



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia de Energia

**VIABILIDADE SOCIOECONÔMICA DA
IMPLANTAÇÃO DE USINAS DE ETANOL A
PARTIR DO MILHO NO OESTE DA BAHIA**

Autora: Camila Freitas de Melo

Orientadora: Dr^a. Patrícia Regina Sobral Braga

Brasília, DF

2024



Camila Freitas de Melo

VIABILIDADE SOCIOECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE USINAS DE ETANOL A PARTIR DO MILHO NO OESTE DA BAHIA

Relatório submetido ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Dr^a. Patrícia Regina Sobral Braga

Brasília, DF

2024

VIABILIDADE SOCIOECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE USINAS DE ETANOL A PARTIR DO MILHO NO OESTE DA BAHIA

Camila Freitas de Melo

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de *Engenharia de Energia* da *Universidade de Brasília*,
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Energia.

Aprovado em: 20 de Setembro de 2024

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
PATRICIA REGINA SOBRAL BRAGA
Data: 20/10/2024 18:24:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Patrícia Regina Sobral Braga

Universidade de Brasília

(Orientadora)



Documento assinado digitalmente
MARIA DEL PILAR HIDALGO FALLA
Data: 21/10/2024 16:51:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Maria Del Pilar Hidalgo Falla

Universidade de Brasília

(Membro Convidado)

Profa. Juliana Petrocchi Rodrigues

Universidade de Brasília

(Membro Convidado)

Agradecimentos

A todos que me ajudaram, incentivaram e contribuíram no meu período de graduação. Aos meus familiares, por razões que superam o emprego de palavras. Aos meus colegas de faculdade, pela companhia, amizade e parceria. Aos meus professores, pelo apoio, ensinamentos e por acreditarem no meu potencial. Ademais, a todos da universidade e no estágio que de alguma forma contribuíram.

Resumo

Este trabalho investiga a viabilidade da implantação de uma usina de etanol a partir do milho na região do Oeste da Bahia, uma área que se destaca pelo potencial agrícola e agroindustrial. A relevância do etanol como biocombustível sustentável no cenário de transição energética global é central para a análise. O estudo examinou os principais fatores que influenciam a viabilidade econômica e operacional de usina de etanol de milho, incluindo disponibilidade de matéria-prima, infraestrutura logística, condições climáticas e incentivos governamentais. A metodologia utilizada nesse trabalho consistiu em uma abordagem multifacetada, envolvendo pesquisa bibliográfica, coleta de dados primários e análise de informações relevantes. A análise abrangeu a avaliação de impactos econômicos, sociais e ambientais, além de comparar a produção de etanol a partir do milho com outras matérias-primas, como a cana-de-açúcar. A partir do lucro mensal obtido, pode-se calcular o Payback anual encontrando o resultado de 1 ano e 11 meses de retorno. Conclui-se que, sob as condições analisadas, a implantação de usina de etanol a partir do milho na região pode ser viável, gerando benefícios significativos em termos de desenvolvimento regional, segurança energética e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Usina de etanol, milho, payback, análise econômica.

Abstract

This study investigates the feasibility of establishing a corn-based ethanol plant in the Western region of Bahia, an area notable for its agricultural and agro-industrial potential. The relevance of ethanol as a sustainable biofuel in the global energy transition scenario is central to the analysis. The study examined the main factors influencing the economic and operational feasibility of a corn ethanol plant, including the availability of raw materials, logistical infrastructure, climatic conditions, and government incentives. The methodology used in this work consisted of a multifaceted approach, involving bibliographic research, primary data collection, and analysis of relevant information. The analysis covered the evaluation of economic, social, and environmental impacts, in addition to comparing corn ethanol production with other raw materials, such as sugarcane. Based on the monthly profit obtained, the annual Payback can be calculated, resulting in a return of 1 year and 11 months. It is concluded that, under the analyzed conditions, the implementation of a corn ethanol plant in the region can be viable, generating significant benefits in terms of regional development, energy security, and reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords: Ethanol plant, corn, payback, economic analysis.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Justificativa	1
1.3	Objetivo Geral	2
1.4	Objetivo Específico	2
2	REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1	A produção de etanol no Brasil	3
2.1.1	Cenário etanol brasileiro	3
2.1.2	A história do etanol	4
2.1.3	O papel da indústria automobilística na produção do etanol	5
2.1.4	Biocombustível do futuro	5
2.2	Panorama do milho	6
2.2.1	Cultura do milho no mundo	7
2.2.2	Cultura do milho no Brasil	8
2.2.3	Produção alimentícia x Produção de energia	10
2.3	Panorama do etanol	12
2.3.1	Características do etanol	13
2.3.2	Tipos de etanol combustível	13
2.3.3	A matéria-prima	14
2.3.4	Rotas tecnológicas para a produção do etanol	16
2.3.5	Produção do etanol a partir da cana-de-açúcar	17
2.3.6	Produção do etanol a partir do milho	18
2.3.7	A distribuição de etanol no Brasil	21
2.3.8	Renovabio	24
2.4	Panorama de uma usina de etanol	26
2.4.1	A usina e os locais de produção de etanol	26
2.4.2	Tecnologias existentes	27
2.4.3	Usina de etanol a base de milho	28
2.4.4	Usina full e flex: produção multifacetada	29
2.5	Panorama socioeconômico Oeste da Bahia	31
2.5.1	Cultivo de milho na região	32
2.5.2	Microclima	33

2.5.3	Logística da região	34
2.5.4	Energia	35
2.5.5	Água	36
2.5.6	Recursos humanos	37
2.5.7	Economia	38
2.5.8	Armazenamento	38
2.5.9	Mercado	39
2.5.10	Polos industriais	40
2.6	Fatores necessários e desafios para implementar uma usina de etanol	42
2.7	Indicadores para uma análise econômica	44
3	METODOLOGIA	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Análise econômica	51
4.2	Atendimento aos subcritérios	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS	59

Lista de Figuras

Figura 1 – Foto meramente ilustrativa da cultura do milho	6
Figura 2 – Produção de milho de terceira temporada, safra 2022/23.	10
Figura 3 – Produtividade do etanol associado a diferentes matérias-primas.	15
Figura 4 – Composição do bagaço da cana-de-açúcar.	16
Figura 5 – Rotas tecnológicas para a produção do etanol.	17
Figura 6 – Fluxograma da produção de açúcar e etanol de cana.	18
Figura 7 – Fluxograma de produção etanol de milho.	20
Figura 8 – Mapa das ferrovias Brasileiras.	21
Figura 9 – Mapa Geral Dutos TRANSPETRO 2020.	22
Figura 10 – Mapa de unidades Raízen (destacado a região centro-oeste), 2024.	23
Figura 11 – Mapa alcooldutos (em tracejados projetos de expansão).	24
Figura 12 – Distribuição das usinas produtoras de etanol no território nacional.	27
Figura 13 – Esquema de compartilhamento e sinergia em uma usina flex full.	30
Figura 14 – Localização da Região Oeste do estado da Bahia (Brasil)	31
Figura 15 – Dados da Safra 2023/24 Região Oeste do estado da Bahia (Brasil).	32
Figura 16 – Tipos climáticos da Bacia do Rio São Francisco, destacado a região do Oeste da Bahia.	33
Figura 17 – Principais rodovias Oeste da Bahia.	35
Figura 18 – Painel Dinâmico da Tancagem do Abastecimento Nacional de Combustíveis, destacado o armazenamento de Luís Eduardo Magalhães, BA.	39
Figura 19 – Comparação da moagem da cana e do milho em tonelada na Usina Neomille.	41
Figura 20 – Comparação da produção de etanol hidratado proveniente da cana e do milho em mil m ³ na Usina Neomille.	41
Figura 21 – Ponto de Equilíbrio Operacional e Financeiro.	46
Figura 22 – Indicadores econômico-financeiros da indústria sucroalcooleira, valores do significado de uma tonelada de cana-de-açúcar em reais das indústrias brasileiras.	47
Figura 23 – Quadro comparativo de investimentos iniciais e payback em usinas.	54

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Produção de milho, em mil toneladas, no mundo, no ano de 2022/2023. (1) -Produção até Abril de 2023.	8
Tabela 2 – Produção de milho nos estados e nas regiões do Brasil.	9
Tabela 3 – Períodos de plantio (P) e colheita (C) de Milho no Brasil.	9
Tabela 4 – Demanda de milho no Brasil (milhões de toneladas)- 2018/19 a 2022/23. . .	11
Tabela 5 – Consumo animal de milho no Brasil (milhões de toneladas)- 2015/16 a 2027/18.	11
Tabela 6 – Emissão de CBIOS por biocombustíveis 2021.	25
Tabela 7 – Aposentadoria de CBIOS em 2021.	26
Tabela 8 – Vendas, pelas distribuidoras, de etanol hidratado e gasolina C (litros) no Extremo Oeste da Bahia.	40
Tabela 9 – Indicadores econômicos do milho e etanol na região Oeste da Bahia.	51
Tabela 10 – Receita da produção de subprodutos para a região Oeste da Bahia	52
Tabela 11 – Resultado receita da produção de etanol e subprodutos.	52
Tabela 12 – Lucro mensal da usina de etanol e subprodutos.	53
Tabela 13 – Subcritério infraestrutura.	55
Tabela 14 – Subcritério insumos.	55
Tabela 15 – Subcritério econômicos	55
Tabela 16 – Resultado análise subcritérios	56

1 Introdução

1.1 Contextualização

A transição energética é uma necessidade global urgente, impulsionada pelo aumento das preocupações com as mudanças climáticas e pela busca por fontes de energia mais limpas e sustentáveis. (LOSEKANN; TAVARES, 2019)

Nesse contexto, o Brasil tem se destacado como um dos líderes mundiais na produção e uso de etanol, a partir da cana-de-açúcar, uma alternativa renovável aos combustíveis fósseis. O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), lançado na década de 1970, foi um marco na história brasileira, promovendo o uso do etanol como combustível veicular. (ANDRADE; CARVALHO; SOUZA, 2009)

A importância do crescimento das usinas de etanol neste cenário está intrinsecamente ligada à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), já que o etanol é considerado um biocombustível de baixa pegada de carbono. Além disso, o aumento da produção de etanol pode desempenhar um papel vital na diversificação da matriz energética brasileira, reduzindo a dependência do país dos combustíveis fósseis e contribuindo para um futuro mais sustentável e resiliente em termos de energia. (QUEIROZ, 2008)

Nesse contexto, esta discussão se concentra na importância do crescimento das usinas de etanol no Brasil, tanto proveniente de cana-de-açúcar como de milho, como um elemento-chave para a transição energética, considerando o impacto do Proálcool, as implicações para as emissões de GEE e o papel na evolução da matriz energética nacional.

Com o crescimento contínuo do setor de biocombustíveis e o avanço tecnológico, espera-se que esses combustíveis renováveis desempenhem um papel cada vez mais significativo na matriz energética nacional, contribuindo para uma economia mais sustentável e para a luta contra as mudanças climáticas.

1.2 Justificativa

A região do Oeste da Bahia tem se destacado como um importante polo agrícola e agroindustrial do Brasil, com um grande potencial para o desenvolvimento do setor agroenergético. Sendo assim, a implantação de uma usina de etanol a partir do milho no Oeste da Bahia apresenta-se como alternativa promissora e viável.

O fator principal que incentivou a realização desse trabalho foi ter percebido um potencial na região do Oeste da Bahia para a industrialização, tendo em vista incentivos estaduais vigentes no ano de 2024, como programa Desenvolve, e Programa de Estímulo à Indústria do Estado da Bahia (PROIND) que são de suma importância para o desenvolvimento desse setor. (SDE, 2024)

Outro fator interessante é o crescimento da quantidade de usinas no Brasil. No ano de 2024, o Brasil possui 429 usinas de etanol e açúcar, sendo 172 em São Paulo, 44 em Minas e 41 em Goiás. Em 2022, haviam 23 usinas de milho em operação, 6 unidades em construção e 8 unidades em ampliação (EPE, 2023) Esse desenvolvimento se deve principalmente aos incentivos de programas governamentais, como é o caso do Proálcool como alternativa energética. (CANA, 2024)

Dessa forma, a proposta desse trabalho foi investigar se a região do Oeste da Bahia se enquadra nessa estimativa.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi verificar se pode ser realizada a implementação de uma usina de etanol na região do Oeste da Bahia. Para se entender a viabilidade socioeconômica desse tipo de projeto, foi realizada uma análise levando em conta fatores econômicos, de infraestrutura e de insumos.

1.4 Objetivo Específico

Os objetivos específicos da pesquisa foram os seguintes:

- Verificar a disponibilidade e adequação do milho como matéria-prima para produção de etanol na região;
- Explorar o uso de subprodutos que aumentem a rentabilidade e a sustentabilidade;
- Levantar dados do panorama socioeconômico da região do Oeste da Bahia;
- Estudar a viabilidade econômica do projeto, destacando custos e oportunidades de mercado local;
- Avaliar se os dados da região atingem os fatores necessários para a implementação de uma usina de etanol.

2 Referencial Teórico

2.1 A produção de etanol no Brasil

A produção de etanol no Brasil tem raízes profundas na história do país, remontando à década de 1970, quando o governo incentivou o uso do álcool como alternativa aos combustíveis fósseis durante a crise do petróleo. A indústria automobilística desempenhou um papel crucial nesse processo, impulsionando o desenvolvimento de veículos movidos a álcool e consolidando o etanol como parte integrante da matriz energética brasileira. (CRUZ; GUERREIRO; RAIHER, 2012)

Desde o lançamento do Pró-álcool, o etanol tem ganhado destaque como um biocombustível do futuro devido à sua contribuição para a redução das emissões de GEE e à sua importância na transição para uma economia de baixo carbono. O avanço contínuo da tecnologia, incluindo a produção de etanol de segunda geração, promete expandir ainda mais o potencial do etanol como uma fonte de energia sustentável e renovável para o Brasil e o mundo. (ANP, 2022)

2.1.1 Cenário etanol brasileiro

O cenário do etanol brasileiro tem sido caracterizado por uma série de flutuações nos últimos anos, influenciadas por diversos fatores, como os preços do petróleo, a política de preços da Petrobras, a demanda interna e externa, entre outros (QUEIROZ, 2008). Internamente, o etanol tem sido cada vez mais adotado como uma alternativa ao combustível fóssil, especialmente em regiões como São Paulo e Minas Gerais, onde a mistura obrigatória de etanol na gasolina é mais elevada. No entanto, os preços crescentes do etanol têm levado muitos consumidores a optarem exclusivamente pela gasolina. (ESTEVES; BARAN; BICALHO, 2011)

No âmbito internacional, o etanol brasileiro enfrenta obstáculos para se expandir. Países como os Estados Unidos e a União Europeia impõem barreiras tarifárias e sanitárias que dificultam sua entrada no mercado global. Além disso, a pandemia de Covid-19 impactou negativamente a demanda global por etanol, afetando as exportações do Brasil. (RFA, 2023)

Em 2021, a produção total de etanol no Brasil sofreu uma queda significativa de 8,3%, totalizando 30 milhões de metros cúbicos. Essa diminuição foi marcada por um aumento de 11,6% na produção de etanol anidro e uma queda acentuada de 17,4% na produção de etanol hidratado. No período de 2012 a 2021, a produção de etanol registrou uma taxa média anual de crescimento de 2,4%. (ANP, 2024b)

A Região Sudeste, historicamente a maior produtora de etanol no Brasil, representando 50,5% da produção nacional, enfrentou uma queda significativa de 15,7% em relação a 2020. As regiões Nordeste e Sul também registraram uma tendência de redução, com quedas de 4% e 5,6%, respectivamente. Por outro lado, as regiões Centro-Oeste e Norte apresentaram aumentos de 2,1% e 9,6% em sua produção, respectivamente. (ANP, 2022)

Apesar dos desafios enfrentados, o Brasil continua a ser um dos principais produtores de etanol do mundo, com potencial para manter essa posição desde que a produção seja sustentável e competitiva em relação ao mercado global.

2.1.2 A história do etanol

A trajetória do etanol no Brasil tem suas raízes no período colonial, com a introdução da cana-de-açúcar pelos portugueses. A cana, inicialmente cultivada para a produção de açúcar, logo se tornou uma matéria-prima chave para a produção de aguardente, uma forma primitiva de álcool que ganhou popularidade em todo o país. (SILVA, 2020)

A crise do petróleo na década de 1970 marcou um ponto de virada, com o etanol emergindo como uma alternativa viável aos combustíveis fósseis. Em resposta à escassez e ao aumento dos preços do petróleo, o governo brasileiro lançou o Proálcool em 1975, estabelecendo políticas para promover o uso do etanol como combustível. (MORAES; BACCHI, 2015)

O Proálcool impulsionou o desenvolvimento da indústria sucroalcooleira no Brasil, com a implementação de incentivos fiscais e linhas de crédito para os produtores de cana-de-açúcar e usinas de processamento de álcool. Investimentos significativos foram feitos em pesquisa e desenvolvimento para a produção mais eficiente de etanol. (MORAES; BACCHI, 2015)

O Brasil é líder mundial na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, com uma infraestrutura robusta que vai desde os campos de cultivo até as unidades de produção. O etanol é misturado à gasolina em diferentes proporções, conforme regulamentado pelo Programa Nacional de Abastecimento de Combustíveis (PNAC), contribuindo para a redução da dependência do Brasil dos combustíveis fósseis e a mitigação das emissões de GEE. (MORAES; BACCHI, 2015)

No século XXI, o etanol tem desempenhado um papel cada vez mais importante na matriz energética brasileira, à medida que o país busca uma transição para uma economia mais sustentável e de baixo carbono. Continuam os investimentos em pesquisa e desenvolvimento para melhorar a eficiência da produção de etanol e explorar novas fontes de matéria-prima e formas de produção, como o etanol de segunda geração. (MORAES; BACCHI, 2015)

2.1.3 O papel da indústria automobilística na produção do etanol

A indústria automobilística teve um papel fundamental na promoção do etanol como combustível no Brasil. Durante a crise do petróleo na década de 1970, a indústria desempenhou um papel crucial na adaptação dos motores dos veículos para funcionarem com etanol. (SHIKIDA; PEROSA, 2012)

A introdução dos primeiros veículos “flex fuel” no Brasil ocorreu em 2003. Esses veículos, capazes de operar tanto com gasolina quanto com etanol, deram aos consumidores a opção de escolher o combustível mais econômico e adequado para as condições do mercado. (SHIKIDA; PEROSA, 2012)

A indústria automobilística também colaborou com o governo e os produtores de álcool para estabelecer padrões de qualidade para o etanol e desenvolver tecnologias que otimizassem o desempenho dos motores movidos a álcool. Isso resultou na melhoria da eficiência dos veículos e na criação de uma infraestrutura de abastecimento que facilitou o acesso dos consumidores ao etanol. (SHIKIDA; PEROSA, 2012)

Com o passar dos anos, a indústria automobilística continuou a investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para veículos mais eficientes e sustentáveis, incluindo modelos híbridos e elétricos. Esses avanços contribuem para a redução das emissões de GEE e para o desenvolvimento de uma matriz energética mais diversificada e ambientalmente amigável. Em suma, a indústria automobilística desempenhou um papel crucial no sucesso do etanol como uma alternativa viável e sustentável aos combustíveis fósseis no Brasil. (MORAES; BACCHI, 2015)

2.1.4 Biocombustível do futuro

O biocombustível no Brasil está ganhando cada vez mais destaque e investimentos, conforme apontado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Entre 2023 e 2032, o setor de biocombustíveis está previsto para receber um total de 62,6 bilhões de reais em investimentos. (EPE, 2023)

Esse montante considerável indica o reconhecimento do potencial dos biocombustíveis na transição energética do país. Um dos destaques desse investimento é a previsão de construção de 33 novas usinas de etanol de milho até 2032, representando um aporte financeiro de 11,6 bilhões de reais. Além disso, esses recursos também estão direcionados para projetos relacionados ao etanol de segunda geração e biodiesel, evidenciando o amplo espectro de biocombustíveis em desenvolvimento. (EPE, 2023)

Esses investimentos demonstram o compromisso do Brasil em diversificar sua matriz energética, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos ambientais associados ao uso desses recursos.

2.2 Panorama do milho

O milho, cientificamente conhecido como *Zea Mays*, é uma cultura agrícola de grande importância e versatilidade em todo o mundo. Originário da América Central e cultivado há milhares de anos, o milho desfruta de uma posição privilegiada no contexto agrícola devido às suas múltiplas aplicações. Suas características únicas o tornam uma cultura amplamente cultivada em diferentes regiões e climas, desempenhando papéis essenciais na alimentação humana, na produção de ração animal, na indústria alimentícia e na fabricação de biocombustíveis, como o etanol. (ERENSTEIN et al., 2022)

O milho é uma planta de ciclo anual que cresce melhor em solos bem drenados e com exposição direta ao sol. Suas folhas longas e estreitas estão dispostas em forma de espiral ao longo do caule, e suas flores masculinas e femininas estão localizadas em estruturas diferentes na mesma planta, facilitando o processo de polinização e a formação dos grãos, conforme mostrado na Figura 1. (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1989)

Figura 1 – Foto meramente ilustrativa da cultura do milho



Fonte: (PECUÁRIA, 2022)

Além de ser consumido diretamente como alimento humano em diversas formas, como milho verde, pipoca, fubá e farinha de milho, o milho também é uma fonte importante de ração animal, fornecendo energia e nutrientes essenciais para animais de produção, como bovinos, suínos e aves. (AZANZA; BAR-ZUR; JUVIK, 1996) Também pode ser empregado na indústria de alimentos e bebidas, como na produção de cereais matinais, salgadinhos, amidos, entre outros. (MILHO, 2023)

O milho também desempenha um papel importante na rotação de culturas e na fixação de nitrogênio no solo, contribuindo para a fertilidade do mesmo e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1989)

Outra aplicação significativa do milho é na indústria, especialmente na produção de etanol. O milho é uma das principais matérias-primas utilizadas na fabricação de etanol em diversos países, incluindo os Estados Unidos. O processo de produção de etanol a partir do milho envolve a moagem dos grãos para obter uma mistura de amido e água, seguida da fermentação desse amido por meio de leveduras para produzir álcool etílico. (USDA, 2023)

No contexto da produção de etanol, o milho vem surgindo como uma forte alternativa. Uma de suas vantagens é a capacidade de ser armazenado por um período mais longo em comparação com a cana-de-açúcar, o que permite uma conversão em etanol em momentos mais convenientes, como por exemplo na alta dos preços dos combustíveis. Além disso, o milho pode ser uma alternativa viável durante a entressafra da produção canieira, contribuindo para a estabilidade do abastecimento de etanol no mercado. (SUMIKAWA, 2019)

A safra de cana-de-açúcar na região centro-sul vai do mês de maio a novembro, apresentando baixa produtividade entre o final de novembro e início de maio, período de entressafra em que os preços do álcool sobem. Pesquisa apresenta diferentes matérias-primas para a produção do etanol, como milho, sorgo, beterraba, trigo e arroz dependendo das condições climáticas e tecnologias disponíveis, as quais podem contribuir para a manutenção desse recurso no mercado. (SUMIKAWA, 2019)

Portanto, o milho é uma cultura agrícola fundamental, conhecida por sua versatilidade, valor nutricional e ampla gama de aplicações. Sua importância na produção de biocombustíveis, como o etanol, está se tornando cada vez mais evidente, destacando seu papel crucial na economia global e na segurança alimentar.

2.2.1 Cultura do milho no mundo

A cultura do milho é uma das mais importantes em todo o mundo. É um dos cereais mais produzidos no mundo, com uma produção anual de mais de 1 bilhão de toneladas em 2022/2023. Os maiores produtores de milho do mundo são os Estados Unidos, com cerca de 35% da produção mundial, seguidos por China, Brasil, México e Argentina, conforme observado na Tabela 1. (USDA, 2023)

Tabela 1 – Produção de milho, em mil toneladas, no mundo, no ano de 2022/2023. (1) -Produção até Abril de 2023.

Produção				
País/Ano	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023 (1)
Estados Unidos	345.962	358.447	383.943	367.301
China	260.779	260.670	272.552	271.000
Brasil	102.000	87.000	116.000	126.000
União Europeia	66.742	67.140	70.499	68.250
Argentina	51.000	52.000	53.000	55.000
Ucrânia	35.887	30.297	42.126	25.000
Índia	28.766	31.647	33.000	31.500
México	26.658	27.346	27.550	27.600
África do Sul	15.844	16.951	16.300	17.300
Rússia	14.275	13.872	15.225	15.500
Selecionados	947.913	945.370	1.030.195	1.004.451
Demais	174.822	183.628	185.871	181.355
Mundo	1.122.735	1.128.998	1.216.066	1.185.806

Fonte: Adaptado de (USDA, 2023)

As condições climáticas desempenham um papel fundamental na plantação de milho, pois afetam diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade dessa cultura. O milho é uma planta que para germinação das sementes, crescimento vegetativo, floração e formação dos grãos requer uma temperatura ideal de (24 a 30) °C. É essencial monitorar e adaptar as práticas às condições climáticas locais, a fim de obter o melhor desempenho e rendimento da cultura do milho. (CRUZ et al., 2006)

2.2.2 Cultura do milho no Brasil

O milho é muito importante no Brasil, sendo uma das principais culturas agrícolas do país, junto com os cultivos de arroz, feijão, soja e trigo. O milho é cultivado em praticamente todas as regiões do Brasil, sendo que os principais estados produtores são Mato Grosso, Paraná, Goiás, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e São Paulo. (Tabela 2) (CONAB, 2023)

A cultura do milho é dividida em duas safras: a safra de inverno e a safra de verão. A safra de verão, também conhecida como safra das águas, é a principal safra do milho no país, sendo que a maior parte da produção é destinada à alimentação animal. Geralmente plantada entre agosto e dezembro e colhida entre janeiro e junho. Já safra de inverno, também conhecida

como safrinha, é uma safra de menor escala, mas que vem ganhando cada vez mais importância na produção de milho para a produção de etanol. É plantado de dezembro a maio, após a colheita da soja, e compreende a área mais extensa. (CONTINI et al., 2019)

Tabela 2 – Produção de milho nos estados e nas regiões do Brasil.

Região/ UF	Produção (Em mil t)					
	1º safra 21/22	2º safra 21/22	3º safra 21/22	1º safra 22/23	2º safra 22/23	3º safra 22/23
Norte	991,0	3.577,1	92,4	1130,9	4.166,8	92,6
RO	47,8	1.277,1	-	65,1	1.432,7	-
AC	124,6	33,6	-	126,0	49,0	-
PA	527,6	653,9	-	547,5	838,6	-
TO	267,2	1.612,5	-	375,3	1.846,5	-
Nordeste	5.732,4	2.885,1	2.119,6	6.137,9	3.106,5	2.222,3
MA	1.539,7	1.366,7	-	1.428,2	1.587,2	-
PI	2.103,6	646,5	-	2.059,4	610,1	-
BA	2.089,1	180,0	1.104,4	2.650,3	127,2	1.127,3
Centro-Oeste	2.710,0	61.500,2	-	2.523,6	67.932,2	-
MT	516,3	41.103,8	-	506,0	45.731,5	-
MS	206,8	12.253,5	-	175,7	11.062,0	-
GO	1.832,8	7.911,8	-	1.688,7	10.898,7	-
DF	154,1	231,0	-	153,2	240,0	-
Sudeste	7.550,7	4.504,2	-	6.694,0	5.165,1	-
MG	5.512,8	2.169,8	-	5.143,6	2.699,6	-
SP	1.995,5	2.334,4	-	1.501,2	2.465,5	-
Sul	8.041,9	13.425,9	-	10.754,3	14.953,5	-
PR	2.995,6	13.425,9	-	3.775,0	14.953,5	-
SC	2.145,5	-	-	2.853,4	-	-
RS	2.900,8	-	-	4.125,9	-	-
Brasil	25.026,0	85.892,4	2.211,9	27.240,7	95.323,9	2.315,0

Fonte: Adaptado de (CONAB, 2023)

Em 2019, o Brasil também estabeleceu uma safra de milho de terceira temporada, plantada apenas em alguns estados, principalmente no Nordeste do país. Devido ao clima da região, esse ciclo de cultura se assemelha ao dos Estados Unidos, com o plantio por volta de maio e a colheita em outubro, conforme Tabela 3. (USDA, 2023)

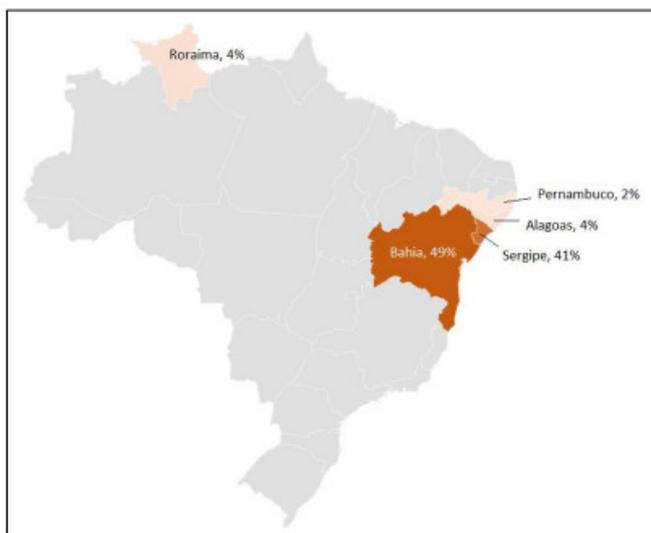
Tabela 3 – Períodos de plantio (P) e colheita (C) de Milho no Brasil.

-	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1ª Safra	C	C	C	C	C	C		P	P	P	P	P
2ª Safra "Safrinha"	P	P	P	P	P		C	C	C			P
3ª Safra					P					C		

Fonte: Adaptado (USDA, 2023)

Os estados em maior destaque na produção dessa temporada são Bahia (49%) e Sergipe (41%), como se observa na Figura 2. (USDA, 2023)

Figura 2 – Produção de milho de terceira temporada, safra 2022/23.



Fonte: (CONAB, 2023)

Além disso, o Brasil também é um importante exportador de milho, sendo que os principais destinos são países da Ásia, como Japão (16%), China (11%) e Coreia do Sul (11%), e países da América do Sul, como Colômbia (7,4%) (INDÚSTRIA, 2023). Assim, pode-se observar que o milho é uma cultura importante para a economia brasileira, gerando empregos e renda para milhares de produtores em todo o país. (USDA, 2023)

2.2.3 Produção alimentícia x Produção de energia

O milho pode ser utilizado tanto na produção alimentícia animal e humana quanto na produção de energia, dependendo da forma como é processada e utilizada. (GOLDEMBERG, 2016)

Na produção alimentícia, o milho desempenha um papel versátil, sendo utilizado como fonte de nutrientes e proteínas tanto para alimentação humana quanto animal, conforme indicado na Tabela 4. Além disso, o milho é empregado na produção de óleo e flocos de milho, ampliando ainda mais seus usos. Notavelmente, o principal propósito desse cultivo recai no consumo animal, representando aproximadamente 41% para a demanda de 2022/2023. Em contraste, o consumo direto pelo ser humano corresponde a apenas cerca de 1,5% para a mesma demanda. (MILHO, 2023)

Tabela 4 – Demanda de milho no Brasil (milhões de toneladas)- 2018/19 a 2022/23.

-	18/19	19/20	20/21	21/22	22/23
Estoque Inicial	13,4	10,5	10,7	6,7	6,7
Produção	101,3	103,2	86,3	120,0	129,1
Importação	1,6	1,5	3,1	2,6	2,3
Oferta Total	116,3	115,2	100,1	129,3	138,1
Consumo animal	48,7	50,8	52,1	53,2	54,4
Consumo industrial	7,9	10,6	12,8	14,9	17,0
Consumo humano	1,9	2,0	1,8	1,9	1,9
Outros usos	4,0	4,1	3,9	3,4	3,7
Perdas	1,7	1,7	1,4	2,0	1,9
Sementes	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6
Exportação	41,0	34,7	20,8	46,6	51,0
Demanda Total	105,8	104,5	93,4	122,7	130,6
Estoque Final	10,5	10,7	6,7	6,7	7,5

Fonte: Adaptado de (MILHO, 2023)

Observando a demanda por consumo animal (Tabela 5), pode-se inferir que as principais atividades que consomem mais milho são as Aves para corte (49,65%) seguida pela Suinocultura (26,18%). (CONTINI et al., 2019)

Tabela 5 – Consumo animal de milho no Brasil (milhões de toneladas)- 2015/16 a 2027/18.

-	2015/16	2016/17	2017/18
Consumo animal	48,067	49,72	50,68
Aves de corte	24,086	24,617	25,165
Aves de postura	3,992	4,377	4,536
Suinocultura	12,584	13,141	13,267
Bovinocultura	4,075	4,189	4,231
Outros animais	3,329	3,396	3,481

Fonte: Adaptado de (CONTINI et al., 2019)

O milho tem se mostrado interessante também na produção energética. No Brasil, o biocombustível, etanol é produzido, majoritariamente, a partir da fermentação da biomassa de cana-de-açúcar e é utilizado como combustível em veículos. Porém, estudos recentes, mostram que a etanol a partir da biomassa do milho também tem sido produzido no Brasil. Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos. O

etanol produzido a partir da cana-de-açúcar domina cerca de 70% da produção nacional. No entanto, o etanol de milho tem ganhado destaque no mercado brasileiro, principalmente em regiões onde a produção de cana-de-açúcar é limitada, como no Centro-Oeste. De acordo com a União Nacional do Etanol do Milho (UNEM), o Brasil deverá produzir 6 bilhões de litros de etanol de milho durante a safra 2023/2024, que vai de abril a março. (USDA, 2023)

Ademais, o uso de resíduos agrícolas e florestais como fonte de biomassa de 2ª geração desempenha um papel crucial, uma vez que aproveita materiais que de outra forma seriam descartados, reduzindo, assim, o impacto potencial na produção de alimentos. Essas abordagens contribuem para a promoção da sustentabilidade na produção de energia a partir de biomassa. (WHO et al., 2003)

Vale a pena destacar que a escolha entre a utilização da biomassa na produção alimentícia ou na produção de energia depende de diversos fatores, como a disponibilidade de matéria-prima, a demanda do mercado, o custo-benefício da produção e a sustentabilidade ambiental. É necessário um equilíbrio entre a produção de alimentos e a produção de energia a partir da biomassa, para que seja possível garantir a segurança alimentar da população e a sustentabilidade energética do planeta. (QUEIROZ, 2008)

2.3 Panorama do etanol

O cenário do etanol no mundo tem passado por mudanças significativas nas últimas décadas, impulsionadas por uma série de fatores socioeconômicos, políticos e ambientais. O etanol, como biocombustível, ganhou destaque como uma alternativa mais limpa e renovável aos combustíveis fósseis. (UNICA, 2020)

Além disso, o interesse pelo etanol de segunda geração, produzido a partir de biomassa lignocelulósica, está crescendo em muitas partes do mundo. Essa tecnologia promissora permite a utilização de resíduos agrícolas e florestais, ampliando as fontes de matéria-prima para a produção de etanol e reduzindo a competição com a produção de alimentos. (NUNES, 2017)

No entanto, o cenário global do etanol também enfrenta desafios, incluindo questões relacionadas à competitividade econômica, políticas públicas, questões ambientais e preocupações com a segurança alimentar. A volatilidade dos preços das commodities agrícolas, as políticas de subsídios e tarifas comerciais, e as preocupações com a expansão agrícola em áreas sensíveis, como florestas tropicais, são alguns dos desafios enfrentados pela indústria do etanol em escala global. (WHO et al., 2003)

Apesar desses desafios, o etanol continua a desempenhar um papel importante na matriz energética mundial, contribuindo para a diversificação e a sustentabilidade do suprimento de

energia e promovendo a transição para uma economia de baixo carbono. O futuro do etanol no mundo dependerá da capacidade dos países de enfrentar esses desafios e aproveitar as oportunidades oferecidas por essa fonte de energia renovável. (UNICA, 2020)

2.3.1 Características do etanol

O etanol, também conhecido como álcool etílico, é um composto químico amplamente utilizado na indústria devido às suas diversas características vantajosas. Uma de suas principais características é sua capacidade de ser produzido a partir de fontes renováveis, como a cana-de-açúcar, milho, beterraba, entre outros. Essa característica o torna uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis, contribuindo para a redução da dependência de recursos não renováveis e para a diminuição das emissões de GEE. (COSTA; SODRÉ, 2010)

Além disso, o etanol é biodegradável, o que significa que pode ser facilmente decomposto por organismos vivos, minimizando seu impacto ambiental em caso de vazamentos ou derramamentos. Essa propriedade torna o etanol uma opção mais segura em comparação com outros produtos químicos. (SHARIF et al., 2021)

Outra característica importante do etanol é seu poder calorífico, ou seja, sua capacidade de liberar uma quantidade significativa de energia quando queimado. Isso o torna uma fonte de energia eficiente, sendo amplamente utilizado como combustível em veículos automotores, tanto em sua forma pura quanto misturado à gasolina. (COSTA; SODRÉ, 2010)

Além disso, o etanol é miscível em água, o que facilita sua utilização em diversas aplicações industriais, como na produção de produtos químicos, solventes, desinfetantes, cosméticos, entre outros. (UOCHEMISTS, 2023)

Em resumo, o etanol possui características únicas que o tornam uma alternativa atrativa e versátil em diversas aplicações industriais, desde a produção de biocombustíveis até a fabricação de produtos químicos e cosméticos. Sua origem renovável, biodegradabilidade e miscibilidade em água fazem dele uma opção sustentável e eficiente para atender às demandas atuais e futuras da sociedade.

2.3.2 Tipos de etanol combustível

Saber os tipos de etanol é de extrema importância ao implementar uma usina de etanol, pois cada tipo possui características distintas que influenciam tanto na produção quanto no mercado consumidor. Ao conhecer os tipos de etanol, é possível tomar decisões mais acertadas ao implementar uma usina de etanol, desde a escolha da matéria-prima e do processo de produção até a comercialização do produto final. (QUEIROZ, 2008)

O tipo de álcool utilizado como combustível é o álcool etílico (etanol), podendo ser do tipo:

- Etanol Hidratado: esse tipo de combustível leva esse nome porque contém em sua composição até 7,5% de água. É o combustível vendido nas bombas dos postos. O etanol hidratado emite até 90% menos CO₂ quando comparado com a gasolina. (UNICA, 2023)
- Etanol Anidro: etanol puro ou absoluto, o etanol anidro tem apenas 0,7% de água em sua composição. Desde 2015, a legislação brasileira prevê a mistura entre 25% e 27% na gasolina tipo A. Esse nível de mistura também reduz a emissão de CO₂, mas em 15%. Ademais o biocombustível melhora a octanagem da gasolina. (UNICA, 2023)

O etanol é empregado como matéria-prima em uma variedade de produtos, incluindo o álcool neutro, utilizado na fabricação de bebidas em geral, cosméticos e produtos farmacêuticos. (UNICA, 2023)

Durante a pandemia da COVID-19, o álcool neutro, especialmente na forma de álcool em gel, tornou-se um componente essencial para a higiene e prevenção do vírus. A produção e distribuição de álcool em gel foram intensificadas para atender a essa demanda sem precedentes, evidenciando o papel crucial desse produto durante a crise sanitária global. (COSTA; PEREIRA; LIMA, 2021)

2.3.3 A matéria-prima

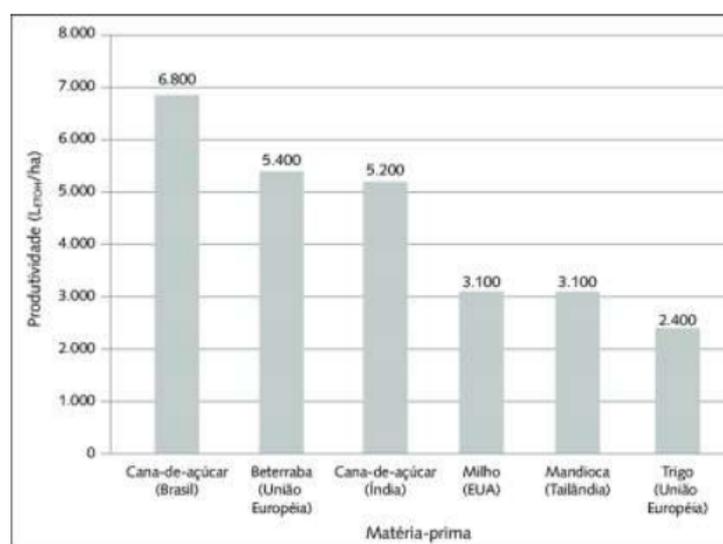
O panorama do etanol é fortemente influenciado pelas matérias-primas disponíveis, as quais são variadas e abrangem uma ampla gama de fontes. Resíduos agrícolas, como bagaço e palha de cana-de-açúcar, cascas, gramíneas e resíduos florestais, antes tradicionalmente queimados ou descartados, estão sendo cada vez mais utilizados como matérias-primas para a produção de bioetanol. Esses materiais apresentam alto potencial devido à sua disponibilidade e ao valor agregado que podem gerar. Diversos processos estão sendo desenvolvidos para aproveitar esses resíduos, visto que seu acúmulo representa não apenas uma ameaça ao meio ambiente, mas também uma perda de recursos valiosos. (SILVA, 2012)

No entanto, a conversão dos açúcares fermentáveis da celulose em etanol envolve processos complexos e onerosos, como a hidrólise das fibras de celulose e hemicelulose, bem como a quebra da lignina. A proporção entre celulose, hemicelulose e lignina varia de acordo com a matéria-prima, influenciando diretamente os custos e o rendimento do processo de produção de etanol. (SILVA, 2012)

No Brasil, a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima utilizada na indústria sucroalcooleira. Apesar de sua rusticidade, o manejo adequado é necessário para garantir uma produtividade aceitável, o fornecimento seguro e a qualidade do produto final. A cana-de-açúcar, devido às suas características específicas, como impossibilidade de estocagem e dificuldade de manuseio, requer a presença de usinas próximas aos canaviais. Assim, a distância máxima aceitável entre o ponto de colheita e a usina varia de 35 a 70 km. É importante ressaltar que a cana-de-açúcar gera diversos produtos, sendo o álcool apenas um deles. (QUEIROZ, 2008) Em comparação, o milho armazenado a granel ou ensacado com 13% de umidade e bem protegido contra o ataque de carunchos pode ficar armazenado por vários anos, portanto não necessita estar próximo às usinas. (EMBRAPA, 2024)

A eficiência na produção de etanol está intrinsecamente ligada ao tipo de matéria-prima utilizada, sendo a cana-de-açúcar no Brasil e o milho nos EUA os exemplos mais proeminentes. Conforme (SANTOS, 2016b), a cana-de-açúcar brasileira, favorecida pelo clima tropical e avanços tecnológicos, alcança uma produtividade impressionante de 6,8 litros por hectare, conforme ilustrado na Figura 3. Em contraste, o milho nos EUA, apesar de ser a principal fonte para a produção de etanol no país, apresenta uma produtividade menor, com 3,1 litros por hectare. Essa discrepância destaca a superioridade da cana-de-açúcar em termos de rendimento de etanol e sublinha a importância da escolha da matéria-prima adequada ao contexto ambiental e tecnológico de cada região.

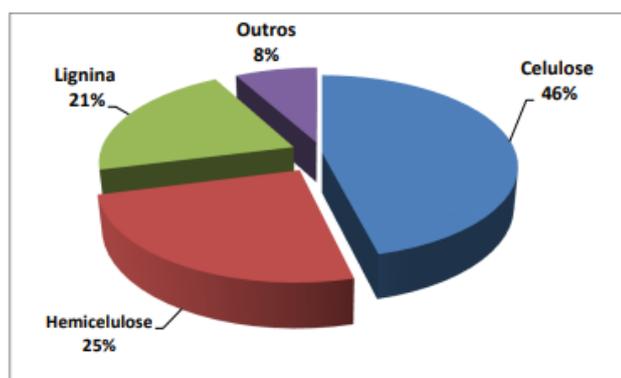
Figura 3 – Produtividade do etanol associado a diferentes matérias-primas.



Fonte: (SUMIKAWA, 2019)

Contudo a composição bioquímica dos resíduos vegetais pode ter um impacto significativo na eficiência e na viabilidade econômica dos processos de produção de etanol, conforme demonstrado pelo trabalho de (MOREIRA; GOLDEMBERG, 1999). (CASTRO, 2006) destaca que a palha de cana possui 46% de celulose, 25% de hemicelulose e 21% de lignina, conforme Figura 4. enquanto a palha de arroz apresenta 33% de celulose, 26% de hemicelulose e 7% de lignina. Já a palha e o sabugo de milho, frequentemente utilizados na América do Norte, possuem 36% de celulose, 36% de hemicelulose e 29% de lignina, respectivamente. Assim, o milho pode se tornar uma fonte interessante para esse setor da indústria, principalmente para produção de etanol de segunda geração.

Figura 4 – Composição do bagaço da cana-de-açúcar.



Fonte: (MOREIRA; GOLDEMBERG, 1999)

2.3.4 Rotas tecnológicas para a produção do etanol

Na produção de etanol, existem várias rotas tecnológicas, cada uma com suas particularidades e vantagens. As principais rotas tecnológicas para a produção de etanol: (ROBAK; BALCEREK, 2018)

Rota de Fermentação de Açúcares (1ª geração): Esta é a rota tradicional utilizada para a produção de etanol de cana-de-açúcar, beterraba e milho. Envolve a extração do caldo rico em sacarose dessas plantas, seguida de fermentação com leveduras para converter os açúcares em etanol, no caso do milho primeiro a conversão do amido do milho em açúcares simples. Essa rota é eficiente para culturas ricas em açúcares e amido.

Rota de Hidrólise Ácida (2ª geração): Esta rota é aplicada principalmente a matérias-primas lignocelulósicas, como resíduos de madeira, cascas de cereais e outras biomassas não ricas em açúcares. Envolve a prévia quebra das estruturas da biomassa por hidrólise ácida, liberando açúcares fermentáveis, que são posteriormente convertidos em etanol por fermentação.

Rota de Hidrólise Enzimática (2ª geração): Semelhante à rota de hidrólise ácida, mas faz uso de enzimas para quebrar a lignocelulose em açúcares fermentáveis. É uma opção mais suave em termos de processamento e adequada para biomassas como palha, bagaço de cana-de-açúcar e resíduos agrícolas.

Rota de Gaseificação e Fermentação (2ª geração): Nesta rota, a biomassa é gaseificada para produzir um gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio. Esse gás é então convertido em etanol por fermentação microbiana.

Rota de Biomassas de Algas (2ª geração): O cultivo de microalgas ricas em amido ou celulose pode ser uma rota promissora para a produção de etanol. As algas são colhidas e processadas para extrair açúcares que, em seguida, são fermentados em etanol.

Rota de Produção Termoquímica (2ª geração): Envolve a gaseificação ou pirólise da biomassa para criar gases que são convertidos em etanol por síntese química subsequente. Essa rota pode ser aplicada a várias fontes de biomassa.

Figura 5 – Rotas tecnológicas para a produção do etanol.



Fonte: Autoria própria

Cada rota tecnológica tem suas próprias características e aplicabilidades, dependendo das matérias-primas disponíveis e das condições locais, conforme Figura 5. A escolha da rota depende de fatores como custo, eficiência energética e impacto ambiental. (ROBAK; BALCEREK, 2018)

2.3.5 Produção do etanol a partir da cana-de-açúcar

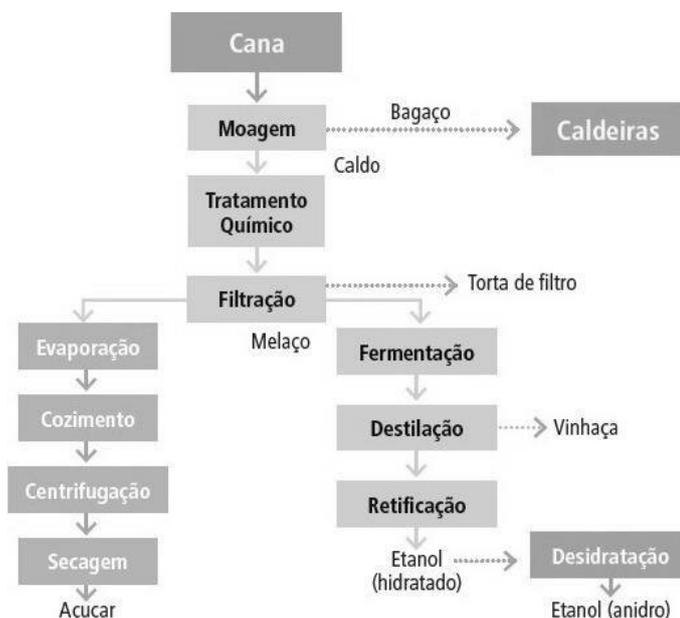
A cadeia produtiva do etanol de cana-de-açúcar é um processo complexo que envolve diversas etapas, conforme mostrado na Figura 6, desde o cultivo da matéria-prima até a distri-

buição do produto. Inicialmente, a cana-de-açúcar é cultivada em grandes extensões de terra em regiões tropicais e subtropicais, seguindo práticas agrícolas específicas para garantir um bom desenvolvimento da cultura. Após o período de crescimento, a cana é colhida mecanicamente e transportada para as usinas de processamento. (NUNES, 2017)

Nas usinas, a cana passa por uma série de etapas para extrair o suco, que é a matéria-prima para a produção de etanol. O processo de processamento inclui a moagem da cana para liberar o suco, a extração e clarificação do caldo, e a concentração do líquido resultante. Em seguida, o caldo concentrado é submetido ao processo de fermentação, no qual leveduras são adicionadas para converter os açúcares em álcool. (ROBAK; BALCEREK, 2018)

Após a fermentação, o líquido resultante, chamado de vinho fermentado, é destilado para separar o álcool do restante dos componentes. O álcool obtido na destilação passa então por processos de purificação e desidratação para remover impurezas e qualquer quantidade residual de água, resultando em etanol anidro, que possui uma alta concentração de álcool. (ROBAK; BALCEREK, 2018)

Figura 6 – Fluxograma da produção de açúcar e etanol de cana.



Fonte: (CANA, 2013)

2.3.6 Produção do etanol a partir do milho

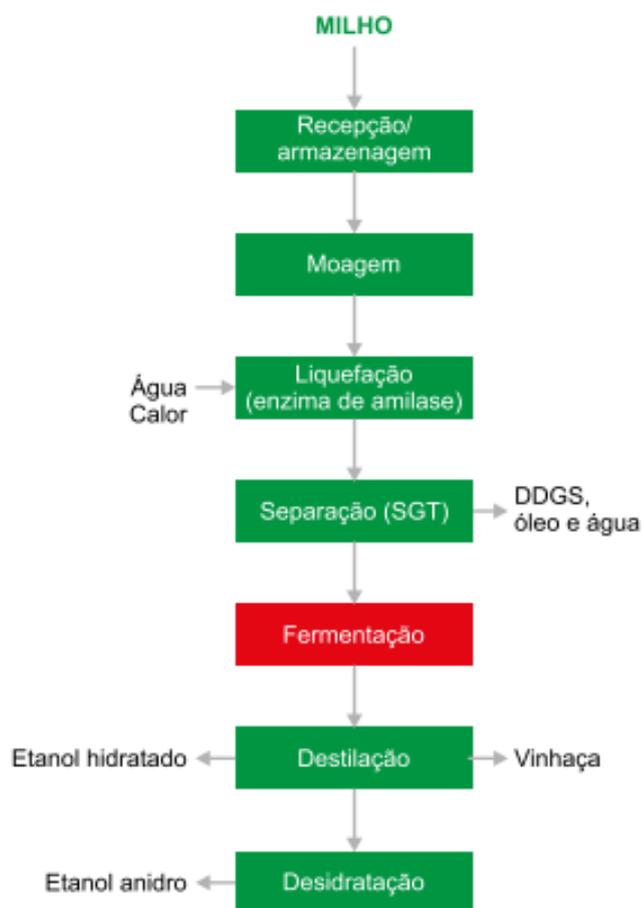
A cadeia produtiva do etanol de milho segue um processo semelhante ao do etanol de cana-de-açúcar, mas com algumas diferenças distintas, como a conversão do amido em açúcar, conforme ilustrado na Figura 7. Inicialmente, o milho é cultivado em áreas agrícolas dedicadas,

onde são empregadas técnicas específicas de cultivo para garantir uma boa produtividade. Após o período de crescimento, o milho é colhido e transportado para as instalações de processamento. (SILVA et al., 2020)

Nas instalações de processamento, o milho passa por uma série de etapas para extrair o amido, que é a matéria-prima para a produção de etanol. Na etapa de separação na produção de milho, "SGT" se refere a Sistema de Gestão de Tecnologia. Este sistema é utilizado para otimizar a separação dos grãos de milho das espigas. O processo inclui a moagem do milho para liberar o amido, seguida da mistura com água e enzimas para hidrolisar o amido em açúcares fermentáveis. Em seguida, a mistura é aquecida e resfriada para criar um mosto fermentável. (SILVA et al., 2020)

Após a etapa de hidrólise, o mosto fermentável é submetido ao processo de fermentação, no qual leveduras são adicionadas para converter os açúcares em álcool. Após a fermentação, o líquido resultante, chamado de vinho de milho, é destilado para separar o álcool do restante dos componentes. O álcool obtido na destilação passa por processos de purificação e desidratação para remover impurezas e qualquer quantidade residual de água, resultando em etanol anidro. (SILVA et al., 2020)

Figura 7 – Fluxograma de produção etanol de milho.



Fonte: (SILVA et al., 2020)

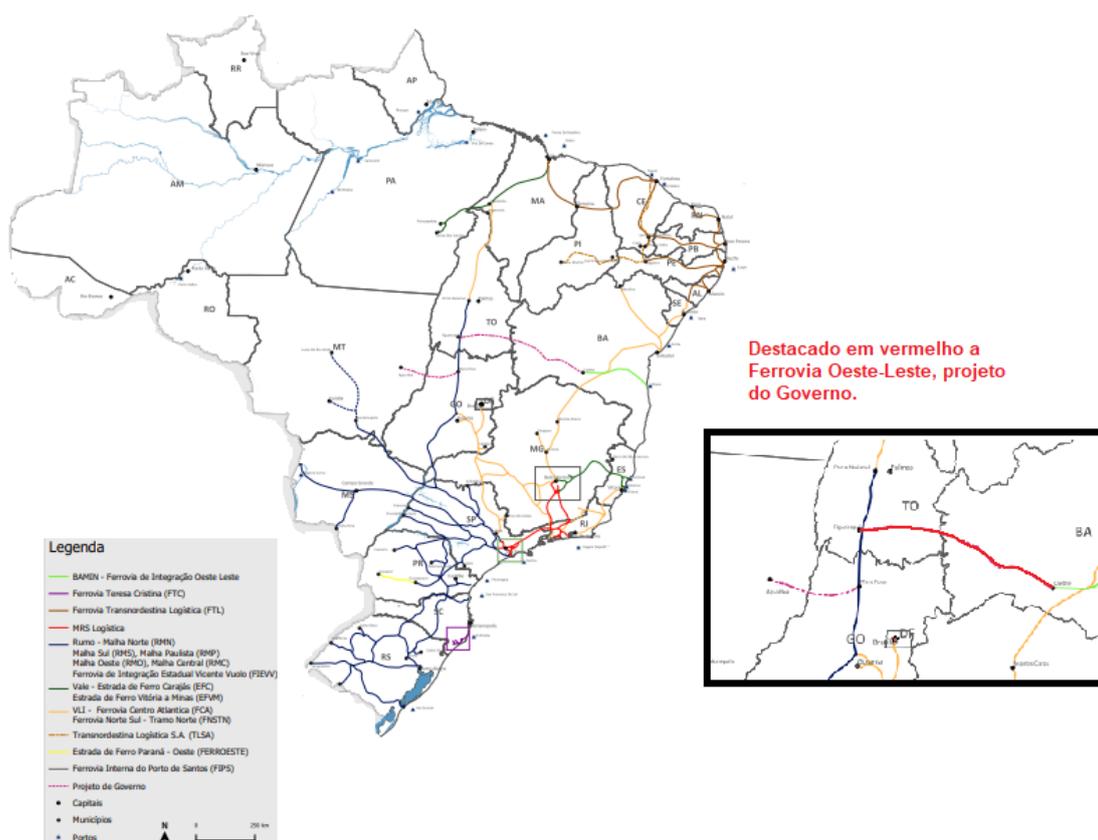
Para a produção do biocombustível é utilizado apenas o amido, assim, ao fim do ciclo industrial, proteínas e fibras são transformadas em grãos secos de destilaria (DDG), que servem para a nutrição animal, e o óleo de milho. Assim, esse processo fomenta também o desenvolvimento de outras atividades rurais, como a pecuária de confinamento e criação de aves. (UNICA, 2023) Além disso, também são obtidos Distiller's Dried Grains with Solubles (DDGS) que são os grãos secos da destilaria com solúveis da fermentação, conforme descrito no fluxograma da Figura 7. Estes são ainda mais ricos em proteína e energia do que o DDG, e são frequentemente utilizados na alimentação animal como substituto parcial de outros ingredientes, como o milho ou a soja. (STRAUB, 2021)

2.3.7 A distribuição de etanol no Brasil

O processo de distribuição do etanol no Brasil é um componente essencial da cadeia de produção e consumo desse biocombustível. Geralmente, o etanol é produzido em usinas localizadas nas regiões agrícolas, principalmente no Centro-Sul do país, onde a cana-de-açúcar é cultivada em larga escala. Após sua produção, o etanol é transportado para diferentes destinos por meio de uma variedade de modais de transporte, incluindo caminhões-tanque, ferrovias e dutos. (MARTINHO, 2011)

Os caminhões-tanque são amplamente utilizados para o transporte do etanol, especialmente para áreas mais remotas ou de difícil acesso, proporcionando flexibilidade e alcance em todo o território nacional. As ferrovias também desempenham papel crucial, mapa mostrado na Figura 8, especialmente para o transporte em longas distâncias e volumes maiores, oferecendo eficiência logística e redução dos custos de transporte. Além disso, alguns corredores logísticos específicos são dedicados ao transporte de etanol por ferrovias. (BARROS; WANKE, 2012)

Figura 8 – Mapa das ferrovias Brasileiras.



Fonte: (FERROVIÁRIOS, 2024)

Além dos caminhões-tanque e ferrovias, dutos também são utilizados em algumas regiões para o transporte de grandes volumes de etanol, oferecendo uma alternativa eficiente para o transporte a longas distâncias, embora sua utilização ainda seja limitada em comparação com outros modais, rede de dutos mostrado na Figura 9. (BARROS; WANKE, 2012)

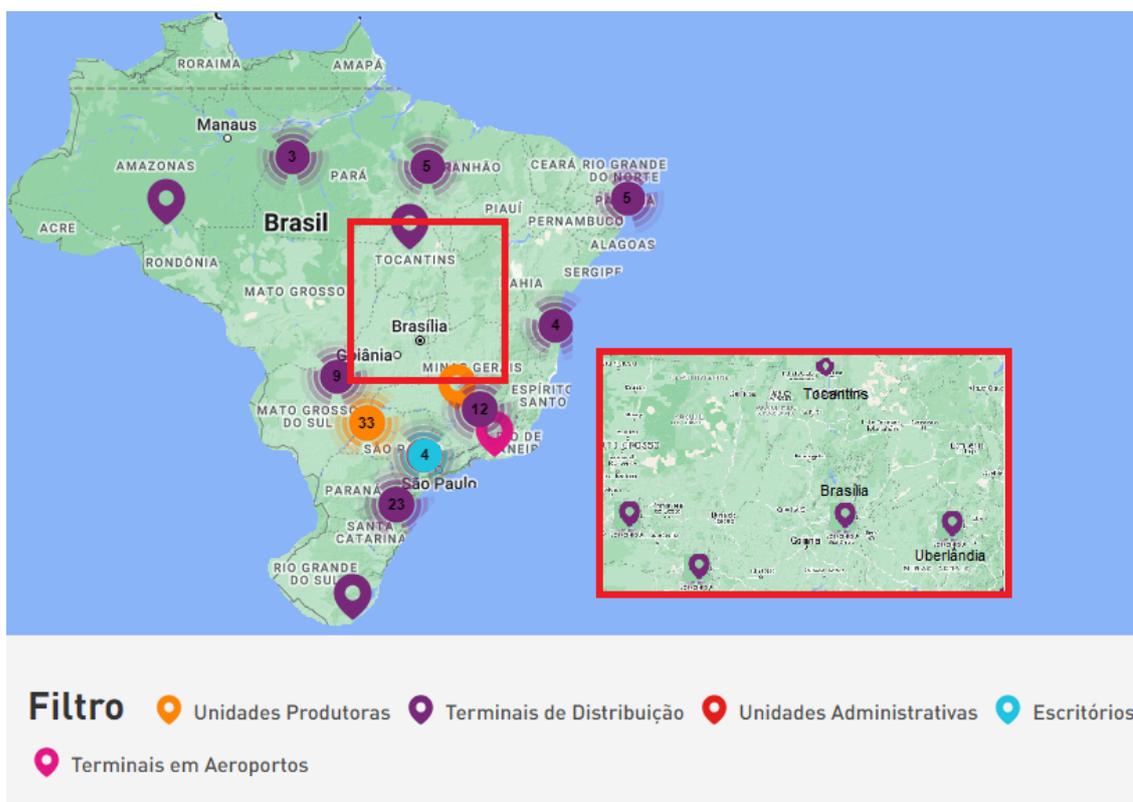
Figura 9 – Mapa Geral Dutos TRANSPETRO 2020.



Fonte: (TRANSPETRO, 2020)

Nos centros de distribuição e terminais de armazenamento, localizados estrategicamente em diferentes regiões do país, o etanol é armazenado temporariamente antes de ser distribuído para os postos de combustíveis, esquemas mostrados nas Figuras 9 de terminais de armazenamento da Transpetro e Figura 10 unidades produtoras e terminais de armazenamento da Raízen. A partir desses pontos, o etanol é distribuído para postos de combustíveis em todo o país, onde os consumidores finais têm acesso ao biocombustível, seja como etanol hidratado (combustível puro) ou misturado à gasolina (etanol anidro). (BARROS; WANKE, 2012)

Figura 10 – Mapa de unidades Raízen (destacado a região centro-oeste), 2024.



Fonte: (RAÍZEN, 2024)

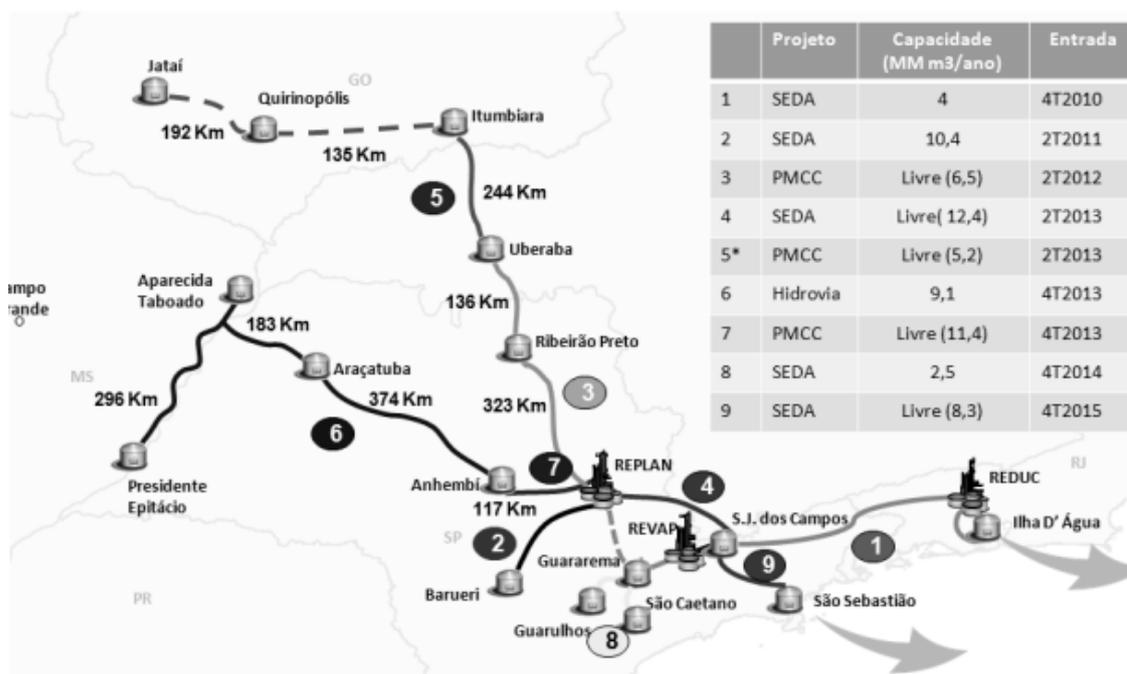
Em suma, o processo de distribuição do etanol no Brasil envolve uma rede complexa de transporte e armazenamento, garantindo que esse biocombustível chegue aos consumidores finais de forma eficiente, segura e sustentável, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a redução das emissões de GEE.

Como a logística de transporte do etanol no Brasil permanece como um desafio de custo elevado existe a necessidade de se aprimorar o escoamento desse biocombustível. A Petrobras tem realizado investimentos significativos, notavelmente por meio do Programa Corredor de Exportação de Etanol, gerenciado pela Transpetro, subsidiária logística da empresa. Até 2012, a Transpetro operava com 14 terminais de etanol, conforme mencionado por (SANTOS, 2016a).

Adicionalmente, está em fase de estudo a implantação do Sistema de Escoamento Dutoviário de Etanol (SEDA), um projeto colaborativo chamado de PMCC entre a Petrobras, Copersucar, Cosan, Odebrecht, Uniduto e Camargo Corrêa conforme mostrado na Figura 11. Com previsão de extensão de 571 quilômetros de Uberaba, MG até Jataí, GO, o novo duto terá capacidade anual de transporte de 12,9 bilhões de litros de etanol, representando um investimento estimado em US\$ 1,7 bilhão. O objetivo do sistema é transportar etanol das regiões produtoras

no Centro-Oeste do Brasil e no Noroeste de São Paulo até os principais centros consumidores no estado de São Paulo e no Rio de Janeiro, tanto é que as principais refinarias ficam nesses estados que são a Refinaria de Duque de Caxias (REDUC), a Refinaria do Vale do Paraíba (REVAP) e a Refinaria de Paulínia (REPLAN). (CAMELINI; CASTILLO, 2012)

Figura 11 – Mapa alcooldutos (em tracejados projetos de expansão).



Fonte: (BARROS; WANKE, 2012)

2.3.8 Renovabio

O RenovaBio, estabelecido pela Lei nº 13.576/2017, é uma política voltada para promover o crescimento responsável dos biocombustíveis na matriz energética brasileira. Seus principais objetivos incluem a garantia de fornecimento de combustíveis, a melhoria da eficiência energética na produção de biocombustíveis e a redução das emissões de GEE. (ANP, 2022)

O RenovaBio utiliza três instrumentos: metas de descarbonização definidas para distribuidoras de combustíveis, certificação da produção eficiente de biocombustíveis e créditos de descarbonização (CBIOs). (ANP, 2022)

As metas de descarbonização são definidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e individualizadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para distribuidoras de combustíveis fósseis. A certificação avalia a eficiência energético-ambiental de produtores e importadores de biocombustíveis, enquanto os CBIOs representam a quantidade de emissões de GEE evitadas pela produção e uso de biocombustíveis

em vez de combustíveis fósseis. Cada C BIO equivale a uma tonelada de CO₂ que deixou de ser emitida. (ANP, 2022) Isso significa que, quanto maior for a emissão de C BIOS, menor será a emissão de CO₂ e outros GEE no meio ambiente.

Em 2021, o setor de biocombustíveis no Brasil teve um desempenho notável, emitindo aproximadamente 30,8 milhões de C BIOS, sendo o etanol responsável por 85% desse desempenho. Esses créditos representam a quantidade de emissões de CO₂ evitadas, totalizando mais de 30 milhões de toneladas de dióxido de carbono que deixaram de ser lançadas na atmosfera. Esse dado está detalhado na Tabela 6 do relatório da ANP de 2022.

Tabela 6 – Emissão de C BIOS por biocombustíveis 2021.

Mês	Biodiesel	Biometano	Etanol	Total
jan	257.201	5.108	2.091.002	2.353.311
fev	291.792	5.441	2.442.483	2.739.716
mar	351.963	5.354	2.412.422	2.769.739
abr	359.307	6.194	1.809.969	2.175.470
mai	430.948	6.495	1.976.081	2.413.524
jun	343.776	7.011	2.181.775	2.532.562
jul	413.135	6.673	2.112.146	2.531.954
ago	374.007	6.518	2.356.144	2.736.669
set	405.897	6.966	2.493.891	2.906.754
out	438.223	21.788	2.193.239	2.653.250
nov	440.004	12.022	2.057.489	2.509.515
dez	303.224	7.046	2.138.467	2.448.737
Total	4.409.477	96.616	26.265.108	30.771.201

Fonte: (ANP, 2022)

Além disso, as distribuidoras de combustíveis desempenharam um papel crucial ao retirarem de circulação cerca de 24,4 milhões de C BIOS, conforme mostrado na Tabela 7. Ao fazer isso, elas cumpriram suas metas obrigatórias de redução de emissões de GEE, contribuindo significativamente para os objetivos ambientais do país. (ANP, 2022)

Tabela 7 – Aposentadoria de CBIOS em 2021.

Mês	Distribuidores de combustível	Outros agentes
jan	26.783	-
fev	85.758	42
mar	164.141	1
abr	120.233	-
mai	314.604	-
jun	2.141.550	-
jul	301.067	-
ago	232.335	7
set	1.457.915	-
out	1.688.568	-
nov	11.120.274	-
dez	6.751.965	1.342
Total	24.405.193	1.392

Fonte: (ANP, 2022)

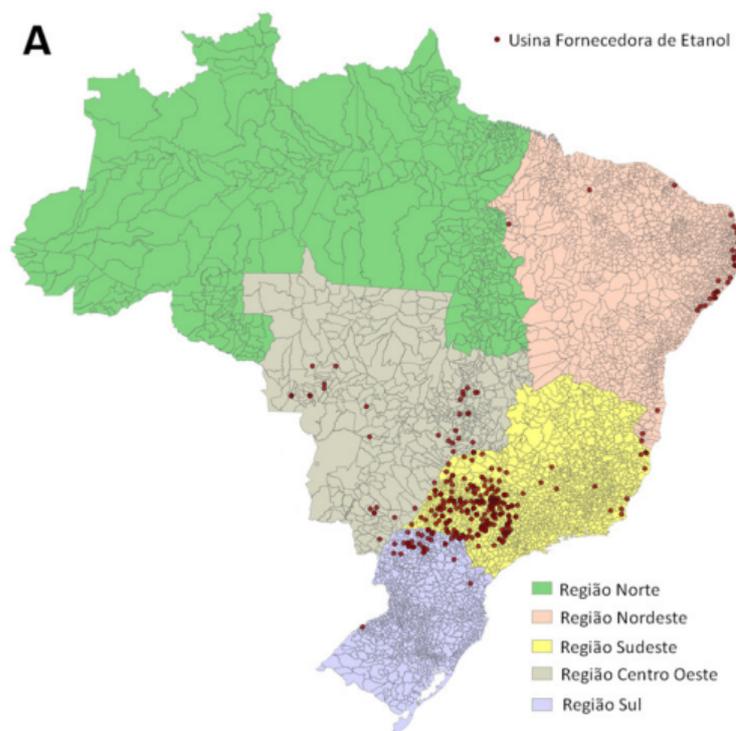
2.4 Panorama de uma usina de etanol

O cenário de uma usina de etanol é marcado por uma série de etapas interligadas, desde o recebimento da matéria-prima até a distribuição do produto. As principais atividades incluem preparação da matéria-prima, fermentação, destilação, purificação e armazenamento do etanol. Além disso, muitas usinas adotam sistemas de cogeração de energia a partir de biomassas, contribuindo para a matriz energética. Todo o processo é altamente tecnológico e monitorado por sistemas automatizados para garantir eficiência operacional e qualidade do produto. (ANTON, 2017)

2.4.1 A usina e os locais de produção de etanol

As usinas de produção de etanol no Brasil desempenham um papel fundamental na economia do país, contribuindo significativamente para o suprimento de biocombustíveis e para a geração de empregos. Essas usinas estão distribuídas por várias regiões do país, com maior concentração nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Paraná, como mostrado na Figura 12. Isso se deve especialmente, devido às condições climáticas favoráveis e à abundância de matéria-prima, principalmente relacionada à cana-de-açúcar. (ALMEIDA; BRIXNER; PETER, 2012)

Figura 12 – Distribuição das usinas produtoras de etanol no território nacional.



Fonte: (ALMEIDA; BRIXNER; PETER, 2012)

As usinas modernas adotam tecnologias avançadas em todas as etapas do processo de produção, desde o cultivo da matéria-prima até a destilação do etanol. Muitas delas também investem em sistemas de cogeração de energia, aproveitando os resíduos da produção para obter eletricidade e vapor, tornando-se autossuficientes em energia e reduzindo custos operacionais. (ANTON, 2017)

Além da cana-de-açúcar, outras matérias-primas estão sendo exploradas para a produção de etanol, como milho, sorgo, beterraba e biomassa lignocelulósica. Essa diversificação visa aumentar a oferta de etanol e reduzir a dependência exclusiva da cana-de-açúcar, garantindo a segurança energética do país. (DONKE et al., 2016)

Com o avanço das tecnologias de produção e a busca por fontes de energia renovável, o setor de produção de etanol no Brasil está em constante evolução, buscando sempre maior eficiência, sustentabilidade e competitividade no mercado nacional e internacional.

2.4.2 Tecnologias existentes

O cenário da tecnologia existente em usinas de etanol tem mostrado avanços significativos. Na fase agrícola, a tecnologia de plantio e colheita é aprimorada para aumentar a

produtividade e reduzir os impactos ambientais. Máquinas agrícolas equipadas com sistemas de GPS e telemetria permitem um manejo mais preciso dos campos, otimizando o uso de insumos agrícolas e reduzindo o consumo de água e energia. (SANTOS, 2016b)

No processamento industrial, as usinas utilizam tecnologias avançadas de moagem, fermentação e destilação para maximizar a produção de etanol. Novos equipamentos e processos, como fermentação em batelada alimentada, destilação molecular e recuperação de subprodutos, são implementados para aumentar a eficiência e a qualidade do produto. (SANTOS, 2016b)

Além disso, as usinas estão investindo cada vez mais em sistemas de cogeração de energia, que permitem a produção de eletricidade e vapor a partir dos resíduos da produção de etanol. Isso não apenas reduz os custos operacionais, mas também torna as usinas autossuficientes em energia e contribui para a redução das emissões de GEE. (ANTON, 2017)

Outra tendência importante é a busca por processos mais sustentáveis e ambientalmente amigáveis. As usinas estão implementando práticas de produção mais limpas e eficientes, como a utilização de tecnologias de tratamento de efluentes, reciclagem de água e aproveitamento de resíduos para a produção de biofertilizantes e biogás. (ROCHA; PANDOLFI, 2019)

No geral, o cenário das tecnologias existentes em usinas de etanol está em constante evolução, impulsionado pela necessidade de atender às demandas do mercado, garantir a competitividade e promover a sustentabilidade do setor.

2.4.3 Usina de etanol a base de milho

No cenário das tecnologias existentes em usinas de etanol à base de milho também tem sido observado avanços significativos. As usinas modernas adotam uma variedade de tecnologias em todas as etapas do processo de produção de etanol, desde o recebimento e armazenamento do milho até a destilação final. (SILVA et al., 2020)

Na fase de recebimento e armazenamento, as usinas empregam sistemas avançados de manuseio e armazenamento de grãos para garantir a qualidade do milho e minimizar perdas durante o processamento. Equipamentos como secadores de grãos e silos herméticos são comuns para garantir a preservação do milho e evitar a contaminação por fungos e micotoxinas. (SILVA et al., 2020)

No processamento industrial, as usinas utilizam tecnologias avançadas de moagem úmida para extrair o amido do milho. O amido é então convertido em açúcares fermentáveis por meio de processos enzimáticos e fermentado em etanol por meio de leveduras selecionadas. O uso de enzimas específicas e leveduras geneticamente modificadas tem permitido aumentar a eficiência do processo e melhorar a qualidade do etanol produzido. (SILVA et al., 2020)

Além disso, as usinas de etanol de milho também estão investindo em sistemas de cogeração de energia para maximizar os ganhos. A produção de eletricidade e vapor a partir dos resíduos do processo de produção de etanol, como o bagaço de milho e a vinhaça, contribui para tornar as usinas autossuficientes em energia e reduzir sua pegada ambiental. (SILVA et al., 2020). Em 2022, havia 23 usinas de milho em operação, 6 unidades em construção e 8 unidades em ampliação (EPE, 2023)

Outras inovações incluem o desenvolvimento de processos de recuperação de subprodutos, como a produção de óleo de milho e DDG (grãos secos por destilação), que são utilizados na fabricação de ração animal. O uso eficiente dos subprodutos do processo de produção de etanol aumenta a rentabilidade das usinas e reduz seu impacto ambiental. (SILVA et al., 2020)

2.4.4 Usina full e flex: produção multifacetada

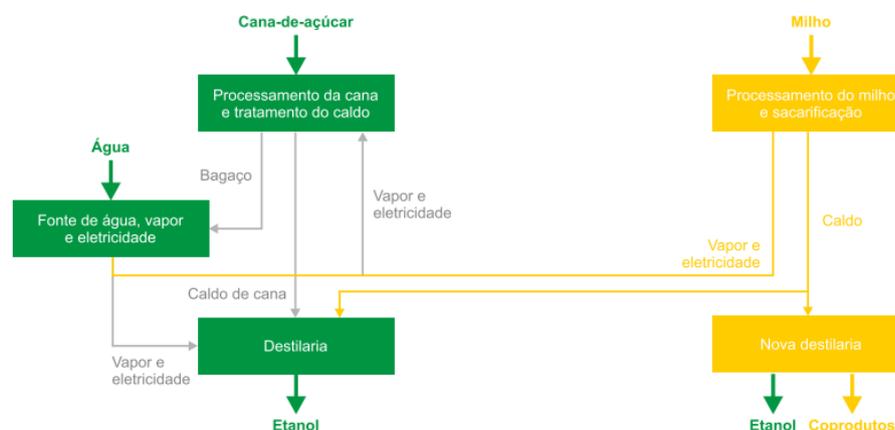
Existem diferentes modelos de usinas de etanol de milho, cada um com características específicas:

Usina Full (Full Corn Mill): Essas usinas são projetadas exclusivamente para o processamento do milho, visando a produção de etanol. A FS Bioenergia, localizada em Lucas do Rio Verde, Mato Grosso, é um exemplo pioneiro no Brasil. Inaugurada em 2017, ela foi a primeira indústria de etanol 100% de milho no país. Nesse modelo, todo o processo é dedicado ao milho, desde a moagem até a destilação. (BIOENERGIA, 2024)

Usina Flex (Flex Plant): As usinas flexíveis são originalmente destinadas à produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. No entanto, durante a entressafra da cana, elas podem ser adaptadas para processar milho e produzir etanol de forma complementar. Essa flexibilidade permite otimizar a capacidade produtiva ao longo do ano, aproveitando diferentes matérias-primas. (SILVA et al., 2020)

Modelo Flex Full: Nesse caso, uma usina de milho é instalada ao lado de uma usina de cana-de-açúcar. Ambas operam paralelamente, e a destilação é feita em conjunto. Essa abordagem híbrida combina as vantagens de ambas as matérias-primas, permitindo maior versatilidade e eficiência. Esquema apresentado na Figura 13 mostra a destilaria integrando as culturas de cana-de-açúcar e de milho. (SILVA et al., 2020)

Figura 13 – Esquema de compartilhamento e sinergia em uma usina flex full.



Fonte: (SILVA et al., 2020)

As usinas de etanol flex com produção multifacetada representam uma inovação crucial no setor de biocombustíveis, proporcionando não apenas etanol, mas uma gama diversificada de produtos, como açúcares, óleos vegetais, proteínas e energia elétrica. (SILVA et al., 2020)

Essa abordagem multifacetada não apenas otimiza o aproveitamento dos recursos naturais, mas também melhora a viabilidade econômica das usinas. Esta desempenha papel fundamental na transformação do setor de biocombustíveis, alinhando-se com as metas de desenvolvimento sustentável e oferecendo perspectiva promissoras para um futuro mais limpo e energeticamente diversificado. (DONKE et al., 2016)

Os modelos de usina flex possibilitam a produção de etanol por processamento da cana-de-açúcar e do milho. O Centro-Oeste encontrou no etanol um caminho para verticalizar parte de sua crescente produção de milho, que em sua maioria vai para exportação. (VACCARO et al., 2018)

Em 2024, três usinas encontram-se em operação no Estado do Mato Grosso, sendo as primeiras a operarem com milho no Brasil. A primeira usina Usimat na cidade de Campos de Júlio passou a produzir etanol de milho em 2012, em seguida vieram a Usina Libra, na cidade de São José do Rio Claro e a Usina Porto Seguro na cidade de Jaciara. De acordo com o levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONTINI et al., 2019) é crescente no país a expectativa de produção de etanol proveniente de milho com a previsão do aparecimento de novas unidades de produção flex full.

2.5 Panorama socioeconômico Oeste da Bahia

O Oeste da Bahia é uma região de grande importância socioeconômica para o estado da Bahia, com grande potencial para o agronegócio e a produção de commodities agrícolas. A região é composta por 39 municípios e está situada na porção oeste do estado, fazendo divisa com os estados de Goiás, Tocantins e Piauí como mostrada na Figura 14.

Figura 14 – Localização da Região Oeste do estado da Bahia (Brasil)



Fonte: (SICA, 2019)

A principal atividade econômica do Oeste da Bahia é a agropecuária, que responde por cerca de 80% do Produto Interno Bruto (PIB) da região. O destaque fica por conta da produção de soja, algodão, milho e feijão, além da criação de bovinos e ovinos. A região também possui um grande potencial para a produção de biocombustíveis, como o etanol de milho. (COELHO, 2018)

Além do agronegócio na região Oeste da Bahia, também possui um setor industrial em desenvolvimento, com destaque para a produção de alimentos, bebidas e produtos químicos. A cidade de Luís Eduardo Magalhães, por exemplo, é considerada um importante polo industrial da região, com diversas empresas instaladas. (COELHO, 2018)

No entanto, apesar do desenvolvimento econômico da região, o Oeste da Bahia ainda enfrenta desafios sociais, como a desigualdade econômica e a falta de infraestrutura em algumas áreas. O acesso à educação e à saúde ainda é limitado em algumas regiões, o que pode comprometer o desenvolvimento humano e econômico a longo prazo. (SANTOS; OLIVEIRA, 2021)

Em resumo, o Oeste da Bahia é uma região de grande potencial econômico, principalmente no setor agropecuário. No entanto, é importante que haja investimentos em infraestrutura e desenvolvimento social para que a região possa se desenvolver de forma mais equilibrada e sustentável.

2.5.1 Cultivo de milho na região

O Oeste da Bahia é uma importante região produtora de grãos no Brasil e a produção de milho é uma das atividades agrícolas mais relevantes na região. Esse grande potencial para a produção de milho está associado à sua localização geográfica, clima favorável e disponibilidade de áreas cultiváveis. Além disso, a produção de milho no Oeste da Bahia tem se destacado pela adoção de tecnologias modernas de produção e pelo uso de técnicas de manejo sustentável do solo. (MENDONÇA, 2006)

De acordo com dados da CONAB, na safra de 2022/2023, o Oeste da Bahia produziu cerca de 1,93 milhão de toneladas de milho, o que representa aproximadamente 15% da produção total de milho do estado da Bahia. (CONAB, 2023)

É importante destacar alguns dados do Boletim da Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) referentes à safra 2023/2024, conforme apresentados na Figura 15. Nesta safra, a região cultivou uma área de milho de verão abrangendo 110 mil hectares, com uma notável produtividade de 150 sacas por hectare, resultando em uma expressiva produção total de 990 mil toneladas. Já na safra de milho inverno plantado em uma área de 25 mil hectares obtendo uma produtividade de 180 sacas por hectare e tendo uma produção de 270 mil toneladas. (AIBA, 2024)

Figura 15 – Dados da Safra 2023/24 Região Oeste do estado da Bahia (Brasil).



* Preço do milho disponível na segunda-feira 29/07/2024.

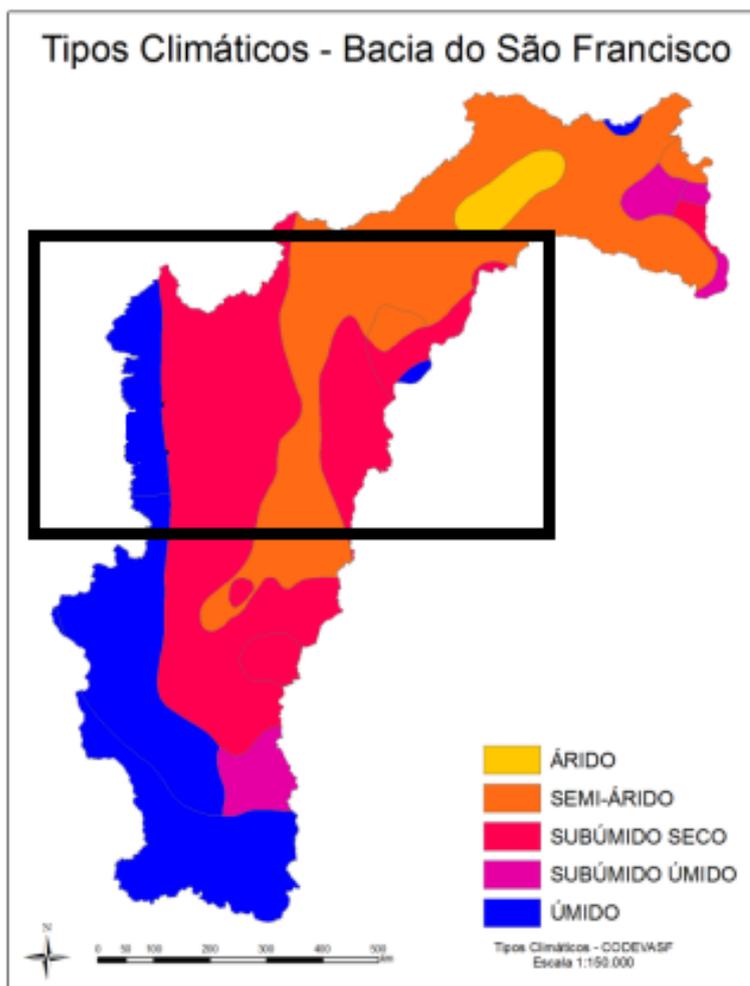


Fonte: (AIBA, 2024)

2.5.2 Microclima

O microclima no Oeste da Bahia é influenciado por diversos fatores, resultando em características específicas em relação ao regime e volume de chuvas, temperaturas, umidade e ventos e está localizada no bioma do Cerrado, conforme apresentado na Figura 16. (PIMENTEL; TURETTA; TÁVORA, 2011)

Figura 16 – Tipos climáticos da Bacia do Rio São Francisco, destacado a região do Oeste da Bahia.



Fonte: (SPAGNOLO, 2011)

Durante a estação chuvosa, que geralmente ocorre de novembro a abril, o Oeste da Bahia recebe a maior parte de suas precipitações. As chuvas são frequentes e intensas, contribuindo para o desenvolvimento das atividades agrícolas, principalmente a agricultura irrigada. O volume de chuvas pode variar consideravelmente ao longo da região, influenciado por fatores como a

topografia e a proximidade de corpos d'água, como rios e lagos. (PIMENTEL; TURETTA; TÁVORA, 2011)

Já na estação seca, que vai de maio a outubro, as chuvas diminuem significativamente, e a região experimenta um clima mais quente e seco. As temperaturas podem atingir níveis elevados durante o dia, enquanto as noites tendem a ser mais frescas. Essas condições climáticas são típicas do clima tropical de savana, caracterizado por uma estação seca prolongada. (PIMENTEL; TURETTA; TÁVORA, 2011)

Quanto à umidade, o Oeste da Bahia apresenta índices relativamente baixos durante a estação seca, o que pode afetar a agricultura e a flora local. No entanto, durante a estação chuvosa, a umidade aumenta significativamente, criando um ambiente propício para o crescimento das culturas agrícolas e a regeneração da vegetação natural. (SPAGNOLO, 2011)

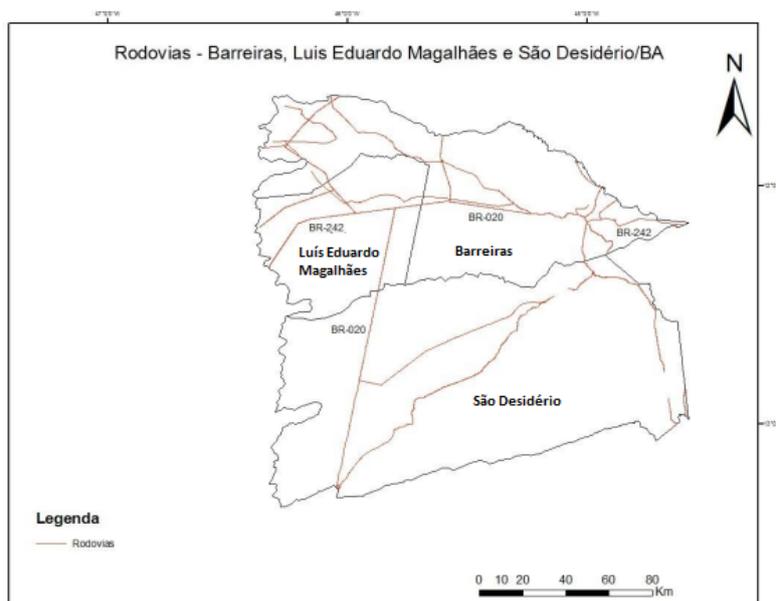
Em relação aos ventos, a região geralmente experimenta ventos moderados a fracos, com exceção de eventos climáticos extremos, como tempestades e tornados, que podem ocorrer durante a estação chuvosa. Esses ventos podem influenciar a dispersão de poluentes, a polinização de plantas e a distribuição de chuvas na região. (SPAGNOLO, 2011)

Em resumo, o microclima no Oeste da Bahia é caracterizado por uma estação chuvosa e uma estação seca, com chuvas concentradas no período de novembro a abril e temperaturas elevadas ao longo do ano. A umidade e os ventos variam de acordo com as estações, influenciando as atividades agrícolas e o ecossistema local.

2.5.3 Logística da região

A logística na região do Oeste da Bahia desempenha um papel crucial no escoamento da produção agrícola e no desenvolvimento econômico da área. As principais rodovias que conectam a região incluem a BR-242 e a BR-020 observado na Figura 17, que funcionam como importantes corredores de transporte de produtos agrícolas, ligando o Oeste da Bahia aos principais centros urbanos e portos do país, como Brasília (600 km), Goiânia (800 km) e Palmas (350 km). (ILARIO, 2011)

Figura 17 – Principais rodovias Oeste da Bahia.



Fonte: (ILARIO, 2011)

Além disso, a Ferrovia Oeste-Leste, identificada na Figura 8 quando concluída, promete melhorar ainda mais a logística, facilitando o transporte ferroviário de cargas. Em relação a distancia para os portos, a região do Oeste da Bahia está estrategicamente localizada a uma distância moderada de 900 km dos portos de Salvador e Ilhéus, podendo ser identificado na Figura 8, no litoral baiano, o que torna possível o transporte eficiente de grãos e produtos agrícolas para exportação. Essa infraestrutura logística tem contribuído significativamente para o crescimento econômico da região e a consolidação da Bahia como um importante polo agrícola do Brasil. (ILARIO, 2011)

2.5.4 Energia

A disponibilidade de energia elétrica e a confiabilidade do sistema no Oeste da Bahia têm sido áreas de foco nos últimos anos, impulsionadas pelo crescimento econômico e populacional da região. O Oeste da Bahia é uma área em desenvolvimento, com atividades agrícolas, industriais e urbanas em expansão, o que aumenta a demanda por eletricidade. (CARVALHO; BAJAY, 2006)

Em geral, a disponibilidade de energia elétrica na região é boa, sendo fornecida principalmente pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), que conecta a região a outras partes do estado e do país por meio de linhas de transmissão. Isso permite que a região tenha acesso a uma oferta estável de eletricidade, proveniente de diversas fontes de energia, como hidrelétricas, termelétricas e eólicas. (ONS, 2024)

No entanto, apesar da disponibilidade geral de energia, algumas áreas mais remotas ou rurais podem enfrentar desafios específicos em relação à confiabilidade do sistema. Interrupções no fornecimento de energia podem ocorrer devido a problemas técnicos, falhas na infraestrutura de distribuição ou eventos climáticos extremos, como tempestades e quedas de árvores sobre as linhas de transmissão. (CARVALHO; BAJAY, 2006)

Para melhorar a confiabilidade do sistema elétrico no Oeste da Bahia, têm sido realizados investimentos em infraestrutura, modernização de redes de distribuição e manutenção preventiva. Além disso, estão em curso iniciativas para diversificar a matriz energética, promovendo o uso de fontes renováveis, como energia solar e eólica, que são abundantes na região. (ONS, 2024)

A melhoria da disponibilidade e confiabilidade da energia elétrica é crucial para sustentar o crescimento econômico e social do Oeste da Bahia, garantindo o funcionamento adequado das atividades agrícolas, industriais, comerciais e residenciais. Portanto, é fundamental continuar investindo em infraestrutura elétrica e adotar práticas sustentáveis de geração e distribuição de energia para atender às necessidades crescentes da região.

2.5.5 Água

O Oeste da Bahia é uma região que dispõe de uma variedade de recursos hídricos, incluindo rios e lençóis freáticos, que desempenham um papel crucial para as atividades agrícolas, o abastecimento de água e o desenvolvimento econômico da região. (SPAGNOLO, 2011)

Entre os principais rios que atravessam o Oeste da Bahia, destacam-se o Rio São Francisco, que é um dos mais importantes do Brasil e um grande provedor de água para a região, e seus afluentes, como o Rio Corrente, o Rio Carinhanha e o Rio Grande. Esses rios desempenham um papel vital no fornecimento de água para irrigação, navegação, geração de energia hidrelétrica e abastecimento público, além de serem importantes para o equilíbrio ambiental e a biodiversidade local. (RAMOS, 2021)

Além dos rios, a região também conta com lençóis freáticos que fornecem água subterrânea para as comunidades locais, a agricultura e a indústria. Os aquíferos sedimentares são os mais comuns na região, com destaque para o aquífero Urucuia, que abrange uma grande parte do Oeste da Bahia e é uma importante fonte de água subterrânea para irrigação e abastecimento humano. (RAMOS, 2021)

No entanto, é importante ressaltar que a gestão sustentável dos recursos hídricos é essencial para garantir sua disponibilidade a longo prazo. O crescimento da agricultura irrigada, o aumento da demanda por água potável e os impactos das mudanças climáticas representam desafios significativos para a conservação e o uso racional dos recursos hídricos na região. (RAMOS, 2021)

Nesse contexto, políticas e práticas de gestão integrada dos recursos hídricos, monitoramento da qualidade da água, proteção de nascentes e áreas de recarga, além de investimentos em infraestrutura hídrica, são fundamentais para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos do Oeste da Bahia e o desenvolvimento sustentável da região.

2.5.6 Recursos humanos

O Oeste da Bahia possui uma população diversificada e uma oferta de recursos humanos que inclui mão de obra disponível, instituições de ensino superior e técnico, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social da região. (SANTOS; SANO, 2015)

Em termos de mão de obra, a região conta com uma força de trabalho dinâmica e diversificada, com profissionais qualificados em diversos setores, incluindo agricultura, pecuária, indústria, comércio e serviços. A presença de trabalhadores rurais, técnicos agrícolas e especialistas em agronegócio reflete a importância do setor agropecuário na economia local, enquanto profissionais de outras áreas, como engenharia, administração e educação, também desempenham papéis fundamentais em diferentes segmentos da economia regional. (SANTOS; SANO, 2015)

No que diz respeito à educação, o Oeste da Bahia conta com diversas instituições de ensino superior e técnico, que oferecem cursos e programas de formação voltados para as demandas locais e regionais. Universidades federais e estaduais, institutos federais e faculdades privadas oferecem cursos em áreas como agronomia, engenharia, administração, pedagogia, entre outros, fornecendo uma base sólida de conhecimento e habilidades para os profissionais locais. (FILHO, 2023)

Além disso, a região também conta com escolas técnicas e profissionalizantes, que oferecem cursos voltados para áreas específicas, como agropecuária, agroindústria, mecânica, eletrônica e informática, preparando os estudantes para o mercado de trabalho e contribuindo para a qualificação da mão de obra local. (FILHO, 2023)

No entanto, é importante destacar que ainda existem desafios em relação à qualificação e capacitação da mão de obra, especialmente em áreas mais especializadas e de alta demanda, como tecnologia da informação, gestão ambiental e inovação agrícola. Investimentos contínuos em educação, capacitação profissional e desenvolvimento de competências são essenciais para fortalecer os recursos humanos do Oeste da Bahia e impulsionar o crescimento econômico e social da região.

2.5.7 Economia

A economia do Oeste da Bahia é fortemente impulsionada pelo setor agropecuário, que desempenha um papel fundamental na geração de riqueza e emprego na região. Com terras férteis e clima favorável, a agricultura e a pecuária são as principais atividades econômicas, contribuindo significativamente para o PIB local. (ILARIO, 2011)

A produção agrícola é diversificada e inclui culturas como soja, milho, algodão, café, feijão, entre outras. A região é reconhecida nacionalmente pela alta produtividade de grãos, com tecnologias avançadas e práticas de cultivo modernas. Além disso, o Oeste da Bahia é um dos principais produtores de algodão do país, com uma cadeia produtiva consolidada e exportações significativas. (BUAINAIN; GARCIA; FILHO, 2018)

No setor pecuário, a criação de gado bovino é predominante, com fazendas de corte e de leite que contribuem para o abastecimento interno e para a geração de empregos na região. A pecuária de corte, em especial, tem ganhado destaque com a expansão das áreas de pastagem e a introdução de técnicas de manejo e melhoramento genético. (BUAINAIN; GARCIA; FILHO, 2018)

Além do setor agropecuário, o Oeste da Bahia também apresenta atividades econômicas complementares, como o comércio, serviços, indústria de transformação e construção civil. O crescimento desses setores está diretamente ligado ao desenvolvimento agropecuário, gerando oportunidades de negócios e empregos em diversos segmentos da economia regional. (ILARIO, 2011)

Em termos de indicadores econômicos, o PIB do Oeste da Bahia tem apresentado um crescimento consistente ao longo dos anos, refletindo a expansão do agronegócio e o aumento da produtividade no campo. Esse crescimento tem contribuído para o desenvolvimento socioeconômico da região, com melhorias na infraestrutura, qualidade de vida e acesso a serviços públicos. (BUAINAIN; GARCIA; FILHO, 2018)

No entanto, é importante ressaltar que, apesar dos avanços, existem desafios a serem enfrentados, como a questão da distribuição de renda, a sustentabilidade ambiental e a diversificação da economia. Investimentos em educação, inovação tecnológica e políticas de desenvolvimento regional são essenciais para fortalecer a economia e promover um crescimento econômico mais equilibrado e sustentável.

2.5.8 Armazenamento

O armazenamento de combustíveis no Oeste da Bahia tem se mostrado um ponto estratégico para a logística de distribuição de energia na região. A cidade de Luís Eduardo Magalhães,

em particular, tem desempenhado um papel crucial neste cenário pois é a única cidade da região que tem terminais de armazenamento. Segundo dados ANP de 2024, a capacidade de tancagem de Luís Eduardo Magalhães é de 9 mil m³ em 4 terminais de armazenamento conforme Figura 18. (ANP, 2024a)

Figura 18 – Painel Dinâmico da Tancagem do Abastecimento Nacional de Combustíveis, destacado o armazenamento de Luís Eduardo Magalhães, BA.



Fonte: (ANP, 2024a)

2.5.9 Mercado

O consumo doméstico de etanol, tanto anidro quanto hidratado, no Oeste da Bahia tem mostrado um crescimento significativo. De acordo com os dados apresentados na Tabela 8, é perceptível uma tendência de expansão do mercado. Em particular, o consumo de etanol hidratado tem se destacado, alcançando a marca de 17 milhões de litros no ano de 2022, segundo informações da ANP. Este aumento no consumo reflete a crescente adoção de combustíveis renováveis na região, reforçando o compromisso com a sustentabilidade e a economia verde. (ANP, 2024b)

Tabela 8 – Vendas, pelas distribuidoras, de etanol hidratado e gasolina C (litros) no Extremo Oeste da Bahia.

COMBUSTÍVEL		ANO				
		2018	2019	2020	2021	2022
ETANOL HIDRATADO (L)	BARREIRAS	7.931.011	9.955.201	8.377.000	8.862.704	11.176.000
	LUIS EDUARDO MAGALHÃES	4.785.762	5.837.000	4.531.500	4.406.500	4.921.000
	SÃO DESIDÉRIO	1.809.000	1.820.500	1.675.000	1.640.500	1.836.500
GASOLINA C (L)	BARREIRAS	29.859.508	33.422.000	34.711.497	36.360.000	37.353.482
	LUIS EDUARDO MAGALHÃES	25.384.315	24.745.500	26.714.500	28.723.400	30.234.816
	SÃO DESIDÉRIO	5.613.001	6.213.500	6.507.500	6.719.500	7.566.488

Fonte: Adaptado (ANP, 2024b)

Em 2024, 80% do etanol consumido na Bahia, tanto anidro quanto hidratado, é importado de estados como Mato Grosso, São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco e Alagoas. Os 20% restantes são produzidos localmente a partir da cana-de-açúcar pela Agrovale, Santa Maria e Bahia Etanol (BEL) no território baiano. (BIOENERGIA, 2024)

2.5.10 Polos industriais

Na região Oeste da Bahia, os polos industriais são importantes centros de produção e desenvolvimento econômico. Diversas empresas de diferentes setores têm presença significativa nessa área. Por exemplo, a Bunge e a Cargill são duas multinacionais do setor agroindustrial que atuam na produção e processamento de grãos, alimentos e biocombustíveis. A Bayer, por sua vez, é reconhecida no ramo da biotecnologia agrícola, focando em sementes e tecnologia genética aplicada à agricultura. Além disso, a Galvani é uma empresa especializada em produtos agrícolas, como sementes, fertilizantes e defensivos. Essas indústrias representam uma parte significativa da atividade econômica da região, demonstrando a diversidade e importância dos polos industriais no Oeste da Bahia. (SANTOS, 2021)

A CerradinhoBio, localizada em Chapadão do Céu em Goiás, é a usina mais próxima do Oeste da Bahia e começou suas operações em 2007 em uma região de excelente potencial produtivo. A Companhia se destaca na fabricação e comércio de etanol a partir de cana-de-açúcar e milho, além de comercializar energia e produtos para nutrição animal derivados do milho. Em 2019, a empresa inaugurou uma planta de etanol de milho (denominada de Usina Neomille) adjacente ao seu parque industrial de cana-de-açúcar, com um investimento de R\$ 1 bilhão (SEMADESC, 2021), aumentando a produção de etanol em 240 milhões de litros por safra. Essa expansão consolidou a CerradinhoBio como o maior complexo de produção de biocombustíveis da América Latina. (BIOENERGIA, 2024)

A Usina Neomille, planta de etanol de milho, moeu durante a safra 2021/22, 543 mil toneladas de milho, ou seja, 45 mil toneladas mensais. A evolução do processamento de cana-de-açúcar e milho nos últimos cinco anos pode ser vista na Figura 19. (BIOENERGIA, 2024)

Figura 19 – Comparação da moagem da cana e do milho em tonelada na Usina Neomille.



Fonte: (BIOENERGIA, 2024)

Na safra 2021/22, foram produzidos 675 milhões de litros de etanol hidratado, sendo 244 milhões de litros advindos do milho, 19% superior à safra anterior, observada na Figura 20. (BIOENERGIA, 2024)

Figura 20 – Comparação da produção de etanol hidratado proveniente da cana e do milho em mil m³ na Usina Neomille.



Fonte: (BIOENERGIA, 2024)

Além do etanol de milho, na safra 2021/22 foram produzidas 124 mil toneladas do seu coproduto, DDGS. Em relação ao óleo de milho, foram produzidas 6,7 mil toneladas, sendo ambos os produtos utilizados no mercado de nutrição animal. (BIOENERGIA, 2024)

2.6 Fatores necessários e desafios para implementar uma usina de etanol

A implementação de uma usina de etanol, seja de cana-de-açúcar ou de milho, requer uma série de fatores essenciais para o sucesso do empreendimento. Alguns dos principais fatores necessários, segundo (QUEIROZ, 2008) são:

1. **Matéria-prima:** Garantir o suprimento de matéria-prima é fundamental. No caso do etanol, pode ser cana-de-açúcar, milho, beterraba, entre outros. É importante avaliar a disponibilidade, a qualidade e a sustentabilidade da matéria-prima na região em que a usina será construída.
2. **Infraestrutura:** A infraestrutura adequada é necessária para a construção e operação da usina de etanol. Isso inclui acesso viário, fornecimento de energia elétrica e água, bem como a disponibilidade de instalações de armazenamento e logística para escoar o etanol produzido.
3. **Aspectos regulatórios:** Cumprir as regulamentações e normas legais é fundamental. Isso inclui obter as licenças ambientais, cumprir as normas de segurança e saúde ocupacional, e atender aos requisitos tributários e fiscais relacionados a produção de etanol.
4. **Investimento financeiro:** A implementação de uma usina de etanol requer um investimento significativo. É necessário ter recursos financeiros adequados para a construção das instalações, aquisição de equipamentos e maquinários, contratação de mão de obra qualificada, além de cobrir os custos operacionais iniciais.
5. **Tecnologia e know-how:** É essencial contar com a tecnologia adequada e o conhecimento necessário para operar uma usina de etanol de forma eficiente. Isso inclui a escolha dos equipamentos e processos de produção mais adequados, bem como a capacitação da equipe técnica para garantir a qualidade e a eficiência na produção.
6. **Mercado e comercialização:** É importante avaliar o mercado de etanol, identificar a demanda e as oportunidades de comercialização. Estabelecer parcerias estratégicas com distribuidores, postos de combustíveis e outros agentes do setor pode ser fundamental para garantir a venda e distribuição do etanol produzido.
7. **Sustentabilidade:** Considerar os aspectos de sustentabilidade ambiental e social é cada vez mais relevante para o mundo moderno. Isso inclui adotar práticas agrícolas sustentáveis, minimizar o consumo de água e energia, reduzir as emissões de GEE, bem como promover boas condições de trabalho e responsabilidade social.

Em relação a construção de uma usina desafios podem influenciar o processo de implementação e operação. Segundo (SANTOS, 2016a), os mais relevantes são:

- Aspectos regulatórios: O setor de etanol no Brasil está sujeito a regulamentações governamentais, como legislação ambiental, regras de emissão e políticas de incentivo. É essencial cumprir as exigências legais e obter as licenças necessárias para a construção e operação da usina. O setor de biocombustíveis no Brasil é altamente regulamentado e enfrenta constantes mudanças nas políticas públicas e na legislação. Isso pode afetar a rentabilidade dos investimentos e a viabilidade de novos projetos.
- Infraestrutura e logística: A disponibilidade de infraestrutura adequada, como estradas, energia elétrica e acesso à água, é crucial para o funcionamento eficiente de uma usina de etanol. Além disso, a logística de transporte do etanol, seja por rodovias, ferrovias ou hidrovias, deve ser considerada para garantir o escoamento da produção.
- Viabilidade econômica: A construção e a operação de uma usina de etanol requerem um planejamento financeiro sólido e estudos de viabilidade econômica. É necessário avaliar os custos de investimento, os preços dos insumos agrícolas, a demanda de mercado e os aspectos de comercialização do etanol para garantir a sustentabilidade econômica do empreendimento. O custo de produção do etanol é afetado por vários fatores, incluindo o preço das matérias-primas, o custo da energia e o custo do transporte. Isso pode afetar a rentabilidade dos projetos e tornar difícil competir com outras fontes de energia.
- Disponibilidade de matéria-prima: A garantia de um suprimento adequado de matéria-prima utilizada na produção de etanol, como a cana-de-açúcar e o milho, nem sempre estão disponíveis em quantidade suficiente ou a preços competitivos.
- Tecnologia e eficiência: A escolha da tecnologia a ser empregada na usina de etanol é fundamental para a eficiência e rentabilidade do processo. É importante considerar tecnologias de produção de etanol mais avançadas, que possam otimizar a eficiência energética, reduzir o consumo de água e minimizar os resíduos. O etanol concorre com outras fontes de energia renovável, como energia solar e eólica, que estão se tornando cada vez mais competitivas em termos de custo e eficiência.
- Sustentabilidade ambiental: A preocupação com a sustentabilidade ambiental é cada vez mais relevante na produção de etanol. É necessário adotar práticas agrícolas sustentáveis, como o manejo adequado de resíduos e a conservação do solo, além de implementar medidas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa ao longo de toda a cadeia produtiva.

Esses são apenas alguns dos fatores necessários e desafios enfrentados na construção de uma usina de etanol no Brasil. Cada empreendimento pode ter particularidades específicas, mas é fundamental considerar e planejar cuidadosamente esses aspectos para garantir uma operação bem-sucedida e sustentável.

2.7 Indicadores para uma análise econômica

O objetivo de uma empresa é maximizar o seu valor, algo a ser perseguido a longo prazo, sem foco exclusivo em lucros imediatos. Dessa forma, as decisões devem ser tomadas com o intuito de gerar aumentos de riquezas sustentáveis. A apuração dos resultados é o ponto de partida para a projeção do fluxo de caixa e do lucro econômico do projeto. A apuração contábil confronta as receitas correspondentes às vendas dos bens ou serviços produzidos com as despesas correspondentes, em determinado período. (BORDEAUX-REGO, 2015)

Um bom gerenciamento empresarial envolve analisar todos os gastos da empresa. Ter controle sobre a contratação e aquisição de produtos e serviços é essencial para manter as finanças em dia. Nesse contexto, entender os conceitos de OPEX e CAPEX é fundamental. (INVESTIMENTOS, 2024)

OPEX (Operational Expenditure): que significa em português “despesas operacionais”. São as despesas operacionais recorrentes da empresa, inclui gastos diários, como salários, manutenção e combustível. O OPEX pode ser extraído das informações disponíveis no balanço patrimonial da empresa, no demonstrativo de fluxo de caixa (DFC) e na Demonstração do Resultado do Exercício (DRE). O OPEX pode ser calculado a partir da Equação (2.1). (ENERGÉTICA, 2018)

$$\begin{aligned} \text{OPEX} &= \text{Capacidade de processamento mensal (ton.)} \\ &\quad \times \text{Rendimento médio por tonelada de milho (L/ton.)} \\ &\quad \times \text{Valor da matéria-prima (R$/L)} \end{aligned} \tag{2.1}$$

CAPEX (Capital Expenditure): que significa “despesas de capitais”. Sendo assim, entra no CAPEX a parcela dos recursos da empresa que será destinada a bens de capital. Destina-se a ativos intangíveis, como ampliação da produção e aquisição de maquinário.

Para uma gestão financeira eficaz, é crucial entender também a diferença entre receitas e custos, são eles os parâmetros considerados em um demonstrativo de fluxo de caixa (DFC). Receitas são os valores recebidos pela empresa pela venda de produtos ou serviços, representando a entrada de recursos financeiros. Elas podem ser operacionais, quando derivadas das atividades principais da empresa, ou não operacionais, provenientes de fontes secundárias como investimentos. (SOUZA; PEREIRA, 2002)

As Equações (2.2), (2.3) e (2.4) apresentam as fórmulas utilizadas para o cálculo das receitas de cada produto no contexto de uma usina full de etanol de milho.

$$\begin{aligned} \text{Receita mensal da produção de etanol} &= \text{Capacidade de processamento mensal (ton.)} \\ &\times \text{Preço médio de venda de etanol (R\$/L)} \\ &\times \text{Rendimento médio de milho (L/ton.)} \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Receita mensal da venda de DDGS} &= \text{Preço médio de venda de DDGS (R\$/ton.)} \\ &\times \text{Estimativa de produção de DDGS (ton./dia)} \\ &\times 30 \text{ (dia/mês)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Receita mensal da venda de Óleo bruto} &= \text{Preço médio de venda de Óleo bruto (R\$/ton.)} \\ &\times \text{Estimativa de produção de Óleo bruto (ton./dia)} \\ &\times 30 \text{ (dia/mês)} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Custos, por outro lado, são os gastos diretamente associados à produção de bens ou serviços, incluindo matéria-prima, mão de obra e custos indiretos de fabricação. A correta apuração e controle das receitas e custos são essenciais para determinar a rentabilidade e garantir a sustentabilidade financeira da empresa. (SOUZA; PEREIRA, 2002)

O custo mensal de matéria-prima é dado pela Equação 2.5, onde 16,67 é o fator de conversão de sacos para toneladas (LOSEKANN; TAVARES, 2019).

$$\begin{aligned} \text{Custo mensal de matéria-prima} &= \text{Capacidade de processamento mensal} \\ &\times \text{Preço médio de aquisição de milho} \\ &\times 16,67 \text{ (sc/ton.)} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Observa-se na Equação (2.6) a fórmula utilizada para o custo total mensal do empreendimento, onde foi considerado o custo com a matéria-prima e o OPEX que são as despesas operacionais recorrentes da empresa:

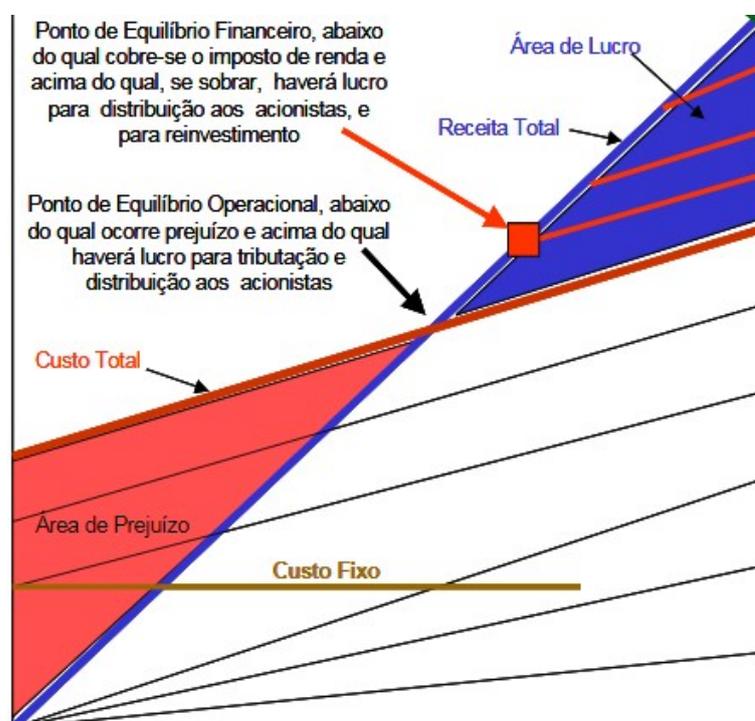
$$\begin{aligned} \text{Custo total mensal} &= \text{Custo mensal de matéria-prima} \\ &+ \text{OPEX} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Para obter a DRE, que representa a diferença entre receitas, despesas e custos, utilizou-se a Equação 2.7. (LOSEKANN; TAVARES, 2019).

$$\begin{aligned} \text{Lucro mensal} &= \text{Receita total mensal} \\ &- \text{Custo total mensal} \end{aligned} \quad (2.7)$$

A principal informação derivada de uma DRE é a identificação do volume de produtos necessários para atingir determinados objetivos de lucro, conforme indicado pelo ponto de equilíbrio na Figura 21. O cálculo do ponto de equilíbrio em unidades físicas pode ser realizado com base nos dados de volume de produtos que geram uma receita suficiente para cobrir os custos e despesas totais, além de uma margem de lucro desejada. Dessa forma, é possível determinar se o resultado será lucro (receitas maiores que custos) ou prejuízo (receitas menores que custos). (SOUZA; PEREIRA, 2002)

Figura 21 – Ponto de Equilíbrio Operacional e Financeiro.



Fonte: (SOUZA; PEREIRA, 2002)

Para avaliar economicamente a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, foram utilizados indicadores que mostram os valores referentes ao processamento de uma tonelada de cana nas principais indústrias sucroalcooleiras brasileiras, considerando a safra 2017/2018 Figura 22. A análise levou em conta o valor médio de faturamento de R\$ 164,70 por tonelada e o custo-caixa médio (R\$104,90), incluindo despesas administrativas (R\$11,60), de R\$ 116,50 por tonelada. A lucratividade média (Ebitda) calculada pela Equação 2.8, resultou em um valor de R\$ 59,80 por tonelada segundo o trabalho de (SUMIKAWA, 2019).

$$\begin{aligned} \text{Lucro médio mensal (Ebitda)} &= R\$164,70 \text{ (Faturamento)} \\ &\quad - R\$116,50 \text{ (Custo, sendo R\$104,90 + R\$11,60)} \quad (2.8) \\ &= R\$59,80 \text{ por tonelada} \end{aligned}$$

Figura 22 – Indicadores econômico-financeiros da indústria sucroalcooleira, valores do significado de uma tonelada de cana-de-açúcar em reais das indústrias brasileiras.

Resultado referente à safra 2017/18
(em reais)

	Ebitda	Faturamento	Custo-caixa	Despesas administrativas
	Média* 59,8	Média* 164,7	Média* 104,9	Média* 11,6
São Manoel	92,38	150,24	57,86	6,01
Ipiranga Agro	88,09	163,99	73,50	4,10
Cerradinho	86,51	170,28	83,77	9,37
Energética Morrinhos	86,50	132,12	45,62	9,56
Da Mata	85,82	175,72	89,90	5,05
Agropeu	83,93	175,17	89,24	12,14
Delta	82,60	168,09	85,49	5,81
Vale do Paraná	82,45	149,17	66,73	9,77
Santa Adélia	81,40	170,93	89,53	9,49
Aroeira	79,54	185,46	105,93	6,61
São Martinho	79,18	154,72	75,54	8,11

Fonte: (SUMIKAWA, 2019)

A tomada de decisão sobre a realização de um projeto requer critérios técnicos. A maneira mais eficaz é simular o investimento segundo algum modelo. Dessa forma, confrontam-se os fluxos de caixa gerados com o investimento realizado. Existem diversos modelos de tomada de decisão. O principal pode ser determinado por: (BORDEAUX-REGO, 2015)

Payback simples: leva em conta o tempo de retorno do capital investido, o payback simples é dado pela Equação 2.9.

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Lucro mensal} \times 12 \text{ (meses)}} \quad (2.9)$$

O Payback indica quantos períodos são necessários para recuperar um investimento. Um Payback menor significa menor risco, enquanto um Payback maior indica maior risco para o retorno do investimento. Entretanto, vale ressaltar que esse indicador deve ser empregado com cautela para comparar projetos de diferentes ramos de atividade, pois desconsidera todos os eventos (receitas e custos) posteriores ao período identificado. (ABEL et al., 2019)

Em conclusão, os indicadores econômicos desempenham um papel fundamental na avaliação de projetos e na tomada de decisões empresariais. O objetivo último de uma empresa é

maximizar seu valor, considerando não apenas lucros imediatos, mas também riquezas sustentáveis a longo prazo. A apuração dos resultados, a projeção do fluxo de caixa e a análise do lucro econômico são etapas cruciais nesse processo. (BORDEAUX-REGO, 2015)

3 Metodologia

A metodologia utilizada nesse trabalho sobre a viabilidade socioeconômica da implantação de uma usina de etanol a partir do milho no Oeste da Bahia consistiu em uma abordagem multifacetada, envolvendo pesquisa bibliográfica, coleta de dados primários e análise de informações relevantes. Inicialmente, foram realizadas revisões bibliográficas a fim de compreender o contexto do setor de etanol, as tecnologias envolvidas na produção do milho e os aspectos socioeconômicos da região.

Em seguida, foram levantados dados sobre usinas de etanol, tanto de cana-de-açúcar como de milho, para a análise das informações sobre suas operações, infraestrutura, tecnologias empregadas e desafios enfrentados. Os dados coletados foram analisados qualitativa e quantitativamente, permitindo uma avaliação abrangente dos aspectos econômicos, relacionados ao projeto, a fim de verificar a viabilidade socioeconômica da implantação de uma usina de etanol a partir do milho no Oeste da Bahia.

A metodologia desse trabalho foi baseada em parte do estudo realizado por (QUEIROZ, 2008). Os subcritérios de insumos, infraestrutura e econômicos estabelecidos pelo mesmo com base em uma revisão bibliográfica foram analisados e as teorias de localização das atividades econômicas e os fatores locacionais gerais também foram avaliados.

Os fatores locacionais estabelecidos foram:

- Disponibilidade de mão-de-obra;
- Disponibilidade de água para irrigação;
- Infraestrutura para escoamento da produção;
- Infraestrutura para transporte do milho até a usina;
- Proximidade com o álcoolduto;
- Proximidade com a rede elétrica;
- Infraestrutura de comunicações;
- Disponibilidade de arrendamento de terras na região;
- Proximidades das lavouras de fornecimento de matérias-primas;
- Incentivos fiscais oferecidos pelo município ou governo;

- Proximidade do mercado consumidor;
- Possibilidade de expansão futura da produção;
- Valor de resultado operacional ser lucrativo;
- Payback dentro de prazo viável.

4 Resultados e Discussão

Para compreender se a região do Oeste da Bahia se adequa como local de implantação de uma usina de etanol a base de milho, a análise econômica e avaliação dos subcritérios foram estudadas.

4.1 Análise econômica

A análise econômica da produção de etanol em usinas multifacetada de milho envolveu uma avaliação detalhada dos custos de produção, receitas geradas e viabilidade financeira do empreendimento.

Os primeiros dados que foram obtidos estão relacionados aos custos vinculados a matéria-prima (preço para aquisição do milho), estimativa de consumo de milho, rendimento médio de milho, valor do etanol para a usina e preço médio de venda do etanol na região do Oeste da Bahia, como pode-se observar na Tabela 9.

Tabela 9 – Indicadores econômicos do milho e etanol na região Oeste da Bahia.

Descrição	Valor	Unidade	Referência
Preço médio de aquisição do milho	40,00	R\$/sc	(ABASTECIMENTO, 2024)
Estimativa de consumo de milho	1.700	toneladas/dia	(FORBES, 2022)
Rendimento médio por tonelada de milho	420	L	(GASQUES et al., 2022)
Valor do etanol para usina full	0,34	R\$/L	(ENERGÉTICA, 2018)
Preço médio de venda do etanol	3,00	R\$/L	(ANP, 2024b)

Fonte: Autoria própria.

Estabelecendo os custos vinculados a matéria-prima pode-se calcular os custos de processamento mensal, considerando 30 dias de funcionamento da usina, ou seja, operando com 100% da sua capacidade. Para isso, precisou-se estabelecer a capacidade de processamento mensal, que utilizando o dado de consumo de milho diário, será de 51.000 toneladas por mês.

Segundo a EPE (ENERGÉTICA, 2018), a estimativa de investimento e custos operacionais e de manutenção, no período de 2018-2030 de etanol de milho em usina do tipo full foi considerado o equivalente R\$0,34/litro. Esse valor inclui custos com frete, mão-de-obra, despesas industriais, entre outros. Sendo assim o valor do OPEX para esse empreendimento

pode ser calculado a partir da Equação (2.1), utilizando o rendimento médio por tonelada de milho da Tabela 9, obtendo o valor de R\$7.282.800,00.

Uma importante contribuição da usina de etanol proveniente do milho é a questão de que os coprodutos possuem valor agregado, garantindo rentabilidade para o investimento. Assim, para calcular a receita mensal de produção de DDGS e óleo bruto, os dados de preço de venda e rendimento de cada subproduto foram obtidos da literatura, podendo ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 – Receita da produção de subprodutos para a região Oeste da Bahia

Categoria	Descrição	Valor	Unidade	Referência
Receita dos Subprodutos	Preço médio de venda do DDGS	1100	R\$/tonelada	(BIOENERGIA, 2020)
	Estimativa de produção de DDGS	510	toneladas/dia	(GASQUES et al., 2022)
	Preço médio de venda do óleo bruto	29,74	R\$/tonelada	(SILVA et al., 2020)
	Estimativa de produção de óleo bruto	24,65	toneladas/dia	(FORBES, 2022)

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 11 mostra os valores obtidos para a receita da produção do etanol, das vendas do DDGS e do óleo bruto, todos levando em consideração o valor mensal, utilizando as Equações (2.2), (2.3) e (2.4), a partir dos dados das Tabelas 9 e 10.

Tabela 11 – Resultado receita da produção de etanol e subprodutos.

Receita mensal da produção de etanol	Receita mensal da venda de DDGS	Receita mensal da venda de óleo bruto	Receita total mensal
R\$64.260.000,00	R\$ 16.830.000,00	R\$ 21.993,00	R\$ 81.111.993,00

Fonte: Autoria própria.

Logo, o resultado obtido de receita total mensal para essa usina que tendo como produto o etanol e como subprodutos DDGS e óleo bruto observado na Tabela 11 foi de R\$81.111.993,00 (somatória desses valores).

Segundo (SILVA et al., 2020), a venda desses subprodutos (DDGS e óleo bruto) pode aumentar a receita em até 12,5% para uma planta flex operando durante todo o ano. Assim, a região do Oeste da Bahia pode ser um nicho interessante para este tipo de empreendimento, visto que faz fronteira com o Centro-Oeste, região que tem parte desse dos seus setores interessados por esses subprodutos, visto que podem ser utilizados como fonte de alimentação animal.

O valor obtido do custo total mensal foi de R\$41.289.600,00, o qual leva em consideração os custos envolvidos para a obtenção da matéria-prima e os custos para operacionalizar a usina (OPEX), conforme a Equação (2.6). Dessa forma, com esse valor e a receita total mensal obtida na Tabela 11 foi possível calcular o valor de lucro mensal através da Equação (2.7) (Tabela 12).

Tabela 12 – Lucro mensal da usina de etanol e subprodutos.

Receita total mensal	Custo total mensal	Lucro mensal
R\$ 81.111.993,00	R\$ 41.289.600,00	R\$ 39.822.393,00

Fonte: Autoria própria.

Com esses dados, pode-se calcular indicadores de viabilidade econômica, como o payback simples (Equação(2.9)), para determinar se o projeto é financeiramente atrativo. Além disso, é importante considerar análises de sensibilidade para avaliar o impacto de variações nos preços das matérias-primas, do etanol e dos subprodutos, bem como mudanças nas condições de mercado e regulatórias, na rentabilidade do projeto.

Com base nos dados fornecidos pela (BIOENERGIA, 2024), a estimativa de investimento inicial para uma usina de etanol de milho é de R\$ 908.000.000,00. A partir do lucro mensal obtido na Tabela 12 de R\$ 39.822.393,00, pode-se calcular o Payback anual, multiplicando o lucro mensal por 12 e que segundo a Equação (4.1) foi encontrado o resultado de 1 ano e 11 meses de retorno.

$$\text{Payback} = \frac{\text{R}\$908.000.000,00}{\text{R}\$39.822.393,00 \times 12} = 1 \text{ ano e } 11 \text{ meses.} \quad (4.1)$$

De forma comparativa, o Payback anual da Usina Neomille que teve um investimento inicial de R\$ 1 bilhão de reais e um lucro mensal de R\$37.874.576,00 (dados de produção apresentados no Figuras 19 e 20) teve um retorno em 2 anos e 8 meses. (SANTOS; OLIVEIRA, 2021).

No trabalho de (SUMIKAWA, 2019), foi realizada uma análise econômica de uma usina de cana-de-açúcar em operação, avaliando a viabilidade de adicionar a produção de etanol de milho para aproveitar a entressafra da cana. A proposta consistia em operar uma usina híbrida de cana e milho. O cálculo resultou em um payback de 2 meses, considerando um lucro mensal de R\$ 2.764.769,07 e um investimento inicial de R\$ 5.522.412,00, visto que os custos para a implementação são bem menores, haja vista a existência da infraestrutura da usina de cana-de-açúcar.

Utilizando os valores da Figura 22, com faturamento de R\$ 164,70 por tonelada e o custo-caixa médio, incluindo despesas administrativas, de R\$ 116,50 por tonelada, a lucratividade

média (Ebitda) de R\$ 59,80 por tonelada, como comparativo de análises econômicas de usinas sucroalcooleiras, pode-se observar que em uma usina com produção de 51.000 toneladas mensal de cana-de-açúcar a média de faturamento será de R\$ 8.399.700,00, os custos médios serão de R\$ 5.349.900,00 e a média de lucro mensal é de R\$3.049.800,00. (SUMIKAWA, 2019)

Figura 23 – Quadro comparativo de investimentos iniciais e payback em usinas.



Fonte: Autoria própria

Portanto, ao comparar usinas do ramo sucroalcooleiro e usinas flex, pode-se observar que o investimento e o Payback são menores como mostrado na Figura 23. No entanto, ao comparar a Usina Neomille com o projeto da usina discutido neste trabalho, ambos do mesmo ramo e com produção dos mesmos subprodutos, o Payback da implementação da usina de milho no Oeste da Bahia se mostra viável. Isso porque um Payback menor indica menor risco de investimento. Embora o investimento inicial da Usina Neomille seja maior, a produção de subprodutos é semelhante, como observado nos dados de produção nas Figuras 19 e 20.

O Payback menor da usina de milho no Oeste da Bahia é justificado pela localização estratégica, que facilita a logística e reduz custos operacionais, além da disponibilidade local de milho. A experiência de mercado de usinas similares, permite a aplicação de melhores práticas e tecnologias, aumentando a eficiência na produção de subprodutos e diminuindo custos. Além disso, a alta demanda por etanol na Bahia, que atualmente importa a maior parte do consumo, cria um mercado favorável, acelerando o retorno do investimento e diminuindo o risco.

4.2 Atendimento aos subcritérios

No sentido de facilitar os julgamentos foram utilizadas as Tabelas 13, 14 e 15 que resumiram as principais características da alternativa do Oeste da Bahia ser a sede da usina full de etanol de milho em relação a alguns critérios estipulados por (QUEIROZ, 2008).

Tabela 13 – Subcritério infraestrutura.

INFRAESTRUTURA PARA ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO	INFRAESTRUTURA PARA TRANSPORTE DO MILHO ATÉ A USINA	PROXIMIDADE COM O ALCOOLDUTO	PROXIMIDADE COM A REDE ELÉTRICA	INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÕES
Rodovias: BA 242 e BR 020, rodovias estão em boas condições de rodagem. Ferrovia: Oeste- Leste em construção.	Quanto às condições das estradas secundárias do município, essas são em bom número e apresentam boas condições e na maioria das vezes conservadas com apoio dos agricultores que a usam (FEDERAL, 2023)	A distância até o município do alcoolduto é de aproximadamente 1032 km.	Boa distribuição por todo o município.	Telefonia fixa, móvel e internet banda larga.

Tabela 14 – Subcritério insumos.

DISPONIBILIDADE DE MÃO DE OBRA	DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	DISPONIBILIDADE DE ARRENDAMENTO DE TERRAS NA REGIÃO	VALOR DE TERRAS NA REGIÃO	PROXIMIDADES DAS LAVOURAS DE FORNECIMENTO DE MATÉRIAS-PRIMA
A disponibilidade de mão de obra para a parte agrícola é grande. A taxa de alfabetização é de em média 96,5%. Possui muitas universidades.	Região com 15% de área plantada com irrigação. (BAHIA, 2018)	Região tradicionalmente agrícola. A área agrícola plantada ocupa 2,24 milhões hectares. (BAHIA, 2018)	O valor das terras da região é de em média R\$9.000 por hectare. (FEDERAL, 2023)	Possui milho em quantidade significativa.

Tabela 15 – Subcritério econômicos

INCENTIVOS FISCAIS OFERECIDOS PELO MUNICÍPIO OU GOVERNO	PROXIMIDADE DO MERCADO CONSUMIDOR	POSSIBILIDADE DE EXPANSÃO FUTURA DA PRODUÇÃO	VALOR DE RESULTADO OPERACIONAL SER LUCRATIVO	PAYBACK DENTRO DE PRAZO VIÁVEL
Não oferece incentivos.	Brasília a 600 km, Palmas a 400 km e Salvador a 900 km.	Sim.	Sim.	Comparado a Usina Neomille é um projeto viável.

Os resultados resumidos na Tabela 16 podem contribuir para a decisão em relação aos subcritérios infraestrutura, insumos e econômico, a fim de implementar a usina de milho na região do Oeste da Bahia.

Tabela 16 – Resultado análise subcritérios

SUBCRITÉRIO INFRAESTRUTURA	SUBCRITÉRIO INSUMOS	SUBCRITÉRIO ECONÔMICO
A região atende em relação a logística, disponibilidade de água, energia, recursos humanos e armazenamento.	A região atende em relação a disponibilidade de matéria prima e clima favorável para o cultivo do milho.	Com base na análise econômica é um projeto viável dado os custos vinculados ao projeto.

Comparando com o trabalho de (QUEIROZ, 2008) e as localidades estudadas, que incluem cidades em Goiás selecionadas para a implantação de uma usina de etanol, pode-se observar que, no quesito infraestrutura, a região do Oeste da Bahia é semelhante devido à proximidade geográfica. No entanto, uma diferença notável é que as cidades de Goiás estão mais próximas do alcooduto. Em relação a outros aspectos como logística, disponibilidade de água, energia e recursos humanos, ambas as regiões são similares. Um diferencial importante para a região do Oeste da Bahia é a presença de terminais de armazenamento de combustível.

No subcritério de insumos, tanto as cidades de Goiás quanto a região estudada neste trabalho são áreas tradicionalmente agrícolas, com vastas plantações, o que assegura proximidade com a matéria-prima. No entanto, a região Oeste da Bahia se destaca por contar com a produção de milho na terceira safra.

5 Considerações finais

Com base na análise dos subcritérios de infraestrutura, insumos e econômico, pode-se concluir que a implantação de uma usina de etanol a partir do milho no oeste da Bahia pode ser viável e promissora. A região apresenta condições favoráveis em termos de logística, disponibilidade de água, energia, recursos humanos e armazenamento, atendendo plenamente às necessidades de infraestrutura. Além disso, a disponibilidade de matéria-prima e o clima favorável para o cultivo do milho reforçam a viabilidade do projeto.

Em 2024, o meio rodoviário é a única alternativa logística, utilizando as rodovias BR-020 e BR-242, que ligam as capitais mais próximas. Contudo, projetos como a Ferrovia Leste-Oeste e o duto de etanol são outras opções logísticas que irão viabilizar ainda mais o projeto da usina na região, assim que estiverem concluídas.

Economicamente, o projeto se mostrou viável, considerando os custos envolvidos e a demanda crescente por etanol. Em 2024, 80% do etanol consumido na Bahia, é importado, o que evidencia uma oportunidade significativa para a produção local desse insumo. O setor de biocombustíveis no Brasil tem demonstrado um desempenho notável, com o etanol sendo responsável por 85% dos CBIOs emitidos, destacando sua importância na redução das emissões de GEE e na transição para uma economia de baixo carbono.

A produção de etanol a partir do milho também pode contribuir para a estabilidade do mercado durante a entressafra da cana-de-açúcar, quando os preços do álcool tendem a subir. A diversificação das matérias-primas, como milho, pode garantir a continuidade da produção de etanol, independentemente das condições climáticas e das tecnologias disponíveis.

Outras inovações incluem o desenvolvimento de processos de recuperação de subprodutos, como a produção de óleo bruto de milho e DDGS, que são utilizados na fabricação de ração animal. O uso eficiente dos subprodutos do processo de produção de etanol aumenta a rentabilidade das usinas e reduz seu impacto ambiental, ou seja, trabalhando também na questão da segurança alimentar visto que a maior parte do milho produzido hoje é destinado para alimentação animal.

Desde o lançamento do Pró-álcool, o etanol tem se destacado como um biocombustível do futuro, devido à sua contribuição para a redução das emissões de GEE e à sua importância na transição para uma economia de baixo carbono. O avanço contínuo da tecnologia, incluindo a produção de etanol de segunda geração, promete expandir ainda mais o potencial do etanol como uma fonte de energia sustentável e renovável para o Brasil e para o mundo.

Além disso, o Payback do investimento seria de 1 ano e 11 meses, e o empreendimento tem um ponto de equilíbrio favorável, visto que suas receitas correspondem a 50% dos custos totais calculados anteriormente.

Portanto, a implantação de uma usina de etanol a partir do milho na região do Oeste da Bahia não só pode ser viável, como também estratégica para atender à demanda interna, promover o desenvolvimento regional e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Referências

- ABASTECIMENTO, C. Companhia Nacional de. *Programa de Garantia de Preços para a Agricultura Familiar (PGPAF)*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaPgpm.do?method=acaoListarConsulta>>. Citado na página 51.
- ABEL, D. d. C. et al. Análise da viabilidade econômico-financeira da implantação de energia solar fotovoltaica no hotel praiano (tapes/rs). *Encontro Internacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente*, v. 21, p. 1–11, 2019. Citado na página 47.
- AIBA, A. de Agricultores e Irrigantes da B. *Boletim Circular N° 38 de 29 de julho 2024*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://aiba.org.br/boletins-safra/>> Citado na página 32.
- ALMEIDA, I. R. de; BRIXNER, G. F.; PETER, A. R. *Georreferenciamento e validação do cadastro das usinas fornecedoras de etanol no Brasil*. [S.l.]: In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA, 4.; REUNIÃO TÉCNICA DE AGROENERGIA, 4 . . . , 2012. Citado 2 vezes nas páginas 26 and 27.
- ANDRADE, E. T. de; CARVALHO, S. R. G. de; SOUZA, L. F. de. Programa do proálcool e o etanol no brasil. *Engevista*, 2009. Citado na página 1.
- ANP. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2022>>. Citado 5 vezes nas páginas 3, 4, 24, 25, and 26.
- ANP. *Capacidade de armazenamento. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/armazenamento-e-movimentacao-de-produtos-liquidos/terminais-de-petroleo-e-combustiveis-liquidos/terminais-de-petroleo-e-combustiveis-liquidos/capacidade-de-armazenamento>>. Citado na página 39.
- ANP. *Dados estatísticos. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>> Citado 4 vezes nas páginas 3, 39, 40, and 51.
- ANTON, L. *Análise de desempenho ambiental da cogeração de energia elétrica a partir de adições sucessivas de biomassa em destilaria autônoma*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27, and 28.
- AZANZA, F.; BAR-ZUR, A.; JUVIK, J. A. Variation in sweet corn kernel characteristics associated with stand establishment and eating quality. *Euphytica*, Springer, v. 87, p. 7–18, 1996. Citado na página 6.
- BAHIA, A. Associação de Agricultores e Irrigantes da. *Região Oeste da Bahia se destaca em eficiência na agricultura irrigada, 2018*. [S.l.], 2018. Disponível em:

<<https://aiba.org.br/regiao-oeste-da-bahia-se-destaca-em-eficiencia-na-agricultura-irrigada/>>. Citado na página 55.

BARROS, C. C. C.; WANKE, P. F. Logística de distribuição de etanol: uma proposta de avaliação para a viabilidade na construção de alcooldutos a partir do centro oeste do brasil. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, Universidade Federal de Lavras, v. 14, n. 3, p. 343–355, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 21, 22, and 24.

BIOENERGIA, C. *Nossos Números - Dados de Produção*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.cerradinhobio.com.br/a-companhia-2/nossos-numeros-dados-de-producao/>>. Citado 3 vezes nas páginas 29, 40, and 41.

BIOENERGIA, U. União Nacional da. *Produção de DDG de milho dispara no Brasil e avança no mercado do farelo de soja*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2020/10/09/producao-de-ddg-de-milho-dispara-no-brasil-e-avanca-no-mercado-do-farelo-de-soja.html>>. Citado na página 52.

BIOENERGIA, U. União Nacional da. *Petrobahia investirá quase R1 bilhão em primeira biorrefinaria brasileira*. <>. Citado 2 vezes nas páginas 40 and 53.

BORDEAUX-REGO, R. *Viabilidade econômico-financeira de projetos*. [S.l.]: Editora FGV, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 44, 47, and 48.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R.; FILHO, J. E. R. V. A economia agropecuária do matopiba: Agricultural economy of matopiba. *Estudos Sociedade e Agricultura*, v. 26, n. 2, p. 376–401, 2018. Citado na página 38.

CAMELINI, J. H.; CASTILLO, R. Logística e competitividade no circuito espacial produtivo do etanol no brasil. *Boletim Campineiro de Geografia*, v. 2, n. 2, p. 262–278, 2012. Citado na página 24.

CANA, N. *Outlook Fiesp 2023. PROJEÇÕES PARA O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO*. [S.l.], 2013. Disponível em: <https://www.novacana.com/pdf/estudos/Estudo_Fiesp_MBagro.pdf>. Citado na página 18.

CANA, N. *Processos da fabricação do etanol*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>>. Citado na página 2.

CARVALHO, C. B. d.; BAJAY, S. V. O setor agropecuário no estado da bahia: perspectivas econômicas e intensidade energética. *Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural*, SciELO Brasil, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 35 and 36.

CASTRO, A. M. D. “*PRODUÇÃO E PROPRIEDADES DE CELULASES DE FUNGOS FILAMENTOSOS, OBTIDAS A PARTIR DE CELULIGNINA DE*. 2006. Citado na página 16.

COÊLHO, J. D. *Produção de grãos—feijão, milho e soja*. [S.l.]: Banco do Nordeste do Brasil, 2018. Citado na página 31.

CONAB. *Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da Safra de Grãos*. 2023. Citado 4 vezes nas páginas 8, 9, 10, and 32.

CONTINI, E. et al. Milho: caracterização e desafios tecnológicos. *Brasília: Embrapa. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2)*, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 9, 11, and 30.

COSTA, L. B.; PEREIRA, I. F.; LIMA, J. A. de. Reflexos da pandemia da covid-19 nos indicadores econômico-financeiros de empresas do setor de produtos de higiene e limpeza listadas na b3. *Revista Mineira de Contabilidade*, v. 22, n. 2, p. 10–22, 2021. Citado na página 14.

COSTA, R. C.; SODRÉ, J. R. Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend: Engine performance and emissions. *Fuel*, Elsevier, v. 89, n. 2, p. 287–293, 2010. Citado na página 13.

CRUZ, J. C. et al. *Manejo da cultura do milho*. [S.l.]: Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006., 2006. Citado na página 8.

CRUZ, M. G. da; GUERREIRO, E.; RAIHER, A. P. A evolução da produção de etanol no brasil, no período de 1975 a 2009. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 43, n. 4, p. 141–160, 2012. Citado na página 3.

DONKE, A. C. G. et al. *Usina Flex: comparação dos desempenhos ambiental e energético do etanol de cana-de-açúcar, milho e sorgo*. 2016. Citado 2 vezes nas páginas 27 and 30.

EMBRAPA. *Milho e Sorgo. Perguntas mais Frequentes Milho - Colheita e pós-colheita*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<http://cnpms.embrapa.br/perguntas/colheita2.php>> Citado na página 15.

ENERGÉTICA, E. Empresa de P. *Investimentos, Custos e OM em Biocombustíveis 2018-2030*. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-343/topico-449/Investimentos_Custos_O_e_M_Bios_2018-2030.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 44 and 51.

EPE. *Balanco Energético Nacional 2023. Empresa de Pesquisa Energética*. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-756/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20An%C3%A1lise%20de%20Conjuntura_ano_base%202022_2023.08.11.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 2, 5, and 29.

ERENSTEIN, O. et al. Global maize production, consumption and trade: trends and r&d implications. *Food security*, Springer, v. 14, n. 5, p. 1295–1319, 2022. Citado na página 6.

ESTEVES, H. B. B.; BARAN, P. H.; BICALHO, L. N. A elevação dos preços de revenda dos combustíveis automotivos do ciclo otto no ano de 2011 e o papel da agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis: Coordenadoria de defesa da concorrência–anp. *Rio de Janeiro*, 2011. Citado na página 3.

FEDERAL, G. R. *Valores de Terra Nua 2023*. [S.l.], 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/receita-federal/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos/vtn/tabela-vtn-para-divulgacao-pdf/view>>. Citado na página 55.

FERROVIÁRIOS, A. Associação Nacional dos T. *Mapa ferroviário*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.antf.org.br/mapa-ferroviario/>>. Citado na página 21.

FILHO, V. B. C. *Universidade e desenvolvimento regional: o caso da Universidade Federal do Oeste da Bahia*. [S.l.]: Universidade Salvador, 2023. Citado na página 37.

FORBES. *ICM e Impacto Energia construirão biorrefinaria de etanol de milho na Bahia*. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesagro/2022/08/icm-e-impacto-energia-construirao-biorrefinaria-de-etanol>>. Citado 2 vezes nas páginas 51 and 52.

GASQUES, J. et al. *Brasil: projeções do agronegócio 2021/2022 a 2031/2032*. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 51 and 52.

GOLDEMBERG, J. Atualidade e perspectivas no uso de biomassa para geração de energia. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 15–28, 2016. Citado na página 10.

ILARIO, C. G. *Região agrícola competitiva e logística no oeste baiano*. Tese (Doutorado) — [sn], 2011. Citado 3 vezes nas páginas 34, 35, and 38.

INDÚSTRIA, C. E. e. S. COMEXVIS. Ministério da. *Dados de principais importadores de milho no Brasil de Janeiro a maio de 2023*. [S.l.], 2023. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>>. Citado na página 10.

INVESTIMENTOS, X. X. *O que é Opex e Capex e como analisar*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://conteudos.xpi.com.br/aprenda-a-investir/relatorios/opex-e-capex/>>. Citado na página 44.

LOSEKANN, L.; TAVARES, F. B. *Política Energética no BRICS: desafios da transição energética*. [S.l.], 2019. Citado 2 vezes nas páginas 1 and 45.

- MARTINHO, V. B. *Proposta de traçado de alcoolduto ligando a hidrovía Tietê Paraná à refinaria do planalto paulista com uso de avaliação multicritérios e geotecnologias*. [S.l.]: Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2011. Citado na página 21.
- MENDONÇA, J. O. O potencial de crescimento da produção de grãos no oeste da bahia. *Bahia Agrícola*, v. 7, n. 2, p. 38–46, 2006. Citado na página 32.
- MILHO, A. A. B. das Indústrias do. *O Cereal que enriquece a alimentação humana*. [S.l.], 2023. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br>> Citado 3 vezes nas páginas 6, 10, and 11.
- MORAES, M. L. d.; BACCHI, M. R. P. Etanol: do início às fases atuais de produção. *Revista de Política Agrícola*, v. 23, n. 4, p. 5–22, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 4 and 5.
- MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. The alcohol program. *Energy policy*, Elsevier, v. 27, n. 4, p. 229–245, 1999. Citado na página 16.
- NUNES, E. F. Cana-de-açúcar: a produção de etanol e seus benefícios. *Monografia (Técnico em Agronegócios)*. Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de São Paulo. Barretos, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 12 and 18.
- ONS. *Sobre o sin, o sistema em números*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/p%C3%A7inas/sobre-o-sin/o-sistema-em-n%C3%BAmeros>> Citado 2 vezes nas páginas 35 and 36.
- PECUÁRIA, R. *A cultura do milho no Oeste Baiano*. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://ruralpecuaria.com.br/painel/img/noticias/5946/noticias_1478190731.jpg>. Citado na página 6.
- PIMENTEL, M. L.; TURETTA, A. P. D.; TÁVORA, G. S. G. *Mudanças de uso da terra e expansão da agricultura no Oeste da Bahia*. 2011. Citado 2 vezes nas páginas 33 and 34.
- QUEIROZ, S. d. T. P. *Usinas de álcool: fatores influentes no processo de escolha da localização de novas unidades*. 2008. Citado 9 vezes nas páginas 1, 3, 12, 13, 15, 42, 49, 55, and 56.
- RAMOS, C. A. *Avaliação dos critérios vigentes de outorga de recursos hídricos subterrâneos: caso do sistema aquífero Urucuia, oeste da Bahia*. [S.l.]: Escola Politécnica, 2021. Citado na página 36.
- RAÍZEN. *Sobre a Raízen: Onde estamos*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/sobre-a-raizen/onde-estamos/mapa>>. Citado na página 23.
- RFA, R. F. A. *2023 Ready. Set. Go!* [S.l.], 2023. Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/>>. Citado na página 3.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. *How a corn plant develops*. [S.l.]: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1989. Citado 2 vezes nas páginas 6 and 7.

ROBAK, K.; BALCEREK, M. Review of second generation bioethanol production from residual biomass. *Food technology and biotechnology*, Faculty of Food Technology and Biotechnology University of Zagreb, v. 56, n. 2, p. 174, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 16, 17, and 18.

ROCHA, R. L.; PANDOLFI, M. A. C. Geração de resíduos no setor sucroalcooleiro. *Revista Interface Tecnológica*, v. 16, n. 1, p. 384–392, 2019. Citado na página 28.

SANTOS, C. A. P. dos; SANO, E. E. *Formação da frente de expansão, frente pioneira e fronteira agrícola no oeste da Bahia*. 2015. Citado na página 37.

SANTOS, G. R. d. O. *Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas*. [S.l.]: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2016. Citado 2 vezes nas páginas 23 and 43.

SANTOS, G. R. dos. Produtividade na agroindústria canavieira: um olhar a partir da etapa agrícola. *Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas*, p. 165–186, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 15 and 28.

SANTOS, J. S. dos; OLIVEIRA, M. S. de. Inserção e expansão do agronegócio no oeste da bahia: A (re) produção das desigualdades no território de identidade da bacia do rio grande-bahia, no decênio 2000-20101. *Ágora (St. Cruz Sul, Online)*, v. 23, n. 2, p. 173–188, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 31 and 53.

SANTOS, S. A. dos. O avanço da urbanização no oeste baiano: novos núcleos de povoamento. *Cerrados*, Universidade Estadual de Montes Claros-Unimontes, v. 19, n. 1, p. 230–248, 2021. Citado na página 40.

SDE, S. de D. E. B. *Incentivos*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<http://www.sde.ba.gov.br/index.php/incentivos/>> Citado na página 2.

SEMADESC. *Neomille: nova indústria vai investir R1 bilhão para produzir etanol de milho em Maracaju*. [S.l.], 2024. Citado na página 40.

SHARIF, N. et al. Environmental impacts of ethanol production system. *Sustainable Ethanol and Climate Change: Sustainability Assessment for Ethanol Distilleries*, Springer, p. 205–223, 2021. Citado na página 13.

SHIKIDA, P. F. A.; PEROSA, B. B. Álcool combustível no Brasil e path dependence. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, SciELO Brasil, v. 50, p. 243–262, 2012. Citado na página 5.

SICA, H. C. A criação do estado do Rio São Francisco como solução geopolítica para o desenvolvimento da região oeste da Bahia. *Revista de Geopolítica*, v. 10, n. 2, p. 87–99, 2019. Citado na página 31.

SILVA, F. V. Panorama e perspectivas do etanol lignocelulósico. *Revista Liberato*, v. 13, n. 20, p. 43–58, 2012. Citado na página 14.

SILVA, H. J. T. da et al. Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. *Revista de Política Agrícola*, v. 29, n. 4, p. 142, 2020. Citado 6 vezes nas páginas 19, 20, 28, 29, 30, and 52.

SILVA, J. M. da. *Cachaça: História, gastronomia e turismo*. [S.l.]: Editora Senac São Paulo, 2020. Citado na página 4.

SOUZA, M. A. D.; PEREIRA, E. Análise do ponto de equilíbrio dos custos financeiros para investimento em inovações. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. [S.l.: s.n.], 2002. Citado 3 vezes nas páginas 44, 45, and 46.

SPAGNOLO, T. F. d. O. *Análise da dinâmica espacial da expansão agrícola no Oeste Baiano entre 1984 e 2008: estudo de caso do Município de São Desidério-BA*. 2011. Citado 3 vezes nas páginas 33, 34, and 36.

STRAUB, I. W. W. *Caracterização nutricional de coprodutos de etanol de milho para suínos*. 2021. Citado na página 20.

SUMIKAWA, V. I. O. *Avaliação da produção de etanol em usinas flex de cana-de-açúcar e milho*. [S.l.]: Universidade Federal de São Carlos, 2019. Citado 6 vezes nas páginas 7, 15, 46, 47, 53, and 54.

TRANSPETRO. *Mapa Geral Dutos TRANSPETRO 2020*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://transpetro.com.br/transpetro-institucional/nossas-atividades/dutos-e-terminais.htm>>. Citado na página 22.

UNICA, U. D. I. D. C.-D.-A. *Uso do etanol evita 515 milhões de toneladas de CO2 na atmosfera*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://unica.com.br/noticias/uso-do-etanol-evita-515-milhoes-de-toneladas-c>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 and 13.

UNICA, U. da Indústria de Cana-de-Açúcar e B. *Etanol combustível do presente e futuro da mobilidade sustentável*. [S.l.], 2023. Disponível em: <<https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/etanol/>> Citado 2 vezes nas páginas 14 and 20.

UOCHEMISTS. *Miscibility*. [S.l.], 2023. Disponível em: <<https://www.uochemists.com/miscibility/>> .> Citado na página 13.

USDA, F. Grain: World markets and trade. *United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service*, 2023. Citado 5 vezes nas páginas 7, 8, 9, 10, and 12.

VACCARO, G. L. R. et al. Interrelationship among actors in ethanol production chain as a competitive and sustainable factor: The case of associative production and family-farming in southern brazil. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, v. 196, p. 1239–1255, 2018. Citado na página 30.

WHO, W. H. O. et al. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE)*. 2003. Citado na página 12.