

# Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil<sup>1</sup>

Haroldo José Torres da Silva<sup>2</sup>  
Peterson Felipe Arias Santos<sup>3</sup>  
Enilson Carlos Nogueira Junior<sup>4</sup>  
Carlos Eduardo de Freitas Vian<sup>5</sup>

**Resumo** – Na segunda metade da década de 2010, com a maior flexibilização do mercado de gasolina e a subsequente elevação da demanda e do preço do etanol, passaram a surgir, no Brasil, diversas plantas industriais de conversão de milho nesse biocombustível, a maior parte integrada a instalações já em operação no processamento de cana-de-açúcar (usinas *flex*). Tal fenômeno foi particularmente forte no Centro-Oeste, onde combinam-se elevada disponibilidade do cereal, altos custos de escoamento e demanda potencial por coprodutos da conversão de milho em etanol. O objetivo deste artigo é apresentar um estudo de caso focado na estrutura de custo e na rentabilidade da produção de etanol de milho de duas usinas *flex* do Centro-Oeste. Os resultados apontaram que a estrutura de custos exibe forte peso da matéria-prima, seguida por custos industriais oriundos de um processamento relativamente mais complexo que o da conversão da cana-de-açúcar. Por fim, mostra-se que a margem de lucro da produção de etanol de milho em usinas *flex* integradas-dedicadas é sensível a mudanças dos preços de comercialização do biocombustível e da matéria-prima.

**Palavras-chave:** biocombustível, usinas *flex*, viabilidade.

## Technical and economic aspects of corn ethanol production in Brazil

**Abstract** – In the second half of 2010s, the flexibilization of Brazilian gasoline market, and the subsequent growth in ethanol demand and its price, led to the creation of many industrial plants for converting corn into this biofuel. Most of these plants were integrated into previously existing sugar cane mills, being considered “flex mills”. This movement was particularly strong in Center-West region where there is high supply of corn, high logistical costs and demand for by-products from the conversion of corn into ethanol. The objective of this article is to present a case-study of the cost structure and rentability of two flex mills in the Center-West region when producing corn ethanol.

<sup>1</sup> Original recebido em 28/4/2020 e aprovado em 14/6/2020.

<sup>2</sup> Doutor em Economia Aplicada, gestor de Projetos do Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (Pecege). E-mail: haroldo@pecege.com

<sup>3</sup> Doutor em Economia Aplicada, pesquisador do Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (Pecege). E-mail: petersonsantos@pecege.com

<sup>4</sup> Mestrando em Economia Aplicada. E-mail: enogueira@usp.br

<sup>5</sup> Professor Doutor do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Esalq/USP, coordenador do Grupo de Extensão e Pesquisa em História da Agricultura e dos Complexos Agroindustriais (Gephac) e do Grupo de Estudos e Extensão em Desenvolvimento Econômico e Social (Geedes). E-mail: cefvian@usp.br

The results show that the feedstock represents a large portion of total cost of producing corn ethanol, followed by industrial costs resulting from a relatively more complex processing scheme compared to the sugar cane one. Finally, it is showed that profit margins when producing corn ethanol in flex mills are sensitive to changes in the biofuel price and in feedstock price.

**Keywords:** biofuel, flex mills, feasibility

## Introdução

A crescente demanda por combustíveis no País e no mundo, aliada a fatores relacionados à instabilidade da oferta de combustíveis fósseis e à necessidade de resposta às mudanças climáticas mundiais, elevou a busca por alternativas energéticas, em especial os biocombustíveis (Solomon et al., 2007). Um passo recente e importante, pelo lado da oferta, foi a inclusão do etanol à base de milho na matriz de biocombustíveis nacionais, com diversidade de modelos de produção e de negócios.

Desde os esforços iniciais em 2014, o setor de etanol de milho já vivencia um crescimento robusto no cenário nacional, com 15 plantas, sendo 12 usinas *flex* ou integradas entre cana-de-açúcar e milho, e com capacidade nominal esperada para 2020 de aproximadamente 3,0 milhões de litros – equivalente a 10% da produção nacional do biocombustível na safra 2019/2020 (Unem, 2020). Grande parte do parque industrial concentra-se no Centro-Oeste, que reúne condições fundamentais para a produção, oferta elevada de matéria-prima a preços baixos e fretes elevados para exportação.

Fatores como otimização da planta produtiva ao longo do ano, sinergias operacionais e benefícios trazidos pela introdução do milho, como possibilidade de armazenamento e maior gerenciamento de risco, já são notados no ambiente empresarial (Milanez et al., 2014; Nastari, 2018).

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é examinar a produção de etanol de milho em usinas *flex* no Brasil. Especificamente, pretende-se: i) analisar os fatores que levaram à origem e ao desenvolvimento do setor de etanol de milho no Brasil, bem como as vantagens técnicas da

produção integrada; e ii) apurar seu custo de produção, de forma a compreender a relação entre a viabilidade econômica e as condições de comercialização da matéria-prima e do etanol produzido.

## Contextualização da produção de etanol de milho no Brasil e no mundo

A alta dependência do petróleo, as preocupações ambientais e a vontade de promover políticas de fomento rural, entre outros fatores, elevaram o interesse de diversos países em diversificar a matriz energética, com a inclusão ou aumento da produção de biocombustíveis. Entre as opções de matéria-prima para o processo, o milho desponta como uma commodity amplamente produzida no mundo e com bom rendimento técnico nas agroindústrias (Yacobucci & Schnepf, 2007).

No cenário internacional, os Estados Unidos são o principal produtor de etanol de milho, com produção estimada de cerca de 60 bilhões de litros em 2019 – quase duas vezes maior que a produção brasileira de etanol em geral – e 205 plantas que processam exclusivamente o grão, concentradas no *Corn Belt* norte-americano (RFA, 2020). Na temporada 2018/2019, o uso de milho para a produção de etanol naquele país ultrapassou 135 milhões de toneladas, o equivalente a 37,5% da quantidade colhida na época (Estados Unidos, 2020b).

Ainda que a produção de etanol norte-americana tenha começado em meados da década de 1970 como uma alternativa aos combustíveis fósseis diante das sucessivas crises do petróleo (Solomon et al., 2007), ela cresceu

vigorosamente a partir de 2005. Daquele ano até 2018, a taxa média de crescimento foi de 10% ao ano (EIA, 2020).

Naquele país, o setor produtivo respondeu a fortes incentivos governamentais. Destacam-se a imposição de misturas obrigatórias de etanol à gasolina – dentro do conjunto de leis conhecidas como RFS (*Renewable Fuel Standard*) –, a diminuição das tarifas de importação de etanol e o aumento dos subsídios diretos setoriais (Tyner, 2008).

Além disso, observou-se o desenvolvimento de mercados relacionados à nutrição animal, aproveitando-se da vasta gama de coprodutos derivados do processamento do milho, tanto no modelo de moagem por via seca quanto por via úmida. A diferença entre essas duas formas consiste, como os nomes sugerem, na presença ou não de água no processo de separação dos componentes do milho. Cada método dá origem a uma gama de derivados, sendo o método úmido mais complexo e com produtos mais sofisticados (Germani, 2011).

De acordo com a RFA (2020), cerca de 90% da produção de etanol dos EUA é gerada via moagem seca, que gera, além de etanol, óleo e dióxido de carbono, coprodutos conhecidos como *distillers grains* e suas variações – DDG (*Dry Distiller Grains*), DDGS (*Dry Distiller Grains with Solubles*), WDG (*Wet Distiller Grains*) e WDGS (*Wet Distiller Grains with Solubles*). O restante é por moagem por via úmida, que gera coprodutos de maior valor agregado, como *Corn Gluten Feed* e *Corn Gluten Meal*, também usados na alimentação animal.

Além de depender da quantidade de umidade e da inclusão ou não de solúveis destilados, os coprodutos da via seca variam de acordo com o percentual de proteína, matéria seca e de outros nutrientes, entre outros fatores (Hoffman, 2011), o que permite diversificação produtiva e de estratégias de venda para cada mercado e tipo de dieta animal.

Com a diminuição das margens do biocombustível depois de 2008/2009, o setor

buscou elevar as receitas adicionais com a comercialização de coprodutos, aumentando a qualidade e a consistência de oferta, além de explorar o mercado de óleo e de dióxido de carbono para a indústria de bebidas (Hoffman, 2011). Em 2019, a receita adicional de todos os coprodutos da produção de etanol foi de US\$ 7 bilhões, cerca de 25% da receita total do setor (RFA, 2020).

Além da adição e diversificação de receitas para usina, os coprodutos DDG/DDGS/WDG/WDGS têm gerado divisas para o setor, a julgar pela crescente demanda dos mercados asiático e mexicano. Em 2019, foram exportados 10,9 milhões de toneladas, 31% da produção americana (RFA, 2020).

Outros países estão produzindo etanol de milho, como Argentina e Paraguai, mas com baixa relevância no cenário internacional. O mercado consumidor ainda pequeno quando comparado aos de EUA e Brasil e políticas energéticas menos estimulantes aos biocombustíveis limitam a produção e, conseqüentemente, a maior participação no cenário mundial (Dolabella, 2011).

O Brasil integra o grupo de grandes produtores de biocombustíveis, mas a matéria-prima amplamente utilizada é a cana-de-açúcar. A produção brasileira do etanol de milho equivaleu, em 2019, a 2,8% da dos EUA e 1,5% da produção mundial de etanol total (RFA, 2020; Unica, 2020). Nesse contexto, a produção do biocombustível a partir do processamento de milho é recente e em menor quantidade. A Usimat, localizada em Mato Grosso, foi a primeira usina *flex* e pioneira no processamento do milho para a produção de etanol no Brasil, tendo iniciado a moagem dessa matéria-prima em 2012 (Conab, 2018). A Figura 1 mostra a evolução dos projetos de etanol de milho no Brasil de 2012 a 2020. Todos os projetos desenvolvidos foram de usinas *flex* até 2017, ocasião em que a FS Bioenergia inaugurou a primeira usina *full* do País, isto é, dedicada a produzir etanol exclusivamente de milho, em Lucas do Rio Verde, MT.

A trajetória da produção de etanol de milho no Brasil relaciona-se diretamente com o



**Figura 1.** Linha do tempo dos investimentos em plantas (*flex* e *full*) de etanol de milho.

desenvolvimento de setores produtivos correlatos no Centro-Oeste. Além, evidentemente, da produção de milho e da cadeia do etanol previamente existente, o crescimento da produção de etanol de milho possui relação com a possibilidade de integração industrial com o processamento da cana-de-açúcar e com o avanço da produção animal, para a qual podem se destinar seus coprodutos.

Quanto ao parque industrial para a produção de etanol de milho, o País possuía, até o fim de 2019, dez fábricas *flex* e duas *stand-alone*, além de quatro em fase final de construção e que devem entrar em operação até o fim de 2020 (Unem, 2020). Essa expansão foi impulsionada por diversos fatores: i) a abundância de milho em algumas regiões; ii) a redução da taxa de juros na economia brasileira, que diminui o custo de investimento em plantas novas e antigas; e iii) as boas perspectivas para o consumo de etanol carburante no País, resultante, em especial, do maior alinhamento do preço da gasolina às flutuações do mercado internacional de petróleo desde o fim de 2016.

No caso das usinas *flex*, a diversificação da produção de etanol do milho reside em dois aspectos centrais: primeiramente, a oportunidade de aquisição da matéria-prima a preços competitivos em regiões com excedente de produção e que exibem elevados custos logísticos para o escoamento de um produto de baixo valor agregado; em segundo lugar, aproveita-se, durante a entressafra, a infraestrutura da usina de cana-de-açúcar, antes ociosa, principalmente utilidades (equipamentos e instalações destina-

dos à geração de vapor e eletricidade), dornas de fermentação e colunas de destilação.

Nesse cenário, o baixo investimento necessário à construção (ou integração na de cana) da usina de milho – por causa da presença das sinergias e de estruturas ociosas, do conhecimento já estabelecido na produção e comercialização de etanol e do excedente de bagaço e, conseqüentemente, de vapor e eletricidade para processamento do grão – contribuiu para que as primeiras plantas a produzirem etanol de milho fossem do tipo *flex*.

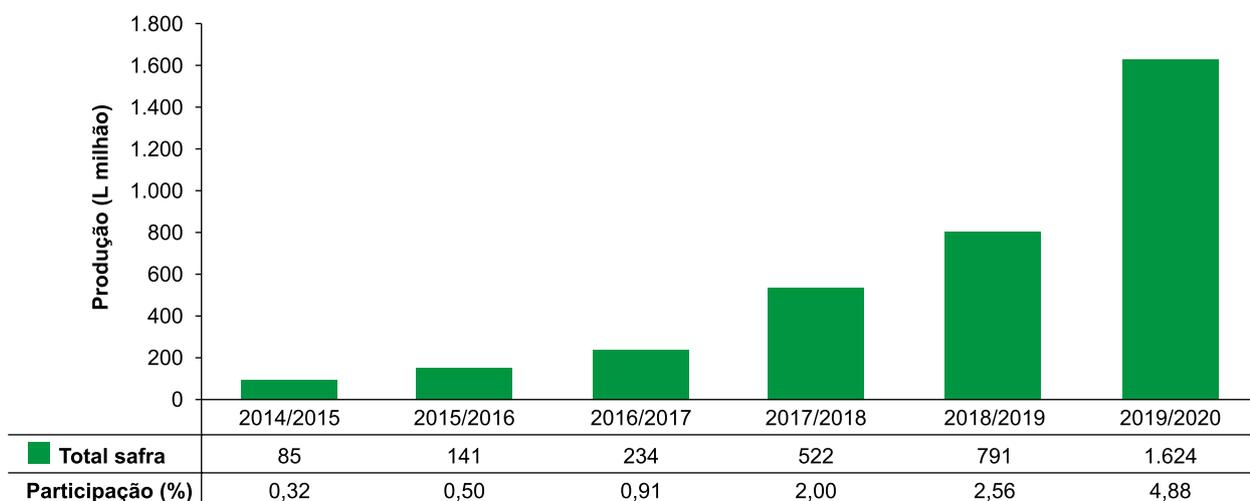
Conforme dados da Unica (2020), a produção de etanol de milho no Centro-Sul tem se expandido, alcançando 0,79 bilhão de litros na safra 2018/2019. Na safra 2019/2020, a produção atingiu cerca de 1,624 bilhão de litros – volume que representa incremento de 105% em relação à safra anterior e correspondente a 4,88% da produção total de etanol no Centro-Sul do País (Figura 2).

A importância econômica da produção de etanol de milho também é evidenciada por seu papel durante a entressafra de cana-de-açúcar no Centro-Sul. Ilustrativamente, na segunda quinzena de dezembro de 2019, ou seja, início da entressafra, dois terços da produção de etanol total usou o cereal como matéria-prima (Unica, 2020), o que possivelmente contribuiu para a suavização dos aumentos de preços do biocombustível naquele momento.

Além disso, dada a distribuição regional, a produção de etanol de milho pode melhorar também as condições de oferta do biocombustível em regiões em que historicamente, por causa do custo logístico, seu preço era pouco atraente, como parte do Centro-Oeste e o Norte.

## Aspectos técnicos da produção de etanol de milho e de cana-de-açúcar

Na produção comercial de etanol, as matérias-primas utilizadas podem ser classificadas em três grandes grupos, conforme sua composição molecular: a) matérias-primas açucaradas;



**Figura 2.** Evolução da produção de etanol de milho no Centro-Sul do Brasil.

Fonte: elaborado com dados da Unica (2020).

b) matérias-primas amiláceas e feculentas; e c) matérias-primas celulósicas (Eckert, 2016). Essas matérias-primas são processadas para a obtenção de açúcares a serem direcionados para o processo de fermentação alcoólica.

Como o nome sugere, as matérias-primas açucaradas possuem em sua composição açúcares (carboidratos de sabor adocicado). Nesse grupo, enquadra-se a cana-de-açúcar. As matérias-primas amiláceas possuem em sua composição o amido, encontrado em altos teores em grãos de cereais, raízes e tubérculos (Vasconcelos, 2010) – o milho é um exemplo.

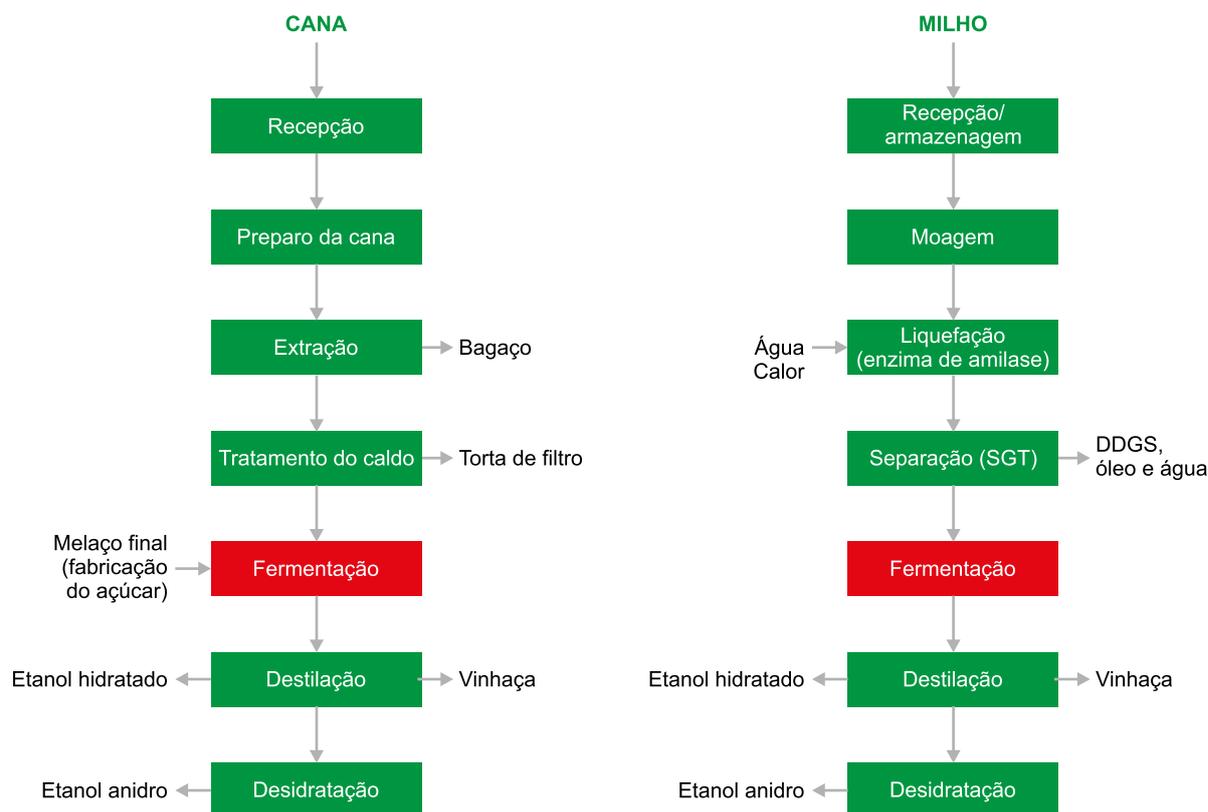
A celulósica é a mais cara e desafiadora. O Etanol celulósico, ou de segunda geração, é produzido pela fermentação de açúcares originários da quebra da celulose por enzimas específicas. Esses produtos químicos encarecem a fabricação.

A produção de etanol do milho segue o mesmo princípio da produção do etanol da cana-de-açúcar: fermenta-se um substrato rico em açúcares, que, em seguida, é destilado. Porém, por causa das características das matérias-primas, a maneira como se chega ao substrato para fermentação em um caso é radicalmente distinta do outro. A Figura 3 mostra o fluxograma de obtenção industrial do etanol do milho e do etanol da cana-de-açúcar.

No caso da cana-de-açúcar, os açúcares já estão disponíveis na biomassa (Vasconcelos, 2010), sendo necessária apenas sua extração, o que é feito em um processo físico relativamente simples, através de moendas e difusores (Alcarde, 2009). Já para o milho – e matérias-primas amiláceas em geral –, é necessária a conversão do amido em açúcares através de um processo enzimático a altas temperaturas em virtude da insolubilidade dos polissacarídeos (Donke, 2016), o que torna o processo de obtenção do substrato a ser fermentado bastante mais complexo.

Além disso, na produção de etanol de cana-de-açúcar gera-se grande quantidade de bagaço, cuja destinação principal é a alimentação de caldeiras das próprias usinas – o vapor derivado da queima é convertido em energia. No caso do etanol de milho, sua produção dá origem não só ao biocombustível, mas também a outros produtos alimentícios, entre os quais, óleo de milho e DDG/DDGS/WDG/WDGS.

As usinas *flex* são unidades produtivas capazes de processar tanto cana-de-açúcar quanto milho para a produção de etanol e podem ser classificadas como integradas-compartilhadas e integradas-dedicadas. No primeiro caso, a produção de etanol de milho ocorre apenas na entressafra da cana-de-açúcar, de modo que se



**Figura 3.** Rotas para produção de etanol de milho e de cana-de-açúcar.

Nota: DDGS é a sigla comumente utilizada para grãos secos de destilaria com solúveis (*dried distillers grains with solubles*); SGT é a sigla comumente utilizada para tecnologia de moagem seletiva (*selective grind technology*).

possa utilizar – em momentos distintos – as mesmas estruturas de fermentação, destilação e utilidades. Já as integradas-dedicadas são capazes de produzir etanol de ambas as matérias-primas simultaneamente, mas as estruturas de fermentação e destilação utilizadas no período de safra são separadas, compartilhando-se apenas as utilidades. Na entressafra, contudo, as estruturas anteriormente destinadas à produção de etanol de cana-de-açúcar podem se destinar ao etanol de milho.

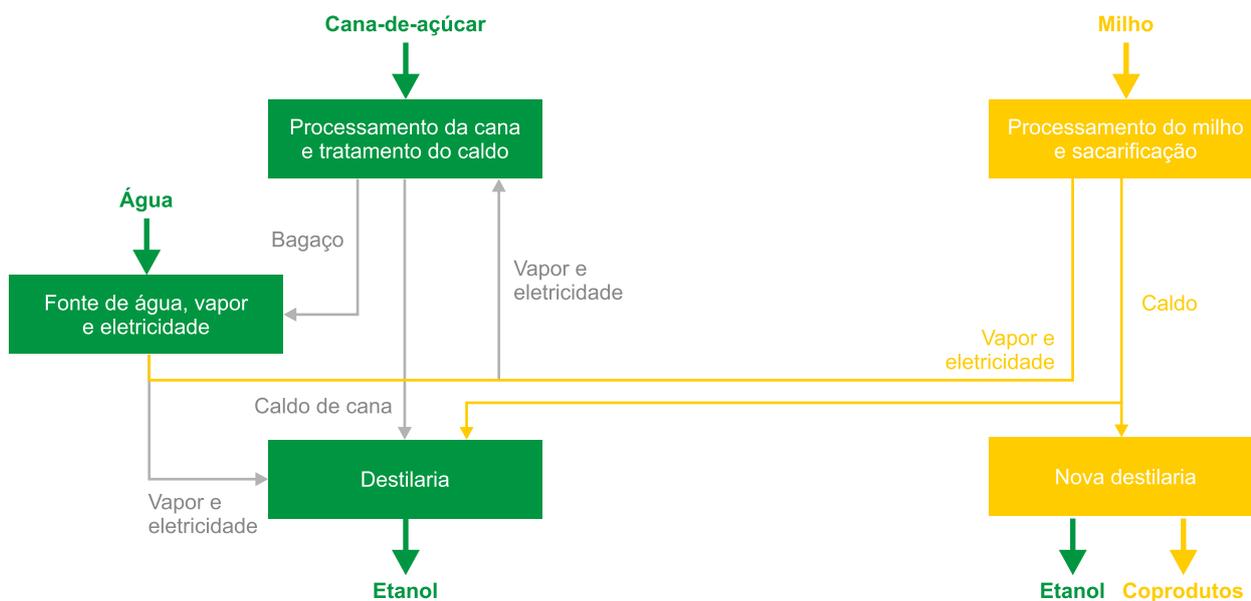
A Figura 4 mostra de que maneira as linhas de processamento de cana-de-açúcar e de milho compartilham etapas em uma usina do tipo *flex*.

Ressaltar-se, contudo, que, mesmo em usinas *flex*, as especificidades técnicas de cada uma das matérias-primas tendem a se refletir em suas estruturas de custos e, portanto, devem ser analisadas.

## Oferta de milho e demanda pelos coprodutos do etanol de milho no Brasil

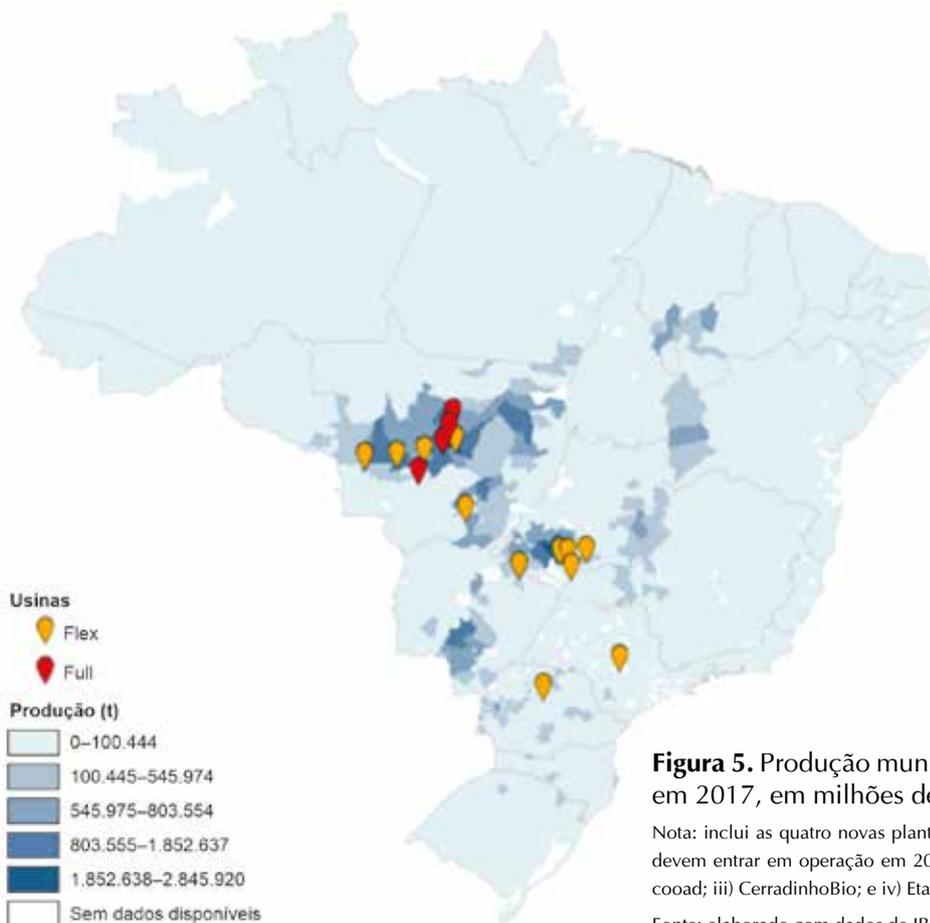
O Brasil é o terceiro maior produtor de milho, cerca de 9% da produção mundial, e o segundo maior exportador, com aproximadamente 20% do volume comercializado no mundo. Nossos principais compradores são o Oriente Médio, a África e o Japão (Estados Unidos, 2019).

De acordo com dados de Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2019), a produção nacional de milho saltou de 56 milhões de toneladas na safra 2009/2010 para 100 milhões de toneladas na safra 2018/2019. A Figura 5 mostra a distribuição da produção no Brasil, conforme dados do Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2020), bem como a localização de todas as plantas de processamento do grão



**Figura 4.** Esquema de compartilhamento e sinergias numa usina *flex*.

Fonte: elaborado com base em Vasconcelos (2010) e Milanez et al. (2014).



**Figura 5.** Produção municipal de milho no Brasil em 2017, em milhões de toneladas.

Nota: inclui as quatro novas plantas industriais, que já entraram ou devem entrar em operação em 2020: i) FS Bionergia-Sorriso; ii) Al-cooad; iii) CerradinhoBio; e iv) Etamil.

Fonte: elaborado com dados de IBGE (2020) e Unem (2020).

para a produção de etanol, tanto *flex* como *stand-alone* (*full*).

Dois movimentos são importantes para explicar a distribuição geográfica das usinas de etanol de milho no Brasil: i) a expansão da produção para o Centro-Oeste; e ii) a viabilidade técnica e financeira da segunda safra de milho na região em detrimento da primeira. Conforme a Tabela 1, o Centro-Oeste passou de 15,6 milhões de toneladas em 2008/2009, ou 31% da produção nacional do grão, para 53 milhões de toneladas em 2018/2019, ou 53%, sendo responsável por 82% da expansão produtiva do País nesse ano (Conab, 2019). Na média do período analisado, a segunda safra respondeu por cerca de 90% da produção de milho da região. Até então chamada de “safrinha”, ela ganhou ganhou pujança e passou a representar mais de 75% da produção nacional de milho.

A principal razão do crescimento foi o aumento da área plantada na região, em decorrência da produção integrada entre soja e milho na primeira e na segunda safras, respectivamente. A superfície semeada com milho cresceu mais de 140% de 2008/2009 para 2018/2019, saindo de 3,5 milhões de hectares para 8,5 milhões – crescimento anual de 9,2%. Já os ganhos de

produtividade subiram 40,5% (3,5% a.a.), resultando no crescimento de produção de 240% no período (13,0% a.a.). A título de comparação, na década passada a área plantada com o grão no País cresceu só 23% e a produção, 96% (Conab, 2019).

Kappes et al. (2009), Seben Junior et al., (2014) e Osaki & Batalha (2015) mostraram os benefícios agrônômicos, ambientais e econômicos do plantio integrado de milho e soja. Do ponto de vista técnico, os ganhos de produtividade decorrem dos benefícios agrônômicos do plantio direto, do desenvolvimento de sementes adaptadas à região e do inverno, além da alta sinergia entre os equipamentos usados nas duas culturas. Do ponto de vista econômico, a possibilidade de uma segunda safra de milho gera e diversifica a receita do produtor, contribui para diluir os custos fixos e otimiza o uso da terra.

Os aumentos contínuos em área plantada e os ganhos de produtividade no Centro-Oeste, sobretudo em Mato Grosso, permitiram que setores dependentes de milho encontrassem volume e consistência na disponibilidade do grão na região.

Além disso, a região possui participação e volumes consideráveis de efetivos animais,

**Tabela 1.** Área semeada (ha milhão), produtividade (t/ha) e produção (t milhão) de milho no Centro-Oeste e Brasil em 2008/2009, 2013/2014 e 2018/2019.

	2008/2009		2013/2014		2018/2019		(%) 2018/2019 vs. 2008/2009	
	CO	BR	CO	BR	CO	BR	CO	BR
<b>Área</b>	<b>3,5</b>	<b>14,2</b>	<b>6,2</b>	<b>15,8</b>	<b>8,5</b>	<b>17,5</b>	<b>142</b>	<b>23</b>
1ª safra	0,8	9,3	0,4	6,6	0,3	4,1	-56	-56
2ª safra	2,7	4,9	5,8	9,2	8,2	13,4	199	173
<b>Produtividade</b>	<b>4,4</b>	<b>3,6</b>	<b>5,7</b>	<b>5,1</b>	<b>6,2</b>	<b>5,7</b>	<b>40</b>	<b>59</b>
1ª safra	5,7	3,6	7,5	4,8	7,7	6,2	35	72
2ª safra	4,0	3,5	5,5	5,3	6,1	5,6	52	57
<b>Produção</b>	<b>15,6</b>	<b>51,0</b>	<b>35,1</b>	<b>80,1</b>	<b>52,8</b>	<b>100,0</b>	<b>239</b>	<b>96</b>
1ª safra	4,5	33,7	3,2	31,7	2,6	25,6	-41	-24
2ª safra	11,1	17,3	31,9	48,4	50,2	74,4	353	329

Notas: dados da 3ª safra incluídos na 2ª safra.

Fonte: Conab (2019).

especialmente da bovinocultura (corte e leite). Isso favoreceu, de imediato, a comercialização dos coprodutos do processo de etanol de milho, como óleo de milho e DDG/DDGS/WDG/WDGS, inclusive com a possibilidade de integração entre os sistemas de produção e de arranjos locais.

Ressalta-se a importância das receitas adicionais geradas por tais coprodutos para garantir rentabilidade aos modelos de produção do País. Milanez et al. (2014) mostram que a venda dos grãos de destilaria pode aumentar a receita em até 12,5% numa planta *flex* que opere durante o ano todo. Segundo os autores, sem a venda desses coprodutos a rentabilidade estimada cairia de 17,3% para 2,9%.

Conforme a Tabela 2, nas últimas duas décadas parte do setor de proteína animal (aves e suínos) passou por um processo de desconcentração regional, buscando se aproximar da produção de grãos do Centro-Oeste. O sudoeste goiano e o sudeste e médio-norte mato-grossense se destacam nesse processo. Ressalta-se o alto nível de integração ou parceria entre criadores e agroindústrias no Centro-Oeste, com a presença de empresas relevantes, como BRF e JBS. Franco (2009) e Sant’ana (2010) ressaltam que na região há importantes arranjos produtivos entre produção de grãos, criação de aves e suínos, abate e processamento de carne e de serviços agroindustriais.

Os esforços da cadeia produtiva, coordenados pelas agroindústrias, se traduziram em maiores níveis de investimentos na criação e abate de animais, aumento da adoção de tec-

nologia pelos criadores e melhores indicadores técnicos na indústria (Franco, 2009). Em 2019, cerca de 15% dos abates de aves e suínos no País se concentraram no Centro-Oeste, com crescimento médio das duas criações de 4,5% a.a. na última década, contra 1,7% a.a. no cenário nacional (SIF, 2020).

Já a participação do Centro-Oeste no rebanho total de bovinos manteve-se praticamente constante. Em 2018, dos 73,8 milhões de cabeças da região, só 2,3 milhões foram criadas no modelo de confinamento (3,2% do rebanho) e 1,3 milhão no em semiconfinamento (1,8%) (Anualpec, 2019). Apesar de pouco representativo no rebanho bovino da região, o Centro-Oeste concentra, respectivamente, 58% e 48% do rebanho confinado e semiconfinado do País, indicativo de demanda relevante por ração animal.

Estados próximos do Centro-Oeste, como Pará e Rondônia, também possuem rebanhos bovinos expressivos – 20,6 e 14,4 milhões de cabeça, respectivamente (IBGE, 2020), e se tornaram regiões importantes para a expansão da produção nacional. Nesses estados, o número de cabeças cresceu 2,5% ao ano, enquanto a média brasileira na última década foi de 0,5% a.a.

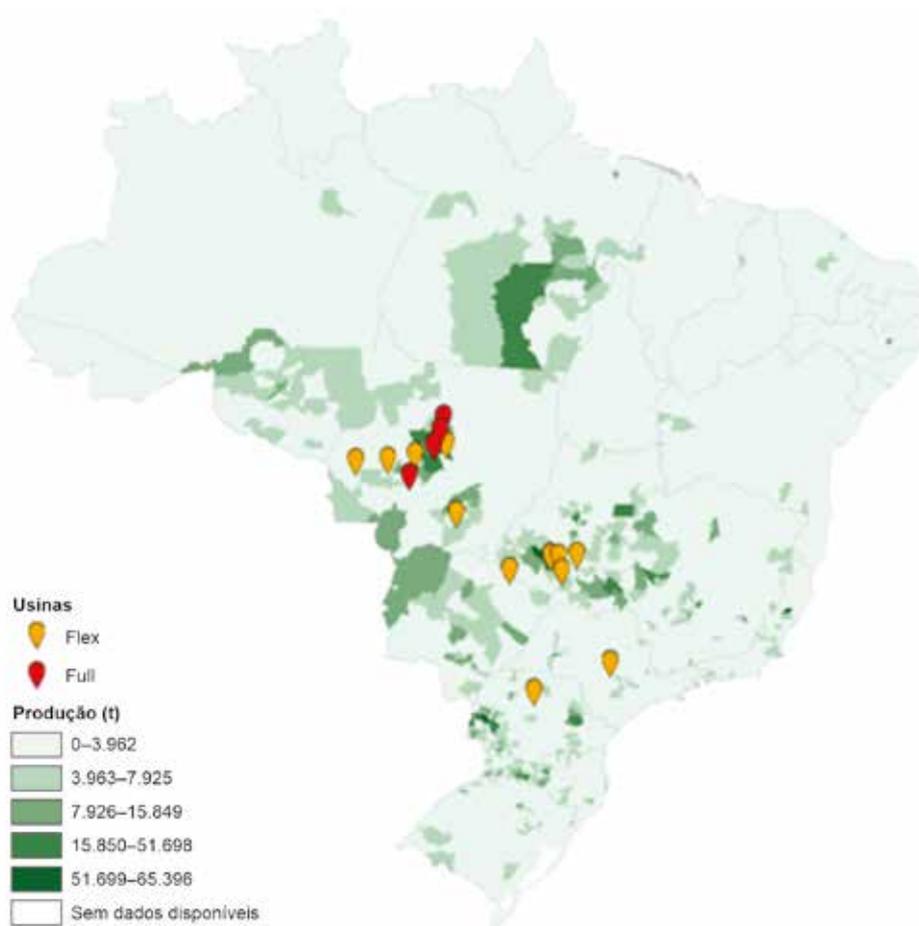
A Figura 6 mostra a localização da demanda potencial por coprodutos da produção de etanol de milho para uso em ração animal. O cálculo baseia-se nos efetivos municipais de cada criação (bovinocultura de corte e de leite, suinocultura e avicultura de corte e de postura) e no potencial de substituição dos componentes atuais das rações pelos coprodutos. Como o mer-

**Tabela 2.** Rebanho animal no Centro-Oeste (milhões de cabeças) e participação da região no rebanho nacional.

	1998	part. (%)	2008	part. (%)	2018	part. (%)	CAGR <sup>(1)</sup> (%)
Bovinos	56,4	34,6	68,9	34,1	73,8	34,6	1,4
Aves	56,8	7,4	122,9	10,3	187,3	12,8	6,1
Suínos	2,5	8,4	4,3	11,7	6,5	15,8	4,9

<sup>(1)</sup> Taxa anual de crescimento de cada efetivo entre 1998 e 2018. Bovinos – corte e leite; aves – corte e postura.

Fonte: IBGE (2020).



**Figura 6.** Demanda potencial por DDG/DDGS/WDG/WDGS no Brasil em 2017 (t milhão) por município.

Fonte: elaborado com base em Estados Unidos (2020a), IBGE (2020), RFA (2020) e Sindirações (2020).

Nota: O cálculo para estimar o mercado potencial de DDG/DDGS/WDG/WDGS por município considerou a demanda efetiva das criações (bovinocultura de corte e leite, suinocultura e avicultura de corte e leite) por ração no País (Sindirações, 2020), ponderada pelos rebanhos municipais (IBGE, 2020) e pela participação dos coprodutos na ração animal no mercado dos EUA (Estados Unidos, 2020a; RFA, 2020).

cado brasileiro de DDG/DDGS/WDG/WDGS é recente, adotou-se o padrão de substituição médio observado no mercado norte-americano, mais maduro, para determinar o potencial de demanda.

Como esperado, observa-se que a demanda potencial pelo grupo de coprodutos do etanol de milho concentra-se nas regiões com maiores efetivos animais, especialmente bovinocultura, como Mato Grosso, o centro e o sudoeste goiano, Mato Grosso do Sul, o sul do Pará, o leste de Rondônia e o Triângulo Mineiro. Vale considerar que, como os coprodutos do etanol de milho são mais adequados e têm maior participação na

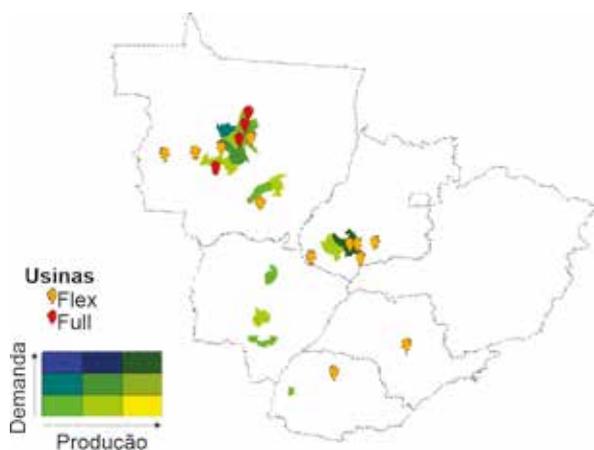
ração de ruminantes, as regiões com grandes rebanhos bovinos, corte ou leite, são beneficiadas.

A concentração do rebanho bovino e a maior facilidade de entrada dos coprodutos na dieta dos animais são fatores que favorecem e reforçam a presença da indústria de etanol de milho no Centro-Oeste, beneficiada também pela expansão da avicultura e da suinocultura para a região.

Em contraponto, o fato de o modelo extensivo de produção de bovinos ser o mais adotado no País diminui o potencial de consumo de coprodutos. Nesse cenário, as outras proteínas animais, ainda que em menor peso, podem

se tornar relevantes para o escoamento de tais produtos. O oeste e o centro paranaense, o oeste catarinense e parte de Minas Gerais, conhecidos pela alta produção de aves e suínos, chamam a atenção como potenciais consumidores dos coprodutos. Nesse caso, ressalta-se os elevados custos logísticos para a entrega do produto no Sul, mesmo com os componentes habituais da ração, como milho e farelo, mais caros nessas regiões.

Tanto a disponibilidade de milho quanto a demanda por etanol e pelos coprodutos são importantes para indicar a viabilidade econômica do negócio e a localização das plantas produtivas. Desse modo, fez-se a intersecção dos dois mapas anteriores (Figura 5 e Figura 6) com objetivo de identificar as regiões cujos indicadores de produção de milho e de demanda pelos coprodutos sejam relevantes. Os municípios foram, então, separados pela combinação de classificações relativas à disponibilidade de milho e à demanda potencial por coprodutos (Figura 7).



**Figura 7.** Municípios com relevância na produção de milho e na demanda potencial por DDG/DDGS/WDG/WDGS.

Fonte: elaborado com base em Estados Unidos (2020a), IBGE (2020), RFA (2020) e Sindicatos (2020)

Notadamente, as regiões de maior destaque foram o médio-norte de Mato Grosso, em especial a região da BR-163, e o sudoeste goiano. A maior parte das usinas de milho – dedicadas

ou *flex* – já está concentrada nessas regiões, o que reforça tais indicadores como bons parâmetros para a localização das unidades produtivas.

Somente as duas usinas integradas em São Paulo e no Paraná estão mais distantes das regiões destacadas na Figura 7. No entanto, essas plantas exibem baixo potencial de produção: Cereale, em Dois Córregos, SP, e Cooperval, em Jandaia do Sul, PR, com capacidade nominal de 20 mil m<sup>3</sup> de etanol de milho cada – menos de 2% da capacidade do setor (Unem, 2020). Uma explicação pode ser o fato de se localizarem em regiões de alta demanda pelo biocombustível e com produção suficiente para a necessidade das plantas.

Outros polos produtivos potenciais indicados no mapa são parte do centro-norte e o sudoeste de Mato Grosso do Sul e o oeste paranaense. Além desses fatores, é fundamental entender como ocorrem a demanda e os preços de etanol, os níveis de preços de milho e o ambiente competitivo nas regiões destacadas. Ressalta-se que já há grupos interessados em plantas em Mato Grosso do Sul, mas ainda em fase de projetos.

Vale destacar que algumas dessas regiões, em especial o oeste paranaense e o sudeste de Mato Grosso do Sul, já possuem uma cadeia produtiva robusta baseada na produção de milho, soja e proteínas animal, o que constitui um mercado consumidor potencial para os coprodutos, mas isso pode gerar forte concorrência, com agroindústrias já estabelecidas, na aquisição de milho. Cidades do sudeste de Mato Grosso do Sul possuem usinas de cana-de-açúcar, o que sugere oportunidades para uma possível integração com a produção de etanol à base de milho.

## Metodologia

Para analisar as características técnico-econômicas das usinas *flex* no Brasil, fez-se uma pesquisa, em janeiro de 2020, com duas das dez unidades produtoras desse tipo no País, uma em Goiás, outra em Mato Grosso. Considerando o

valor apontado pela Unica (2019), as duas empresas foram responsáveis por 33,74% do volume de etanol total de milho produzido no Centro-Sul – anidro e hidratado – na safra 2018/2019.

Os valores utilizados na análise são médias ponderadas obtidas pela aplicação remota, pelos autores, de um questionário estruturado com informações sobre custo da matéria-prima e de processamento industrial, indicadores de eficiência industrial, valores de produção e venda de etanol e coprodutos, indicadores administrativos, gastos com mão de obra (agrícola, administrativa e industrial) e outros gastos, como impostos e despesas não recorrentes.

As informações foram usadas para o cálculo do custo médio ponderado da produção do etanol hidratado obtido do milho, sem abordar valores associados ao etanol anidro, ainda que algumas análises se refiram ao etanol total produzido. Os cálculos seguiram a metodologia estabelecida por Matsunaga et al. (1976) e incluem a remuneração de todos os fatores de produção, como terra, trabalho e capital.

## Resultados

### Indicadores técnicos agroindustriais

A Tabela 3 mostra os principais indicadores técnicos agroindustriais empregados nos cálculos do custo de produção do etanol de milho. Considera-se apenas os indicadores relativos à linha de processamento de milho, ou seja, os valores não são representativos de toda a planta industrial, que consideraria também a linha de processamento de cana-de-açúcar.

A produção de múltiplos itens ilustra uma das vantagens da produção de etanol de milho, que é a diversificação de portfólio, pela comercialização de novos produtos/coprodutos para cadeias produtivas da região.

Nas usinas consideradas, as instalações para conversão de milho em etanol operaram com 95,57% da capacidade instalada, ou seja,

**Tabela 3.** Média ponderada dos principais indicadores técnicos de produção das usinas *flex* utilizados no modelo de custos – safra 2018/2019.

Indicadores técnicos	Valor	Unidade
Nível de utilização da capacidade instalada	95,57	%
Aproveitamento de tempo de moagem	87,85	%
Eficiência global	83,96	%
Preço médio de aquisição do milho	29,79	R\$/sc
<b>Processamento e produção</b>		
Moagem de milho	334.252	t
Produção de etanol total	133.456	m <sup>3</sup>
DDG	36.962	t
WDGS	37.704	t
Óleo bruto	4.594	m <sup>3</sup>
<b>Mix de produção</b>		
Etanol anidro	11,15	%
Etanol hidratado	88,85	%
<b>Produtividade industrial</b>		
Etanol total	399,27	L/t
DDG	110,58	kg/t
WDGS	112,80	kg/t
Óleo bruto	13,74	L/t

baixo nível de ociosidade comparativamente ao das usinas que operaram só com cana-de-açúcar. Estas últimas, em 2018, operavam com 81% de sua capacidade (Costa, 2019).

No caso das usinas *flex* integradas-dedicadas, pode-se dizer que a diferença no grau de uso da capacidade produtiva se deve majoritariamente ao período de entressafra da cana-de-açúcar. No Centro-Sul, enquanto as usinas processadoras de cana-de-açúcar interrompem sua produção por até quatro meses a cada ano-safra, as instalações para produção de etanol de milho são capazes de produzir continuamente.

Além disso, a transformação de usinas *stand-alone* de cana-de-açúcar em *flex* pode reduzir a ociosidade de parte das instalações, como dornas de fermentação e destilaria. O grau de utilização desses recursos antes ociosos

na entressafra de cana-de-açúcar depende da capacidade instalada de moagem do grão. Em princípio, se a totalidade da capacidade de moagem de milho estiver sendo utilizada no período de safra da cana, não haveria matéria-prima adicional a ser fermentada e destilada nas instalações de cana-de-açúcar.

Quanto à remuneração, a Tabela 4 mostra a receita líquida média das vendas de etanol total das usinas *flex*, o equivalente a R\$ 53,78/sc de milho na safra 2018/2019. Como esperado, o etanol é o produto derivado do milho com maior geração de receita: 89,7% do faturamento total.

As empresas analisadas produziram e comercializaram também DDG e WDGS, mas o valor de mercado do segundo é cerca de 5,5 vezes menor do que o do primeiro, dada a elevada concentração de água. Esses coprodutos são uma fonte secundária de geração de caixa, menos de 10% da receita gerada pelo processamento de milho nas agroindústrias analisadas. Afirma-se, assim, que bons resultados financeiros de usinas *flex*, em comparação com as convencionais de cana-de-açúcar, dependem da estratégia de produção e comercialização do etanol de milho. Ao mesmo tempo que podem adquirir matéria-prima a um custo menor, a venda do etanol pode ser feita durante a entressafra de cana-de-açúcar, aproveitando então preços sazonalmente mais elevados.

Os grãos de milho de destilaria (DDG/DDGS/WDG/WDGS) têm como principais características altos teores de proteína, fibra e energia, possuindo, portanto, grande potencial

econômico, especialmente por conta do uso na alimentação animal, podendo gerar receita superior à da bioeletricidade da queima do bagaço excedente de cana-de-açúcar.

As oportunidades para o incremento da receita obtida com a destilação do etanol de milho surgem, em especial, do aumento da produção e comercialização de coprodutos, com ênfase em DDG e DDGS, produtos com menor teor de água e maior valor do que o WDGS. Algumas plantas fabris têm explorado diversas especificações e variações desses coprodutos. A intensidade da cor dos grãos de destilaria, por exemplo, é um indicador de qualidade da proteína, sendo as cores mais claras indicadoras de melhor qualidade de aminoácidos.

No caso do óleo de milho, coproduto com elevado valor de mercado, sua produção é bastante limitada pelo rendimento industrial de apenas 13,74 litros por tonelada de milho. Entretanto, como a quantidade produzida pelas usinas em questão é reconhecidamente baixa, há espaço para o crescimento da receita gerada com o óleo de milho.

### Aspectos econômico-financeiros: receitas, custos e margens

Os coeficientes técnicos da produção de etanol de milho apontam alta produtividade por tonelada processada, mas a baixa produção por hectare limita o rendimento do grão para produção de etanol em aproximadamente 2,5 m<sup>3</sup>/ha (Tabela 5). Comparativamente, para a

**Tabela 4.** Receita líquida média da comercialização dos produtos e coprodutos derivados do processamento do milho – safra 2018/2019.

Produto/coproduto	Produtividade	Receita unitária	Receita	
			R\$/t milho	R\$/sc milho
Etanol total	399,27 L/t	R\$ 2.013,78/m <sup>3</sup>	804,04	48,24
DDG	110,58 kg/t	R\$ 477,66/t	52,82	3,17
WDGS	112,80 kg/t	R\$ 86,48/t	9,75	0,59
Óleo bruto	13,74 L/t	R\$ 2.164,20/m <sup>3</sup>	29,74	1,78
<b>Total</b>			<b>896,36</b>	<b>53,78</b>

cana-de-açúcar a produtividade agrícola média em 2018/2019 foi de 74,3 t/ha e rendimento industrial de 82,2 litros, o que gerou 6,1 m<sup>3</sup>/ha, ou seja, 2,5 vezes maior do que no processo produtivo de milho.

**Tabela 5.** Rendimentos do etanol de milho e custo da matéria-prima – safra 2018/2019.

Indicador	Unidade	Milho
Rendimento agrícola (etanol total)	t/ha	6,20 <sup>(1)</sup>
Rendimento industrial (etanol total)	L/t	399,44
Produtividade agroindustrial	L/ha	2.475,40
Custo da matéria-prima <sup>(2)</sup>	R\$/t	496,50
Custo da matéria-prima na produção de etanol hidratado	R\$/L	1,24

<sup>(1)</sup> Média do Centro-Oeste; <sup>(2)</sup> Refere-se ao preço de aquisição da matéria-prima posta na indústria (CIF), ao valor destacado na Tabela 3.

Fonte: elaborado com dados da pesquisa e da CONAB (2019).

As usinas *flex* integradas-dedicadas que processaram milho para produção de etanol adquiriram a matéria-prima, em média, a R\$ 29,79/sc – o equivalente a R\$ 496,50/t. Esse valor, considerando o rendimento industrial do milho, implica dizer que, do custo total de produção do etanol hidratado de milho, a matéria-prima respondeu por R\$ 1,24/L. O custo total de produção do etanol de milho nas usinas *flex* estudadas, na safra 2018/2019, foi de R\$ 1.709,01/m<sup>3</sup>. Conforme a Tabela 6, o custo industrial de processamento do milho foi de R\$ 383,60 por metro cúbico de etanol hidratado, sendo relevantes os gastos com insumos industriais, o que se deve justamente à alta complexidade da preparação do grão nas etapas anteriores à fermentação.

No caso do milho, deve-se observar que o *Capital Expenditure* (Capex) colocado na estrutura integrada é relativamente baixo. Dos investimentos realizados em projetos de planta *flex*, o Capex médio foi de R\$ 0,77/L/ano, enquanto nas plantas *full* o valor saltou para R\$ 1,68/L/ano. Uma das razões para isso é o fato

**Tabela 6.** Custo de produção do etanol hidratado (R\$/m<sup>3</sup>) do milho em usinas *flex* integradas-dedicadas na safra 2018/2019.

Item	Custo (R\$/m <sup>3</sup> )
Matéria-prima	1.243,51
Operação de processamento industrial	383,60
Mão de obra	19,74
Insumos industriais	208,15
<i>Enzimas</i>	31,21
<i>Químicos</i>	69,33
<i>Combustíveis e lubrificantes</i>	27,05
<i>Vapor e energia elétrica</i>	80,57
Manutenção industrial	38,87
<i>Materiais</i>	19,34
<i>Serviços de terceiros</i>	19,54
Despesas industriais	13,15
<i>Serviços e terceirizados</i>	10,69
<i>Administração industrial</i>	2,45
Depreciação industrial e remuneração do capital fixo	103,69
Despesas gerais, administrativas e com vendas	81,90
Mão de obra	28,20
Serviços administrativos prestados por terceiros	14,88
Outros <sup>(1)</sup>	38,82
<b>Custo total</b>	<b>1.709,01</b>

<sup>(1)</sup> Compreende fretes, embarques, comissões e outras despesas não recorrentes.

de o etanol de milho poder ser produzido com investimentos adicionais à estrutura já existente.

Ao contrário da cana-de-açúcar, o milho pode ser estocado, o que reduz a variabilidade sazonal do fornecimento de matéria-prima para a produção de etanol, além de abrir espaço para a precificação e sua aquisição pelas usinas em operações em mercados futuros. Além disso, as usinas *flex* integradas-dedicadas podem produzir o etanol na entressafra da cana-de-açúcar, potencialmente combinando o baixo custo de aquisição do milho com elevados preços de venda do etanol.

A incorporação do milho também é favorecida pela oferta de energia excedente disponível nas usinas de cana-de-açúcar, o que implica benefícios trazidos tanto por economias de escala – ao diluir custos fixos – quanto por economias de escopo. Portanto, os resultados sugerem que as usinas *flex* – pelo menos em sua variante integrada-dedicada e em regiões com disponibilidade de milho a preços baixos – podem ser uma promissora alternativa para garantir a rentabilidade da produção de etanol no Brasil. A Tabela 7 mostra o resultado econômico obtido com o processamento do milho para as duas usinas *flex* analisadas, 23,87%, que considera, além de custos operacionais, a depreciação e a remuneração do capital fixo.

**Tabela 7.** Margens econômicas da produção do etanol de milho em usinas *flex* – safra 2018/2019.

Item	R\$/t milho	R\$/sc milho
Receita total	896,35	53,78
Etanol	804,04	48,24
Coprodutos	92,31	5,54
Custo total	682,37	40,94
Resultado econômico	213,98	12,84
<b>Margem de lucro</b>	<b>23,87%</b>	

Ao contrário do setor sucroenergético como um todo, que na última década produziu resultados econômicos decrescentes e frequentemente negativos (Pecege, 2019), a produção de etanol do milho exhibe números bastante positivos, ainda que condicionados – como será discutido a seguir – por condições de mercado específicas, principalmente o baixo preço da matéria-prima.

Com esses resultados, o etanol de milho produzido nas usinas *flex* pode ser um fator relevante para a superação dos desafios do setor sucroenergético brasileiro. Nessa perspectiva, as usinas *flex* se mostram uma alternativa promissora para assegurar a rentabilidade da produção de etanol, particularmente num contexto de

pressão crescente sobre os custos de produção na atividade.

Deve se ponderar, contudo, que para certo nível de preço de venda do etanol, sendo a matéria-prima o principal componente do custo de produção, a manutenção de boas margens econômicas condiciona-se a uma dinâmica favorável de preços do milho, que, por se tratar de uma commodity, são determinados principalmente no mercado internacional.

Tal dependência das usinas *flex* integradas-dedicadas em relação às condições de mercado pode ser apreciada pelo caso particular do etanol hidratado produzido a partir do milho, cuja simulação da margem de lucro (Figura 8) considera a alteração de apenas dois parâmetros – o preço líquido de comercialização do etanol hidratado (R\$/L) e o preço de aquisição do milho colocado na usina (R\$/sc).

Naturalmente, variações de preços tanto da matéria-prima quanto do etanol hidratado são extremamente relevantes e geram impacto direto na margem de lucro, o que fortalece a ideia de um modelo de negócio dependente de um conjunto de preços favoráveis. Assim, fica evidente que a viabilidade e o resultado econômico desses empreendimentos são derivados de dois fatores: i) aquisição do milho a preços baixos, notadamente em regiões com oferta da matéria-prima abundante e barata; e ii) venda do etanol a preços competitivos.

## Considerações finais

O etanol de milho vem ganhando espaço na matriz energética nacional e, dados os investimentos em andamento para produção, haverá expansão da oferta nos próximos anos. No entanto, destaca-se que sua produção é mais facilmente viabilizada em regiões que congregam três características: i) abundância e oferta de milho a preços competitivos; ii) comercialização do etanol a preços competitivos comparativamente ao da gasolina; e iii) demanda por DDG/DDGS/WDG/WDGS (proteína para nutrição animal).

		Preço do etanol PVU (R\$/L)										
		1,700	1,750	1,800	1,850	1,900	1,950	2,000	2,050	2,100	2,150	2,200
Preço do milho CIF usina (R\$/Sc)	12,50	48,9%	50,2%	51,4%	52,6%	53,7%	54,7%	55,7%	56,7%	57,6%	58,5%	59,4%
	15,00	43,5%	44,9%	46,3%	47,5%	48,8%	50,0%	51,1%	52,1%	53,2%	54,2%	55,1%
	17,50	38,1%	39,6%	41,1%	42,5%	43,9%	45,2%	46,4%	47,6%	48,7%	49,8%	50,8%
	20,00	32,7%	34,4%	36,0%	37,5%	39,0%	40,4%	41,7%	43,0%	44,2%	45,4%	46,5%
	22,50	27,3%	29,1%	30,8%	32,5%	34,1%	35,6%	37,0%	38,4%	39,7%	41,0%	42,2%
	25,00	21,9%	23,8%	25,7%	27,5%	29,2%	30,8%	32,4%	33,8%	35,3%	36,6%	37,9%
	27,50	16,5%	18,6%	20,6%	22,5%	24,3%	26,0%	27,7%	29,3%	30,8%	32,2%	33,6%
	30,00	11,0%	13,3%	15,4%	17,5%	19,4%	21,2%	23,0%	24,7%	26,3%	27,9%	29,3%
	32,50	5,6%	8,0%	10,3%	12,4%	14,5%	16,5%	18,3%	20,1%	21,8%	23,5%	25,1%
	35,00	0,2%	2,8%	5,2%	7,4%	9,6%	11,7%	13,7%	15,5%	17,4%	19,1%	20,8%
	37,50	-5,2%	-2,5%	0,0%	2,4%	4,7%	6,9%	9,0%	11,0%	12,9%	14,7%	16,5%
	40,00	-10,6%	-7,8%	-5,1%	-2,6%	-0,2%	2,1%	4,3%	6,4%	8,4%	10,3%	12,2%
	42,50	-16,0%	-13,0%	-10,3%	-7,6%	-5,1%	-2,7%	-0,4%	1,8%	3,9%	5,9%	7,9%

**Figura 8.** Simulação da margem de lucro da produção de etanol de milho – preço de comercialização do etanol (R\$/L – modalidade PVU) × preço de aquisição do milho (R\$/sc – modalidade CIF).

No caso brasileiro, a produção de etanol de milho se tornou competitiva particularmente por conta de dois fatores: i) o aumento da produtividade média do milho no Centro-Oeste na última década, decorrente do progresso tecnológico associado ao desenvolvimento de novos híbridos e ao emprego de máquinas e equipamentos de maior qualidade e precisão; e ii) os benefícios técnicos e econômicos presentes na estratégia de integração produtiva entre cana-de-açúcar e milho, como a menor ociosidade da planta produtiva de cana, aumento e diversificação das receitas, menor sazonalidade na oferta de etanol e economia de custo com o balanço compartilhado entre vapor e eletricidade.

Este trabalho apresentou também, como estudo de caso, um levantamento dos custos de produção do etanol de milho em usinas do tipo *flex*. Embora o processamento industrial do milho seja mais complexo e com maiores custos, o elevado rendimento industrial e as despesas gerais e administrativas menores beneficiam a produção nesse modelo de negócio.

Além disso, o resultado econômico da conversão de milho em etanol em usinas *flex* integradas-dedicadas mostra-se altamente depen-

dente dos baixos preços do grão, evidenciando que o crescimento da oferta de etanol de milho no Brasil deve se concentrar no Centro-Oeste, principalmente em Mato Grosso. Essa região conjuga as principais características supramencionadas: oferta de matéria-prima, demanda por etanol e demanda para absorver os coprodutos, como o óleo bruto, o DDG e o DDGS, além de constantes ganhos de produtividade agrícola na produção de milho.

O etanol de milho vem conquistando o espaço deixado pelo etanol de cana no mercado doméstico, em especial no Centro-Oeste, onde o biocombustível tem sido historicamente menos atrativo para os consumidores. Esse cenário evidencia a importância de resgatar os investimentos e da recuperação da produtividade da cana-de-açúcar no Brasil. A recuperação de produtividade seria fundamental também para que o País se torne globalmente um produtor relevante de etanol de milho, como o é do biocombustível da cana.

## Referências

ALCARDE, A.R. Extração. In: MARIN, F.R. (Ed.). **Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa,

2009. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/Abertura.html>>. Acesso em: 31 mar. 2020.

ANUALPEC 2019: anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Diagnóstico da produção de etanol em Mato Grosso:** binômio cana-de-açúcar/milho. Cuiabá, 2018. (Compêndio de Estudos Conab, v.17). Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

COSTA, A.O. da. (Coord.). **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis:** ano 2018. Rio de Janeiro, 2019. 75p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2018>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

DOLABELLA, R.H.C. **Biocombustíveis na Argentina:** políticas públicas e evolução recente. Brasília: Câmara dos Deputados, 2011.

DONKE, A.C.G. **Avaliação de desempenho ambiental e energético da produção de etanol de cana, milho e sorgo em uma unidade integrada, segundo a abordagem do ciclo de vida.** 2016. 243p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

ECKERT, C.T. **Avaliação da produção de etanol a partir de distintos híbridos de milho na região oeste do Paraná.** 2016. 61p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. Disponível em: <<http://tede.unioeste.br/handle/tede/800>>. Acesso em: 17 set. 2019.

EIA. U.S. Energy Information Administration. **Annual Energy Outlook.** Disponível em: <<https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Brazil.** Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/topics/international-markets-us-trade/countries-regions/brazil/>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Feed Grain Custom Query:** animal protein feeds. Disponível em: <<https://data.ers.usda.gov/FEED-GRAINS-custom-query.aspx>>. Acesso em: 20 mar. 2020a.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **U.S. Bioenergy Statistics.** Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/data-products/us-bioenergy-statistics/>>. Acesso em: 20 mar. 2020b.

FRANCO, C. **Análise das transações e estruturas de governança na cadeia produtiva da avicultura de**

**corde em Mato Grosso.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

GERMANI, R. Moagem. In: CRUZ, J.C. (Ed.). **Árvore do conhecimento:** milho. Brasília: Embrapa, 2011. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/Abertura.html>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

HOFFMAN, L.A. **Market issues and prospects for US distillers' grains supply, use, and price relationships.** [S.l.]: Diane Publishing, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agro 2017.** Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/resultados-censo-agro-2017.html>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

KAPPES, C.; CARVALHO, M.A.C. de; YAMASHITA, O.M.; SILVA, J.A.N. da. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, p.251-259, 2009.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P.F.; TOLEDO, P.E.N. de; DULLEY, R.D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I.A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, v.23, p.123-139, 1976.

MILANEZ, A.Y.; NYKO, D.; VALENTE, M.S.; XAVIER, C.E.O.; KULAY, L.A.; DONKE, C.G.; MATSUURA, M.I. da S.F.; RAMOS, N.P.; MORANDI, M.A.B.; BONOMI, A.; CAPITANI, D.H.D.; CHAGAS, M.F.; CAVALETT, O.; GOUVÊIA, V.L.R. de. A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista do BNEDES**, n.41, p.147-208, 2014.

NASTARI, P.M. Etanol de milho tem futuro no Brasil. **AgroANALYSIS**, v.38, p.26-27, 2018.

OSAKI, M.; BATALHA, M.O. Avaliação econômica dos sistemas de produção de milho, soja e algodão em Sorriso e Campo Novo do Parecis/MT. **Custos e @gronegócios**, v.11, p.316-344, 2015.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade na região Centro-Sul do Brasil:** acompanhamento da safra 2018/2019. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas, 2019.

RFA. RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **2019 Ethanol Industry Outlook.** Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2019/02/RFA2019Outlook.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

SANT'ANA, E.J. **Polos de aglomeração produtiva de milho, aves e suínos em Mato Grosso.** 2010. 108p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SEBEN JUNIOR, G. de F.; CORÁ, J.E.; LAL, R. Effect of cropping systems in no-till farming on the quality of a

Brazilian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1268-1280, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400023>.

SIF. Sistema de Inspeção Federal. **Quantidade de abate estadual por ano/espécie**. Disponível em: <[http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif\\_cons!/ap\\_abate\\_estaduai\\_s\\_cons?p\\_select=SIM](http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif_cons!/ap_abate_estaduai_s_cons?p_select=SIM)>. Acesso em: 10 mar. 2020.

SINDIRAÇÕES. Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal. **Boletim Informativo do Setor**. Disponível em: <<https://sindiracoes.org.br/produtos-e-servicos/boletim-informativo-do-setor/>>. Acesso em 20 mar. 2020.

SOLOMON, B.D.; BARNES, J.R.; HALVORSEN, K.E. Grain and cellulosic ethanol: history, economics, and energy policy. **Biomass and Bioenergy**, v.31, p.416-425, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.01.023>.

TYNER, W.E. The US ethanol and biofuels boom: its origins, current status, and future prospects. **BioScience**,

v.58, p.646-653, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1641/B580718>.

UNEM. União Nacional do Etanol de Milho. **Cenários e perspectivas para etanol de milho**. Cuiabá, 2020.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Região Centro-Sul: avaliação da safra 2019/2020 e expectativas**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=116>>. Acesso em: 22 dez. 2019.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Unicadata**. Disponível em: <<http://unicadata.com.br/>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

VASCONCELOS, J.N. de. Fermentação etanólica. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa: UFV, 2010. p.401-437.

YACOBUCCI, B.D.; SCHNEPF, R.D. **Ethanol and biofuels: agriculture, infrastructure, and market constraints related to expanded production**. Washington: Congressional Research Service, 2007.