

Determinantes da localização da agroindústria produtora de etanol de milho em Mato Grosso

Emerson Orsini Ferrari¹  | Marta Raquel Zuchelli Felipetto²  | Paulo Henrique de Lima Siqueira³  | Pery Francisco Assis Shikida⁴ 

¹ Doutorando, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste). E-mail: emersonferrari@yahoo.com.br

² Doutoranda, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste). E-mail: mrzuchelli2020@gmail.com

³ Doutor, Universidade Federal de São João del Rei. E-mail: paulosiqueira@ufsj.edu.br

⁴ Doutor, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste). E-mail: pery.shikida@unioeste.br

RESUMO

Este trabalho visa analisar os determinantes da localização da agroindústria produtora de etanol de milho no estado do Mato Grosso, a fim de verificar a combinação de critérios de localização para identificar regiões mais adequadas para a construção de usinas flex. Utilizou-se o método de regressão logística. Os resultados demonstraram que disponibilidade de vias pavimentadas, preço da terra, relevo, proximidade de rodovias e acesso à água foram consideradas significativas. Dos nove municípios que hospedam unidades produtivas de etanol de milho, identificou-se que 77,78% também hospedam armazéns para milho, 55,56% possuem distribuidoras de combustíveis e 66,67% estão localizados em regiões consideradas adequadas para a instalação dessas unidades quando considerado relevo, proximidade com rodovias e acesso à água.

PALAVRAS-CHAVE

Biocombustível, Produção, Usinas

Determinants of the location of the corn ethanol-producing agroindustry in Mato Grosso

ABSTRACT

Abstract: This work aims to analyze the location determinants of the agroindustry of corn ethanol in the Mato Grosso State, in order to verify the combination of location criteria to identify the most suitable regions for the construction of plants. It was used the logistic regression method and the results demonstrated that availability of paved roads, land prices, relief, proximity to highways and access to water were significant. Of the nine municipalities that host corn ethanol production units, it was identified that 77.78% also host corn warehouses, 55.56% have fuel distributors and 66.67% are located in regions considered suitable for the installation of these units when considering relief, proximity to highways and access to water.

KEYWORDS

Biofuel, Production, Plants

CLASSIFICAÇÃO JEL

011

1. Introdução

A crescente demanda por combustíveis no Brasil e no mundo, associada a fatores relacionados à necessidade de resposta às mudanças climáticas globais e à instabilidade da oferta de combustíveis fósseis, estimulou a busca por alternativas energéticas, especialmente os biocombustíveis. Estes são produzidos a partir de materiais vegetais que não passaram pelo processo de fossilização, conforme denominados por Solomon et al. (2007). Neste contexto, destaca-se a produção de etanol a partir de diversas biomassas, sendo o milho uma alternativa de elevado potencial. Essa opção emergiu como uma estratégia econômica para amenizar as crises no setor açucareiro e reduzir a dependência do petróleo, consequentemente elevou o Brasil à segunda posição no ranking mundial do etanol (Moraes; Bacchi, 2014; Renewable Fuels Association – RFA, 2022a).

Atualmente, a produção de etanol no Brasil é predominantemente derivada da cana-de-açúcar. No entanto, o etanol de milho tem registrado um crescimento acelerado. Em 2013, o Brasil produzia apenas 11 milhões de litros de etanol de milho, enquanto na safra de 2023 esse volume alcançou 4,5 bilhões de litros. Na safra 2022/23, o etanol de milho já representava 15% de toda a produção de etanol no país, e estima-se que, até 2030, esse tipo de etanol corresponderá a 20% do mercado de biocombustíveis no Brasil (UNEM, 2023).

Nesse cenário, a indústria brasileira de etanol de milho encontrou um ambiente favorável para seu desenvolvimento, integrando-se de maneira harmoniosa à produção de biomassa de florestas energéticas e à cadeia de proteína animal. Segundo a UNEM (2023), a produção de 2023 foi estimada em 4,5 bilhões de litros, com uma projeção de aumento de 114,44% na produção de etanol de milho até 2030, o que implica uma taxa de crescimento médio anual estimada em aproximadamente 16,35%.

Segundo Dantas (2023), convém ressaltar que o etanol de milho tem a perspectiva de atingir 6 bilhões de litros na safra 2023/2024 no Brasil, o que representa um aumento de 36% em relação ao ciclo anterior. Além disso, esses números indicam um crescimento de 800% nos últimos cinco anos, conforme as projeções da União Nacional do Etanol de Milho (UNEM). Além da representatividade em escala mundial, observa-se que os modelos de usina *flex* impulsionam a produção de etanol de milho no Brasil. A UNEM (2023) destaca que o aumento da capacidade produtiva é resultado principalmente da expansão do complexo industrial brasileiro, da adoção de tecnologias que elevaram o rendimento industrial e do crescimento da demanda internacional por biocombustíveis.

Em termos de produção, no Brasil, o milho ocupa a segunda posição, sendo superado apenas pela soja. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), de acordo com a quarta estimativa da safra 2023/24, a produção de milho alcançou 306,4 milhões de toneladas de grãos, representando um aumento de 4,2% ou 13,5 milhões de toneladas em relação ao período anterior. Esse crescimento tem

como principais impulsionadores as exportações e a crescente demanda de milho para a produção de etanol.

Destaca-se o número de unidades produtoras de etanol de milho na região Centro-Oeste do Brasil. Isso se deve a diversos fatores, como a abundância do grão e a oferta local a preços competitivos, a demanda local pelos coprodutos (óleo e DDGS – do inglês *Distillers Dried Grains with Solubles*, traduzido como Grãos Secos de Destilaria com Solúveis) para utilização na nutrição animal, o aumento da produtividade média do grão na região e a queda na produtividade média da cana-de-açúcar (Henrique; Cherubin, 2020). Para o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 1997), o *boom* da produção de soja, milho e algodão no Estado do Mato Grosso iniciou-se em 1997, oportunizando a rápida absorção de novas terras e o aumento da tecnificação, com aporte de maquinário, agroquímicos e biotecnologia, com impactos diretos na produtividade agrícola. Em 2022, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), a área colhida de milho foi de 641.477 mil hectares.

Observa-se que o estado de Mato Grosso se consolida como um dos principais produtores de etanol de milho no Brasil. As pesquisas de Bargas et al. (2016) e Coleti e Oliveira (2019) indicaram que aspectos relacionados à distribuição e à especialização da produção agrícola de milho no estado têm impacto nas decisões sobre onde construir usinas de etanol, visando aumentar a competitividade do produto no mercado e criar uma relação entre a produção especializada e o comércio inter-regional. Essa solução não apenas minimizou desafios logísticos, mas também possibilitou agregar valor ao insumo agrícola, incluindo a utilização desse etanol na própria unidade estadual. Dessa forma, o estado passou a utilizar-se desse etanol e, com isso, transformou-se em um dos principais mercados consumidores, além de atender as regiões do Arco-Norte brasileiro.

Salienta-se que, no processo de otimização da planta produtiva, um dos critérios a serem observados refere-se à localização adequada. Silva et al. (2020) descrevem os seguintes critérios: condições fundamentais para a produção; oferta elevada de matéria-prima a preços baixos; e fretes elevados para exportação. Desta forma, o trabalho busca analisar os determinantes da localização da agroindústria produtora de etanol de milho no Mato Grosso, de forma a ser possível verificar a combinação de critérios de localização para identificar regiões mais adequadas para a construção de usinas.

Nesse contexto, a teoria da localização analisa os fatores que influenciam as decisões das atividades socioeconômicas de se estabelecerem em um local específico e das variáveis que a influenciam. Os principais modelos que tratam da localização das firmas e da distribuição das atividades produtivas têm origem nos clássicos trabalhos de Thünen (1826) e Weber (1929), os quais enfatizavam a importância dos custos de transporte para a determinação da melhor localização da firma.

Weber (1929) aponta que a localização da indústria será orientada de acordo com a disponibilidade de fontes de matérias-primas e/ou de mercado consumidor, que são vantagens obtidas quando as atividades econômicas ocorrem em determinado local ou em vários locais, preconizando que uma boa localização tende a elevar a competitividade da empresa (Aguilar, 2007). Baseado na teoria da localização, o trabalho de Thünen (1826) asseverou que a renda econômica de localização teria uma relação inversa com a distância, uma vez que a renda econômica é fortemente influenciada pela proximidade ao mercado. Assim, terras mais distantes de um determinado centro consumidor teriam uma renda menor em comparação àquelas mais próximas, devido aos custos de transporte.

Ambas as teorias mostram que a localização de uma planta industrial tem importante relação com a disponibilidade de matérias-primas ao seu redor, o que é corroborado por Krugman (1991), Fujita (1989) e Venables (1996), ao mencionarem que a concentração das atividades econômicas está relacionada aos fatores de economia de escala e externalidades positivas que, inclusive, levam à polarização do crescimento regional. Logo, a principal contribuição deste estudo é avançar na compreensão sobre os determinantes locais que influenciam na instalação de Usinas, bem como os fatores que potencializam a utilização.

Isto posto, este artigo contém cinco seções, incluindo esta introdução e formulação do problema de pesquisa. Na segunda seção, são apresentadas breves notas sobre a agroindústria do milho no Brasil e, notadamente, no Mato Grosso, além de estudos correlatos. A terceira e quarta seções tratam, respectivamente, da metodologia e dos resultados da discussão. A quinta seção abrange as considerações finais deste estudo.

2. Notas sobre a agroindústria de etanol e milho

O processo de fabricação do etanol de milho no Brasil guarda semelhanças com a tecnologia dos Estados Unidos. Em suma, o milho é moído, cozido e liquefeito em água. Em seguida, segue para a etapa de fermentação que, com adição de enzimas e leveduras, transforma o amido em açúcares e, posteriormente, em etanol. A Tecnologia de Separação de Fibras é que permite recuperar fibras e proteínas, resultando na coprodução de produtos ricos em nutrientes comumente conhecidos como DDG (Grãos Secos de Destilaria) e DDGS (Grãos Secos de Destilaria com Solúveis). Nacionalmente, é possível encontrar três modelos de usinas de etanol de milho, a Usina *Full*, conhecida como dedicada, que processa somente milho; a Usina *Flex*, que processa cana-de-açúcar e também milho, geralmente na entressafra; e a Usina *Flex Full*, que opera com milho e cana de forma paralela (Dantas, 2023).

Weatherspoon e Ross (2008) utilizaram a regressão logística no estudo sobre a cadeia de abastecimento para investimento direto estrangeiro das empresas alimentares visando a um modelo de decisão de localização de um supermercado. Os autores concluíram que os padrões de emprego informal, tanto no sector agrícola como no sector

não agrícola, influenciam a localização da empresa.

Quando se fala em usinas *flex*, cabe mencionar que a ociosidade durante a entressafra da cana-de-açúcar, mesmo com o aumento do período de safra de novas espécies, proporciona a oportunidade de utilizar essa capacidade instalada para a produção de etanol com milho. Logo, a utilização de usinas no modelo flex possibilita a produção de biocombustível a partir do milho, aproveitando a capacidade instalada disponível durante a entressafra da cana-de-açúcar e potencializando sua utilização (Silva et al., 2020).

Os dados da CONAB (2024), presentes na quarta estimativa referente à safra 2023/24, indicam uma redução de 5,6% na área plantada em comparação com a safra anterior, resultando em uma correspondente diminuição na produtividade, também estimada em 5,6%. A redução estimada de 10,9% na produção está relacionada a situações adversas durante a primeira safra, responsável por 23,7% da produção total. Essas situações incluem precipitações elevadas no Sul do País e baixa pluviosidade no Centro-Oeste brasileiro, combinadas com altas temperaturas, que impactam de forma negativa tanto na área plantada quanto na produtividade.

Neste sentido, os dados da CONAB corroboram o estudo de Artuzo et al. (2019), que analisou a evolução da área cultivada, produção, produtividade e a estabilidade produtiva do milho nas diferentes regiões do Brasil. Os autores constataram que houve uma expansão de 49,08% na área destinada ao cultivo de milho, acompanhada pelo aumento na produção, resultante do crescimento da área e da produtividade. Além disso, destacaram o aumento da produtividade, com ênfase nos estados do Sul, Centro-Oeste e Sudeste.

2.1 A Agroindústria de Etanol de Milho em Mato Grosso

O estado de Mato Grosso (MT), localizado no Centro-Oeste do Brasil, possui relevo essencialmente plano, com uma área de 903.208 km², contando com 141 municípios e um total de 3.658.649 habitantes (IBGE, 2022). Com base no Relatório de Desenvolvimento Humano do Brasil, que traz indicadores relacionados à Educação, Saúde e Renda, o Mato Grosso encontra-se dentre os 11 estados com maior projeção no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Brasil em 2023 e 2024 (Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico – SEDEC/MT, 2023).

O Mato Grosso destaca-se no âmbito nacional pelo seu potencial produtivo, especialmente em relação à produção agropecuária, o que faz do estado um importante exportador de soja, milho, algodão, além de produtos da pecuária e de diversos itens da agricultura familiar. É o maior produtor de milho do Brasil, com uma produção aproximada de 32 milhões de toneladas em 2021 (Chaves et al., 2022).

De acordo com dados do IBGE (2024), o estado de Mato Grosso foi o maior produtor de milho do Brasil em 2022, tendo produzido 38 milhões de toneladas no ano, o que

representa 35,03% da produção nacional. Nos últimos 10 anos, a quantidade produzida de milho por tonelada no estado apresentou uma taxa geométrica de crescimento de 8,91% a.a., enquanto a produtividade cresceu a uma taxa de 1,05% a.a. (Tabela 1). De 1974 a 2022, as taxas geométricas de crescimento da quantidade produzida e da área colhida foram de 12,42% a.a. e 3,36% a.a., respectivamente, ambas significativas a 1%, demonstrando um avanço tecnológico na produção de milho nesse período no estado, visto que a quantidade produzida aumentou mais do que a área colhida (IBGE, 2024).

Tabela 1. Quantidade de milho produzida (toneladas), área colhida (hectare) e produtividade (quantidade produzida/área colhida) do estado de Mato Grosso

| Ano | Quantidade produzida | Área colhida | Produtividade |
|------------------|----------------------|--------------|--------------------|
| 2013 | 20.186.020 | 3.416.701 | 5,91 |
| 2014 | 18.071.316 | 3.330.803 | 5,43 |
| 2015 | 21.353.295 | 3.570.606 | 5,98 |
| 2016 | 15.339.785 | 3.736.321 | 4,11 |
| 2017 | 29.942.322 | 4.784.797 | 6,26 |
| 2018 | 26.172.540 | 4.417.207 | 5,93 |
| 2019 | 31.504.274 | 5.026.279 | 6,27 |
| 2020 | 33.650.671 | 5.318.762 | 6,33 |
| 2021 | 32.051.305 | 5.808.096 | 5,52 |
| 2022 | 38.331.222 | 6.414.777 | 5,98 |
| TGC ^a | 8,91*** | 7,78*** | 1,05 ^{NS} |

Fonte: IBGE (2024).

Notas: ^a Calculada pelo antilog do parâmetro $\beta_1 T$ da regressão:

$$\ln(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 T + \epsilon_i$$

em que Y_i é o valor da quantidade produzida, da área colhida e da produtividade e T , a variável tendência, calculado pelos autores.

*** Significativo a 1 por cento. NS Não significativo.

Por outro lado, o Mato Grosso apresentou a quarta maior produtividade em 2022, com 5,98 toneladas por hectare, enquanto Santa Catarina, o mais produtivo, alcançou 6,36 toneladas por hectare. Isso sugere que ainda existem oportunidades para melhorias na tecnologia de produção de milho no Mato Grosso (IBGE, 2024).

Cabe mencionar que, quando comparadas a questão do equilíbrio energético e as questões econômicas, o etanol produzido a partir do milho pode ser menos eficiente do que aquele produzido por meio da cana-de-açúcar. No entanto, como matéria-prima, o milho tem a vantagem de poder ser armazenado durante todo o ano. Isso permite que seu processamento seja realizado na entressafra da cana-de-açúcar, oferecendo um ganho de produtividade de etanol para a usina. Dessa forma, a usina pode utilizar sua capacidade instalada que, na entressafra da cana-de-açúcar, ficaria ociosa (Hoffmann, 2015).

Na perspectiva de aproveitar a vantagem do armazenamento anual de milho e a

capacidade instalada ociosa, o aumento na produção de etanol de milho durante a entressafra da cana-de-açúcar tem sido de grande importância para Mato Grosso. Analisando a produção total de etanol, cana-de-açúcar e milho, dos maiores estados produtores brasileiros, observa-se que o estado de Mato Grosso subiu da sexta posição na safra 2010-2011 para a terceira posição na safra 2022-2023. Nesse período, a produção aumentou de 851.241 m³ para 4.344.209 m³, representando uma variação percentual de 410,34% e uma Taxa Geométrica de Crescimento de 15,35% a.a. (conforme apresentado na Tabela 2).

Tabela 2. Produção de etanol (cana-de-açúcar e milho) das safras de 2010-2011 para 2022-2023 nos maiores estados produtores: Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Paraná e São Paulo

| Safra | Goiás | Minas Gerais | Mato Grosso do Sul | Mato Grosso | Paraná | São Paulo |
|-----------|-----------|--------------|--------------------|-------------|-----------|------------|
| 2010-2011 | 2.870.973 | 2.547.441 | 1.828.655 | 851.241 | 1.597.453 | 15.199.564 |
| 2011-2012 | 2.678.412 | 2.084.698 | 1.629.514 | 844.272 | 1.379.061 | 11.576.333 |
| 2012-2013 | 3.129.637 | 1.995.491 | 1.912.398 | 975.634 | 1.309.427 | 11.814.706 |
| 2013-2014 | 3.871.998 | 2.652.268 | 2.234.022 | 1.104.037 | 1.499.852 | 13.986.206 |
| 2014-2015 | 4.199.554 | 2.718.120 | 2.507.179 | 1.169.095 | 1.633.085 | 13.711.923 |
| 2015-2016 | 4.671.434 | 3.067.373 | 2.777.104 | 1.325.152 | 1.571.369 | 14.565.308 |
| 2016-2017 | 4.367.960 | 2.633.890 | 2.707.735 | 1.220.511 | 1.352.581 | 13.184.420 |
| 2017-2018 | 4.604.467 | 2.705.203 | 2.631.344 | 1.500.076 | 1.268.753 | 13.216.599 |
| 2018-2019 | 4.870.991 | 3.219.324 | 3.275.431 | 1.805.129 | 1.616.418 | 15.936.371 |
| 2019-2020 | 5.517.932 | 3.564.216 | 3.329.503 | 2.446.196 | 1.658.369 | 16.538.238 |
| 2020-2021 | 5.224.597 | 3.051.423 | 2.857.782 | 3.339.735 | 1.261.428 | 14.412.166 |
| 2021-2022 | 4.952.483 | 2.800.755 | 2.483.143 | 4.101.158 | 1.142.219 | 11.909.988 |
| 2022-2023 | 5.063.773 | 2.882.354 | 3.365.790 | 4.344.209 | 1.091.224 | 11.934.512 |
| VAR% a | 76,38 | 13,15 | 84,06 | 410,34 | -31,69 | -21,48 |
| TGC b | 5,57* | 2,79** | 5,10* | 15,35* | -1,8*** | 0,11NS |

Fonte: União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2024).

Notas. a: Variação percentual da produção da safra 2022-2023 sobre a safra 2010-2011, calculada pelos autores.

b: Taxa geométrica de crescimento obtida pelo antilog do parâmetro β_1 da regressão

$$\ln(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 T + \epsilon_i$$

menos 1, em que Y_i é o valor da produção de etanol de cada estado, e T a variável tendência (calculada pelos autores).

* Significativo a 1 por cento, ** Significativo a 5 por cento, *** Significativo a 10 por cento, NS Não Significativo.

Observa-se que esse crescimento na produção teve início na safra 2013-2014, quando a produção de etanol de milho começou em Mato Grosso. A produção aumentou de 37.036 m³ na safra 2013-2014 para 3.268.536 m³ na safra 2022/2023. Nesse período, portanto, a proporção de etanol de milho sobre o total na produção de etanol no estado passou de 3,35% para 75,24%, tornando o estado um dos maiores produtores nacionais dentre os estados produtores de etanol de milho (conforme mostrado na Tabela 3).

Tabela 3. Produção de etanol em mil m³ e proporção percentual da produção de etanol de milho sobre o total da produção de etanol dos estados de Goiás (GO), Mato Grosso do Sul (MS), Mato Grosso (MT) e Paraná (PR)

| Safr | GO | | | MS | | | MT | | | PR | | |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | Total | Milho | % | Total | Milho | % | Total | Milho | % | Total | Milho | % |
| 13-14 | 3.872 | 0 | 0,00 | 2.234 | 0 | 0,00 | 1.104 | 37 | 3,35 | 1.500 | 0 | 0,00 |
| 14-15 | 4.200 | 0 | 0,00 | 2.507 | 0 | 0,00 | 1.169 | 85 | 7,26 | 1.633 | 0 | 0,00 |
| 15-16 | 4.671 | 10 | 0,22 | 2.777 | 0 | 0,00 | 1.325 | 131 | 9,89 | 1.571 | 0 | 0,00 |
| 16-17 | 4.368 | 81 | 1,85 | 2.708 | 0 | 0,00 | 1.220 | 153 | 12,57 | 1.352 | 0 | 0,00 |
| 17-18 | 4.604 | 127 | 2,77 | 2.631 | 0 | 0,00 | 1.500 | 392 | 26,11 | 1.269 | 2 | 0,19 |
| 18-19 | 4.871 | 191 | 3,92 | 3.275 | 0 | 0,00 | 1.805 | 591 | 32,74 | 1.616 | 10 | 0,59 |
| 19-20 | 5.518 | 352 | 6,38 | 3.330 | 0 | 0,00 | 2.446 | 1.227 | 50,15 | 1.658 | 45 | 2,71 |
| 20-21 | 5.225 | 359 | 6,87 | 2.858 | 0 | 0,00 | 3.340 | 2.202 | 65,93 | 1.261 | 20 | 1,55 |
| 21-22 | 4.952 | 412 | 8,33 | 2.483 | 0 | 0,00 | 4.101 | 3.028 | 73,84 | 1.142 | 25 | 2,23 |
| 22-23 | 5.064 | 420 | 8,29 | 3.366 | 721 | 21,43 | 4.344 | 3.269 | 75,24 | 1.091 | 22 | 2,05 |

Fonte: União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2024).

De acordo com Zilto Donadello, vice-presidente da Associação Brasileira dos Produtores de Milho (ABRAMILHO), a produção de etanol no estado elevou o preço ao produtor, pois parte da produção, que não era exportada devido a problemas logísticos, poderia ser destinada exclusivamente para a pecuária, suinocultura e agricultura local. Contudo, com a possibilidade de produzir energia renovável, os produtores ampliaram a área destinada à produção de milho. Além disso, segundo Lhais Sparvoli, diretora executiva das Indústrias de Bioenergia de Mato Grosso (Bioind), a destinação do milho para a produção de etanol agregou valor ao produto no estado. Ao invés de exportar grãos *in natura*, Mato Grosso passou a exportar óleo, farelo de milho e etanol, gerando emprego e renda na região (RD NEWS, 2023).

2.2 Estudos Correlatos

Essa distribuição de especialização na produção agrícola do milho, que expandiu as possibilidades de utilização do milho para além das questões alimentares, passou a ser uma variável importante a ser considerada na construção de usinas para a produção de etanol (Hoffmann, 2015). Nessa questão das variáveis para a construção de usinas visando à produção de etanol, o estudo de Haddad et al. (2010), que tratou as Escolhas Locacionais da Indústria de Etanol no Cinturão do Milho do Centro-Oeste dos Estados Unidos, encontrou que as empresas consideram, além do fornecimento de milho, outros fatores em seu processo de tomada de decisão. Levam-se em conta fatores relacionados ao acesso ferroviário, ao preço da terra, ao número de cabeças de gado e bezerro, à densidade populacional e à proximidade dos terminais mistos, que surgem como considerações significativas.

Nesse contexto, seguindo os fatores para a localização das usinas, Siqueira et al. (2013) buscaram identificar os determinantes de localização da agroindústria cana-

vieira em Goiás, procurando verificar quais as variáveis que condicionam os aspectos locais dessa atividade produtiva. Embora o estudo trate da agroindústria canavieira, os autores trouxeram variáveis relevantes e significativas para a presença das usinas e destilarias nos municípios goianos com produção de cana-de-açúcar, evidenciando a importância do acesso à matéria-prima agrícola, a produtividade (pois deste fator se obtém maior ou menor lucro), a alfabetização (a qualificação dos trabalhadores passa a ser importante para a maior probabilidade da presença dessas unidades) e o rendimento (onde se tem maior renda, esperam-se melhores condições de infraestrutura para hospedar uma usina e/ou destilaria).

Siqueira e Castro Junior (2013) estudaram os determinantes da localização da agroindústria canavieira nos municípios de Minas Gerais e, dentre os achados dos autores, a produtividade, o acesso aos recursos hídricos, a concentração fundiária, as áreas arrendadas, a disponibilidade de mão de obra formal e a renda mais elevada dessa mão de obra são os fatores que determinam a presença de usinas e destilarias nos municípios mineiros.

Estudos de Bargas et al. (2016) e Coleti e Oliveira (2019) indicaram que os aspectos relacionados à distribuição e à espacialização da produção agrícola de milho no Mato Grosso têm impacto nas decisões sobre onde construir usinas de etanol. Esse direcionamento, ao estabelecer uma relação estratégica entre a produção especializada e o comércio inter-regional, melhora a competitividade do produto no mercado.

Carmo e Lima (2019) buscaram identificar os determinantes da área cultivada de cana-de-açúcar no Brasil entre 1988 e 2016. Nos resultados, os autores demonstraram que as variáveis relacionadas aos volumes totais de produção, tanto do açúcar quanto do etanol, exerceram influência significativa sobre a área cultivada em todo território nacional, ao longo do período analisado.

Silva et al. (2020) corroboram ao apresentar um estudo de caso sobre a estrutura de custo e a rentabilidade da produção de etanol de milho de duas usinas flex do Centro-Oeste. Os resultados apontaram que a estrutura de custos representa um forte peso da matéria-prima, seguido por custos industriais oriundos de um processamento relativamente mais complexo do que o da conversão da cana-de-açúcar. Além disso, os autores demonstram que a margem de lucro da produção de etanol de milho em usinas flex integradas-dedicadas é sensível a mudanças nos preços de comercialização do biocombustível e da matéria-prima.

Dentro desse contexto, a pesquisa de Oliveira et al. (2022) buscou verificar se a combinação de critérios de localização permite identificar regiões mais adequadas para a construção de novas usinas *flex* e mapeá-las. Os três critérios com seus respectivos subcritérios utilizados pelos autores foram relevo (inclinação), proximidade de rodovias (proximidade de rodovia federal e proximidade de rodovia estadual) e disponibilidade de água (quantidade e qualidade da água, resiliência, e disponibilidade de água na superfície). Os autores identificaram a existência de regiões mais ade-

quadas e concluíram que o mapeamento dessas áreas potencializa o uso de recursos, evitando a instalação em áreas inapropriadas.

O estudo de Chaves et al. (2022) mensurou o Índice de Desempenho Competitivo (IDC), aplicado aos vinte maiores produtores municipais da cultura graneleira do milho no Mato Grosso, a fim de identificar o comportamento da competitividade territorial. Concluíram que a competitividade nesses municípios levou o estado ao posto de um dos maiores produtores de milho e, dentre os municípios analisados, destacou-se o município de Sorriso como o mais competitivo.

No que tange ainda a questão do modelo de regressão logística, Salam et al. (2024), na pesquisa sobre o modelo causal-efeito da alocação de fatores de entrada na produção de milho, investigaram o impacto da alocação desses fatores de entrada como estratégia para aumento de produtividade. Os autores identificaram que as variáveis que demonstraram relações positivas e estatisticamente significativas foram área de terra, mão de obra, fertilizantes de ureia, inseticidas, herbicidas e perceberam que as variáveis de aplicação de sementes e fertilizante NPK tiveram uma influência negativa, porém significativa, enquanto variáveis como experiência na produção de milho, tempo de escolaridade, idade e nível de ensino do proprietário não foram significativas do ponto de vista estatístico.

3. Metodologia

Esta pesquisa foi descritiva, documental e de abordagem quantitativa. Optou-se por analisar os 141 municípios de Mato Grosso, devido ao crescimento que o etanol proveniente da produção de milho vem apresentando no estado, com o objetivo de verificar a combinação de critérios de localização para identificar regiões mais adequadas para a construção de usinas. Com base nos dados da UNEM (2023), o estado lidera o ranking da produção do biocombustível, com 11 usinas de etanol de milho distribuídas nos municípios: Campos de Júlio, Jaciara, Lucas do Rio Verde, Nova Marilândia, Nova Mutum, Poconé, São José do Rio Claro, Sinop e Sorriso.

Utilizou-se a regressão logística no estudo, a qual, por meio da interação com diferentes variáveis, pode verificar a localização mais competitiva (Weatherspoon; Ross, 2008). Essa técnica foi empregada para analisar a probabilidade da existência de uma usina em determinado município. A regressão logística busca explicar ou prever valores de uma variável dependente categórica em função de valores conhecidos de variáveis independentes, que podem ser categóricas ou métricas. Isso possibilita tanto a classificação dos fenômenos ou indivíduos em categorias específicas quanto a estimativa da probabilidade de ocorrência de determinado evento ou de que um fenômeno venha a se enquadrar em determinada categoria (Corrar et al., 2009).

A variável dependente é a presença (1) ou ausência (0) de usina de etanol de milho em determinado município. De acordo com os estudos de Haddad et al. (2010), Siqueira et al. (2013), Hoffmann (2015), Bargas et al. (2016), Coleti e Oliveira (2019),

Silva et al. (2020), Chaves et al. (2022) e Oliveira et al. (2022), as variáveis independentes com seus respectivos efeitos marginais esperados estão relacionadas no Quadro 1.

Quadro 1. Variáveis independentes, hipótese, fonte e sinal esperado

| Variáveis independentes | Hipótese | Fonte | Sinal esperado |
|---|---|---|----------------|
| Produção de milho de cada município | Municípios com maior produção de milho atraem usinas/indústrias de produção de etanol | Censo Agropecuário do IBGE 2017 | + |
| Produtividade de milho (divisão da produção total sobre a área colhida) | Propriedades mais produtivas atraem a agroindústria processadora de milho por proporcionar custos menores | Censo Agropecuário do IBGE 2017 | + |
| Vias pavimentadas | Municípios com mais quilômetros de vias pavimentadas são mais atraentes para usinas/indústrias de produção de etanol | <i>Google Maps</i> | + |
| Produção de bovinos | Municípios com significativos números de bovinos e bezerros são mais atraentes para a instalação de usinas de biocombustíveis | Censo Agropecuário do IBGE 2017 | + |
| Produção de cana-de-açúcar | Municípios com maior produção de cana-de-açúcar atraem usinas/indústrias de produção de etanol | Censo Agropecuário do IBGE 2017 | + |
| Produtividade na produção de cana-de-açúcar | Propriedades mais produtivas atraem a agroindústria processadora de cana-de-açúcar por proporcionarem custos menores | Censo Agropecuário do IBGE 2017 | + |
| Disponibilidade de armazéns | Municípios e/ou microrregiões que dispõem de armazéns são mais atraentes para a instalação de usinas | Guia de Armazém MT | + |
| Disponibilidade de distribuidoras de combustíveis | Municípios e/ou microrregiões que dispõem de distribuidores de combustíveis são mais atraentes para a instalação de usinas | Agência Nacional de Petróleo (2024) | + |
| Relevo, proximidade de rodovias e acesso à água | Municípios com melhor relevo, proximidade com rodovias e acesso à água são mais atraentes para a instalação de usinas | Oliveira et al. (2022) | + |
| Índice de Desenvolvimento da Educação básica – IDEB | Municípios com maior nível educacional da população são mais atraentes para a localização de uma esmagadora | Censo Demográfico do IBGE 2022 | + |
| Distância do abastecimento de ferrovias | Municípios distantes do terminal podem proporcionar custos maiores com transporte | <i>Google Maps</i> | - |
| População | Municípios mais populosos tornam-se menos atraentes para a localização de uma esmagadora | Censo Demográfico do IBGE 2022 | - |
| Preço da terra | Municípios com preço da terra mais elevado são menos atraentes para a localização de uma esmagadora | Relatório de Análise de Mercado de Terras Estado de Mato Grosso/SR (MT) – RAMT 2023 | - |

Fonte: Elaborado pelos autores com base no referencial teórico (2024).

A validação do modelo de regressão dos dados observados no estudo, de acordo com Corrar et al. (2009), necessita ter um relacionamento linear e, no caso de a va-

riável dependente ser categórica, essa hipótese é violada, o que inviabiliza a probabilidade de o evento alterar-se linearmente, seja com um aumento, seja com diminuição linear, da relação função estatística. Diante dessa possibilidade, foi efetuada uma transformação logística na variável dependente para manter a forma de relacionamento linear, enquanto o relacionamento em si não é linear. Para ser possível realizar tal ação, converte-se a variável dependente em uma razão de chances e, em seguida, transforma-a em variável de base logarítmica para evitar a predição de valores menores que zero e maiores que 1 dessa variável dependente. Logo:

$$\text{Razodechance} = \frac{P(\text{evento})}{1 - P(\text{evento})} \quad (1)$$

$$\ln \frac{P(\text{evento})}{1 - P(\text{evento})} = b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki} \quad (2)$$

O logaritmo natural da razão de chances, constante no lado esquerdo da Equação (2), encontra-se do lado direito, com as variáveis independentes e os coeficientes estimados, os quais expressam mudanças no logaritmo da razão de chances. A razão de chances é obtida elevando-se a constante matemática ao expoente composto dos coeficientes estimados, conforme a Equação (3), chegando-se, dessa forma, ao objetivo final de identificar a probabilidade associada à ocorrência de determinado evento, conforme as Equações (4) e (5).

$$\ln \frac{P(\text{evento})}{1 - P(\text{evento})} = e^{b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki}} \quad (3)$$

$$P(\text{evento}) = \frac{e^{b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki}}}{1 + e^{b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki}}} \quad (4)$$

$$P(\text{evento}) = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki})}} \quad (5)$$

O método de verossimilhança, considerado uma forma de estimar os parâmetros de distribuição de probabilidades para maximizar a função verossimilhança, será o resultado da transformação logística da qual resulta a Equação (5) e que, por sua vez, resultará na Equação (6) a seguir:

$$\text{Verossimilhana}(VL) = \sum_{i=1}^n Y_i \ln(P(Y_i)) + (1 - Y_i) \ln[1 - P(Y_i)] \quad (6)$$

Na Equação (6), Y_i representa o evento e n é o número de observações.

A verossimilhança em questão está baseada na soma das probabilidades associadas com a saída real e a prevista. Segundo Field (2009), valores altos da estatística de verossimilhança indicam uma aderência pobre do modelo, pois quanto maior for esse valor, mais observações não explicadas existirão. Para testar a significância do modelo ajustado, utilizou-se o modelo da razão de verossimilhança, testando-se as hipóteses: $H_0: b_1 = b_2 = \dots = \beta_0 = 0$, ou seja, o modelo não é estatisticamente significativo, ou

H1: $b_i \neq 0$ ($i = 1, \dots, p$), ou seja, o modelo é estatisticamente significativo.

Não será possível prever a probabilidade do "sucesso" das variáveis independentes se o modelo não for significativo. A estatística testa a significância da verossimilhança (VL) do modelo apenas com a constante (Básico), ou seja, sem nenhuma variável independente $\text{logit}(Y) = b_0$, comparando-a com a VL do modelo com as variáveis independentes (Novo), na combinação linear $\text{logit}(Y_i) = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + \dots + b_pX_{pi}$ (Maroco, 2007). O teste baseia-se na Fórmula (7):

$$X^2 = 2[VL(Novo) - VL(Básico)] \text{ gl} = k_{novo} - k_{básico} \quad (7)$$

O *Log Likelihood Value*, medida de avaliação da regressão logística, que, segundo Corrar et al. (2009), avalia a capacidade do modelo em estimar a probabilidade associada à ocorrência de determinado evento. Field (2009) complementa, ao dizer que a distribuição qui-quadrado tem graus de liberdade iguais ao número de parâmetros no novo modelo menos o número de parâmetros no modelo básico, que, neste último, é sempre igual a 1 (a constante). Qualquer modelo subsequente terá um número de graus de liberdade igual ao número de previsores mais 1.

Ao tratar do grau de ajustamento do modelo, utilizou-se o Teste *Hosmer e Lemeshow*, conhecido como Teste qui-quadrado, que consiste na divisão em um número de observações, com cerca de dez classes e, em seguida, compara as frequências previstas com as observadas, permitindo observar se há diferenças significativas entre as classificações do modelo e a realidade observada. Caso haja diferenças significativas, pode-se concluir que o modelo não representa satisfatoriamente a realidade. Portanto, o objetivo é aceitar a hipótese nula de que não existem diferenças significativas entre os valores previstos e observados (Corrar et al., 2009).

Utilizou-se o Teste de *Wald* como forma de identificar quais variáveis independentes influenciam significativamente a regressão logística. Esse teste indicará se o coeficiente (b) de cada predictor é significativamente diferente de zero. Ele apresenta uma distribuição qui-quadrada e seu cálculo é dado pelo valor do coeficiente de regressão dividido pelo seu erro padrão (EP) associado, elevado ao quadrado.

$$Wald = \left(\frac{b}{EP_b}\right)^2 \quad (8)$$

$$EP = \frac{1}{\sqrt{(nP(evento))(1 - P(evento))}} \quad (9)$$

Para contornar a questão de que o teste estatístico seja válido somente para amostras de grandes dimensões, além das probabilidades de erro tipo I e II na regressão logística de Wald, que afetam os testes t, a fim de evitar o inflacionamento do erro padrão mencionado na Equação (9) e que levaria à não rejeição de H_0 , é sugerido por Corrar et al. (2009) que seja realizado o cálculo do valor de verossimilhança (*Like-*

likelihood Value) com a variável à qual se refere o coeficiente sob análise e, posteriormente, que seja renovado esse procedimento sem essa variável. Ao comparar os dois valores, será possível verificar se o coeficiente em apreço exerce impactos significativos sobre as probabilidades.

Desta forma, além da estatística de *Wald*, será apresentado o intervalo de confiança para verificar se o coeficiente é realmente significativamente diferente de zero. Como na regressão logística não é possível calcular o R^2 , uma vez que a variância da variável dependente será condicionada à probabilidade em que ocorrem seus valores, torna-se comum utilizar o que se convencionou chamar de pseudo- R^2 , que irá apenas permitir avaliar se o modelo melhora ou não a qualidade das previsões, quando comparado a outro que ignora as variáveis independentes. Dentre os pseudos- R^2 , têm-se o *Cox e Snell* e o *Nagelkerke*.

$$R_{cs}^2 = 1 - e^{\left[\frac{2}{n}(VL((novo)VL(Bsico)))\right]} \quad (10)$$

$$R_N^2 = \frac{R_{CS}^2}{1 - e^{\frac{2VL(Bsico)}{n}}} \quad (11)$$

Foram realizados os testes de Multicolinearidade por meio da análise das estatísticas de Tolerância, FIV (*Fator de Inflação de Variância*), Autovalor e Índice de Condição. O software utilizado para os cálculos da regressão logística foi o *Statistical Package for Social Sciences*, versão 20.0 (SPSS).

4. Resultados e Discussão

Dos 141 municípios existentes em Mato Grosso, 132 não hospedam unidades produtoras de etanol de milho, enquanto os outros 9 municípios as possuem. De acordo com a análise de regressão logística, todos os municípios seriam inicialmente classificados como não hospedando unidades produtivas de etanol de milho, resultando em uma taxa de acerto de 93,6%. As variáveis no modelo, considerando apenas a constante, apresentaram um *p*-valor igual a 0,000, levando à rejeição da hipótese de que a variável constante (*bo*) seja igual a zero. O teste da razão VL entre o modelo nulo e os modelos em cada um dos passos, bloco e modelo final (conforme mostrado na Tabela 4), revela um *p*-valor de 0,001. Isso indica que há pelo menos uma variável independente no modelo com poder preditivo sobre a variável dependente, considerando que as variáveis independentes foram inseridas simultaneamente.

O valor de $-2LV$ ($-2 \text{ Log Likelihood}$) foi de 27,767 e os valores dos pseudos- R^2 de *Cox e Snell* e de *Nagelkerke* foram 0,243 e 0,642, respectivamente, indicando que a inclusão das variáveis independentes melhora a qualidade do modelo. Considerando o *Nagelkerke*, o modelo é capaz de explicar 64,2% das variações registradas na variável dependente. Apesar de pequeno, o valor do qui-quadrado do teste de *Hosmer e Lemeshow* foi igual a 1,491, com um *p*-valor de 0,993, não significativo. Isso sugere

que não há diferenças significativas entre os valores previstos e observados. Portanto, o modelo pode ser utilizado para estimar a probabilidade de uma determinada unidade produtiva de etanol de milho se localizar em determinadas cidades, com base nas variáveis independentes.

Tabela 4. Teste Omnibus dos coeficientes do Modelo

| | Qui-quadrado | DF | Sig. |
|--------|--------------|----|-------|
| Passo | 39,174 | 13 | 0,000 |
| Blook | 39,174 | 13 | 0,000 |
| Modelo | 39,174 | 13 | 0,000 |

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Em seguida, as unidades produtivas foram classificadas nos municípios mato-grossenses com base nas variáveis independentes, conforme apresentado na Tabela 5. O percentual de acerto nas classificações aumentou de 93,6%, sem a inclusão das variáveis independentes, para 97,2% quando essas variáveis foram consideradas. Esse melhor desempenho acontece porque o nível de acerto do modelo para unidades produtivas hospedadas nos municípios passou de zero para 55,6%. Pode-se afirmar, estatisticamente, que é vantajoso incluir as variáveis independentes no modelo.

Tabela 5. Tabela de classificação com as variáveis independentes

| Observado | | Predito | | Porcentagem (%) |
|---|----------------|---|-----------|-----------------|
| | | Localização das unidades produtivas de etanol | | |
| | | Ausentes | Presentes | |
| Localização das unidades produtivas de etanol | Ausentes 0,00 | 132 | 0 | 100,0 |
| | Presentes 1,00 | 4 | 5 | 55,6 |
| Porcentagem total | | | | 97,2 |

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

No que diz respeito às variáveis independentes na equação, apenas disponibilidade de vias pavimentadas, preço da terra, relevo, proximidade de rodovias e acesso à água foram consideradas significativas, de acordo com o Teste de Wald. Ou seja, essas variáveis exerceram efeito sobre a probabilidade de uma unidade produtiva se localizar em um determinado município, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6. Variáveis independentes na equação em que a variável dependente indica a presença ou ausência de usinas nos municípios

| | B | S.E. | Wald | df | Sig. |
|--|--------|-------|-------|----|-------|
| Produção de milho | 0,000 | 0,000 | 0,037 | 1 | 0,848 |
| Produtividade na produção de milho | -0,074 | 0,420 | 0,031 | 1 | 0,860 |
| Distância abastecimento de ferrovias | -0,002 | 0,003 | 0,402 | 1 | 0,526 |
| Vias pavimentadas | -0,054 | 0,026 | 4,329 | 1 | 0,037 |
| Produção de bovinos | 0,000 | 0,000 | 0,919 | 1 | 0,338 |
| Produção de cana-de-açúcar | 0,000 | 0,000 | 0,074 | 1 | 0,786 |
| Produtividade na produção de cana-de-açúcar | -0,005 | 0,038 | 0,017 | 1 | 0,897 |
| Disponibilidade de armazéns | 0,663 | 1,443 | 0,211 | 1 | 0,646 |
| Disponibilidade de distribuidoras de combustíveis | -0,566 | 1,742 | 0,105 | 1 | 0,745 |
| Relevo, proximidade de rodovias e de acesso à água | 3,746 | 2,025 | 3,423 | 1 | 0,064 |
| População | 0,000 | 0,000 | 0,184 | 1 | 0,668 |
| Educação | -0,757 | 0,511 | 2,198 | 1 | 0,138 |
| Preço da terra | 0,000 | 0,000 | 4,382 | 1 | 0,036 |
| Constant | -6,280 | 5,210 | 1,453 | 1 | 0,228 |

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Na sequência, foi calculado o modelo probabilístico para a presença de unidades produtoras de etanol de milho nos municípios mato-grossenses por meio da seguinte equação:

$$p(Evento) = \frac{1}{1 + e^{-(6,280 - 0,054 \text{vias}_p \text{avimentada} + 3,46 \text{rodovias}_r \text{relevo}_g \text{gua} + 0,000 \text{preo da terra})}} \quad (12)$$

A variação percentual é calculada ao tomar o antilogaritmo do j-ésimo coeficiente de inclinação (antilog -0,054, por exemplo), subtraindo 1 e multiplicando o resultado por 100. Esse processo gera a variação percentual na razão de chance devido ao aumento de uma unidade no j-ésimo regressor (Gujarati, 2000).

A disponibilidade de vias pavimentadas teve um efeito negativo inesperado de 5,26%, diferindo das conclusões de Haddad et al. (2010), que indicavam que as empresas consideram fatores como o acesso ferroviário e a proximidade dos terminais mistos em seu processo de tomada de decisão. Entretanto, a variável relevo, proximidade de rodovia e de acesso à água teve um efeito positivo e significativo de 4.135%, concordando com o trabalho de Oliveira et al. (2022), assim, o acesso a rodovias só é importante quando vinculado a uma região adequada para a produção de milho considerando o relevo e o acesso à água. Tal resultado também corrobora a pesquisa de Siqueira e Castro Junior (2013) a qual diz que a produtividade e o acesso aos recursos hídricos foram fatores que determinaram a presença de usinas e destilarias nos municípios mineiros.

O preço da terra também foi uma variável significativa, conforme observado no trabalho de Haddad et al. (2010), mas seu efeito foi praticamente nulo. O preço da terra, portanto, é importante, mas existem outros custos, conforme apontado por

Silva et al. (2020), que também influenciam as escolhas de localização das unidades produtivas de etanol.

Quanto à produção e produtividade de milho e à produção e produtividade de cana-de-açúcar, não houve significância estatística. Ao contrário das unidades produtivas de cana-de-açúcar, que demandam distâncias não superiores a 50 km do processamento de cana para não inviabilizar economicamente essa atividade, devido aos altos custos de transporte e de elevada especificidade temporal, pois a cana colhida precisa ser esmagada rapidamente sob pena de perder qualidade (Siqueira et al., 2013; Neves; Waack; Marino, 1998), no caso do milho, não existe essa necessidade.

Entretanto, a produção agrícola de milho e cana-de-açúcar é importante para a localização das processadoras no estado. Carmo e Lima (2019) demonstraram que os volumes totais de produção, tanto do açúcar quanto do etanol, exerceram influência significativa sobre a área cultivada em todo território nacional, ao longo do período analisado.

População, educação, distância do abastecimento de ferrovias e produção de bovinos não apresentaram nenhuma relação significativa, ao contrário dos estudos de Haddad et al. (2010) e corroborado pelo estudo de Salam et al. (2024), que demonstrou que as variáveis tempo de escolaridade, idade e nível de ensino do proprietário não foram significativas do ponto de vista estatístico.

Com relação às variáveis disponibilidade de armazéns e disponibilidade de distribuidoras de combustíveis, apesar de não se apresentarem significâncias no modelo econométrico, foi elaborada uma análise com cruzamento entre a presença de usinas nos municípios com a disponibilidade de armazéns, disponibilidade de distribuidoras e características do relevo, proximidade de rodovias e acesso à água, conforme observado os resultados na Tabela 7.

Tabela 7. Cruzamento entre a localização das unidades produtivas de etanol de milho e a presença de armazéns, distribuidoras, relevo adequado, proximidade de rodovias e acesso à água nos municípios de Mato Grosso

| Presença de armazéns nos municípios | | | | Total |
|---|-------|--------|--------|-------|
| | | 0,00 | 1,00 | |
| Local unid. prod. | Valor | 2 | 7 | 9 |
| | % | 22,22% | 77,78% | 100% |
| Distribuidora de combustíveis | | | | |
| Local unid. prod. | Valor | 4 | 5 | 9 |
| | % | 44,44% | 55,56% | 100% |
| Relevo, proximidade de rodovias e acesso à água | | | | |
| Local unid. prod. | Valor | 3 | 6 | 9 |
| | % | 33,33% | 66,67% | 100% |

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Tabela 7 mostra que, dos 9 municípios que hospedam unidades produtivas de etanol de milho, 77,78% também possuem armazéns para milho, 55,56% abrigam distribuidoras de combustíveis e 66,67% estão localizados em regiões que, de acordo com o estudo de Oliveira et al. (2022), são mais adequadas para a instalação dessas unidades, considerando o relevo, a proximidade com rodovias e o acesso à água.

A mesma análise foi realizada considerando a microrregião geográfica do estado de Mato Grosso (Tabela 8). Observou-se que todas as unidades produtivas de etanol de milho estão localizadas em microrregiões que abrigam armazéns. Em outras palavras, conforme indicado na Tabela 7, pode-se concluir que não há armazéns apenas em dois municípios mato-grossenses. No entanto, é importante notar que há armazéns em cidades vizinhas pertencentes à mesma microrregião.

Tabela 8. Cruzamento entre a localização das unidades produtivas de etanol de milho e a presença de armazéns, distribuidoras, relevo adequado, proximidade de rodovias e acesso à água nas microrregiões de Mato Grosso

| Presença de armazéns nos municípios | | 0,00 | 1,00 | Total |
|---|-------|--------|--------|-------|
| Local unid. prod. | Valor | 0,00 | 7 | 7 |
| | % | 0,00% | 100% | 100% |
| Distribuidora de combustíveis | | | | |
| Local unid. prod. | Valor | 1 | 6 | 7 |
| | % | 14,29% | 55,71% | 100% |
| Relevo, proximidade de rodovias e acesso à água | | | | |
| Local unid. prod. | Valor | 1 | 6 | 7 |
| | % | 14,29% | 85,71% | 100% |

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Esses resultados corroboram as pesquisas de Bargas et al. (2016) e Coleti e Oliveira (2019), que indicaram que os aspectos relacionados à distribuição e espacialização da produção agrícola de milho no Mato Grosso têm impacto nas decisões sobre onde construir usinas de etanol. Isso é feito com o objetivo de aumentar a competitividade do produto no mercado e estabelecer uma relação entre a produção especializada e o comércio inter-regional.

Quanto aos testes de multicolinearidade, foi observado que os valores de tolerância foram bem acima de 0,1 para todas as variáveis e o valor de FIV foi menor do que 10 (Tabela 9). De acordo com Field (2009), um valor de tolerância menor do que 0,1 e um valor FIV maior do que 10 são resultados que indicam multicolinearidade, o que não foi observado neste trabalho.

Tabela 9. Testes de multicolinearidade das variáveis independentes na equação

| Variáveis | Estatísticas de Colinearidade | |
|--|-------------------------------|-------|
| | Tolerância | VIF |
| Produção de milho | 0,503 | 1,987 |
| Produtividade milho por hectare | 0,662 | 1,511 |
| Distância abastecimento de ferrovias | 0,681 | 1,468 |
| Vias pavimentadas | 0,748 | 1,337 |
| Produção de bovinos | 0,641 | 1,560 |
| Produção de cana-de-açúcar | 0,628 | 1,593 |
| Produtividade na produção de cana-de-açúcar | 0,584 | 1,712 |
| Disponibilidade de armazéns | 0,615 | 1,627 |
| Disponibilidade de distribuidoras de combustíveis | 0,589 | 1,697 |
| Relevo, proximidade de rodovias e de acesso à água | 0,742 | 1,348 |
| População | 0,766 | 1,305 |
| Educação | 0,865 | 1,156 |
| Preço da terra | 0,402 | 2,489 |

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

5. Considerações Finais

Este trabalho objetivou analisar os determinantes de localização da agroindústria produtora de etanol de milho no estado do Mato Grosso, a fim de verificar a combinação de critérios de localização para identificar regiões mais adequadas para a construção de usinas de etanol de milho. Embora alguns estudos tenham sido realizados para estudar os fatores que favorecem a localização das empresas em determinados países, regiões ou municípios, poucos se voltaram especificamente para unidades produtoras de etanol de milho em regiões brasileiras e, em especial, em novas regiões de expansão dessa atividade, como no Mato Grosso.

Neste estudo, buscou-se identificar elementos que poderiam influenciar a localização das unidades produtivas de etanol de milho nesse estado, e foi possível confirmar que quanto maior o acesso a um relevo adequado, às rodovias e à água, maior é a probabilidade da presença de alguma usina de etanol de milho. O acesso às vias pavimentadas também foi significativo, mas o fato de ter dado um valor negativo mostra que, além de uma boa infraestrutura de transporte, ela só é relevante quando considerada junto com outros aspectos relevantes para a produção de milho.

O preço da terra, apesar de significativo, teve relevância praticamente nula, porque devem-se considerar outras variáveis no custo de produção, já que os custos industriais de processamento de milho são relativamente mais complexos do que os da conversão da cana-de-açúcar.

A produção e a produtividade agrícola de milho não se mostraram significativas. A distância entre a produção agrícola de milho e as processadoras não inviabiliza economicamente a atividade, ao contrário do que acontece com a cana-de-açúcar. Assim,

apesar de os aspectos vinculados à distribuição e à espacialização da produção agrícola de milho mato-grossense influenciarem a decisão sobre a localização de usinas de etanol, não há necessidade de que essas usinas estejam muito próximas às plantações de milho.

De fato, a produtividade agrícola da região central do Brasil tem aumentado consideravelmente devido ao desenvolvimento de novas tecnologias na produção agrícola de milho. Essas regiões encontram-se mais distantes dos principais mercados consumidores nacionais e dos portos, onde o escoamento do etanol para outras regiões do País seria mais fácil. Diante desse contexto, conclui-se que a produção e a produtividade acabam sendo fatores relevantes nessas regiões para atrair o investimento da agroindústria processadora do milho. Além disso, o uso do etanol na região também é significativo, o que corrobora o estudo de Oliveira et al. (2022), o qual aponta que os aspectos relacionados à distribuição e à espacialização da produção agrícola de milho no Mato Grosso impactam na decisão sobre onde construir usinas de etanol, visando aumentar a competitividade desse produto, vital para a sobrevivência no mercado.

Entre os principais resultados, observa-se uma correlação significativa: sete municípios com usinas localizadas possuem armazéns. Desses, seis estão situados em microrregiões com condições favoráveis, como acesso a distribuidoras de combustíveis, relevo adequado, proximidade de rodovias e fácil acesso a fontes de água. Esse conjunto de fatores estratégicos contribui para otimizar a logística e aumentar a competitividade das usinas no mercado de etanol.

Ademais, dos nove municípios que hospedam unidades produtivas de etanol de milho, 77,78% também possuem armazéns para esse produto, 55,56% possuem distribuidoras de combustíveis e 66,67% estão localizados em regiões consideradas mais adequadas para a instalação dessas unidades. Esse fato revela a necessidade de identificar a existência de regiões mais atraentes para potencializar o uso de recursos escassos e consequente operacionalização da empresa.

Ao considerar a produção de milho no estado de Mato Grosso, que foi o maior produtor do Brasil em 2022, com uma produção de 38 milhões de toneladas, representando 35,03% da produção nacional, observa-se um grande potencial para o setor de etanol de milho. Com projeções indicando que, até 2030, o etanol de milho deverá representar 20% do mercado de biocombustíveis no Brasil, o estado se posiciona estrategicamente para liderar esse crescimento. No entanto, é fundamental a implementação de políticas públicas que incentivem a expansão e a modernização das usinas de etanol de milho, além da promoção da infraestrutura necessária para o escoamento da produção.

Entre as políticas públicas necessárias, especialmente em Mato Grosso, destacam-se os investimentos em rodovias e ferrovias, para garantir o escoamento eficiente do milho, particularmente nas regiões mais distantes dos grandes centros consumidores. Dados do estudo apontam que apenas 33,74% das rodovias no estado são pavimentadas.

das. Além disso, é necessário oferecer incentivos financeiros para a ampliação de silos e armazéns, a fim de garantir a armazenagem adequada do milho e o fornecimento contínuo de matéria-prima para as usinas de etanol.

Isto posto, neste artigo foram destacadas as variáveis que estão determinando a presença de usinas nos municípios mato-grossenses, sem análise dos seus impactos positivos e negativos. Destarte, sugere-se que novos estudos sejam realizados para descobrir, por exemplo, os impactos econômicos, sociais e ambientais da presença dessas unidades produtoras de etanol de milho. Isso possibilitará, por exemplo, orientar políticas públicas que sejam eficientes para potencializar os aspectos positivos e mitigar os aspectos negativos da presença de uma atividade produtiva em determinado local.

Referências

- Aguilar, F. X. (2007). *Factors influencing the spatial distribution of natural resource based industries: the softwood lumber industry in the United States South*. Tese de Doutorado, Dissertation the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agri. and Mechanical College, Louisiana.
- Artuzo, F. D., Foguesatto, C. R., Machado, J. A. D., Oliveira, L., e Souza, A. R. L. (2019). O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 12(2):515–540.
- Association, R. R. F. (2022). Ethanol industry outlook. <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>. Acesso em: 09 jan. 2024.
- Bargos, F. F., Lamas, W. Q., Bargos, D. C., Bernardino, M., N., e Pardal, P. C. P. M. (2016). Location problem method applied to sugar and ethanol mills location optimization. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 65:274–282.
- Carmo, C. R. S. e Lima, A. D. (2019). Determinantes da área cultivada de cana-de-açúcar no Brasil de 1988 a 2016. *RAGC*, 7(31):137–146.
- Chaves, T. G., Maso, A. B. D., Figueiredo, A. M. R., e Dallemole, D. (2022). Desafio online. *Desafio Online*, 10(2):337–360.
- Coleti, J. C. e Oliveira, A. L. R. (2019). A intermodalidade no transporte de etanol brasileiro: aplicação de um modelo de equilíbrio parcial. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57(1):127–144.
- Corrar, L. J., Paulo, E., e Dias Filho, J. M. (2009). *Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia*. FIEPECAFI. São Paulo: Atlas.
- da Indústria de Cana-de Açúcar, U. U. (2024). UnicaData. <http://www.unica.com.br>. Acesso em: 27 fev. 2024.

- Dantas, F. (2023). Milho invade as indústrias de produção de etanol. *Revista Campo*, 337. https://sistemafaeg.com.br/storage/arquivos/REVISTA-CAMPO_SETEMBRO-2023_PARA-SITE.pdf. Acesso em: 10 fev. 2024.
- de Abastecimento, C. C. N. (2024). Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 11, n. 4, 2024. <http://www.conab.gov.br>. Brasília: CONAB, 2024. Mensal. Acesso em: 10 jan. 2024.
- de Desenvolvimento Econômico e Social, B. B. N. (1997). Algodão: crise e retomada. file:///C:/Users/mrzuc/Downloads/BS%2005_final%20A.pdf. Brasília, out. 1997. 5 p. Informe Setorial, 11. Acesso em: 10 jan. 2024.
- de Estado de Desenvolvimento Econômico, S. S. (2024). Mato grosso está entre os estados com maior projeção de crescimento do idh. <https://www.sedec.mt.gov.br/-/23328602-mato-grosso-esta-entre-os-estados-com-maior-projecao-de-crescimento-do-idh>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- de Estado de Infraestrutura e Logística, S. S. (2020). Sistema rodoviário estadual mato grosso. <https://www.sinfra.mt.gov.br/documents/363190/14790439/SRE++03-07-2020.pdf/ec98d6c1-5b3a-1cfd-81f4-6bad999bef11>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- de Geografia e Estatística, I. I. B. (2017). Censo agro 2017. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- de Geografia e Estatística, I. I. B. (2022). Censo demográfico 2022. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- do Etanol de Milho, U. U. N. (2023). Cenários e perspectivas para etanol de milho. <https://www.sedec.mt.gov.br/-/23328602-mato-grosso-esta-entre-os-estados-com-maior-projecao-de-crescimento-do-idh>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- do Petróleo, A. A. N. (2024). Distribuidoras de combustíveis. https://cdp.anp.gov.br/ords/r/cdp_apex/consulta-dados-publicos-cdp/principalclear=34&session=7564127957215&cs=3F7gLKPLvJ_pdSBqMFr3UtnfdpYQ_lhjkwkfRvnmYilBCC9Az4ZylQrRLIwwOYfkdH_hjFkyZe4DAdW_7le_LQA. Acesso em: 10 jan. 2024.
- Field, A. (2009). *Descobrimo a estatística utilizando o SPSS*. Artmed, São Paulo, 2 edition.
- Fujita, M. (1989). *Urban economic theory: Land use and city size*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gujarati, D. N. (2000). *Econometria básica*. Makron Books, São Paulo.

- Haddad, M. A., Taylor, G., e Owusu, F. (2010). Locational choices of the ethanol industry in the midwest corn belt. *Economic Development Quarterly*, 24:74. Originally published online 14 October 2009.
- Henrique, A. e Cherubin, N. (2020). Etanol de milho avança no brasil. <https://bit.ly/3d0vUXd>. Reportagem da RPA News, 04 mar. 2020. Acesso em: 10 fev. 2024.
- Hoffmann, R. (2015). Segurança alimentar e produção de etanol no brasil. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 13(2):1–5.
- Krugman, P. (1991). Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99:483–99.
- Maroco, J. (2007). *Análise estatística – com utilização do SPSS*. Silabo, Lisboa.
- Moraes, M. L. e Bacchi, M. R. P. (2014). Etanol: do início às fases atuais de produção. *Revista de Política Agrícola*, 23(4):9–22.
- Neves, M. F. (2021). *Etanol de milho: cenário atual e perspectivas para a cadeia no Brasil*. UNEM, Ribeirão Preto, SP, 1 edition. E-book.
- News, R. (2023). Milho de mt é protagonista na virada de chave da produção de etanol de milho. <https://www.rdnews.com.br/economia/conteudos/173709>. Portal de notícias de Mato Grosso, domingo, 26 de março de 2023. Acesso em: 28 fev. 2024.
- Oliveira, C. A., Oliveira, A. L. R., e Souza, M. F. (2022). Determining regions for installing flex-biomass sugar-ethanol plants: a multicriteria approach for location. *Gestão & Produção*, 29:e1322.
- Salam, M., Rukka, R. M., Samma, M. A. K., Tenriawaru, R., Muslim, A. I., Ali, H. N. B., e Ridwan, M. (2024). The causal-effect model of input factor allocation on maize production: Using binary logistic regression in search for ways to be more productive. *Journal of Agriculture and Food Research*.
- Silva, H. J. T., Santos, P. F. A., Nogueira Junior, E. C., e Vian, C. E. d. F. (2020). Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no brasil. *Revista de Política Agrícola*, 29(4):142–159.
- Siqueira, P. H. L., Calegario, C. L. L., Castro Júnior, L. G., e Shikida, P. F. A. (2013). A evolução da governança corporativa no brasil: o papel das instituições financeiras. *Revista Economia & Gestão*, 13(33):159–173.
- Siqueira, P. H. L. e Castro Junior, L. G. (2013). Determinantes da localização da agroindústria canavieira nos municípios de minas gerais. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, 51:309–330.
- Solomon, B. D., Barnes, J. R., e Halvorsen, K. E. (2007). Grain and cellulosic ethanol: history, economics, and energy policy. *Biomass and Bioenergy*, 31:416–425.

- Thünen, J. H. V. (1966). *The Isolated State*. Pergamon Press, New York. Edição original de 1826.
- Venables, A. J. (1996). Equilibrium locations of vertically linked industries. *International Economic Review*, 37(2):341–359.
- Weatherspoon, D. e Ross, A. (2008). Designing the last mile of the supply chain in africa: firm expansion and managerial inferences from a grocer model of location decisions. *International Food and Agribusiness Management Review*, 11(1):1–16.
- Weber, M. (1929). *Theory of the Location of Industries*. University of Chicago Press, Chicago.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de apoio financeiro e de bolsas de fomento, por meio de editais de pesquisa.

 Este artigo está licenciado com uma *CC BY 4.0 license*.