combustível do Futuro, um conjunto de iniciativas que visam promover a mobilidade sustentável de baixo carbono, com o objetivo de adequar a economia brasileira ao atingimento das metas internacionais de redução das emissões de GEE. Entre as principais propostas, estão o incentivo à produção e ao uso do combustível sustentável de aviação (SAF), pelo aumento gradual da mistura de SAF ao querosene de aviação fóssil, e o Programa Nacional do Diesel Verde (PNDV), que também promoverá uma incorporação gradativa do *diesel* verde à matriz de combustíveis do país, contribuindo para a redução da dependência externa de *diesel* derivado de petróleo.

O papel do setor de aviação na demanda por biocombustível não pode ser subestimado, embora os SAFs possam ser definidos como combustíveis não fósseis produzidos de forma sustentável, pois podem ser produzidos de fontes não renováveis, como resíduos de materiais plásticos ou pneus, e as principais

matérias-primas têm origem animal ou vegetal, tais como óleos e gorduras e outros subprodutos da produção agroindustrial ou de resíduos sólidos urbanos.

No Brasil, a ANP regulamentou as rotas autorizadas a serem utilizadas e os limites de mistura permitidos, conforme o Quadro 1.

Quadro 1. Rotas e mistura de biocombustíveis autorizados pela ANP

ROTA	PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS	MISTURA
HEFA	Óleos naturais (animais e vegetais)	50%
Fischer-Tropsch (FT)	Biomassas – resíduos agrícolas e sólidos urbanos	50%
HFS–SIP	Açúcares fermentados	10%
Alcohol to Jet (ATJ)	Álcoois, como etanol	50%

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de Brasil (2019).

O Brasil está bem posicionado para viabilizar o escalonamento industrial de ambas as rotas tecnológicas, tanto pela capacidade de ampliação da oferta de óleo vegetal, principalmente de soja, quanto pela maior oferta de etanol, como será detalhado neste artigo posteriormente. Com relação à soja, segundo estimativas da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove), o Brasil processou, em 2022, pouco mais de 30% da safra de soja (como óleo ou farelo), o que demonstra elevado potencial para ampliar os investimentos na transformação industrial do grão.

Adicionalmente, o Brasil apresenta grande disponibilidade de resíduos da produção agroindustrial que podem ser usados como matéria-prima para produção de SAF. Um estudo da Roundtable on Sustainable Biomaterials, realizado em conjunto com a Agroicone (RSB; Agroicone, 2021), estimou que o Brasil tem potencial para produzir até 9 bilhões de litros de SAFs com base em seus resíduos, um volume significativo, considerando que o máximo de querosene de aviação já demandado no país foi de 7,4 bilhões de litros, em 2014. Foram identificados como matérias-primas potenciais bagaço e palha de cana-de-açúcar, resíduos de madeira, óleo de cozinha usado, sebo bovino e gases de aciaria. Bagaço e palha de cana-de-açúcar podem ser processados pelas rotas FT e ATJ, sendo que a segunda é mais eficiente, produzindo quantidade maior de SAF. A oferta de matéria-prima foi estimada conforme o Quadro 2.

Quadro 2. Resíduos e potencial máximo de produção de SAFs no Brasil

MATÉRIA-PRIMA	RESÍDUOS ESTIMADOS	VOLUME DE SAF (BILHÕES DE LITROS)
Bagaço e palha de cana-de-açúcar	61,0 milhões de toneladas	6,48
Resíduos de madeira	21,0 milhões de toneladas	1,9
Sebo bovino	0,53 milhão de toneladas	0,36
Óleo de cozinha usado	0,21 milhão de toneladas	0,11
Gases de aciaria	2,823 milhões de metros cúbicos normais	0,23

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de RSB e Agroicone (2021).

Destaca-se que apenas com os resíduos de cana-de-açúcar e de madeira, utilizando a rota ATJ, seria possível ofertar, respectivamente, 90% e 30% da demanda total por combustíveis de aviação no Brasil. Tendo em vista que as misturas autorizadas de SAF são de, no máximo, 50%, o volume potencial de SAFs poderia suprir toda a demanda interna por biocombustível.

Os SAFs podem contribuir para uma significativa redução na emissão de GEE. Calcula-se que os SAFs derivados de biomassa, resíduos e outras matérias-primas podem reduzir em até 94% as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida dos combustíveis (RSB; Agroicone, 2021). Existe uma demanda internacional por SAFs decorrente da necessidade desses combustíveis para o atingimento das metas acordadas por diversos países e companhias aéreas.

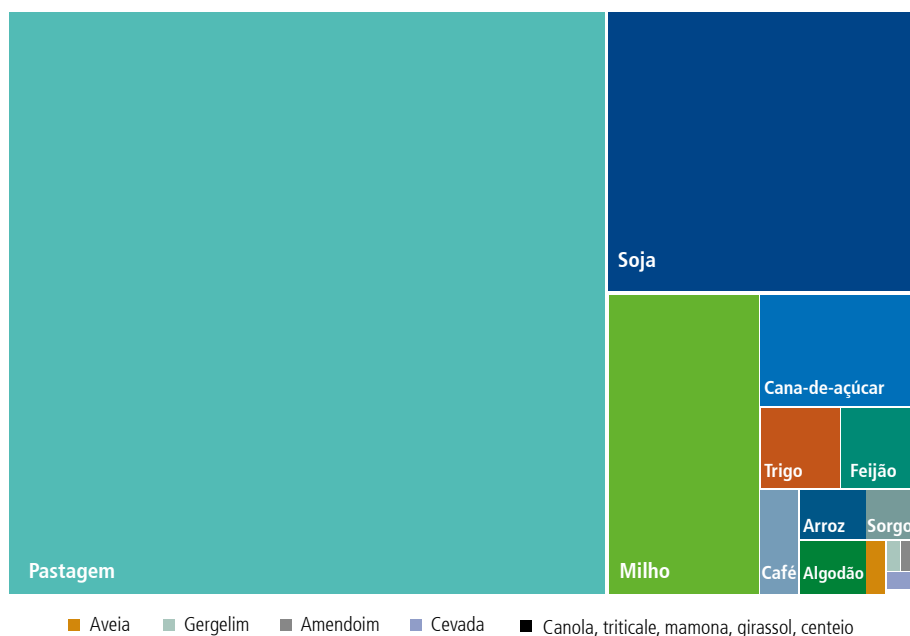
CAPACIDADE PRODUTIVA BRASILEIRA E POTENCIAL DE CRESCIMENTO

Segundo relatório consolidado do Observatório da Cana, na safra 2021/2022 o Brasil produziu 32,5 bilhões de litros de etanol, o que corresponde a aproximadamente 30% da produção global. Essa posição de destaque no mercado coloca o país como um dos principais *players* do setor e contribui para a economia brasileira, gerando empregos, divisas e impulsionando o

desenvolvimento nacional. Segundo o NovaCana (c2024), há 100 grupos no país com capacidade de moagem superior a 1 milhão de t/ano.

No entanto, a área utilizada pelos produtores nacionais para alcançar essa produção significativa representa apenas 3,3% da área total dedicada à atividade rural no país (8,3 de 248,6 milhões de hectares), segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Considerando que 66% da área produtiva é composta de pastagens, sendo que, destas, 34 milhões de hectares são áreas degradadas, não seria complicado para o Brasil aumentar significativamente a área plantada de cana para atender a um crescimento acelerado de demanda nos próximos anos, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1. Área utilizada pela agropecuária – safra 2021/2022



Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Conab ([202-]) – área plantada da safra 2021/2022 – e do MapBiomas (2023) – área de pastagem em 2022.

Porém o aumento da produção não deverá vir unicamente do aumento da área de plantio; novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas e aplicadas tanto na cultura da cana quanto na produção de biocombustíveis, as quais podem permitir aumento significativo na produtividade.

As principais tecnologias com alto potencial disruptivo na produção de cana-de-açúcar são as sementes de cana e as tecnologias de informação e comunicação (TIC). As sementes estão sendo desenvolvidas pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), e possibilitarão a expansão da produção e o aumento da produtividade dos canaviais brasileiros por tornar desnecessária a reserva de áreas para viveiros de mudas. De acordo com dados da Conab, isso representaria a liberação de cerca de 3% da área cultivada de cana. O projeto do plantio a partir de sementes já ultrapassou a etapa de bancada de laboratório e implantou áreas de cultivo da semente em usinas experimentais em 2022, podendo vir a mercado em breve.

Já as TIC vêm sendo implantadas aos poucos nas fazendas, devido à pouca cobertura de internet banda larga nas áreas rurais brasileiras. Entretanto, dado que os equipamentos atuais já possuem essa tecnologia embarcada nas máquinas de plantio e colheita, que permitem melhor aproveitamento das ferramentas de agricultura de precisão com ganhos de eficiência no consumo de *diesel* (menor emissão de carbono) e no uso de insumos, o retorno do investimento em expansão do sinal vem aumentando, tendendo a ampliar a área de cobertura nos próximos anos.

Em relação às tecnologias de processamento, duas delas se destacam: a produção de E2G e a de biogás, que utilizam subprodutos da produção do etanol, bagaço e palha, principalmente. Essa característica de reaproveitar resíduos agroindustriais permite que esses produtos tenham significativo potencial de descarbonização, o que deverá aumentar sua demanda no futuro. Além disso, esse reaproveitamento gera, ao menos no caso do E2G, um valor agregado mais elevado em seu preço. O E2G já é uma realidade; a Raízen conta com duas unidades operando e tem planos de atingir vinte unidades até 2032, com expectativa de chegar a um custo de produção inferior ao do etanol de primeira geração e potencial de aumentar em até 50% o volume de biocombustível produzido por hectare plantado.

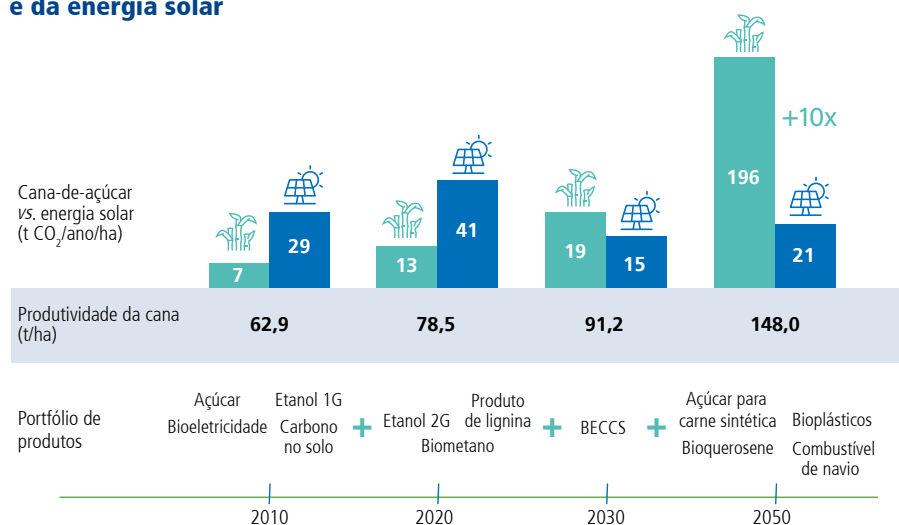
O McKinsey Global Institute (2020) estimou que em 2050 a produtividade da cana-de-açúcar pode chegar a 148 toneladas por hectare, o que, comparado às atuais 80 toneladas por hectare, significaria um crescimento médio da produtividade de aproximadamente 2% ao ano num período de trinta anos.

Além da cana-de-açúcar, também cabe destacar o importante crescimento do uso do milho para produção de etanol, sobretudo nos estados com elevada disponibilidade do chamado milho-safrinha, cuja produção é normalmente feita em consórcio com outras culturas. Diante desse cenário de rápido aumento da produtividade e da área disponível no Brasil para expansão da produção, a oferta não tende a ser uma barreira de longo prazo ao crescimento da demanda por biocombustíveis derivados da cana-de-açúcar, incluindo a produção por meio de outros produtos agropecuários.

VISÃO DE FUTURO PARA AS POLÍTICAS: AMPLIAÇÃO DO MERCADO DOMÉSTICO E INSERÇÃO INTERNACIONAL

Segundo Kovarsky e outros (2022), o potencial de descarbonização pelo aumento da produtividade agrícola e expansão do uso dos biocombustíveis é significativo, podendo atingir em 2050 uma eficiência por hectare dez vezes maior do que a geração fotovoltaica (196 t CO₂/ha *versus* 21 t CO₂/ha).

Figura 2. Comparativo dos potenciais de descarbonização da cana-de-açúcar e da energia solar



Fonte: Adaptado de Kovarsky e outros (2022).

Para realizar todo esse potencial, será necessária uma combinação de políticas públicas que estimulem o consumo e o desenvolvimento tecnológico do setor. Isso implica uma articulação político-institucional dos atores interessados, com o objetivo de fomentar o crescimento do mercado doméstico e o desenvolvimento de tecnologias no país, aumentando o protagonismo do Brasil na nova economia baseada em biocombustíveis.

Nesse sentido, Silva, Bomtempo e Alves (2019) apresentam um estudo sobre o sistema setorial de inovação brasileiro do mercado de biocombustíveis, que, buscando encontrar as cinco principais oportunidades de inovação do setor, concluiu que a atuação institucional para a definição de políticas públicas é fundamental em cogeração, biogás e novos produtos, sendo as duas últimas as que apresentam maior potencial de transformar a indústria, embora tenham também as barreiras mais fortes à inovação.

É importante destacar que – no mundo contemporâneo de economias globalmente conectadas e poucos produtores globais que, após suas escolhas tecnológicas, incorrem num alto custo de oportunidade para mudá-las – esse trabalho de articulação institucional precisa também ser feito em nível internacional. Assim, já foram criadas duas instituições com apoio brasileiro para trabalhar pela expansão do uso dos biocombustíveis no mundo.

A primeira foi a Plataforma para o Biofuturo, lançada em 2016 para liderar ações globais que acelerem o desenvolvimento, a expansão e a implantação de alternativas sustentáveis de base biológica aos combustíveis, produtos químicos e materiais de origem fóssil. Atualmente é presidida pelo Departamento de Energia dos EUA e tem sua governança atrelada à Agência Internacional de Energia, reunindo 22 países em um fórum para diálogo político e colaboração entre os principais países, organizações, o meio acadêmico e o setor privado. Tem, entre seus objetivos estratégicos, o papel de promover: consenso sobre sustentabilidade, disponibilidade e governança da biomassa; as melhores práticas políticas e convergência; mecanismos de financiamento; e cooperação em políticas, regulamentações e tecnologias.

Mais recentemente, em julho de 2023, na reunião da Cúpula do G20, foi lançada a Aliança Global pelos Biocombustíveis, presidida pela Índia, que desenvolveu um ambicioso programa de biocombustíveis. Criada conjuntamente por Índia, Brasil e EUA, essa aliança reúne 19 países e 12 organizações internacionais,

tendo como objetivo promover colaboração e cooperação internacional para a aceitação e a utilização de biocombustíveis.

O protagonismo brasileiro nos biocombustíveis foi objeto do relatório *Renewables 2023*, elaborado pela Agência Internacional de Energia (AIE), que destaca o Brasil, em conjunto com outras economias emergentes, na liderança do crescimento da oferta de biocombustíveis. O documento aponta que o país, isoladamente, contribuirá com 40% da expansão global de biocombustíveis até 2028, respaldado por políticas robustas nesse setor (Brasil, 2024b).

CONCLUSÃO

A demanda de biocombustíveis tende a crescer significativamente nas próximas décadas devido à necessidade dos diversos setores de transporte de se adequarem aos limites de emissão de dióxido de carbono (CO₂). Mesmo que atualmente mais de sessenta países já adotem uma mistura de biocombustível à gasolina e ao *diesel*, o IPCC estima que, até 2030, o setor de transporte precisará triplicar o uso de biocombustíveis como forma de reduzir as emissões de carbono. Esse mesmo processo é esperado para diversos outros modais de transporte, como navegação e aviação, que ainda estão nos estágios iniciais de adoção.

O aumento de produção e eficiência tanto da cana-de-açúcar quanto do processo industrial pode levar o biocombustível a ser mais eficiente para a descarbonização do que a geração fotovoltaica já na próxima década, podendo chegar a ser dez vezes mais eficiente até 2050.

O Brasil já tem posição de destaque na produção tanto de etanol quanto de *biodiesel*, não apenas pelo volume, mas pela liderança na tecnologia desenvolvida na produção de cana-de-açúcar, a mais eficiente do mundo, e em seu processamento, com aproveitamento dos subprodutos gerados no processo produtivo. Essa liderança foi obtida pela adoção, ao longo de décadas, de políticas de estímulo ao consumo de etanol no setor rodoviário e de desenvolvimento de tecnologias produtivas, como o E2G, que atraíram investidores inovativos e de grande porte para o mercado.

Como o aumento esperado da demanda para as próximas décadas virá principalmente dos novos biocombustíveis, o país precisará de um novo ciclo de políticas de apoio a esses investimentos que permitam o pleno aproveitamento das vantagens

competitivas já conquistadas no período anterior. O SAF se destaca, atualmente, como a próxima oportunidade a ser explorada, juntamente com o biometano e o *diesel* verde. A criação de parcerias internacionais e a participação de representantes brasileiros nessas iniciativas de fomento ao setor, assim como o programa Combustível do Futuro, são ações recentes que mostram a disposição do país em manter sua posição de destaque e em contribuir para a ampliação do mercado internacional de biocombustíveis, que constituem uma alternativa de rápida implementação para o atendimento das metas de descarbonização no Brasil e no mundo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. *Lei 14.993, de 8 de outubro de 2024*. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono [...]. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2024a. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14993-8-outubro-2024-796443-publicacaooriginal-173317-pl.html>. Acesso em: 5 dez. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Relatório da AIE reforça o protagonismo do Brasil no cenário internacional*. Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF, 12 jan. 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/relatorio-da-aie-reforca-o-protagonismo-do-brasil-no-cenario-internacional>. Acesso em: 19 mar. 2024.

BRASIL. Resolução nº 778, de 5 de abril de 2019. Estabelece as especificações do querosene de aviação [...]. *Diário Oficial da União*: edição 67, seção 1, Brasília, DF, p. 40, 8 abr. 2019. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/70491356/do1-2019-04-08-resolucao-n-778-de-5-de-abril-de-2019-70491250. Acesso em: 19 mar. 2024.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safras. *Conab*, Brasília, DF, [202-]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras?view=default>. Acesso em: 16 jan. 2024.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Cenários de oferta de etanol e demanda de ciclo Otto 2023-2032*. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-255/topico-653/NT-EPE-DPG-SDB-2022-06_Cenarios_de_oferta_de_etanol_2032.pdf. Acesso em: 22 jan. 2024.

KOVARSKY, P. *et al.* Como os países tropicais podem acelerar seu protagonismo na economia net zero. *MIT Sloan Management Review*, Cambridge, v. 4, n. 13, p. 50-57, 2022.

MAPBIOMAS BRASIL. Mapas e Dados. MapBiomass Brasil, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/TABELA-GERAL-MAPBIOMAS-COL8.0-BIOMASxESTADOS-1.xlsx>. Acesso em: 16 jan. 2024.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. *The Bio Revolution: Innovations transforming economies, societies, and our lives*. McKinsey Global Institute, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/life-sciences/our-insights/the-bio-revolution-innovations-transforming-economies-societies-and-our-lives>. Acesso em: 20 mar. 2024.

MILANEZ, Artur Yabe *et al.* *Biodiesel e diesel verde no Brasil: panorama recente e perspectivas*. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 56, set. 2022, p. [41]-71. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22585/1/PRArt215696_Biodiesel%20e%20diesel%20verde%20no%20Brasil.pdf. Acesso em: 20 mar. 2024.

NOGUEIRA, L. A. H. *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. BNDES e CGEE. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

NOVACANA. Ranking das usinas do Brasil por capacidade de moagem. *NovaCana*, [s. l.], c2024. Disponível em: https://www.novacana.com/usinas_brasil/ranking/moagem. Acesso em: 20 mar. 2024.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. Paris: OECD Publishing, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/19428846-en>. Acesso em: 20 mar. 2024.

RAÍZEN. Raízen e Wärtsilä assinam acordo para acelerar a sustentabilidade no setor marítimo com navios movidos a etanol. Raízen, [s. l.], [2023]. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/raizen-e-waertsilae-assinam-acordo-para-acelerar-a-sustentabilidade-no-setor-maritimo-com-navios-movidos-a-etanol>. Acesso em: 19 mar. 2024.

RSB – Roundtable on Sustainable Biomaterials; AGROICONE. *Disponibilidade de matéria-prima para combustível de aviação no Brasil: desafios e oportunidades – relatório 2021*. Geneva: RSB, 2021. Disponível em: https://rsb.org/wp-content/uploads/2021/10/RSB-jetfuel-saf-factsheets_versao_portugues_compactado.pdf. Acesso em: 15 jan. 2024.

SILVA, D. D. F. S.; BOMTEMPO, J. V.; ALVES, F. C. Innovation opportunities in the Brazilian sugar-energy sector. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, v. 218, p. 871-879, 2019.