

Campinas, SP / Dezembro, 2024

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



## Perspectivas para o etanol de milho brasileiro

Márcia Helena Galina Dompieri<sup>(1)</sup>, Daniela Tatiana de Souza<sup>(2)</sup>, José Dílcio Rocha<sup>(1)</sup> e Marcos Aurélio Santos da Silva<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Territorial, Campinas, SP. <sup>(2)</sup>Analista, Embrapa Territorial, Campinas, SP.

<sup>(3)</sup>Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

**Resumo** – O excedente da produção de milho (*Zea mays*) na região Centro-Oeste do Brasil e sua integração com a estrutura produtiva de etanol durante a entressafra da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) podem dinamizar a produção nacional de etanol. Este artigo traça algumas perspectivas para o etanol de milho no Brasil sob quatro dimensões: 1) mudanças na produção sazonal do milho e impacto na produção de etanol; 2) balanço entre oferta e demanda de milho nas safras de 2020/2021 a 2023/2024; 3) cenário atual das plantas de produção de etanol; e 4) projeções para o uso de biocombustíveis nos próximos 10 anos. A expansão da segunda safra de milho, combinada ao crescimento da produção de soja, consolidou o etanol de milho como alternativa relevante na matriz energética brasileira. As conclusões evidenciam que o avanço do uso de biocombustíveis dependerá da competitividade do etanol em relação aos combustíveis fósseis e da atratividade econômica para os produtores. A integração entre o cultivo de milho e a produção de etanol constitui uma estratégia relevante para potencializar o uso de insumos e recursos produtivos e favorecer a transição energética do País.

**Termos para indexação:** *Zea mays*, milho em segunda safra, usina de etanol.

## Prospects for Brazilian corn ethanol

**Abstract** – Surplus corn (*Zea mays*) production in the Midwest region of Brazil and its integration into the ethanol production structure during the sugarcane (*Saccharum officinarum*) off-season could boost national ethanol production. This article outlines some prospects for corn ethanol in Brazil along four dimensions: 1) changes in seasonal corn production and their impact on ethanol production; 2) balance between corn supply and demand in the 2020/2021 to 2023/2024 harvests; 3) current scenario for ethanol production facilities; and 4) projections for biofuel use over the next decade. The expansion of the second-crop corn, combined with the growth of soybean production, has consolidated corn ethanol as a relevant alternative in the Brazilian energy matrix. Our conclusions show that progress in the use of biofuels will depend on ethanol's competitiveness toward fossil fuels and its economic attractiveness for producers. The integration of corn and ethanol production is an important strategy to maximize the use of inputs and productive resources and to promote the country's energy transition.

**Index terms:** *Zea mays*, second-crop corn, ethanol plant.

### Embrapa Territorial

Av. Soldado Passarinho, nº 303  
Fazenda Chapadão  
13070-115, Campinas, SP  
www.embrapa.br/territorial  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

#### Comitê Local de Publicações

Presidente

Luciola Alves Magalhães

Secretária-executiva

Bibiana Teixeira de Almeida

Membros

André Luiz dos Santos Furtado,

Celina Maki Takemura, Janice

Freitas Leivas, Rafael Mingoti,

Suzilei Francisca de Almeida

Gomes Carneiro, Vera Viana

dos Santos Brandão, Jaudete

Daltio, Cristina Criscuolo, Rogério

Resende Martins Ferreira e

Daniela Tatiane de Souza

Edição executiva

Bibiana Teixeira de Almeida

Revisão de texto

Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica

Vera Viana dos Santos Brandão

(CRB-8/7283)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Suzilei Carneiro

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

## Introdução

O crescimento na oferta e demanda por matérias-primas agrícolas, especialmente milho (*Zea mays*) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), reflete a crescente importância dos biocombustíveis no cenário energético global. A produção de etanol tem obtido relevância crescente à medida que os biocombustíveis se consolidam como alternativa para substituir parcialmente os combustíveis fósseis. O aumento na demanda por milho evidencia uma transformação na matriz energética e também implica mudanças significativas nas práticas agrícolas.

Avaliando as potenciais oportunidades e ameaças oferecidas pelo macroambiente para o desenvolvimento do etanol de milho no Brasil, estudos indicam que essa alternativa pode reduzir a ociosidade operacional durante a entressafra da cana-de-açúcar e minimizar os problemas de armazenagem. Além disso, contribui para a comercialização mais eficiente e menos onerosa para os produtores da região, resultando em maior margem de lucro (Silva; Castaneda-Ayarsa, 2021).

A produção brasileira de etanol de milho deve alcançar 6 bilhões de litros na safra 2023/2024, aumento de 36% em relação à safra anterior, ao passo que o processamento está concentrado, particularmente no Centro-Oeste do País, onde ocorre o plantio do cereal em segunda safra. Esse aumento na capacidade produtiva pode ser entendido, em um primeiro momento, como a conjunção de três principais fatores: avanço de tecnologias agrônomicas e industriais, ampliação do complexo industrial brasileiro e aumento da demanda global por biocombustíveis (União Nacional do Etanol de Milho, 2024).

Embora o milho seja viável para a produção de etanol, alguns estudos questionam suas vantagens ambientais. Lark et al. (2022) analisaram as emissões de gases de efeito estufa na agricultura dos Estados Unidos (EUA) e observaram que a expansão do cultivo de milho aumentou a área em 2,8 milhões de hectares (8,7%) e a área total de terras cultivadas em 2,1 milhões de hectares (2,4%) entre 2008 e 2016. Essa expansão resultou em aumento anual de 3% a 8% no uso de fertilizantes em todo o País e elevou os poluentes da água em 3% a 5%. Ademais, as mudanças no uso da terra foram suficientes para que a intensidade de carbono do etanol de milho produzido não fosse menor que a da gasolina, mas fosse provavelmente pelo menos 24% maior. Zocchio (2023) também destaca os impactos socioambientais da produção de milho no Brasil. As lavouras de milho avançam sobre áreas da Amazônia e do Cerrado,

e podem ser um vetor de desmatamento desses biomas, ainda que indiretamente, uma vez que o milho é plantado na entressafra da soja.

Por sua vez, em termos de oportunidade, há a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), programa nacional que estabelece metas de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do País. Essa política deve posicionar as indústrias de etanol de milho como protagonistas do processo de rastreabilidade do milho e de boas práticas de produção, com as vendas de créditos de carbono (créditos de descarbonização, CBIOS), e fortalecer os biocombustíveis no mercado brasileiro (Neves, 2021). Entre as 326 usinas certificadas no âmbito do RenovaBio, 285 são produtoras de etanol, o que reforça a importância do biocombustível para o País em termos de produção e potencial de descarbonização da matriz energética (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023).

Segundo dados da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OECD) e da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (OECD; FAO, 2024), em 2023, os biocombustíveis representaram 6,9% do consumo anual de energia global, e há expectativa de que essa participação aumente para 7,3% até 2030, com destaque para o papel significativo do etanol de cana-de-açúcar. Com a rápida expansão do mercado de etanol de milho no Brasil e no mundo, é relevante caracterizar as dinâmicas de oferta e demanda por esse recurso energético. Nesse sentido, o objetivo do presente artigo é compor um quadro analítico para a compreensão dessa dinâmica setorial, a partir das seguintes diretrizes: 1) alterações na produção nacional e no uso do milho; 2) balanço entre oferta e demanda de milho, em cenário recente; 3) infraestrutura de produção de etanol; e 4) cenários atuais e projetados para 10 anos sobre participação dos biocombustíveis e de outros usos de produtos agrícolas na matriz energética.

## Material e métodos

Os materiais utilizados no trabalho incluíram dados e informações multifonte e multiformato (tabulares e geoespaciais) e consulta ao estado da arte sobre oferta e demanda por etanol de milho, a saber: i) dados geoespaciais das malhas políticas dos municípios, a partir das bases oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024a); ii) dados tabulares sobre a quantidade produzida de milho, de primeira e segunda safras, nos anos

de 2012 e 2022, a partir das bases do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024b) e das bases advindas da Associação Brasileira dos Produtores de Milho e Sorgo, safras 2020/2021 a 2023/2024 (Associação Brasileira dos Produtores de Milho e Sorgo, 2024); iii) dados tabulares sobre produção de etanol (União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia, 2024); iv) dados tabulares sobre unidades produtivas, advindos da base da Empresa de Pesquisa Energética (2023); v) dados sobre a produção de etanol, advindos das bases da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia, 2024); vi) informações advindas da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE; FAO, 2024); bem como demais dados e informações advindas de publicações acadêmicas e estatísticas de mercado.

Os procedimentos metodológicos adotados envolveram a coleta e a preparação dos dados, com análises de integridade, consistência e transformação para formatos adequados; análises descritivas a partir de estatísticas resumidas; análise de cartogramas e gráficos uni- e bivariados; além do mapeamento de relações, com identificação dos desafios e gargalos do setor, para oferecer uma compreensão mais clara dos obstáculos presentes no mercado.

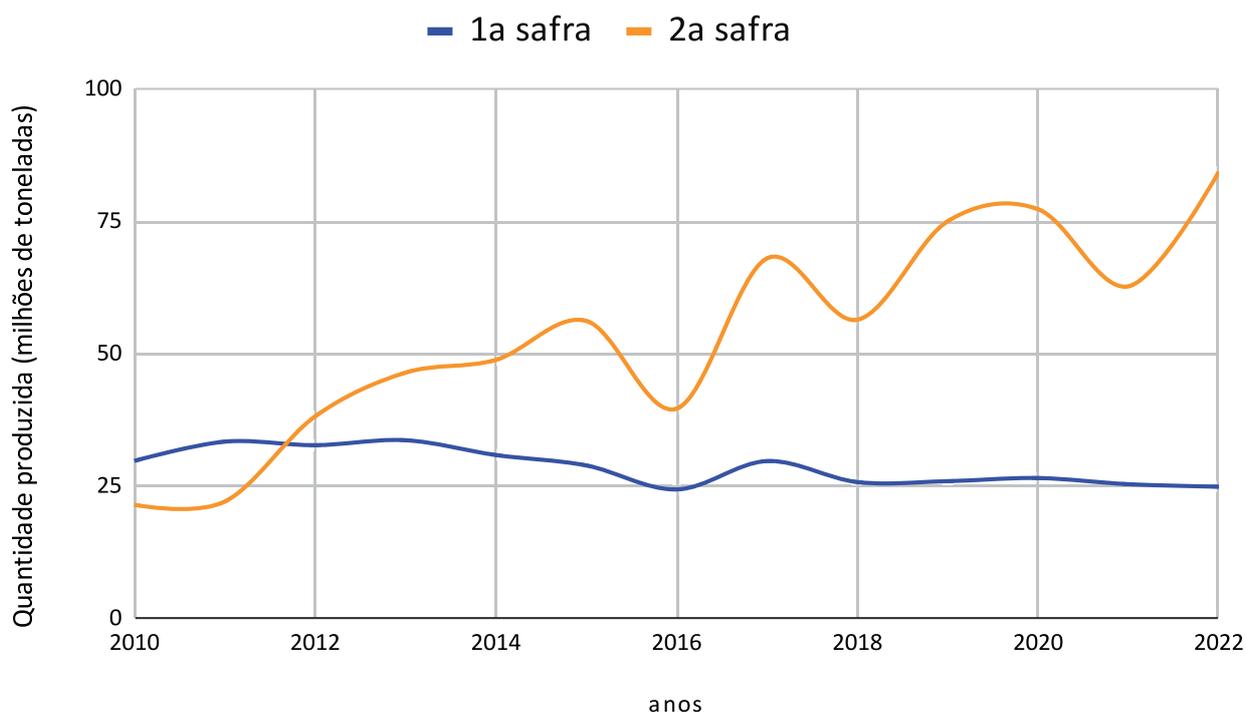
## Resultados e discussão

### Análise das alterações na produção nacional e no uso do milho

O crescimento da adoção do plantio direto da soja e a necessidade de cobertura do solo depois da colheita contribuíram para a expansão do cultivo de milho em segunda safra, acompanhando a expansão da soja (Helfand; Rezende, 1998). Nesta análise temporal, foram empregados dados anuais, advindos da Produção Agropecuária Municipal (IBGE, 2024a). Os dados anuais mostram que a quantidade de milho produzida em segunda safra ultrapassou a safra de verão, e tornou-se a safra mais importante (Figura 1). A produção saltou de 38 milhões de toneladas em 2012 para 84 milhões de toneladas em 2022.

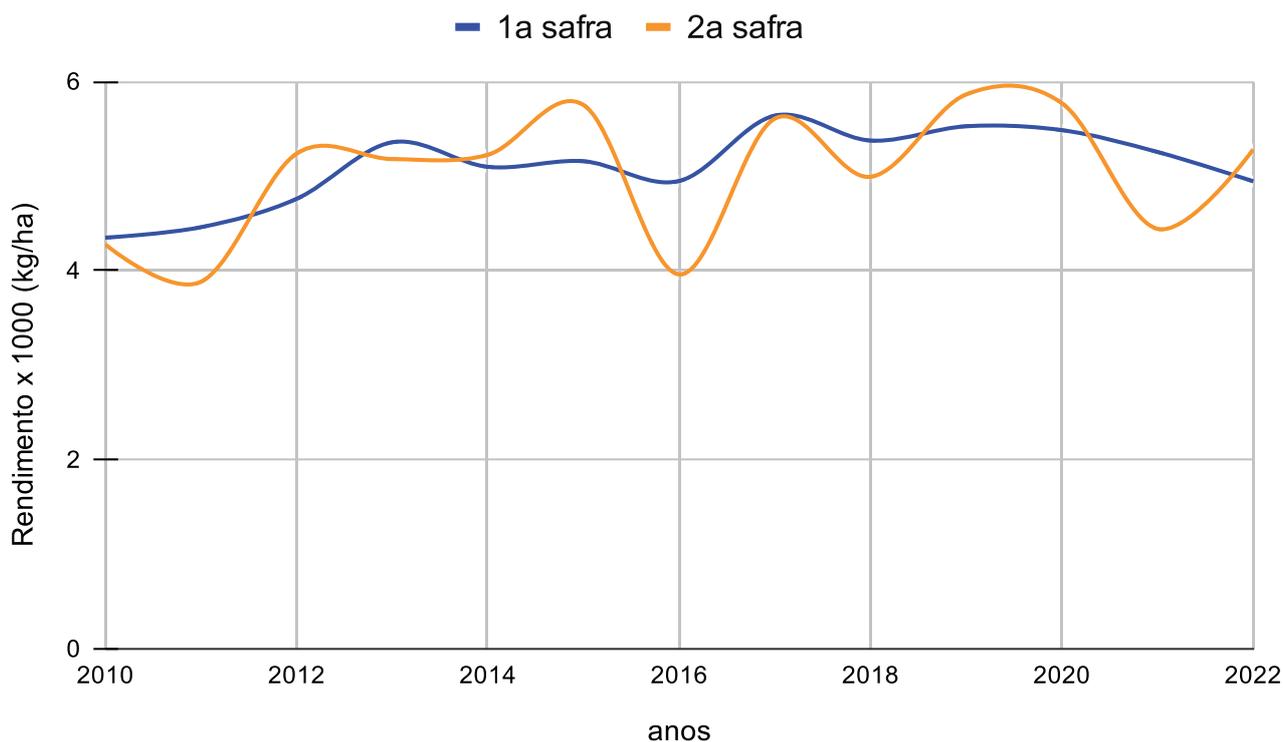
Porém, percebe-se alta variabilidade no comportamento ascendente da quantidade produzida e no rendimento da safra de inverno (Figura 2). Neste último caso, com maior estagnação, entre 4 e 6 mil kg/ha, as vulnerabilidades da produção em segunda safra são comumente associadas às adversidades climáticas.

Sementes, pecuária (corte e leite) e sobretudo suinocultura e avicultura (corte e produção de ovos) são os setores que tradicionalmente



**Figura 1.** Quantidade produzida: comparação da primeira e segunda safras de produção de milho.

Fonte: IBGE (2024b).

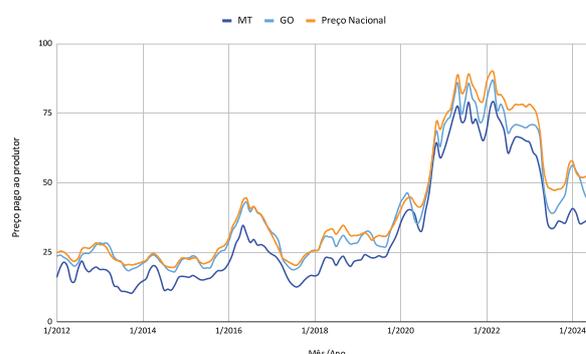


**Figura 2.** Rendimento (kg/ha): comparação da primeira e segunda safras de produção de milho (*Zea mays*).  
Fonte: IBGE (2024b).

demandam milho (Pavão; Ferreira Filho, 2011; Mattos; Silveira, 2015; Sanches et al., 2016). A forte expansão da produção de milho, sustentada pela segunda safra, sobretudo no Mato Grosso, permitiu alguns desdobramentos, como o aumento do excedente exportável, que fez com que os preços nos portos passassem a influenciar de forma mais intensa o comportamento dos preços no mercado interno (Sanches et al., 2018). Esses cenários, combinados às condições climáticas e políticas agrícolas nacionais e regionais, são os principais responsáveis pelo processo de formação do preço do cereal.

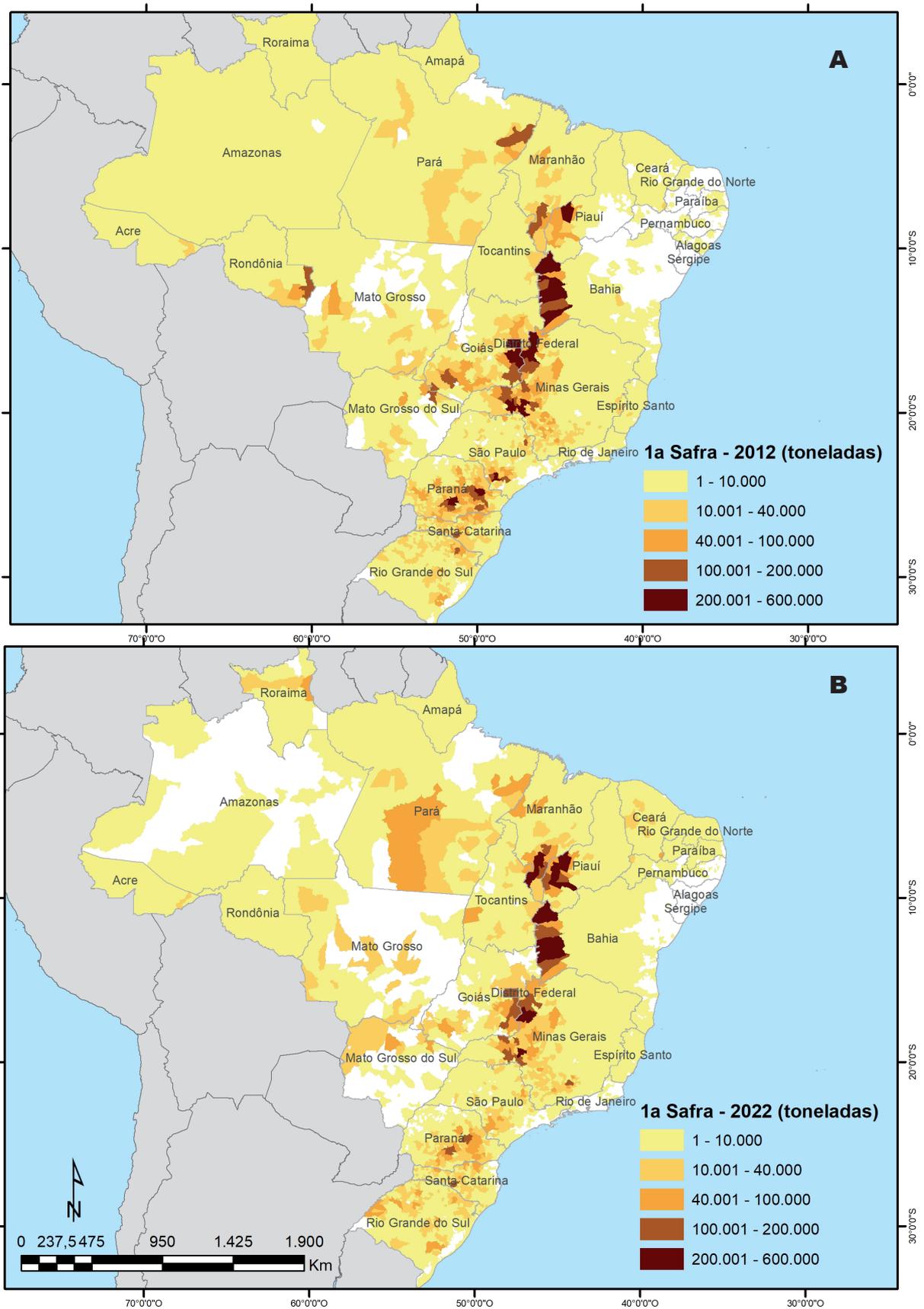
A Figura 3 apresenta o comportamento do preço pago ao produtor do milho seco (saca de 60 kg) e a expressiva alta entre os anos de 2021 a 2023, período que coincide com pandemias e guerras. Adicionalmente, nota-se que o preço do milho é historicamente mais baixo no estado de Mato Grosso quando comparado ao preço de Goiás e ao preço nacional.

Na análise territorial de produção de primeira safra (Figura 4A e B), nota-se que a maior concentração espacial da produção de milho ocorre no Paraná, é retomada a oeste de Minas Gerais, formando um cinturão que avança na divisa entre Minas Gerais e Goiás, segue para o oeste da Bahia



**Figura 3.** Preço pago ao produtor (milho seco, saca de 60 kg) nos estados de Goiás e Mato Grosso e nacional.  
Fonte: Adaptado de Agrolink (2024).

até a fronteira Piauí–Maranhão (ao sul desses estados), e é retomada a leste do Pará, na divisa com o Maranhão. A configuração espacial em 2012 e 2022 é semelhante, porém nota-se avanço do cultivo do cereal no estado do Pará e diminuição da concentração da produção no Paraná. Enquanto o polo produtor de primeira safra está localizado no centro-leste do País, na forma de um arco, distribuído de norte a sul (do Rio Grande do Sul ao Maranhão),



**Figura 4.** Produção de milho de primeira safra: comparação da distribuição espacial e quantidade produzida no período de 10 anos (2012 A e 2022 B).

Fonte: IBGE (2024b).

o polo de segunda safra (Figura 5A e B) ocorre de forma concêntrica a oeste, sobretudo no estado de Mato Grosso, com centros de produção menos expressivos ao sul de Goiás e Mato Grosso do Sul. Constata-se considerável aumento da produção na segunda safra de 2012 para 2022, com graduação de escala adicional (2 a 4 milhões de toneladas) na legenda do cartograma (Figura 5B).

O cultivo do milho em segunda safra, antes restrito a algumas regiões, tornou-se realidade com o avanço do sistema de rotação com a soja, e novas demandas agrônômicas surgiram, como na área da genética (desenvolvimento de cultivares precoces), nas técnicas de manejo, na automação (uso de máquinas e equipamentos mais eficientes), nos zoneamentos agroclimáticos, entre outros (Magalhães et al., 2020).

Investigações nessa área continuam a avançar. Borghi et al. (2022), verificaram que, para as condições de Rio Verde (GO), a antecipação da colheita da soja em até 20 dias permitiu retorno econômico até quatro vezes superior ao do milho semeado fora do calendário agrícola recomendado pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc).

Diante disso, alternativas para agregação de valor ao cereal nas proximidades dos polos

produtores começaram a ser desenvolvidas, como a produção de etanol (Donke et al., 2016). A partir de 2012, as destilarias tornaram-se uma alternativa ao escoamento da produção do milho no Mato Grosso na entressafra da cana-de-açúcar e uma fonte de receita adicional aos usineiros de cana já estabelecidos (Freitas; Miura, 2018).

### Análise do balanço entre oferta e demanda de milho

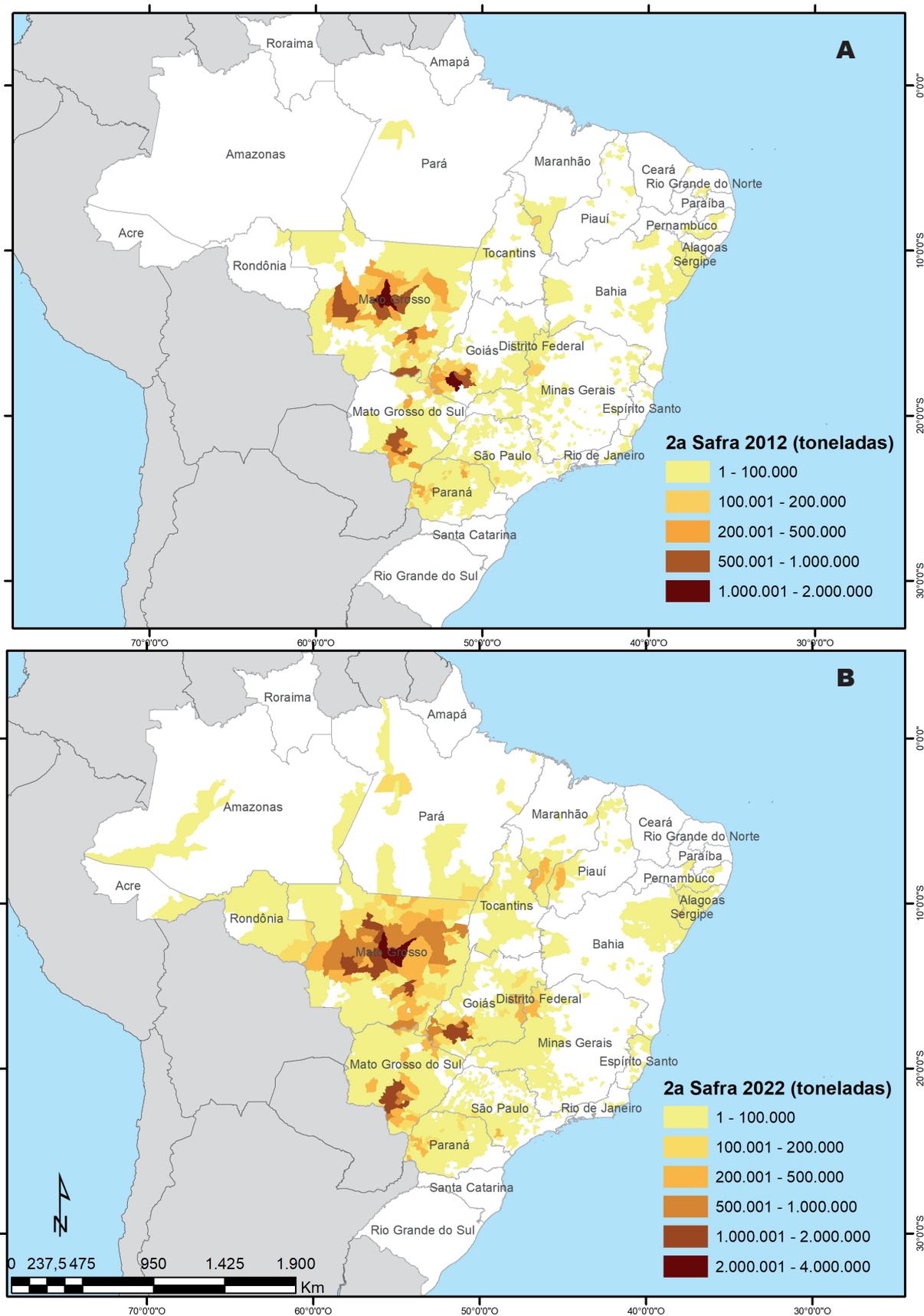
Para as análises sobre oferta e demanda do cereal (Tabela 1), foram utilizados dados da Associação Brasileira dos Produtores de Milho e Sorgo (2024) referentes às safras de 2020/2021 a 2023/2024. Nesse período, a produção de milho no Brasil aumentou substancialmente. Por sua vez, as importações diminuíram. Essa combinação resultou em aumento da oferta total de milho. No que diz respeito ao consumo, houve aumentos significativos nas categorias exportação, uso industrial, consumo animal, consumo humano, sementes, além de perdas.

O aumento da oferta de milho no Brasil não foi acompanhado por crescimento proporcional no consumo interno. Isso tornou a exportação uma alternativa viável e que desempenhou papel crucial

**Tabela 1.** Balanço da produção versus consumo do milho no período das safras 2020/2021 a 2023/2024.

Categoria	Safras				Variação (%)	Impacto relativo (%)
	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2023/2024		
Estoque inicial	10,71	6,71	6,67	12,76	19,1	-
Produção	86,34	120,00	129,08	137,48	59,2	41,5
Importação	3,09	2,62	2,30	1,90	-38,5	-27,0
<b>Total</b>	<b>100,14</b>	<b>129,33</b>	<b>138,05</b>	<b>152,14</b>	<b>51,9</b>	-
Consumo animal	52,06	53,21	54,39	56,00	7,6	5,3
Consumo industrial	12,83	14,91	17,01	22,08	72,1	-
- Etanol	6,22	8,35	10,68	15,08	142,6	-
- Outros usos	6,61	6,56	6,33	7,00	5,8	-
Consumo humano	1,85	1,87	1,91	1,93	4,3	3,0
Outros usos	3,88	3,44	3,72	3,58	-7,7	-5,4
Perdas	1,44	2,00	1,94	2,06	43,1	30,2
Sementes	0,56	0,59	0,61	0,60	7,1	5,0
Exportação	20,82	46,63	51,00	54,00	159,4	111,8
<b>Total</b>	<b>106,27</b>	<b>137,56</b>	<b>147,59</b>	<b>162,33</b>	<b>52,8</b>	-
<b>Estoque final</b>	<b>-6,13</b>	<b>-8,23</b>	<b>-9,54</b>	<b>-10,19</b>	<b>66,2</b>	<b>46,4</b>

Fonte: Adaptado de Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2023), Associação Brasileira dos Produtores de Milho e Sorgo (2024) e União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (2024).



**Figura 5.** Produção de milho (*Zea mays*) de segunda safra: comparação da distribuição espacial e quantidade produzida no período de 10 anos (2012 e 2022).

Fonte: IBGE (2024b).

no equilíbrio entre oferta e demanda e na sustentação dos preços internos (Sanches et al., 2018).

Quanto ao consumo industrial, a quantidade de milho (em milhões de toneladas) destinada à produção de etanol aumentou 142,6% entre as safras 2020/2021 e 2023/2024 (Unica, 2024). Em 2023, a produção de etanol foi de 35 milhões de metros cúbicos (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023).

No âmbito das análises dos impactos relativos, considerando a variável milho para etanol, constatou-se aumento de 41,5% entre as safras 2020/2021 e 2023/2024, como reflexo direto da elevada demanda interna gerada pelo consumo de milho para esse biocombustível.

Os produtores aumentaram a produção em resposta aos preços mais altos e à crescente demanda, para aproveitar a oportunidade. Esse aumento na produção influenciou os preços do milho, que passaram a refletir a capacidade dos produtores em atender às necessidades internas e externas. Por sua vez, houve redução de 27% na importação de milho entre as safras 2020/2021 e 2023/2024. Esse declínio nas importações está relacionado ao aumento da demanda interna (Hedgeagro, 2024).

O impacto relativo no consumo animal foi relativamente baixo, com aumento de apenas 5,31% entre as safras 2020/2021 e 2023/2024. Esse dado sugere que, apesar das mudanças na produção e no mercado de etanol, a demanda por milho na alimentação animal manteve-se estável.

O consumo humano de milho também apresentou baixo impacto, com crescimento de 3,03% no período. Embora o foco principal da produção tenha sido o etanol, o mercado de consumo humano permaneceu estável, o que demonstra a versatilidade do milho como alimento básico.

Um ponto de destaque quanto aos impactos relativos é o significativo aumento, de 111,8%, nas exportações. Esse crescimento indica que a produção não só atendeu à demanda interna, mas também posicionou o Brasil como um competidor robusto no mercado global. Mesmo com o aumento do consumo interno de etanol, o País conseguiu expandir suas exportações, fortalecendo sua presença internacional.

A demanda total de milho cresceu 41,5%, evidenciando o impacto significativo do uso do grão na produção de etanol. Esse fenômeno demonstra a crescente importância da indústria de biocombustíveis na economia do milho, influenciando de maneira significativa tanto a produção quanto o consumo.

Por fim, o aumento de 46,8% no estoque final sugere que, mesmo com a crescente demanda, a produção foi suficiente para gerar um excedente. Esse excedente sugere que o balanço entre produção e consumo estaria equilibrado, de forma a garantir estabilidade nos estoques e a favorecer uma resposta adequada a flutuações no mercado.

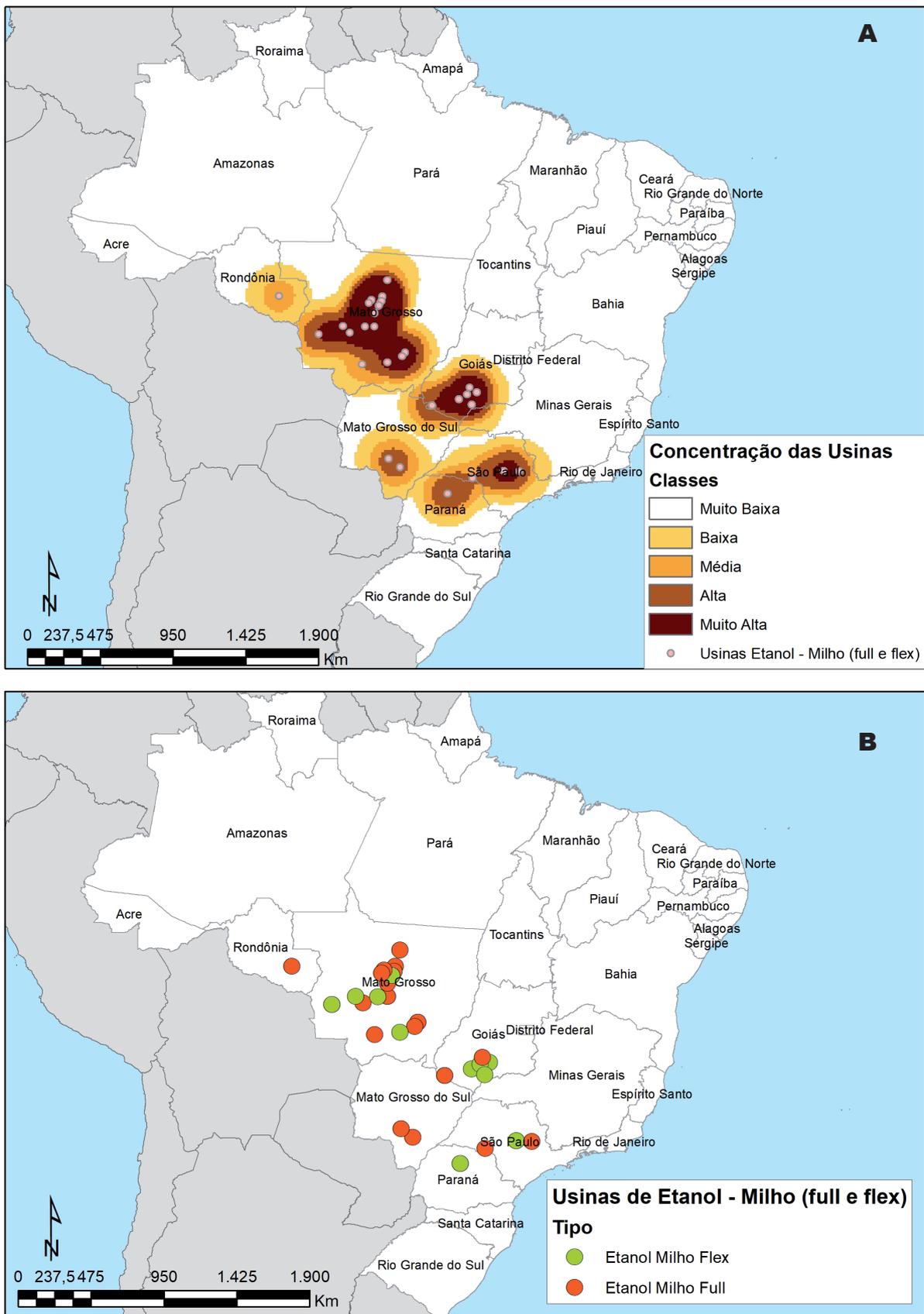
### Usinas de produção de etanol

Como uma estratégia de diversificação produtiva e para aproveitar a infraestrutura disponível na entressafra da cana-de-açúcar, além de reduzir a dependência de uma única fonte de matéria-prima, surgiu a demanda por usinas integradas ou flexíveis (*flex*) (Donke et al., 2016).

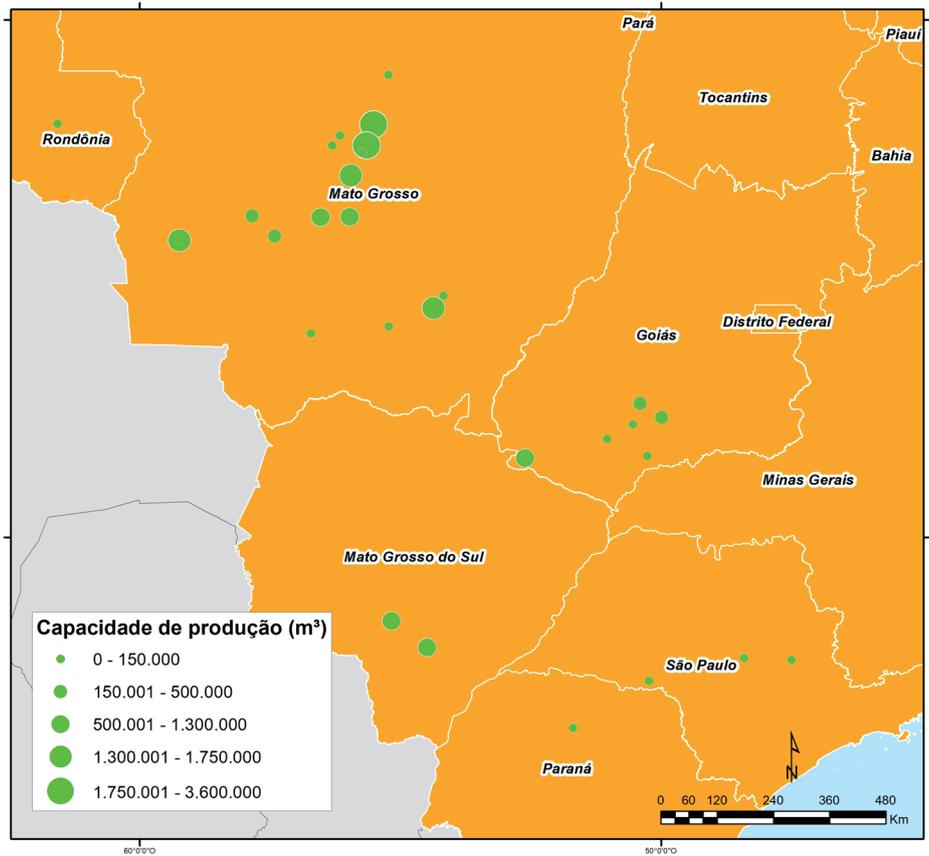
A usina de cana-de-açúcar pode gerar todo o vapor e a energia elétrica que o etanol de milho precisa, a partir do aproveitamento da biomassa. O processo de fermentação do milho é similar ao da cana-de-açúcar, porém, devido à necessidade de quebra das grandes moléculas do amido (antes da fermentação) até a transformação em açúcar, são necessárias etapas adicionais, fato que aumenta o custo de produção do etanol do milho. Há também a questão da maior volatilidade de preço do milho no mercado, visto que é uma *commodity*. Por outro lado, enquanto 1 t de cana-de-açúcar produz entre 70 e 85 L de etanol, 1 t de milho pode produzir entre 370 e 460 L; há renda gerada a partir da exploração dos subprodutos (farelo; óleo bruto; *dried distillers grains*, DDG) e, por fim, os usineiros conseguem diluir esse adicional nos custos fixos dos maquinários (Freitas; Miura, 2018; União Nacional da Bioenergia, 2022).

As unidades destinadas ao processamento de etanol exclusivamente a partir do milho ou sorgo (denominadas *full*) têm sido estabelecidas desde 2018 no País. O tempo necessário para construir uma dessas unidades é de aproximadamente 2 anos, consideravelmente mais curto que o tempo para instalações de cana-de-açúcar, e isso contribui para a expansão significativa da produção (União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia, 2024).

A Figura 6A mostra a concentração das usinas de etanol nos mesmos polos de produção do milho de segunda safra (Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul), além da adição de quatro usinas – três em São Paulo e uma no Paraná – sugerindo o compartilhamento da infraestrutura na entressafra da cana-de-açúcar. Na sequência, a Figura 6B mostra a localização das usinas *full* e *flex*, e, por fim, a Figura 7, identifica as usinas com maior capacidade de produção, concentradas em Mato Grosso e Goiás.

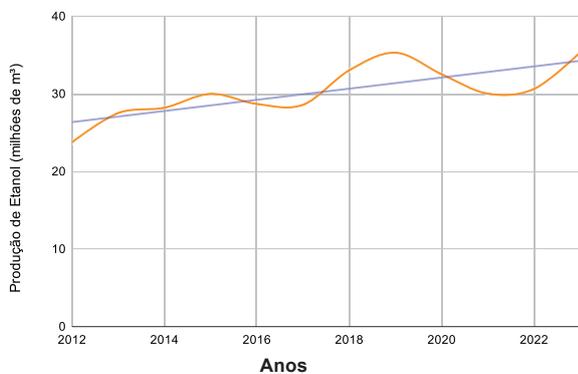


**Figura 6.** Mapa de kernel (A) mostrando a concentração espacial das usinas *full* e *flex* de etanol de milho (*Zea mays*) (B).  
 Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023).



**Figura 7.** Capacidade de produção (m<sup>3</sup>) das usinas de etanol de milho (*Zea mays*) (full e flex).  
 Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023).

A Figura 8 mostra a evolução temporal da produção de etanol, em milhões de metros cúbicos, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A reta na cor azul mostra a tendência no crescimento da produção de etanol.



**Figura 8.** Dados de produção de etanol, em milhões de metros cúbicos.  
 Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2023).

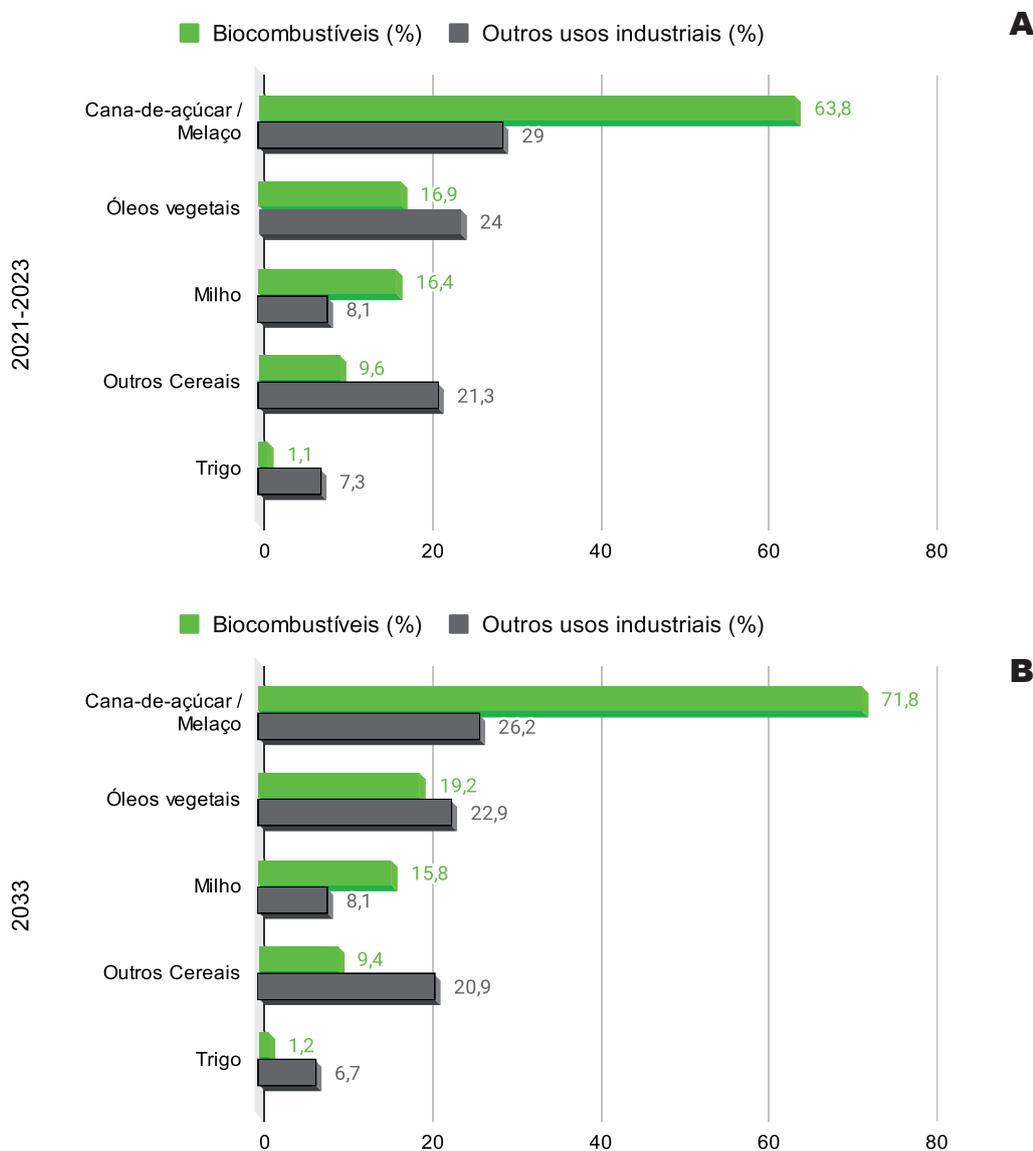
Portanto, é evidente que, independentemente dos fatores que impulsionaram o início da produção de etanol a partir do milho, seu sucesso foi consolidado pelos ganhos financeiros distribuídos por todos os elos da cadeia produtiva. Segundo a União Nacional do Etanol de Milho (2024), estão sendo realizados investimentos de aproximadamente R\$ 15,8 bilhões em infraestrutura, destinados à construção de novas unidades e àquelas em fase de licenciamento e início de obra nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás, Bahia, Tocantins, Pará, Paraná e Rio Grande do Sul para serem concluídos até 2026 (União Nacional do Etanol de Milho, 2024).

**Cenários futuros para biocombustíveis**

O consumo global de milho está projetado para aumentar 1,2% ao ano, ritmo mais lento comparado aos 2,3% ao ano da década anterior. Este crescimento tem sido impulsionado por rendas mais elevadas, que elevam a demanda por ração. À medida que as rendas aumentam, a demanda por produtos de origem animal

crece, elevando a proporção de milho destinada à ração de 57% para cerca de 59% até 2032. Em contraste, o crescimento do uso de milho para biocombustíveis está projetado para desacelerar em relação às duas últimas décadas, em função de políticas restritivas sobre biocombustíveis nos principais mercados produtores, como Brasil e Estados Unidos. Esses países são responsáveis por mais de 80% do aumento na produção de milho voltado para biocombustíveis, demonstrando influência predominante no setor e a necessidade de adaptação às políticas e tendências energéticas globais (OECD; FAO, 2024).

A Figura 9 mostra gráficos com a participação do milho e de outras fontes de matérias-primas no uso total de biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel) entre 2021 e 2023 e as projeções para 2033, ilustradas segundo dados da OECD e FAO (2024), em termos percentuais. Estima-se que o milho terá leve redução na sua participação em biocombustíveis, de 16,4% em 2021-2023 para 15,8% em 2033, mantendo, entretanto, participação significativa. Por sua vez, a cana-de-açúcar terá aumento expressivo na sua participação em biocombustíveis, de 20,8% em 2021-2023 para 25,0% em 2033, refletindo uma tendência crescente na utilização deste recurso para biocombustíveis.



**Figura 9.** Cenário 2021-2023 (A) e projeção para 2033 (B) sobre a participação dos biocombustíveis e de outros usos de produtos agrícolas.

Fonte: Adaptado de OECD e FAO (2024).

Na classificação da FAO, a categoria “outros cereais” engloba cereais espessos (sorgo, cevada, aveia, milheto e trigo sarraceno e outros grãos espessos) e cereais forrageiros (silagem, feno, pastagens). O etanol de cana é produzido diretamente a partir da extração do caldo de cana-de-açúcar e da sua fermentação. Já o etanol do melaço é um subproduto da produção de açúcar a partir da cana-de-açúcar. Em muitos países, como a Tailândia, o melaço é preferido para a produção de etanol em vez do caldo diretamente. Esse etanol é classificado separadamente daquele produzido diretamente do caldo de cana (OECD; FAO, 2024).

A introdução de grãos como matérias-primas para as usinas de etanol vem ocorrendo desde 2011, por meio do aproveitamento das instalações de usina de cana-de-açúcar, reduzindo a ociosidade da planta no período de entressafra e reduzindo a dependência de uma única fonte de matéria-prima. Neves (2021) destaca como tendência importante a ampliação das operações *flex* para modelos *full*, aproveitando a complementaridade entre fontes distintas de matéria-prima (cana-de-açúcar e milho). As usinas *flex* estão evoluindo para maximizar a produção anual, utilizando o milho durante a entressafra da cana-de-açúcar, o que melhora a eficiência econômica. Outra tendência envolve a integração vertical com a produção de ração

animal a partir dos coprodutos, fortalecendo a cadeia produtiva e agregando valor.

A Tabela 2 e a Figura 10 apresentam as capacidades nominais de produção de etanol de milho e cana-de-açúcar (1G e 2G), em função de cenários de crescimento baixo, médio e alto (Empresa de Pesquisa Energética, 2023). Os cenários variam e diferenciam-se quanto ao grau de competitividade do etanol hidratado diante da gasolina e à atratividade econômica da produção do etanol.

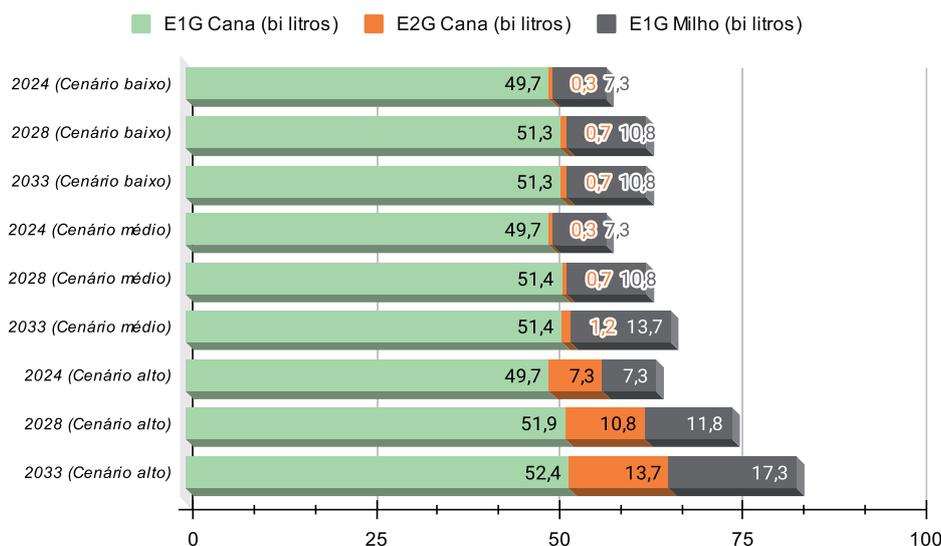
No cenário moderado, a produção de etanol de cana-de-açúcar (E1G) apresenta estabilidade ao longo do período analisado. Começa com 49,7 bilhões de litros em 2024 e mantém-se em 51,4 bilhões de litros até 2033. Em contraste, o etanol de milho (E1G) demonstra crescimento expressivo, com aumento da produção de 7,3 bilhões de litros em 2024 para 13,7 bilhões de litros em 2028, estabilizando-se nesse nível até 2033. Este aumento substancial na produção de etanol de milho sugere um potencial de expansão mais robusto em comparação com o etanol de cana-de-açúcar, possivelmente devido a fatores como avanços tecnológicos ou variações na oferta e demanda de matérias-primas. Consequentemente, a produção total de etanol sobe de 57,3 bilhões de litros em 2024 para 66,3 bilhões de litros em 2028, e permanece constante até 2033.

**Tabela 2.** Previsão da capacidade de produção de etanol no Brasil (bilhão L).

Ano	Produto	Cenário baixo	Cenário médio	Cenário alto
2024		49,7	49,7	49,7
2028	E1G cana	51,3	51,4	51,9
2033		51,3	51,4	52,4
2024		0,3	0,3	0,3
2028	E2G cana	0,7	0,7	0,9
2033		0,7	1,2	1,8
2024		7,3	7,3	7,3
2028	E1G milho	10,8	10,8	11,8
2033		10,8	13,7	17,3
<b>2024</b>		<b>57,3</b>	<b>57,3</b>	<b>57,3</b>
<b>2028</b>	<b>Total</b>	<b>62,8</b>	<b>62,9</b>	<b>64,6</b>
<b>2033</b>		<b>62,8</b>	<b>66,3</b>	<b>71,5</b>

E1G, etanol de primeira geração. E2G, etanol de segunda geração.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023).



**Figura 10.** Previsão da capacidade de produção de etanol no Brasil em 2024, 2028 e 2033, em três cenários (baixo, médio e alto).

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023).

## Conclusões

A produção de etanol a partir do milho tem se consolidado como uma atividade de importância crescente na matriz energética brasileira. O uso do cereal na entressafra da cana-de-açúcar tem otimizado a utilização de recursos e aumentado a eficiência das plantas produtivas. A integração entre milho e cana permitiu a expansão do modelo de usinas *flex* e o surgimento de usinas *full*, voltadas exclusivamente ao milho. Em 2023/2024, a produção brasileira de etanol de milho alcançou 6 bilhões de litros, crescimento de 36% em relação ao ciclo anterior. Esse avanço evidencia a articulação entre a oferta agrícola e a demanda por biocombustíveis.

Esta publicação teve o intuito de delinear um panorama e identificar alguns cenários para a produção desse biocombustível no País. O desenvolvimento do setor foi impulsionado pela expansão da segunda safra de milho, que passou de 38 milhões de toneladas em 2012 para 84 milhões em 2022. A concentração da produção no Centro-Oeste tem conferido maior eficiência estrutural ao setor, com usinas próximas às áreas produtoras, facilitando o transporte e a armazenagem. No entanto, a volatilidade dos preços e as condições climáticas continuam representando riscos para a cadeia produtiva.

As projeções apontam crescimento na participação dos biocombustíveis na matriz energética até 2030, impulsionado pela competitividade do etanol

hidratado e pelas metas do programa RenovaBio. Embora o ritmo de expansão do uso de milho para biocombustíveis tenda a desacelerar, espera-se que a produção de etanol de milho alcance 137 bilhões de litros em 2033, consolidando sua relevância tanto no mercado interno quanto no internacional.

O balanço entre oferta e demanda de milho destaca um aumento significativo no consumo industrial e nas exportações. Entre 2020/2021 e 2023/2024, o consumo de milho para etanol cresceu 1.426%, enquanto as exportações aumentaram 1.118%, contribuindo para a estabilidade dos preços internos e reduzindo a necessidade de importações. Esses resultados refletem a importância estratégica do cereal para o equilíbrio econômico e comercial.

A modernização da infraestrutura é fundamental para garantir a competitividade da cadeia produtiva. A expansão de silos e tecnologias de controle, combinada à automação dos processos, também é essencial para assegurar a qualidade do milho ao longo da cadeia. A criação de *hubs* logísticos que integrem o Centro-Oeste aos portos de exportação e as parcerias público-privadas poderiam otimizar o escoamento do etanol e melhorar a resposta às demandas do mercado externo.

Por fim, estratégias que impulsionam o dinamismo tecnológico e a diversificação dos mercados de exportação podem colocar o etanol de milho brasileiro em posição de destaque no cenário mundial. Nessa linha, a integração entre a produção de biocombustíveis e a geração de coprodutos,

como o DDG, pode, ao mesmo tempo, reforçar a cadeia produtiva, agregar valor e projetar o setor como alternativa energética competitiva em meio à transição para uma economia global sustentável.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MILHO E SORGO. **Dados estatísticos**: quadro de oferta e demanda de milho no Brasil. [S.l.]: Associação Brasileira de Milho, 2024. Disponível em: <https://www.abramilho.org.br/dados-estatisticos/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Comprovação da meta individual de 2022 por distribuidor de combustíveis, 2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/comprovacao-da-meta-individual-de-2022-por-distribuidor-de-combustiveis>. Acesso em: 13 ago. 2024.

AGROLINK. **Cotações de milho seco**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/cotacoes/graos/milho/milho-seco-sc-60kg>. Acesso em: 5 ago. 2024.

BORGHI, E.; ALMEIDA, D.; KARAM, D.; SILVA, J. R. O.; DINIZ, M. N. Cultivo intercalar antecipado de milho segunda safra nas entrelinhas da soja – Antecipe resultados do ano agrícola 2021/22 em Rio Verde/GO. **Anuário de Pesquisas Agricultura**, v. 5, n. 2, p. 70-83, 2022.

IBGE. **Malhas Municipais**. [Dados estatísticos]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 5 ago. 2024a.

IBGE. **SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática**. [Dados estatísticos]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/acervo>. Acesso em: 20 jul. 2024b.

DONKE, A. C. G.; VIÑAS, R.; MATSUURA, M. I. da S. F.; MATAI, P. H. L. S.; KULAY, L. A. Usina flex: comparação dos desempenhos ambiental e energético do etanol de cana-de-açúcar, milho e sorgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 5., 2016, Fortaleza. **Anais** [...] Fortaleza: Associação Brasileira de Ciclo de Vida, 2016. p. 364-370.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Cenários de oferta de etanol e demanda de ciclo Otto 2024-2033**. [S.l.]: Empresa de Pesquisa Energética, Brasília, 2023. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-255/topico-691/NT-EPE-DPG-SDB-2023-03\\_Cenarios\\_de\\_oferta\\_de\\_etanol\\_2033.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-255/topico-691/NT-EPE-DPG-SDB-2023-03_Cenarios_de_oferta_de_etanol_2033.pdf). Acesso em: 18 de jul. 2024.

FREITAS, S. M. D.; MIURA, M. Situação atual e perspectivas da produção brasileira de etanol de milho. **Análises e Indicadores do Agronegócio, Instituto de Economia Agrícola**, v. 13, n. 5, 24 maio 2018. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-25-2018.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2024.

HEDGEAGRO. **Preço do milho**: tendências e impactos no mercado agrícola. Disponível em: <https://hedgeagro.com.br/preco-do-milho/>. Acesso em: 1 ago. 2024.

HELFAND, S. M.; REZENDE, G. C. de. **Mudanças na distribuição espacial da produção de grãos, aves e suínos no Brasil**: o papel do Centro-Oeste. Rio de Janeiro: IPEA, 1998. (Ipea. Texto para discussão, 61).

LARK, T. J.; HENDRICKS, N. P.; SMITH A.; GIBBS, H. K. Environmental outcomes of the US Renewable Fuel Standard. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.2101084119>. Acesso em: 18 jul. 2024.

MAGALHÃES, P. C.; BORGHI, E.; KARAM, D.; PEREIRA FILHO, I. A.; RIOS, S. de A.; ABREU, S. C.; LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; DURÃES, F. O. M. **Desenvolvimento do milho segunda safra**: fatores genético-fisiológicos, plataforma de conhecimento e práticas de manejo de cultivo e uso, visando sustentabilidade de produção e produtividade no binômio soja/milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 42 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 258).

MATTOS, F. L.; SILVEIRA, R. L. F. da. The effects of Brazilian second (winter) corn crop on price seasonality, basis behavior and integration to the international market. In: NCCC-134 CONFERENCE ON APPLIED COMMODITY PRICE ANALYSIS, FORECASTING, AND MARKET RISK MANAGEMENT. **Proceedings**. St. Louis, 2015.

NEVES, M. F. **Etanol de milho**: cenário atual e perspectivas para a cadeia no Brasil. Ribeirão Preto, SP: Unem, 2021. 116 p. Disponível em: [https://doutoragro.com/wp-content/uploads/2021/05/Ebook\\_Etanol-de-Milho-compactado.pdf](https://doutoragro.com/wp-content/uploads/2021/05/Ebook_Etanol-de-Milho-compactado.pdf). Acesso em: 16 ago. 2024.

OECD; FAO. **Agricultural Outlook 2024-2033**. Paris: OECD Publishing, 2024. Disponível em: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/07/oecd-fao-agricultural-outlook-2024-2033\\_e173f332/4c5d2cfb-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/07/oecd-fao-agricultural-outlook-2024-2033_e173f332/4c5d2cfb-en.pdf). Acesso em: 1 ago. 2024.

PAVÃO, A. R.; FERREIRA FILHO, J. B. de S. Impactos econômicos da introdução do milho Bt11 no Brasil: uma abordagem de equilíbrio geral inter-regional. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, p.81-108, 2011.

SANCHES, A. L. R.; ZANIN, V.; ALVES, L. R. A.; JACOMINI, R. L. Formação de preços no mercado

de milho da região de Chapecó/SC - Brasil. **Revista Espacios**, v.37, p. 20, 2016.

SANCHES, A.; ALVES, L.; BARROS, G. Oferta e demanda mensal de milho no Brasil: impactos da segunda safra. **Revista de Política Agrícola**, v. 27, n. 4, jun. 2018. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1467>. Acesso em: 14 ago. 2024.

SILVA, A. L.; CASTANEDA-AYARZA, J. A. Macro-environment analysis of the corn ethanol fuel development in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 110387, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110387.

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA. **Produção de etanol do milho avança 34% com quebra histórica da cana; entenda prós e contras**. [S.l.]: União Nacional de Bioenergia, 2022. Disponível em <https://www.udop.com.br/noticia/2022/04/26/producao-de-etanol-do-milho-avanca-34-com-quebra-historica-da-cana-entenda-pros-e-contras.html>. Acesso em: 5 ago. 2024.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA. Observatório da Cana e Bioenergia UNICAdata. **Histórico da moagem, produção de açúcar e etanol (cana-de-açúcar e milho) por estado**. 2024. Disponível em: <https://unicadata.com.br/listagem.php?idMn=4>. Acesso em: 5 ago. 2024.

UNIÃO NACIONAL DO ETANOL DE MILHO. **Nova unidade industrial vai ofertar 266 milhões de litros de etanol**. Disponível em: <https://etanoldemilho.com.br/2024/01/03/nova-unidade-industrial-vai-ofertar-266-milhoes-de-litros-de-etanol/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

ZOCCHIO, G. Produção de etanol de milho dispara mesmo com temor de proteção ambiental frágil. **ReporterBrasil**, São Paulo, 3 mar. 2023. Disponível em: <https://reporterbrasil.org.br/2023/03/producao-de-etanol-de-milho-dispara-mesmo-com-temor-de-protexao-ambiental-fragil/>. Acesso em: 18 jul. 2024.