

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

POSSIBILIDADES E BARREIRAS NO USO DE TECNOLOGIAS
E INOVAÇÕES NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

PATRÍCIA BORGES KAWAMOTO

CAMPO GRANDE - MS
2025

PATRÍCIA BORGES KAWAMOTO

**POSSIBILIDADES E BARREIRAS NO USO DE TECNOLOGIAS
E INOVAÇÕES NO SETOR SUCROALCOOLEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como pré-requisito necessário para obtenção do
título de Bacharel em Economia pelo Curso de
Ciências Econômicas, da Escola de
Administração e Negócios – ESAN/UFMS.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Gabriani

CAMPO GRANDE - MS

2025

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**POSSIBILIDADES E BARREIRAS NO USO DE TECNOLOGIAS E INOVAÇÕES NO SETOR SUCROALCOOLEIRO**”, submetida à Banca Examinadora por PATRÍCIA BORGES KAWAMOTO como exigência parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Ciências Econômicas, e demais requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Economia, em concordância com as normas e formalidades legais exigidas, sendo considerado _____.

Campo Grande, ____ de _____ de 2025.

Prof. Dr. Carlos Roberto Gabriani – Presidente
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. Leonardo Francisco Figueiredo Neto – Membro
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. Matheus Wemerson Gomes Pereira – Membro
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, esposo e filha pelo incentivo e paciência nos momentos de estudo e dedicação para o término da minha graduação em Ciências Econômicas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao nosso Criador Yahuah e seu filho Yahusha Hamashiach (Jesus Cristo), nosso pai Celestial, pela dádiva da vida.

Aos meus pais pelo incentivo aos estudos.

Ao meu esposo e filha pela compreensão e paciência nos momentos da minha ausência em família para me dedicar aos estudos da graduação em Ciências Econômicas.

Aos mestres do curso de Ciências Econômicas, em especial, ao Professor Carlos Roberto Gabriani pela paciência com as minhas dificuldades e os contratempos do TCC.

Sou muito grata a Deus e a vida por ter me dado a oportunidade de finalizar o meu curso de Ciências Econômicas que comecei em 1994, que por intempéries da vida foi interrompido por duas vezes. Contudo, a persistência e dedicação sempre nos permite concluir um sonho mesmo que seja alguns anos depois.

A vocês, meu muito obrigada!

“Tudo em que você, vividamente
imaginar, ardentemente desejar, e
entusiasticamente colocar em ação,
inevitavelmente torna-se realidade”.

Paul J. Meyer

RESUMO

A produção de cana-de-açúcar tem ganhado cada vez mais destaque na economia nacional. Por se tratar de um setor estratégico, que abrange desde a geração de energia renovável até a produção de açúcar e etanol, sua relevância econômica encontra-se em expansão. Essa expansão está diretamente associada à adoção de inovações tecnológicas que visam aumentar a eficiência produtiva, reduzir custos e promover a sustentabilidade ambiental. Neste contexto, este estudo teve como objetivo discutir como a inovação tecnológica tem sido discutida no setor sucroalcooleiro, explorando as principais inovações adotadas, as barreiras enfrentadas e as oportunidades futuras. A pesquisa revelou que o setor tem investido significativamente em tecnologias como mecanização da colheita, uso de drones para monitoramento agrícola, biotecnologia para melhoramento genético e produção de etanol de segunda geração, todas direcionadas à melhoria da eficiência produtiva e sustentabilidade ambiental. No entanto, desafios como o acesso limitado ao crédito, a burocracia, a resistência cultural e as lacunas regulatórias ainda representam obstáculos importantes para a expansão dessas inovações. As contribuições deste trabalho destacam a importância de políticas públicas bem estruturadas, financiamento adequado e capacitação técnica para superar essas barreiras e promover a competitividade do setor. A pesquisa sugere que uma abordagem colaborativa entre governo, setor privado, academia e instituições financeiras é essencial para criar um ambiente favorável à inovação. Conclui-se que o setor sucroalcooleiro, em especial o sul-mato-grossense tem o potencial de se consolidar como um modelo de inovação e sustentabilidade no agronegócio, desde que consiga alinhar tecnologia, financiamento e políticas de apoio.

PALAVRAS-CHAVE: Competitividade Econômica; Gestão produtiva; Inovação; Sustentabilidade; Investimento.

ABSTRACT

Sugarcane production has increasingly gained prominence in the national economy. As a strategic sector that encompasses everything from the generation of renewable energy to the production of sugar and ethanol, its economic relevance is expanding. This growth is directly linked to the adoption of technological innovations aimed at increasing production efficiency, reducing costs, and promoting environmental sustainability. In this context, this study aimed to discuss how technological innovation has been addressed in the sugar-energy sector, exploring the main innovations adopted, the barriers faced, and future opportunities. The research revealed that the sector has significantly invested in technologies such as harvest mechanization, the use of drones for agricultural monitoring, biotechnology for genetic improvement, and second-generation ethanol production, all aimed at improving production efficiency and environmental sustainability. However, challenges such as limited access to credit, bureaucracy, cultural resistance, and regulatory gaps still pose significant obstacles to the expansion of these innovations. The contributions of this work highlight the importance of well-structured public policies, adequate financing, and technical training to overcome these barriers and promote the sector's competitiveness. The research suggests that a collaborative approach between government, the private sector, academia, and financial institutions is essential to create a favorable environment for innovation. It concludes that the sugar-energy sector, particularly in Mato Grosso do Sul, has the potential to establish itself as a model of innovation and sustainability in agribusiness, provided it aligns technology, financing, and support policies effectively.

KEYWORDS: Economic Competitiveness; Productive Management; Innovation; Sustainability; Investment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 - Evolução da produção de cana-de açúcar no Brasil.....	16
Tabela 2 - Cinco maiores produtores de cana-de-açúcar no Brasil.....	19
Tabela 3 - Evolução da produção ao longo dos anos no estado de Mato Grosso do Sul.....	20
Tabela 4 - Produção dos dez municípios de destaque na produção de cana-de-açúcar em Mato Grosso do Sul na Safra 2016/2017 (em toneladas).....	21
Quadro 1 - Principais diretrizes do BNDES para o setor sucroalcooleiro.....	27
Quadro 2 - Principais tecnologias e inovações adotadas no setor sucroalcooleiro	33
Gráfico 1 - Evolução Produtiva do setor sucroalcooleiro brasileiro em toneladas (1910-1940)	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATR	Açúcares Totais Recuperáveis
BIOSUL	Associação dos Produtores de Bioenergia de Mato Grosso do Sul
BNDE	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KW	Quilowatt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	O SETOR SUCROALCOOLEIRO NO BRASIL E EM MATO GROSSO DO SUL.....	15
2.1	EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO CANAVIEIRA NO BRASIL	15
2.2	EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO CANAVIEIRA NO MATO GROSSO DO SUL	18
3	PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E O APOIO DO ESTADO BRASILEIRO	23
3.1	PROGRAMAS DE INCENTIVO PARA A CONCESSÃO DE CRÉDITOS PARA O SETOR SUCROALCOOLEIRO A PARTIR DO BNDES	26
4	INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E INVESTIMENTO ESTATAL	29
4.1	TECNOLOGIAS E INOVAÇÕES NO SETOR SUCROALCOOLEIRO	32
5	POSSIBILIDADES E BARREIRAS PARA O FUTURO DA INOVAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro brasileiro, tem sido um contribuinte de grande importância econômica para o mercado interno, o nível de produção, o faturamento e inserção no mercado internacional e estrutura produtiva, sendo um dos insumos importantes produzidos no estado de Mato Grosso do Sul. De acordo com a Associação dos Produtores de Bioenergia de Mato Grosso do Sul – BIOSUL (2019a), a produção acumulada estimada é de aproximadamente 49 milhões de toneladas de cana-de açúcar, para as próximas safras. A associação supracitada acrescenta ainda que a cana de açúcar se consolidou na economia do estado, devido a produção de açúcar, etanol e bioenergia, gerando mais de 30 mil postos de trabalho.

Segundo dados do Censo Agro 2017, o estado é atualmente o quarto maior produtor de cana-de-açúcar e na safra 2020/21, totalizando 50,4 milhões de toneladas produzidas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2017a). O montante, além de ser 152% maior que o volume da safra anterior, representa um recorde histórico alcançado pelo setor produtivo, contribuindo para projetar o Brasil no cenário mundial em termos de produção e de geração de inovações tecnológicas, sendo que a introdução de inovações tecnológicas pelas empresas do setor contribui para o aumento da produtividade e da competitividade no comércio internacional.

Devido ao grande volume da produção brasileira, bem como de Mato Grosso do Sul, observa-se que o setor sucroalcooleiro apresenta forte impacto econômico, sendo necessário que haja cada vez mais investimento em inovações tecnológicas implementadas pelas empresas como forma de redução de custos e ganhos de produtividade. A biomassa, e consequentemente a bioenergia por exemplo, tem elevado balanço energético do ponto de vista ambiental, gerando importantes avanços tecnológicos dentro do setor do agronegócio. Deste modo, o setor além de produzir álcool combustível para as atividades de transportes, também gera quilowatts (KW) na rede elétrica de energia a partir da queima do bagaço da cana, que é um resíduo da produção de álcool e açúcar.

Neste contexto, sendo uma importante fonte de segurança alimentar com o açúcar, com sua demanda em franca expansão no mercado internacional por meio das exportações do açúcar e sua utilização como fonte de energia tanto para a produção do

etanol, como da bioenergia do bagaço da cana-de-açúcar e dada a relevância desse setor para a economia do estado do Mato Grosso do Sul, torna-se fundamental buscar entender não apenas o desenvolvimento produtivo desse setor no estado, mas também como que as inovações tecnológicas implementadas pelas empresas a ele pertencentes, bem como a forma predominante de seu financiamento da introdução dessas inovações, têm contribuído para consolidar o avanço desse setor no estado.

É imperativo ressaltar que as inovações tecnológicas no agronegócio têm sido cada vez mais utilizadas e de suma importância para o melhor aproveitamento do processo produtivo alimentar ou de energia. Sobre isso, Santos *et al.* (2015) reforçam que os setores econômicos associados à produção de energia e combustíveis são cruciais para os esforços de sustentabilidade global, devido ao impacto ambiental e às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) causados por suas atividades. Sendo assim, o setor sucroalcooleiro ganha ainda mais importância devido ao seu potencial de geração de energia e combustível a partir de fontes renováveis, com efeitos significativos sobre a contribuição da redução da emissão de gás carbônico na atmosfera.

No Brasil, a referência tradicional tem sido o setor agrícola desde o período colonial. De fato, para Zapata; Nieuwenhuis (2009) e Neves; Trombin (2014) o país é o maior produtor e exportador de açúcar do mundo há muito tempo. Além disso, a propriedade tecnológica da produção em larga escala de biocombustíveis (etanol) e geração de eletricidade (biomassa) resultou em US\$48 bilhões para o Produto Interno Bruto (PIB) de 2013, representando 1,2 milhão de empregos diretos.

Neste contexto, observa-se que o setor sucroalcooleiro, por ser um setor de alto impacto econômico e ambiental para o estado, bem como para o país, se mostra um campo de investigação recente e relevante. Sendo assim, considerando os dados apresentados anteriormente, surgem as seguintes questões que norteiam a presente pesquisa: quais são as principais inovações tecnológicas e quais são os principais meios de financiamentos para o desenvolvimento das atividades do setor?

Desse modo, tem-se como objetivo geral: analisar como a inovação tecnológica tem sido discutida no setor sucroalcooleiro, explorando as principais inovações adotadas, as barreiras enfrentadas e as oportunidades futuras. Para alcançar o objetivo geral definido, se tem os seguintes objetivos específicos: i) apresentar dados da produção do setor sucroalcooleiro sul-mato-grossense; ii) introduzir as inovações tecnológicas

utilizadas no setor sucroalcooleiro; iii) descrever os principais meios de financiamento para o setor sucroalcooleiro.

Para a realização da pesquisa, optou-se pela abordagem de pesquisa qualitativa, por viabilizar o alcance dos objetivos definidos anteriormente. Face a isto, torna-se necessário compreender que a pesquisa qualitativa se preocupa, principalmente, com situações da realidade que não podem ser quantificadas, direcionando o foco para a investigação de como as relações entre pessoas/processos acontecem. Minayo (2001) reforça esta afirmação ao dizer que a pesquisa qualitativa trabalha com o “universo dos significados” e principalmente com questões comportamentais (crenças, valores e atitudes). O autor ainda salienta que a pesquisa qualitativa trata com maior profundidade as relações dos processos e fenômenos que não podem ser tratados apenas por variáveis.

No que tange à natureza da pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada, uma vez que será considerado o setor sucroalcooleiro do estado de Mato Grosso do Sul, como ferramenta de investigação. Nesse sentido, Gil (2008) enfatiza que este tipo de pesquisa se preocupa principalmente com a aplicação, a utilização e as consequências práticas dos conhecimentos. O referido autor acrescenta ainda que a pesquisa aplicada “está menos voltada para o desenvolvimento de teorias de valor universal que para a aplicação imediata numa realidade circunstancial” (GIL, 2008, p. 27).

O Presente trabalho tem como propósito tecer reflexões acerca do processo de inovação e investimento no setor sucroalcooleiro do estado de Mato Grosso do Sul.

Por fim, mas não menos importante, visando alcançar o objetivo sugerido, se escolheu a pesquisa bibliográfica e fonte de dados/sites como procedimento de pesquisa. Tal escolha se deu pela necessidade de se explicar e discutir uma determinada temática, com base em publicações textuais já existentes sobre a temática a fim de conhecer e analisar os conteúdos levantados, conforme estabelecido por Martins e Pinto (2001).

Gil (2008, p. 50) acrescenta ainda que a principal vantagem deste tipo de pesquisa é “permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Esta vantagem se torna particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço”.

Além disso, a pesquisa bibliográfica tem como objetivo aproximar o contato do pesquisador com o conteúdo disponível (MARCONI; LAKATOS, 2007). Demo (2000) acrescenta ainda que a pesquisa bibliográfica se torna importante por induzir o contato pessoal do pesquisador com a literatura disponível, possibilitando interpretação.

Além dessa introdução, o trabalho está dividido em quatro seções. A seção 2 diz respeito à etapa inicial do referencial teórico utilizado na pesquisa, abordando questões relacionadas ao setor sucroalcooleiro brasileiro e sul-mato-grossense, com foco na apresentação de dados obtidos por meio da pesquisa bibliográfica. Além disso, na seção em questão será realizada uma discussão de cunho econômico (financiamentos) que auxiliam no melhor desenvolvimento das atividades do setor. A seção 3 por sua vez, trata da segunda parte do referencial teórico, onde serão apresentadas as características da inovação tecnológica, principalmente em países em desenvolvimento, bem como apresentar sua trajetória. A seção 4 é reservada para discutir o material coletado, bem como realizar reflexões acerca do material apresentado nos capítulos anteriores. Segue as considerações finais da pesquisa, bem como suas limitações e sugestões de futuras pesquisas.

2 O SETOR SUCROALCOOLEIRO NO BRASIL E EM MATO GROSSO DO SUL

Neste capítulo será realizada uma apresentação sobre o setor sucroalcooleiro nacional e sul-mato-grossense, bem como a relação produtiva e o Estado. Para tal, com intuito de melhores esclarecimentos, o capítulo está dividido em duas subseções. A primeira apresenta os dados do setor sucroalcooleiro nacional e sul-mato-grossense. Já a segunda, aborda as relações vivenciadas pelos produtores/indústria e o Estado no que tange às questões de incentivos para a produção do insumo em questão.

2.1 Evolução da produção canavieira no Brasil

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas do Brasil e um dos pilares do agronegócio nacional, com relevância econômica, social e ambiental (BORDONAL *et al.*, 2018; ZHENG *et al.*, 2022). Segundo o IBGE (2023), o país ocupa a primeira posição mundial na produção de cana-de-açúcar, sendo responsável por aproximadamente 37% da produção global, o que representa, na safra 2022/2023, 724,4,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Tais resultados reforçam o protagonismo do Brasil no cenário sucroenergético internacional e sua capacidade de integração entre os setores agrícola e industrial. Em 2024, por sua vez, o país produziu aproximadamente 760 milhões de toneladas (IBGE, 2024).

Historicamente, a cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil em 1532, na capitania de São Vicente, e se tornou a base da economia colonial ao longo dos séculos XVI e XVII, com a formação dos engenhos e o uso intensivo de trabalho escravo (CHEAVEGATTI-GIANOTTO *et al.*, 2011). A partir do século XX, a cultura passou por uma reestruturação tecnológica, especialmente com o Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool), lançado em 1975, que impulsionou a produção de etanol como alternativa energética e inaugurou um novo ciclo de crescimento agroindustrial (BRASIL, 1975; CHIARAVALLOTI *et al.*, 2014). Desde então, o país consolidou-se como referência mundial em bioenergia, sustentabilidade produtiva e tecnologia sucroalcooleira.

Durante as décadas de 1990 e 2000, com a desregulamentação do setor e a mecanização das lavouras, houve expressivo aumento de produtividade e eficiência. O estado de São Paulo manteve-se como principal polo produtor, mas observou-se forte expansão em direção ao Centro-Oeste, especialmente Goiás e Mato Grosso do Sul,

conforme atestam estudos de Machado *et al.* (2014) e Bordonal *et al.* (2018), que analisam o avanço geográfico da cana em áreas anteriormente ocupadas por pastagens degradadas, com baixo impacto sobre desmatamentos diretos.

A Tabela 1 apresenta a evolução da produção nacional nas últimas duas décadas, evidenciando crescimento contínuo.

Tabela 1 - Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil

Ano Agrícola	Área Plantada (mil ha)	Produção
2005/06	5.840,31	431.413,40
2006/07	6.163,30	474.800,40
2007/08	7.010,20	571.370,70
2008/09	7.057,90	571.434,30
2009/10	7.409,50	604.513,70
2010/11	8.056,10	623.905,30
2011/12	8.362,60	560.955,20
2012/13	8.485,00	588.915,71
2013/14	8.811,43	658.822,27
2014/15	9.004,48	634.767,00
2015/16	8.654,24	665.586,20
2016/17	9.049,20	657.184,00
2017/18	8.729,49	633.261,91
2018/19	8.589,23	620.435,39
2019/20	8.442,02	642.717,77
2020/21	8.620,26	652.325,92
2021/22	8.317,99	585.209,09
2022/23	8.288,87	610.131,37
2023/24	8.333,93	713.214,13
2024/25	8.853,83*	687.058,66*
2025/26	8.849,76*	668.820,05*

Fonte: Adaptado de CONAB (2025). Obs.: * estimativas/previsões futuras.

Observa-se na Tabela 1, que há uma trajetória de expansão gradual da área cultivada e do volume produzido ao longo das últimas décadas. Em 2005/2006, o país possuía cerca de 5,84 milhões de hectares plantados, com uma produção de 431,4 milhões de toneladas. Esse volume cresceu de forma contínua até 2010/2011, quando a produção ultrapassou 623,9 milhões de toneladas.

Entre 2011/2012 e 2014/2015, nota-se redução temporária na produtividade, com queda para 560,9 milhões de toneladas, reflexo, muitas vezes, de adversidades climáticas e de crises econômicas que impactam o setor sucroenergético. Contudo, a partir de 2015/2016, a produção voltou a crescer, superando 665 milhões de toneladas, e se mantém estável até 2019/2020, quando o país atinge 642,7 milhões de toneladas, demonstrando resiliência e consolidação tecnológica. Esse comportamento reforça a análise de Cursi *et al.* (2022), segundo os quais a estabilidade do setor decorre da adoção de cultivares mais produtivos e da mecanização da colheita, fatores que reduziram custos e aumentaram a eficiência agrícola.

A partir da safra 2020/2021, a área plantada estabiliza-se em torno de 8,6 milhões de hectares, enquanto a produção volta a crescer de forma expressiva, alcançando 713,2 milhões de toneladas em 2023/2024, um dos maiores volumes registrados na série histórica. A estimativa para 2024/2025, de 687 milhões de toneladas, mantinha o Brasil como líder mundial na produção de cana-de-açúcar, consolidando o setor como um dos pilares do agronegócio nacional e um dos principais vetores da bioeconomia. Entretanto, como se pode observar, a produção superou a expectativa, alcançando 760 milhões de toneladas (IBGE, 2024).

Embora o volume total de cana processada apresenta flutuações, a tendência estrutural é de crescimento sustentado, com ênfase na melhoria da qualidade da matéria-prima e na elevação dos açúcares totais recuperáveis (ATR), indicador de eficiência agrícola e industrial (EMBRAPA, 2025). Esse movimento reflete a estratégia setorial de priorizar rendimento industrial e teor de sacarose em detrimento do mero aumento volumétrico (SILVA; FRANÇA; OYAMADA, 2015), configurando uma mudança de paradigma voltada à eficiência e sustentabilidade, princípio reforçado pela Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), instituída em 2017 (BRASIL, 2017).

Entre os principais desafios enfrentados pelo setor, destacam-se a variabilidade climática, a pressão sobre recursos hídricos, a competição com culturas alimentares e a necessidade de inovação tecnológica contínua (SANT'ANNA *et al.*, 2015). Pesquisas apontam que a produtividade média nacional ainda é afetada por períodos de seca, envelhecimento dos canaviais e custo elevado de renovação (SILVA *et al.*, 2021). Além disso, fatores como a mecanização total das lavouras, que reduz emissões e melhora a

qualidade ambiental, mas aumenta a compactação do solo, demandam novos modelos de manejo sustentável (BORDONAL *et al.*, 2018).

Em contrapartida, as potencialidades do setor são amplamente reconhecidas pela literatura. A cultura da cana-de-açúcar apresenta alta eficiência energética, baixo custo de produção e elevada capacidade de fixação de carbono, sendo considerada uma das mais promissoras fontes de bioenergia do planeta (CURSI *et al.*, 2022). O Brasil, segundo Santos-Júnior *et al.* (2022), possui ainda forte especialização na geração de bioeletricidade a partir do bagaço e da palha da cana, o que amplia a diversificação produtiva e fortalece o papel estratégico da canavicultura na matriz energética.

Nesse contexto, a trajetória da produção canavieira brasileira demonstra integração entre inovação tecnológica, política pública e sustentabilidade econômica, confirmando o país como referência mundial na produção e processamento de cana-de-açúcar, e abrindo perspectivas de expansão em direção a modelos produtivos de baixo carbono, mais eficientes e com maior valor agregado.

2.2 Evolução da produção canavieira no Mato Grosso do Sul

O setor sucroalcooleiro tem apresentado destaque em sua produção sucroalcooleira desde há muitos anos. De acordo com Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, sendo responsável pela produção de 654,5 milhões de toneladas destinados à produção 41,2 milhões de toneladas de açúcar e 29,7 bilhões de litros de etanol, dados estes correspondentes à safra 2020/21.

Com terras disponíveis, de boa qualidade e de baixo valor, comparado à situação da região então produtoras, como o estado de São Paulo, na qual a cultura da cana-de-açúcar passou a competir com outras culturas agrícolas caracterizando uma situação de esgotamento de fronteira, o estado de Mato Grosso do Sul se consolidou como uma nova fronteira agrícola para o setor. A expansão do cultivo impulsionou a economia local com a criação de usinas, geração de empregos e aumento da arrecadação, levando o estado a se tornar o quarto maior produtor nacional.

A produção brasileira de cana-de-açúcar está concentrada em cinco estados (Tabela 2), sendo que Mato Grosso do Sul, foco desta pesquisa, encontra-se na quarta

posição entre eles, contribuindo com aproximadamente 51 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, de acordo com o Censo Agro 2017, referente a safra 2016/2017 (IBGE, 2017a).

Ainda que a Safra 2016/2017 tenha obtido uma produção de alta relevância para o contexto estadual, na safra seguinte (2017/2018) a produção do estado apresentou queda de 7% (BIOSUL, 2021). Sobre essa queda, a CONAB (2018) salienta que a área colhida durante o período foi a mesma, mas com queda nos patamares de produtividade devido à reflexos climáticos.

Na safra de 2018/2019, Mato Grosso do Sul processou aproximadamente 50 milhões de toneladas processadas, obtendo um aumento de 5,4% maior que na safra anterior, se mantendo na quarta posição entre os estados que mais contribuem para o setor no Brasil (BIOSUL, 2021). Além disso, observou melhoramento na qualidade da cana, com 132,21 kg de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) por tonelada de cana (BIOSUL, 2017b). Conforme dados da BIOSUL (2021), na Safra 2020/2021, a produção acumulada no estado, chegou à aproximadamente 49 milhões de toneladas, sendo produzido em média, 1.564.725 toneladas por semana (BIOSUL, 2019a).

Tabela 2 - Cinco maiores produtores de cana-de-açúcar no Brasil

Estado	Produção em toneladas	Proporção (%)
São Paulo	347.684.180	54,4
Goiás	72.720.538	11,4
Minas Gerais	65.984.683	10,3
Mato Grosso do Sul	50.479.440	7,9
Paraná	37.805.994	5,9
Total	574.674.835	90,0
Brasil	638. 689.875	100,0

Fonte: Adaptado de IBGE (2017a).

Nota: A proporção foi calculada a partir da produção nacional, ou seja, 638.689.875 toneladas.

A partir dos dados, observa-se uma leve queda entre as safras supracitadas (2018/2019 e 2020/2021); contudo, a BIOSUL acredita que a queda na produção tem relação com diversos fatores externos, mas principalmente com a uma estratégia de gestão que privilegia a qualidade sobre a quantidade, refletindo um ajuste produtivo que prioriza o valor agregado do produto. Essa abordagem pode ser entendida como

um movimento intencional do setor para maximizar o rendimento industrial e o teor de sacarose, elementos fundamentais para a eficiência e a sustentabilidade econômica da produção (RAVELI, 2013).

Além disso, ao investir na qualidade da matéria-prima, os produtores têm buscado implementar inovações que visam a otimização do uso de recursos, a melhora da competitividade e a redução do impacto ambiental, fatores que podem justificar a diminuição observada na produção total (RAVELI, 2013). Essa perspectiva alinha-se a uma tendência crescente na agricultura moderna, que enfatiza a eficiência e a sustentabilidade ao invés da mera expansão volumétrica, conforme destacado por Muhie (2022) e Polcyn, Stratan e Lopotenco (2023).

Tabela 3 - Evolução da produção ao longo dos anos no estado de Mato Grosso do Sul

Ano/Safra	Cana-de-Açúcar (t)	Açúcar (t)	Etanol Cana (m³)		
			Anidro	Hidratado	Total
2000/2001	6.520.925	167.476	53.301	175.608	228.909
2001/2002	7.798.915	254.774	84.140	171.320	255.460
2002/2003	8.275.505	275.866	62.651	214.746	277.397
2003/2004	8.892.973	414.071	219.751	260.820	480.571
2004/2005	9.700.048	422.386	207.197	326.403	533.600
2005/2006	9.037.918	402.009	184.340	311.251	495.591
2006/2007	11.628.805	575.536	207.153	433.690	640.843
2007/2008	14.869.066	616.170	214.211	662.563	876.774
2008/2009	18.090.388	640.523	249.286	822.160	1.071.446
2009/2010	23.111.237	746.861	231.178	1.031.257	1.262.435
2010/2011	33.519.668	1.328.546	360.800	1.487.977	1.848.777
2011/2012	33.850.651	1.587.746	425.824	1.206.000	1.631.824
2012/2013	37.290.668	1.741.908	485.014	1.430.406	1.915.420
2013/2014	41.496.041	1.368.755	586.982	1.643.607	2.230.589
2014/2015	43.812.093	1.367.715	627.355	1.847.078	2.474.433
2015/2016	48.557.282	1.311.890	706.696	2.104.837	2.811.533
2016/2017	50.292.003	1.740.997	795.459	1.914.362	2.709.821
2017/2018	46.940.041	1.491.651	866.264	1.765.958	2.632.222
2018/2019	49.504.696	947.115	799.734	2.477.341	3.277.075
2019/2020	47.514.974	730.748	672.486	2.668.903	3.341.389
2020/2021	48.803.899	1.847.534	655.169	2.214.263	2.869.432
2021/2022	40.994.392	1.378.875	756.657	1.735.661	2.492.318
2022/2023	44.627.126	1.500.301	926.762	1.719.475	2.646.237
2023/2024	52.421.929	2.264.901	725.205	2.194.150	2.919.355

Fonte: Adaptado de Biosul (2021).

Analizando o contexto geral da produção de cana-de-açúcar nos últimos anos, é possível visualizar que mesmo com algumas oscilações, a produção do setor, no estado, tem tendência crescente. A Tabela 3 apresenta uma síntese da evolução da produção total de açúcar e etanol.

No que tange a distribuição da produção de cana-de-açúcar entre os municípios de Mato Grosso do Sul, observa-se que há maior concentração na região do sudoeste do estado, refletindo fatores como condições edafoclimáticas favoráveis, proximidade com usinas de processamento e a infraestrutura logística que facilita o escoamento da produção; porém, grande parte dos municípios contribuem para o desempenho produtivo do estado. A Tabela 4 apresenta a quantidade produzida pelos dez principais municípios produtores do estado durante a safra de 2016-2017.

Considerando os dados do Censo Agro 2017 (IBGE, 2017b), observa-se que a produção dos dez principais municípios representa 72% de toda a produção do estado, o que demonstra que os outros 69 municípios têm uma contribuição muito marginal nas atividades produtivas do setor de cana-de-açúcar.

Tabela 4 - Produção dos dez municípios de destaque na produção de cana-de-açúcar em Mato Grosso do Sul na Safra 2016/2017 (em toneladas)

Município	Produção por Município	Participação da Produção (%)	Produção Acumulada
Rio Brilhante	7.297.925	14,0	7.297.925
Nova Alvorada do Sul	6.116.112	12,0	13.414.037
Ivinhema	3.894.926	8,0	17.308.963
Costa Rica	3.725.671	7,0	21.034.634
Angélica	3.380.074	7,0	24.414.708
Ponta Porã	3.274.849	6,0	27.689.557
Nova Andradina	2.590.404	5,0	30.279.961
Dourados	2.491.576	5,0	32.771.537
Maracaju	1.880.781	4,0	34.652.318
Jateí	1.775.693	4,0	36.428.011
Total	36.428.011	72,0	36.428.011

Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos dados do Censo Agro 2017 (IBGE, 2017b).

É imperativo ressaltar que o estado é destaque em outros setores produtivos, como é o caso da soja, da celulose e da pecuária (Mato Grosso do Sul, 2018). Neste sentido, é justificável que alguns municípios do estado apresentem baixos números de produção da cana-de-açúcar, uma vez que seu foco estará direcionado à produção de outros produtos que competem pelo espaço da produção agrícola com a cana-de-açúcar, contribuindo, assim, para o crescimento e desenvolvimento do estado.

Desse modo, é possível notar que o agronegócio como um todo, é de fundamental importância para a economia do estado, sendo que a cana-de-açúcar se destaca como um importante fator a contribuir para o desenvolvimento da economia da região. Contudo, como observado, ainda que a cana-de-açúcar seja um dos principais insumos produzidos no estado, outros insumos também são cultivados na região.

3 PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E O APOIO DO ESTADO BRASILEIRO

A produção de cana-de-açúcar no Brasil remonta ao período colonial, constituindo-se como um dos principais pilares da economia nacional e alvo frequente de intervenções estatais ao longo da história. Segundo Queda (1972), a intervenção do Estado nas atividades canavieiras iniciou-se ainda no período colonial e pode ser dividida em quatro etapas distintas, que refletem a evolução das relações entre o Estado e os empresários do setor. A primeira etapa caracteriza-se pela fundação dos engenhos e pela forte atuação da Coroa Portuguesa, que não apenas concedia sesmarias e garantia a segurança dos engenhos, mas também impunha a exclusividade do uso do açúcar pela metrópole.

Conforme aponta Queda (1972), a segunda etapa é marcada pelo incentivo à produção, agora acompanhado pela introdução de taxas sobre os lucros, indicando uma mudança na relação de controle e tributação do setor. Na terceira etapa, observa-se uma política liberal que permitiu à iniciativa privada a liberdade de estabelecer novas unidades produtivas, criando um ambiente favorável à modernização tecnológica e à expansão do setor.

Finalmente, a quarta etapa se distingue pela intensificação da intervenção estatal no setor sucroalcooleiro, através de um conjunto de medidas voltadas ao controle do planejamento e da produção, refletindo um maior alinhamento com políticas nacionais de regulação e desenvolvimento do mercado sucroenergético. Segundo Queda (1972), essas etapas evidenciam a complexa e dinâmica interação entre o setor produtivo e o Estado, moldando o desenvolvimento da cana-de-açúcar como um componente crucial da economia brasileira.

É imperativo ressaltar que o Brasil demorou mais que outros países a iniciar suas evoluções tecnológicas no sistema produtivo. Eisenberg (1977) aponta que o atraso tecnológico do setor sucroalcooleiro, principalmente nos períodos colonial e imperial, ocorreu devido a abundância de terras baratas, a exploração do trabalho escravo e a limitações de recursos financeiros para financiar investimentos. Esses fatores limitantes somados serviram para desestimular a implantação de tecnologias, o que contribuiu para a aproximação do Estado.

Neste contexto, Chequin e Grandi (2016) apontam que em meados do século XIX o Estado brasileiro passou a adotar políticas de incentivo à produção da cana-de-açúcar, como é o caso da desvalorização cambial. Segundo os autores, o Estado optou por esta política com intuito de fazer com que o preço do açúcar fosse competitivo frente ao mercado internacional. Contudo, a expansão das atividades produtivas teve como efeito o aumento dos preços dos maquinários necessários para modernizar o processo produtivo. Nesse sentido, para solucionar os problemas enfrentados pelo setor, iniciou-se o processo de concessão de subsídios do Estado para os empresários, com intuito de possibilitar a modernização do processo produtivo e o desenvolvimento da atividade que naquele momento era caracterizada mais como açucareira e menos alcooleira. Esta tornou-se mais expressiva após a implementação do Programa Pró-Álcool, durante o II PND, a partir das decisões tomadas com o objetivo de enfrentamento às consequências das crises energéticas dos anos 1970 e à forte dependência externa de importação de recursos energéticos.

Sendo assim, foram iniciados os financiamentos subsidiados por capital estrangeiro no intuito de implantar unidades produtivas centrais (RAMOS, 1991). Nas palavras de Chequin e Grandi (2016, p. 3), essa estratégia de modernização derivou da experiência original dos empresários franceses nas Antilhas no início do Séc. XIX e consistia em separar as atividades agrícola e industrial. Os referidos autores reforçam ainda que no início da produção de cana-de-açúcar no Brasil o Estado intervia apenas nas questões de auxílio financeiro, sendo a Era Vargas, de 1930 a 1945, a responsável pelas principais intervenções industriais do setor.

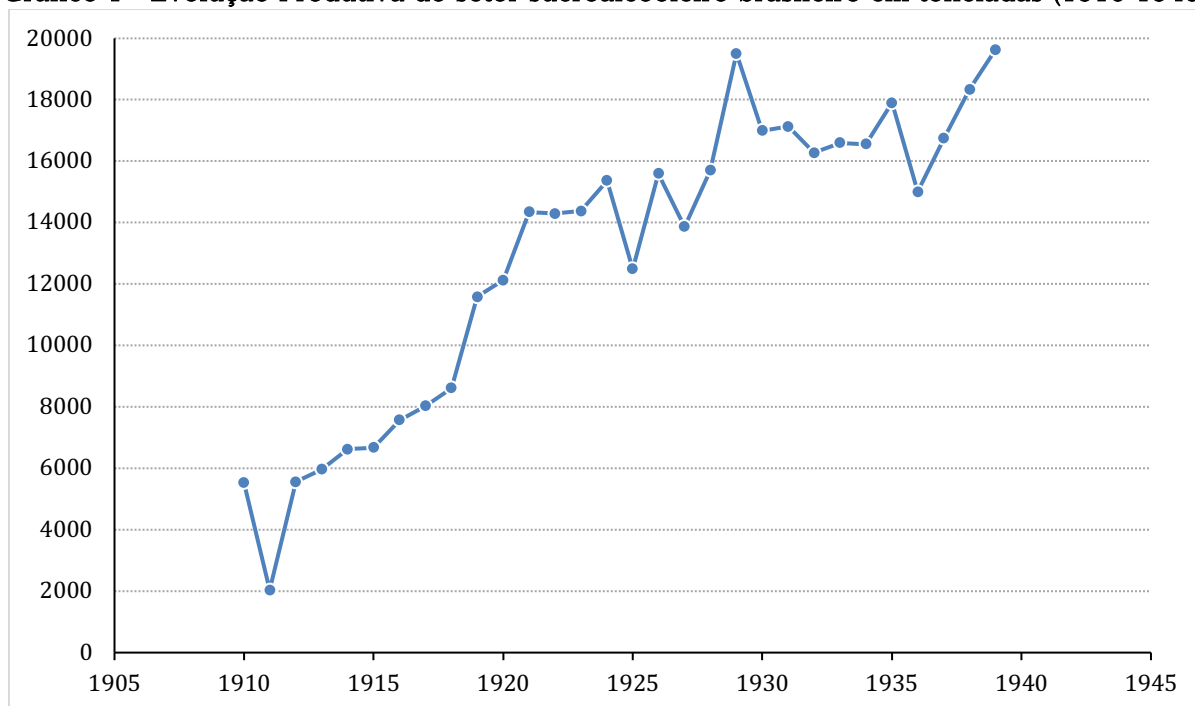
Portanto, com o passar dos anos e com o crescimento da produção no setor sucroalcooleiro no período (Figura 1), os produtores do setor se viram diante da necessidade de buscar financiamentos do Estado.

A evolução produtiva do setor sucroalcooleiro brasileiro entre 1910 e 1940, evidencia um crescimento consistente ao longo das décadas, apesar de algumas flutuações pontuais. Esse aumento na produção reflete, segundo Szmrecsányi, (1979) a expansão do setor impulsionada por fatores como a ampliação da área plantada e a demanda crescente tanto no mercado interno quanto no externo. O referido autor destaca ainda que com o aumento da produção, os produtores passaram a enfrentar

desafios relacionados à capacidade de financiamento para sustentar essa expansão das atividades produtivas, o que resultou em uma maior dependência de recursos estatais.

Essa necessidade de financiamento com base em recursos públicos não apenas contribuiu para acelerar a modernização do setor, mas também reforçou a dependência do apoio estatal, refletida em políticas de crédito e subsídios voltados para a manutenção da competitividade do setor sucroalcooleiro (BANCO DO BRASIL, 2004; RAMOS; MARTHA-Jr., 2010). Assim, a trajetória de crescimento produtivo não apenas demonstra o potencial do setor, mas também sublinha a complexa relação de interdependência entre os produtores e o apoio estatal, fundamental para a sustentabilidade da produção ao longo do período analisado (SZMRECSÁNYI, 1979).

Gráfico 1 - Evolução Produtiva do setor sucroalcooleiro brasileiro em toneladas (1910-1940)



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados de Szmrecsányi (1979).

Neste contexto, a criação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE), em 1952, teve impacto significativo no setor industrial brasileiro, sendo amplamente reconhecido como um elemento chave na política de substituição de importações. Esse processo direcionou investimentos substanciais para os setores de bens de capital e insumos básicos, fomentando o crescimento e a modernização do parque industrial do país. Como resultado, o Brasil consolidou um dos mais completos

parques industriais da América Latina, impulsionado pela estrutura de financiamento proporcionada pelo BNDE, que se tornou essencial para o desenvolvimento econômico e industrial nacional (BNDES, 2021), dentro do processo de substituição de importações vivenciado naquele período.

A seguir são apresentados os programas de incentivo para a concessão de créditos para o setor sucroalcooleiro disponibilizados pelo BNDES, bem como as regras necessárias para que o produtor/indústria seja habilitado ao financiamento.

3.1 Programas de incentivo para a concessão de créditos para o setor sucroalcooleiro a partir do BNDES

Como mencionado na seção anterior, o BNDES é considerado como um dos principais programas governamentais de apoio para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro, contando com 24,5% dos recursos direcionados por aquela instituição para o setor (BARBOZA; FIGUEIRA, 2021). Nesse sentido, Belik (2013) também destaca que o investimento para o setor sucroalcooleiro chegou a R\$1,6 bilhão no ano de 2011, sendo um forte contribuinte para o desenvolvimento do setor.

Milanez e Nyko (2012) reforçam que a partir de 2003 foi possível notar um crescimento notável dos investimentos do BNDES no setor, tendo seu auge no ano de 2010; ou seja, houve um crescimento considerável do apoio governamental para o desenvolvimento e aprimoramento das atividades desenvolvidas para o cultivo da cana-de-açúcar. Os referidos autores apontam ainda que neste período foi observado alta de até dez vezes na concessão de crédito para a atividade sucroalcooleira.

O crescimento da concessão de créditos oriundos do BNDES é considerado de grande importância por possibilitar a expansão da produção do setor na década de 2000, uma vez que como consequência da maior implementação de verba e incentivos públicos observou-se o crescimento das áreas plantadas, a renovação dos canaviais, a construção de novas usinas, bem como a modernização das usinas existentes (SILVA, 2017).

Barboza e Figueira (2021) acrescentam que durante o processo de expansão da concessão de crédito e, conseqüentemente, do aumento da produção e melhorias do setor, as principais finalidades eram possibilitar o acesso a capital de giro ou fundos variados de financiamentos, a expansão das unidades produtivas para cogeração de

energia, o alargamento de infraestruturas logísticas, bem como pesquisa, plantações e renovação de canaviais e infraestrutura das unidades produtivas em geral. Ressalta-se que durante os anos 2000 o BNDES atuou com cinco diretrizes principais voltadas diretamente para o desenvolvimento de atividade sucroalcooleira no país (Quadro 1).

Quadro 1 - Principais diretrizes do BNDES para o setor sucroalcooleiro

I) Ampliação da capacidade de produção: ocorrendo crescimento no período de aporte do banco para ampliação da produção do setor, criou-se em 2007 o Departamento de Biocombustíveis (DEBIO) para lidar com projetos relacionados ao setor
II) Incentivo à inovação e ao desenvolvimento tecnológico: criação do Programa Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS), com objetivo de fomentar projetos de desenvolvimento, produção e comercialização de novas tecnologias industriais destinadas ao processamento da biomassa de cana-de-açúcar e projetos do etanol celulósico
III) Potencialização de externalidades positivas: como financiamentos a caldeiras de alta pressão para ampliar a produção e venda de energia elétrica
IV) Estímulo à sustentabilidade socioambiental: criação da Área de Meio Ambiente em meados de 2009, financiando projetos sociais e ambientais
V) Contribuição para a formação de um mercado internacional de bioetanol: produção e participação de extensa agenda de divulgação do chamado “Livro Verde” do bioetanol, em parceria com o Ministério das Relações Exteriores e o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de Milanez, Cavalcanti e Favaret-Filho (2010).

Além dos programas mencionados no Quadro 1, criou-se o Programa de Apoio do Setor Sucroalcooleiro (BNDES PASS), que tinha como principal objetivo financiar os métodos de armazenamento de etanol, com intuito de garantir o abastecimento do país em período de entressafra, e o Programa de Renovação dos Canaviais (Prorenova) que tinha como objetivo, realizar financiamentos para a renovação dos canaviais, conforme destacam Milanez e Nyko (2012).

Entretanto, Ferraciolo, Bacha e Jacomini (2016) ressaltam que embora o BNDES tenha direcionado cerca de R\$4,0 bilhões para o Prorenova entre os anos de 2012 e 2014, a concessão de crédito para as ações específicas de renovação dos canaviais foi de aproximadamente 35% do montante supracitado. Para os referidos autores, o motivo para a baixa concessão do crédito foram as altas taxas de juros, a burocracia para

solicitação do crédito, o alto índice de endividamento no setor, as incertezas do mercado e a grande necessidade do cadastramento ambiental.

De acordo com Borges e Costa (2012) os desembolsos mais relevantes realizados pelo BNDES foram feitos para implantação, expansão e financiamento para compra de maquinário e melhoria de serviços. Segundo os autores, esses três, somado a modernização e racionalização, impactaram positivamente o processo de ampliação, modernização e reorganização da produção da cana-de-açúcar no Brasil. Além disso, ao analisarem o volume dos desembolsos realizados pelo banco para o setor entre os anos de 2001 e 2008, constatou-se que o Centro-Sul é a região com maior captação de recursos, o que aponta para a grande diferenciação da produtividade da região se comparada com a região Norte-Nordeste.

4 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E INVESTIMENTO ESTATAL

Inovação tecnológica significa desenvolver novas ideias, produtos, serviços e processos que explorem a tecnologia e eleve a produtividade com redução de custos e aumento de eficiência econômica. Atividades podem ser impulsionadas por uma nova tecnologia (como podemos usar isso?); ou por necessidades (que tecnologia podemos aplicar para melhorar isso?). Na melhor das hipóteses, a tecnologia cria produtos e serviços valiosos que ninguém ainda pediu, ou cria mudanças incrementais ou "disruptivas"; estas causando proporcionando grandes saltos na maneira como as coisas são feitas.

A cada momento a tecnologia desafia todo o mundo a criar coisas ("novas combinações", como denomina Schumpeter (1932), que possam solucionar os problemas da sociedade, sendo crescente o aumento dos países que investem em tecnologia e inovação. De acordo com Terziovski (2010), mais de 28 países se submeteram à Tecnologia e Inovação (*Technovation*), auxiliando no processo produtivo de diversas empresas ao redor do mundo, com intuito de otimizar os métodos produtivos.

Ressalta-se que a tecnologia tem origem de duas palavras gregas: *téchnē* e *logos*, e significa a capacidade dos humanos de criar coisas usando mãos e/ou máquinas. É a aplicação do conhecimento aos objetivos práticos da vida humana ou à mudança e manipulação do ambiente humano (OXFORD, 1998). A tecnologia inclui o uso de materiais, ferramentas, técnicas e fontes de energia para tornar a vida suportável ou mais agradável e o trabalho mais produtivo. Segundo Rosnah; Hashmi (2005), enquanto a ciência se preocupa com como e por que as coisas acontecem, a tecnologia se concentra em fazer as coisas acontecerem, podendo ela ser interna ou externa.

Na visão externa, tecnologia significa o discurso sistemático sobre a arte prática. A tecnologia é a ciência sobre a arte prática, assim como a entomologia é a ciência sobre os insetos e a geologia sobre o planeta Terra. Aqui, "logos" pertence a estudiosos que tomam a arte prática e os artistas como seus tópicos de investigação, mas são estranhos e não fazem parte da arte ou dos artistas. Segundo Rosnah e Hashmi, (2005) ele negligencia a capacidade cognitiva dos artistas e se concentra em seus produtos e status social.

Já a visão interna herda a noção grega de *téchnē* contendo seu próprio logos, de modo que tecnologia significa o raciocínio sistemático da própria arte prática. Nessa visão, arte e raciocínio são entidades inseparáveis que posteriormente se casam. São potenciais cognitivos entrelaçados inerentes a todo ser humano, pois viver, lutar e modificar o mundo real é primordial para toda a vida humana.

Neste sentido, os referidos autores apontam que a tecnologia é a tradução explícita do raciocínio inerente à arte prática; a abstração sistemática do essencial, a articulação, generalização, refinamento e desenvolvimento do conhecimento envolvido nas atividades produtivas e criativas.

Ndesaulwa e Kikula (2016) acreditam que o sucesso da *technovation* em mudar as atitudes do mundo sobre tecnologia e inovação depende dos produtos locais do país. Juntos, eles apresentam uma ideia criativa, realizam pesquisas com usuários, criam um plano de negócios e constroem o mundo da inovação. Os países que lideram a partir da tecnologia e da inovação empresarial ajudam outros países que são menos tecnológicos a aprenderem com eles e, portanto, atingem muitas áreas do mundo.

Mirani (2013) lembra que a mudança tecnológica, particularmente nos países em desenvolvimento, não se trata apenas de inovar na fronteira, mas também de adaptar produtos e processos existentes para alcançar níveis mais altos de produtividade, como é o caso observado pelo setor sucroalcooleiro brasileiro nos últimos anos.

É imperativo ressaltar que a inovação deve ser entendida como algo novo para um contexto local. Essa relação com o contexto é importante e particularmente relevante para os países em desenvolvimento.

A inovação foi introduzida pela primeira vez na literatura econômica por Schumpeter (1934), que argumentou que a inovação era a principal causa do desenvolvimento econômico e do desequilíbrio no sistema econômico. As inovações foram disruptivas e causaram uma descontinuidade no status quo econômico. Schumpeter creditou aos empreendedores a principal responsabilidade pelas inovações, que lhes permitiram realizar novas combinações produtivas, mas também reconheceu que funcionários, gerentes e diretores eram capazes de executar novas funções empreendedoras. Mais tarde, Schumpeter (1942) estendeu essa visão ao apontar que as grandes corporações eram capazes de gerenciar a inovação em maior escala em laboratórios industriais.

Neste contexto, Rixse (1978), de modo semelhante e em uma perspectiva global, diz que a inovação pode ser distinguida de três formas. A primeira diz respeito a melhorias locais baseadas na adoção de tecnologias mais ou menos disponíveis em todo o mundo ou localmente (“adoção de tecnologia” numa perspectiva global). O segundo tipo de inovação materializa-se na construção de atividades competitivas com alguma adaptação às tecnologias existentes (“adaptação tecnológica”). O terceiro tipo de inovação é a concepção e produção de tecnologias de importância mundial (“criação de tecnologia” de uma perspectiva global).

Sabrahmanya (2014) explica que a gestão da inovação e tecnologia é uma questão inevitável nas organizações tecnológicas e inovadoras de ponta. Hoje, a maioria das inovações está limitada a países desenvolvidos como EUA, Japão e Europa, enquanto os países em desenvolvimento ainda estão atrasados no campo da inovação e gestão de tecnologia. Contudo, o referido autor acrescenta que tem sido observado um rápido progresso nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

É imperativo ressaltar que ao longo de suas pesquisas, Schumpeter reconheceu que a inovação não era apenas impulsionada por empresas individuais. Muitos investidores e financiadores promoveram a inovação assumindo o risco de criar recursos monetários para financiar a inovação. No entanto, segundo Furtado, Scandiffio e Cortez (2011), essa visão restringiu a inovação ao setor empresarial, criando o conceito de um sistema nacional de inovação.

O conceito de um sistema nacional de inovação visa integrar vários tipos de organização com racionalidades institucionais muito diferentes no processo de inovação. As relações entre esses atores explicam a natureza interativa da inovação. Esse conceito foi introduzido pela primeira vez por Freeman (1987) ao analisar a experiência japonesa de recuperação do pós-guerra e demonstrar o papel das instituições nacionais nessa história de sucesso. Sua abordagem foi uma tentativa de explicar a inovação no nível do sistema econômico, demonstrando que a inovação das empresas não poderia ser explicada sem a compreensão das questões sociais, políticas e institucionais que se manifestavam preferencialmente no nível nacional. Assim, a inovação não foi uma iniciativa isolada de uma empresa, mas resultado da interação de muitos atores, públicos ou privados.

Considerando as questões apresentadas acerca da tecnologia e da inovação, se faz necessário considerar que todo o avanço tecnológico de uma organização ou país precisa de grandes investimentos, seja na alocação de recursos para o desenvolvimento de tecnologias, seja para o processo de implementação das tecnologias já consolidadas (SCHUMPETER, 1942; FREEMAN, 1987). Neste sentido, as seções seguintes serão responsáveis pela apresentação das principais inovações utilizadas no setor sucroalcooleiro, bem como os financiamentos disponibilizados para as atividades do setor em território sul-mato-grossense.

4.1 Tecnologias e inovações no setor sucroalcooleiro

O setor sucroalcooleiro desempenha um papel fundamental na economia brasileira, sendo uma das principais indústrias de produção de biocombustíveis e açúcar. A busca contínua por competitividade, eficiência e sustentabilidade impulsiona o setor a adotar inovações tecnológicas que otimizam a produção e reduzem custos operacionais (MUHIE, 2022; POLCYN; STRATAN; LOPOTENCO, 2023).

Nas últimas décadas, o setor sucroalcooleiro tem passado por transformações significativas, impulsionadas por avanços tecnológicos que englobam desde a fase agrícola até o processamento industrial (CIRANI; MORAES, 2010; SILVA; BOMTEMPO; ALVES, 2015; ARAÚJO; SOBRINHO, 2024).

De acordo com Silva, Bomtempo e Alves (2015), as inovações são essenciais para melhorar a produtividade e a sustentabilidade, especialmente diante dos desafios relacionados às mudanças climáticas e à necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Neste contexto, Andrade (2017) salienta que tecnologias como a mecanização da colheita, o uso de drones para monitoramento de lavouras e a aplicação de biotecnologia para o desenvolvimento de variedades de cana mais resistentes e produtivas destacam-se nesse contexto. O Quadro 2 apresenta as principais tecnologias e inovações adotadas no setor sucroalcooleiro.

O Quadro 2 também destaca os avanços tecnológicos e de inovação no setor sucroalcooleiro, como a mecanização da colheita, biotecnologia no melhoramento genético, uso de drones e sensoriamento remoto, tecnologias de irrigação inteligente, automação industrial com a Indústria 4.0, produção de etanol de segunda geração e a

geração de bioeletricidade a partir do bagaço da cana, inovações fundamentais para o aumento da eficiência, redução de custos e promoção da sustentabilidade, refletindo a capacidade do setor em se adaptar às novas demandas econômicas e ambientais.

Quadro 2 - Principais tecnologias e inovações adotadas no setor sucroalcooleiro

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO	BENEFÍCIO
Mecanização da colheita	Colheita realizada por máquinas, sem necessidade de queima no processo de despalha	Aumento de produtividade, redução de custos, menor impacto ambiental
Biotecnologia	Edição genética e melhoramento de variedades	Aumento de produtividade, resistência a pragas
Drones e sensoriamento remoto	Monitoramento da saúde das plantações via imagens aéreas	Tomada de decisão mais rápida, eficiente e assertiva
Irrigação inteligente	Uso de sensores para gestão hídrica precisa	Conservação de água, aumento da eficiência produtiva
Indústria 4.0	Automação e digitalização dos processos industriais	Maior eficiência, menor custo operacional
Etanol 2G	Produção de etanol a partir de resíduos da cana	Aumento da produção sem expandir a área plantada
Bioeletricidade	Geração de energia a partir do bagaço da cana	Redução da dependência de fontes fósseis

Fonte: Elaborado pela autora.

A produção de cana no Brasil cresceu de forma acelerada após o estabelecimento do Proálcool, em novembro de 1975, passando de um patamar de pouco menos de 100 milhões de toneladas por ano para um novo patamar em torno de 220 milhões de toneladas por ano, em 1986/87. O cultivo da cana só voltou a crescer na safra 93/94, desta vez, motivado pelo aumento das exportações de açúcar. A partir daí, o crescimento da produção tem ocorrido de forma contínua (com exceção do período entre 1998 a 2001, quando houve uma queda gerada pela crise no setor). Com o sucesso dos veículos *flex fuel*, lançados no mercado nacional em 2003, a produção de cana-de-açúcar voltou a ter um crescimento acelerado, para atender ao aumento da demanda de álcool hidratado, se aproximando de 520 milhões de toneladas em 2007. A partir de 2010: A produção continuou a crescer, ultrapassando 700 milhões de toneladas em 2010. O rendimento médio cresceu acentuadamente entre 2006 e 2010, atingindo mais de 80 t/ha em 2009. Mais recentemente ocorreu uma desaceleração na produtividade

média nacional devido a fatores climáticos como baixos índices de chuvas e altas temperaturas.

Sobre a mecanização da colheita, Scarpim (2012) e Torquato (2013) afirmam se tratar de um dos principais avanços tecnológicos no setor sucroalcooleiro, que reduziu a dependência de mão de obra intensiva e aumentou a eficiência operacional, uma vez que a introdução de colhedoras mecanizadas não apenas acelerou o processo de colheita, mas também minimizou os impactos ambientais associados à queima para a despalha da cana-de-açúcar, uma prática comum em colheitas manuais, que resultam em elevado impacto ambiental dado o significativo nível de emissão de CO₂ na atmosfera.

Torquato (2013) acrescenta também que a mecanização trouxe benefícios diretos, como a redução dos custos de produção e melhoria das condições de trabalho ao mesmo tempo que exigiu adaptações em termos de manejo do solo e capacitação dos trabalhadores, o que segundo Scarpim (2012), pode gerar impactos diretos na saúde e segurança dos trabalhadores do setor.

Um outro ponto importante decorrente da mecanização está relacionado ao fato de que as máquinas e equipamentos utilizados no manejo da colheita apresentam limitações quanto à declividade do solo, o que impossibilita operá-los em terrenos com elevada declividade. Isso tem resultado na não utilização de áreas muito próximas a cursos de água, tornando possível a liberação de uma maior margem e preservação ao longo dos cursos de água, possibilitando em termos de preservação ambiental relacionada a essas áreas.

Tratando-se da biotecnologia, Moraes *et al.* (2015) destacam como uma inovação que tem desempenhado um papel crucial no desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar, com maior produtividade, resistência a pragas e adaptação a diferentes condições climáticas. A utilização de técnicas de edição genética, como CRISPR, possibilita a introdução de características desejáveis nas plantas de maneira precisa e rápida, acelerando o processo de melhoramento que antes levava anos (QUADROS *et al.*, 2018).

Segundo Carvalho e Furtado (2013), essas inovações biotecnológicas ajudam a reduzir o uso de agroquímicos, melhoram o rendimento por hectare e tornam a produção mais resiliente a mudanças climáticas extremas. Isto porque a biotecnologia

permite o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar geneticamente modificadas para serem mais resistentes a pragas, doenças e condições ambientais adversas, como seca e altas temperaturas. Para os referidos autores, ao incorporar genes que aumentam a tolerância ao estresse hídrico ou à salinidade, por exemplo, essas novas variedades podem manter altos níveis de produtividade mesmo em condições desfavoráveis, o que é crucial em um cenário de mudanças climáticas. Além disso, a redução na necessidade de defensivos químicos contribui para uma produção mais sustentável, diminuindo o impacto ambiental e os custos relacionados ao manejo fitossanitário.

Outra inovação relacionada com mudanças das características genéticas de variedades está relacionada com a introdução de variedade de cana-de-açúcar com predisposição para a maturação precoce ou atrasada. Isso possibilitou a aumentar o período do ciclo da colheita e, por conseguinte, a estender o tempo de operação das unidades processadores de açúcar e álcool, possibilitando ganhos significativos em termos de produção durante as safras.

Quadros *et al.* (2018) acrescentam ainda que o uso de plantas geneticamente melhoradas também potencializa a eficiência na absorção de nutrientes do solo, o que não só melhora o crescimento das plantas, mas também minimiza o desperdício de recursos naturais, reforçando a sustentabilidade do setor sucroalcooleiro.

A empresa Syngenta comercializa uma tecnologia para o plantio de cana-de-açúcar chamada Emerald, que consiste em mudas (minirrechetes) encapsuladas, e não sementes botânicas de cana. Essa tecnologia é uma "semente artificial" ou muda encapsulada, pronta para ser plantada, o que simula o conceito de plantio de sementes de cereais. Sobre a tecnologia Emerald: 1) Conceito: São pequenas cápsulas que contêm gemas de cana-de-açúcar, produzidas em biofábricas, como a de Itápolis - SP. 2) Benefícios: A tecnologia Emerald visa simplificar e reduzir o custo do plantio da cana, além de promover um uso mais racional e sustentável do solo, pois dispensa a necessidade de destinar grandes áreas para a formação de viveiros convencionais. 3) Plantio: O plantio é mecanizado e de alta precisão, o que otimiza a operação no campo. 4) Resultados: As áreas de plantio comercial têm demonstrado ganhos significativos em produtividade e no incremento de gemas viáveis em relação ao método tradicional de plantio com colmos inteiros. Portanto, a Syngenta não vende a semente botânica da

cana para encapsular, mas sim um produto tecnológico (Emerald) que já é fornecido na forma de mudas encapsuladas para o plantio direto.

Adicionalmente, o uso de drones e tecnologias de sensoriamento remoto para monitorar a saúde das plantações, o nível de umidade do solo e o desenvolvimento das lavouras tem revolucionado o manejo agrícola no setor sucroalcooleiro (REIS, 2020; FAXINA, 2021; ALMEIDA, 2023). Reis (2020) destaca ainda que o uso dessas tecnologias permite a coleta de dados precisos e em tempo real, facilitando a tomada de decisões baseadas em evidências e reduzindo o desperdício de recursos.

De acordo com Almeida (2023), o uso de imagens de alta resolução no monitoramento agrícola facilita a identificação de áreas com deficiências nutricionais ou infestação por pragas, possibilitando a aplicação de ações corretivas de forma rápida e precisa, o que contribui para a melhoria da eficiência e produtividade das plantações.

No entanto, um dos desafios frequentemente mencionados é o custo elevado das tecnologias de monitoramento, como o uso de drones, que ainda é considerado um investimento significativo para muitos produtores no setor sucroalcooleiro. Para mitigar esse problema, Faxina (2021) propõe o desenvolvimento de drones de baixo custo, que proporcionem os mesmos benefícios das tecnologias mais caras, tornando o monitoramento acessível a uma maior variedade de produtores, sem comprometer a eficácia das ferramentas de alta tecnologia.

Vale destacar que a gestão eficiente da água é crucial no setor sucroalcooleiro, especialmente em regiões suscetíveis à seca (BUFON; MAIA; PEREIRA, 2021). Para os referidos autores, inovações em sistemas de irrigação, como a irrigação por gotejamento e o uso de sensores de umidade do solo, têm sido fundamentais para otimizar o uso de água, garantindo que a irrigação ocorra apenas quando necessário.

Sobre a irrigação por gotejamento, por exemplo, Cosmo, Ferrarini e Silva (2023) destacam que essa tecnologia se configura como uma das mais eficientes no uso da água para a produção agrícola, especialmente em culturas como a cana-de-açúcar. Isto porque, o método de gotejamento permite a aplicação de água diretamente na zona radicular das plantas, minimizando perdas por evaporação e garantindo que a quantidade necessária de água seja fornecida de forma precisa e contínua.

Quintana (2010) acrescenta que esse sistema contribui para a otimização dos recursos hídricos, reduzindo o consumo de água em até 50% comparado a métodos

tradicionais de irrigação, além de promover um ambiente ideal para o desenvolvimento das plantas, o que potencializa o rendimento por hectare.

Embora o custo inicial de instalação seja elevado, os benefícios econômicos a longo prazo, como o aumento da produtividade e a economia de recursos, compensam o investimento, tornando o gotejamento uma solução sustentável e economicamente viável para o setor sucroalcooleiro (QUINTANA, 2010; BUFON; MAIA; PEREIRA, 2021; COSMO; FERRARINI; SILVA, 2023). Ademais, Quintana (2010) salienta que o uso dessas tecnologias ajuda a conservar os recursos hídricos, reduzir os custos de produção e melhorar o rendimento das lavouras, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e resilientes.

Outra inovação no setor é a integração da Indústria 4.0, o que tem potencializado a eficiência e a qualidade do processo produtivo (CÂNDIDO; ALMEIDA, 2020; MOREIRA *et al.*, 2021). A adoção de sensores inteligentes, internet das coisas (IoT) e análise de big data permite o monitoramento contínuo das operações, desde a lavoura até o processamento industrial (KUBOTA; ROSA, 2023). Souza *et al.* (2009) destacam que a automação de processos industriais, como a extração e o tratamento do caldo da cana, reduz a variabilidade na produção e aumenta a eficiência energética das usinas, além de melhorar a manutenção preditiva dos equipamentos, evitando paradas não planejadas, conforme destacado por Kubota e Rosa (2023).

O desenvolvimento de tecnologias para a produção de etanol de segunda geração (2G), que utiliza resíduos agrícolas como bagaço e palha da cana, representa um marco na sustentabilidade do setor (ABARCA, 1999; LANCKRIET; POPPE, 2018; BRITO; MATAI; SANTOS, 2024). Brito, Matai e Santos (2024) destacam que essa inovação permite um aproveitamento mais completo da biomassa, aumentando a produção de etanol sem a necessidade de ampliar a área plantada. A utilização de enzimas específicas para a quebra da celulose e hemicelulose em açúcares fermentáveis é um dos principais avanços que possibilitam a viabilidade econômica e ambiental do etanol 2G (LANCKRIET; POPPE, 2018).

O setor sucroalcooleiro também tem se destacado na geração de energia renovável através da queima do bagaço de cana para produção de bioeletricidade. As usinas têm investido em tecnologias que permitem a cogeração de energia, utilizando o vapor produzido na queima do bagaço não apenas para gerar eletricidade, mas também

para alimentar os processos industriais (SOUZA, 2002; ALVES, 2006; FLAUSINIO, 2015). Flausinio (2015) afirma que essa prática não só reduz a dependência de fontes de energia fóssil, como também possibilita a exportação de excedentes para a rede elétrica, gerando receita adicional para as usinas.

Tratando-se da gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro, Nogueira e Garcia (2013), Assad (2017) e Lorena *et al.* (2017) constataam que o processo tem evoluído com o desenvolvimento de tecnologias que permitem o reaproveitamento de subprodutos, como a vinhaça, que pode ser utilizada como fertilizante na lavoura de cana. Além disso, novas técnicas de tratamento de efluentes industriais contribuem para a redução da carga poluente lançada no meio ambiente, alinhando a produção de açúcar e etanol com práticas de sustentabilidade. De acordo com Assad (2017), a valorização dos resíduos deve ser considerada como um dos pilares para a construção de um modelo de economia circular no setor.

É importante lembrar que apesar dos avanços, a implementação de novas tecnologias no setor sucroalcooleiro enfrenta desafios significativos, como o elevado custo inicial de investimento e a necessidade de capacitação técnica dos trabalhadores (POLCYN; STRATAN; LOPOTENCO, 2023). Neste contexto, as pequenas e médias empresas do setor podem encontrar dificuldades adicionais para acessar financiamentos que permitam a modernização de suas operações.

Além disso, a resistência à mudança cultural em práticas tradicionais de produção pode retardar a adoção de inovações, especialmente em regiões onde a mecanização ainda não é amplamente difundida, conforme destacam autores tais como Oliveira *et al.* (2014), Bufon, Maia e Pereira (2021). Entretanto, Brito, Matai e Santos (2024) salientam que o futuro do setor sucroalcooleiro está fortemente ligado à contínua adoção de tecnologias que promovam a eficiência e a sustentabilidade.

Sendo assim, inovações em inteligência artificial e blockchain, por exemplo, podem transformar a rastreabilidade e a gestão da cadeia produtiva, assegurando transparência e otimização. Ademais, a crescente demanda global por energias renováveis coloca o etanol e a bioeletricidade em uma posição estratégica, com oportunidades de expansão para mercados internacionais.

Brito, Matai e Santos (2024) acrescentam ainda que as inovações tecnológicas no setor sucroalcooleiro têm sido um fator decisivo para o aumento da competitividade e

da sustentabilidade da produção no Brasil. Isto porque, a adoção de novas tecnologias é essencial não apenas para maximizar a eficiência dos processos, mas também para assegurar que o setor esteja alinhado às demandas ambientais e de mercado, proporcionando um desenvolvimento econômico sustentável e robusto. Nesse cenário, observa-se uma nova fronteira tecnológica voltada às fases iniciais do cultivo, especialmente no melhoramento genético, na biotecnologia aplicada e nas formas alternativas de propagação vegetativa, que buscam superar as limitações do sistema tradicional de plantio por colmos-semente.

Entre as inovações emergentes nesse contexto destaca-se a técnica de encapsulação de brotos, também conhecida como “*chip buds*” ou “sementes sintéticas”, que tem despertado crescente interesse no meio científico e empresarial (BORDONAL *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; SÁNCHEZ *et al.*, 2019). Essa tecnologia visa otimizar o plantio da cana-de-açúcar por meio da encapsulação de gemas vegetativas em materiais biodegradáveis, permitindo a produção de propágulos padronizados, viáveis e de fácil manuseio.

Conforme demonstrado por Silva *et al.* (2018), o método baseia-se na imobilização de brotos em uma matriz de alginato de sódio e cloreto de cálcio, resultando em cápsulas capazes de proteger o material de plantio e manter sua viabilidade por períodos prolongados. Em testes realizados, os autores observaram taxas de emergência superiores a 70% sob condições *ex vitro*, especialmente em concentrações de alginato de até 20 gL⁻¹, evidenciando o potencial da técnica para substituir parcial ou totalmente o uso de colmos-semente convencionais.

Sánchez *et al.* (2019), por sua vez, demonstram que a viabilidade de sementes artificiais de cana-de-açúcar encapsuladas pode alcançar até 100% de emergência em condições controladas. Em seu estudo, os autores verificaram que a utilização de 2% de alginato de sódio combinado a 10% de cloreto de cálcio ou 15% de amido como matriz polimérica resultou em excelente desempenho germinativo, com plântulas vigorosas e encapsulados com alta resistência mecânica após 30 dias de plantio.

Os referidos autores destacam ainda que, além de garantir proteção física e redução de perdas durante o transporte, a encapsulação favorece a padronização na propagação vegetal, um aspecto crucial para lavouras de larga escala que buscam integração plena com o plantio mecanizado.

Vale destacar que sob o ponto de vista produtivo, o uso de sementes encapsuladas de cana-de-açúcar traz diversas vantagens. Isto porque a técnica diminui a necessidade de transportar colmos grandes e pesados, facilitando o armazenamento e o plantio, bem como os brotos encapsulados são mais uniformes e o canavial tende a crescer de forma mais regular, melhorando o rendimento e tornando a colheita mais eficiente.

Além disso, conforme mencionado por Bordonal *et al.* (2018), essa inovação também pode ser integrada a tecnologias modernas, como sensores e sistemas automatizados, permitindo um controle mais preciso do plantio e da produção. Assim, o encapsulamento de gemas se insere no movimento global de modernização do setor, alinhado aos princípios da agricultura digital e sustentável.

5 POSSIBILIDADES E BARREIRAS PARA O FUTURO DA INOVAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

O setor sucroalcooleiro brasileiro tem se destacado pela adoção de inovações tecnológicas que visam aumentar a eficiência produtiva e a sustentabilidade ambiental (MUHIE, 2022; POLCYN; STRATAN; LOPOTENCO, 2023). Entretanto, o futuro das inovações neste setor é permeado tanto por oportunidades quanto por barreiras que podem influenciar diretamente o desenvolvimento das atividades. Este capítulo tem como objetivo discutir criticamente as principais possibilidades que se apresentam para o setor, bem como as barreiras que podem limitar a adoção e o impacto das inovações tecnológicas nos próximos anos.

Uma das principais oportunidades para o setor sucroalcooleiro reside no desenvolvimento de tecnologias voltadas para a sustentabilidade e a eficiência produtiva (SIVARAMAN *et al.*, 2013; JESUS *et al.*, 2019; SANCHES *et al.*, 2023). Tecnologias de automação, inteligência artificial e o uso de big data para a gestão agrícola têm potencial para otimizar o uso de recursos, reduzir desperdícios e aumentar a produtividade (KUBOTA; ROSA, 2023). Ferramentas como drones, sensoriamento remoto e sistemas de monitoramento em tempo real podem proporcionar um controle mais preciso sobre as lavouras, possibilitando ações corretivas imediatas e uma gestão mais eficiente dos insumos agrícolas (REIS, 2020; FAXINA, 2021; ALMEIDA, 2023).

Além disso, o setor sucroalcooleiro está bem posicionado para se beneficiar da crescente demanda global por biocombustíveis e bioenergia, impulsionada pela busca de alternativas mais sustentáveis aos combustíveis fósseis (REID; ALI; FIELD, 2020; SINGH; SINGH; JAIN, 2022). A produção de etanol de segunda geração (2G), que utiliza resíduos agrícolas como bagaço e palha da cana, representa uma inovação promissora que pode ampliar significativamente a capacidade de produção de biocombustíveis sem a necessidade de expandir a área plantada, alinhando-se às metas globais de redução de emissões de gases de efeito estufa, conforme apontam análises nessa direção, tal como Nogueira e Garci (2013), Assad (2017) e Lorena *et al.* (2017).

O financiamento verde é uma possibilidade emergente que pode impulsionar a inovação no setor sucroalcooleiro (FU; LU; PIRABI, 2023; AGRAWAL *et al.*, 2024). Bancos e instituições financeiras têm criado linhas de crédito específicas para projetos

que promovem a sustentabilidade ambiental, como a adoção de tecnologias limpas e a redução de carbono. Esses recursos podem facilitar a implementação de inovações que, embora tenham um custo inicial elevado, proporcionam benefícios ambientais e econômicos a longo prazo. O financiamento verde, portanto, se apresenta como uma importante ferramenta para viabilizar as inovações no setor (AGRAWAL *et al.*, 2024).

Outro aspecto positivo é o crescente interesse de investidores internacionais em projetos de energia renovável no Brasil (PAO; FU, 2013; BRASIL, 2021; ZENG; WU, 2024). Parcerias com empresas estrangeiras e a participação em programas internacionais de inovação tecnológica podem trazer não apenas recursos financeiros, mas também transferência de conhecimento e tecnologia, acelerando o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro (ZENG; WU, 2024). Esse intercâmbio de tecnologias pode ser crucial para a modernização do setor, permitindo que as usinas brasileiras adotem as melhores práticas globais e se tornem mais competitivas no mercado internacional.

Apesar das oportunidades, o setor sucroalcooleiro enfrenta barreiras significativas que podem limitar o avanço das inovações tecnológicas. Uma das principais dificuldades é o acesso ao crédito, especialmente para pequenos e médios produtores, que muitas vezes não possuem garantias suficientes para obter financiamentos a taxas competitivas, conforme destacam Eusébio e Toneto-Jr. (2012), Kuhne e Rissardi-Júnior (2015) e Souza, Ney e Ponciano (2015).

Além disso, a burocracia envolvida nos processos de obtenção de crédito pode ser um empecilho, desestimulando a adoção de tecnologias que exigem investimentos iniciais elevados (BETARELLI-Jr.; FARIA; ALBUQUERQUE, 2019; BÚRIGO *et al.*, 2021; PORTO, 2021). A regulação também representa um desafio, uma vez que políticas instáveis e a falta de incentivos consistentes podem desestimular investimentos em inovação (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016). A ausência de um marco regulatório claro para o uso de biotecnologia e novas práticas agrícolas pode criar incertezas, dificultando o planejamento estratégico das empresas. Esse cenário regulatório volátil pode impactar diretamente na confiança dos investidores e na capacidade das empresas de planejar a longo prazo.

Outro obstáculo importante é a resistência cultural à adoção de novas tecnologias (VICENTE, 2002; MACHADO; NANTES, 2011; CASTRO, 2021). Para Vicente (2002) e

Castro (2021) por exemplo, muitos produtores ainda se mantêm apegados a práticas tradicionais, que, embora comprovadamente menos eficientes, são consideradas mais seguras e conhecidas. A resistência à mudança é frequentemente agravada pela falta de capacitação técnica dos trabalhadores, que necessitam de treinamento adequado para operar novas tecnologias e adotar práticas inovadoras de manejo. Machado e Nunes (2021) acrescentam que sem uma força de trabalho qualificada, a implementação de inovações pode se tornar lenta e pouco eficaz.

Neste contexto, investir em capacitação é uma necessidade crucial para que o setor sucroalcooleiro possa aproveitar ao máximo as inovações disponíveis, sendo os programas de treinamento e educação continuada voltados para trabalhadores e gestores do setor uma ferramenta que pode desempenhar um papel fundamental na mitigação dessas barreiras culturais e técnicas, promovendo uma transição mais suave para um modelo produtivo mais moderno e eficiente.

As mudanças climáticas representam uma barreira tanto para a produção quanto para a inovação no setor sucroalcooleiro (BMZ, 2021; CRUMPLER *et al.*, 2021; ATKINSON; ATKINSON, 2023; ROY; KUMAR; RAHAMAN, 2024). Eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e inundações, afetam diretamente a produtividade das lavouras e podem comprometer os investimentos em novas tecnologias (CRUMPLER *et al.*, 2021). A adoção de práticas agrícolas resilientes e o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar mais resistentes ao estresse hídrico são necessárias para mitigar esses impactos (BMZ, 2021).

No entanto, essas soluções demandam investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento, que nem sempre estão disponíveis (ROY; KUMAR; RAHAMAN, 2024). Além disso, o impacto das mudanças climáticas no setor vai além da produção agrícola, afetando também a infraestrutura de transporte e logística, que é crucial para o escoamento da produção (GUO *et al.*, 2022; SANTOS; OLIVEIRA; FERREIRA-Fo., 2022). Sendo assim, se adaptar a essas novas condições climáticas exige não apenas inovações tecnológicas, mas também uma reestruturação das estratégias de gestão e planejamento das usinas.

A inovação aberta, que promove a colaboração entre empresas, universidades e centros de pesquisa, desponta como uma possibilidade importante para o setor sucroalcooleiro superar suas barreiras (RAMÍREZ-GÓMEZ; RODRÍGUEZ-ESPINOSA,

2022; AGARWAL *et al.*, 2023). Agarwal *et al.* (2023) destacam que essa abordagem facilita o compartilhamento de conhecimento e recursos, acelerando o desenvolvimento de soluções tecnológicas que atendam às necessidades específicas do setor.

Parcerias com universidades podem trazer avanços significativos, especialmente em áreas como biotecnologia e gestão sustentável dos recursos naturais (QUADROS *et al.*, 2019). Modelos de inovação aberta permitem que o setor se beneficie de uma rede mais ampla de inovação, integrando diferentes perspectivas e expertise (FURTADO; SCANDIFFIO; CORTEZ, 2011; SILVA; BOMTEMPO; ALVES, 2019).

Ademais, políticas públicas bem estruturadas são fundamentais para fomentar a inovação no setor sucroalcooleiro (BERNARDO *et al.*, 2019; LIMA *et al.*, 2020). Lima *et al.* (2020) explicam que incentivos fiscais, subsídios para a adoção de tecnologias sustentáveis e programas de apoio à pesquisa e desenvolvimento podem criar um ambiente mais propício para a inovação.

No entanto, para serem eficazes, essas políticas devem ser estáveis e consistentes, oferecendo segurança jurídica e previsibilidade aos investidores. Bernardo *et al.* (2019) acrescentam que a implementação de políticas voltadas para a inovação não apenas beneficia o setor sucroalcooleiro, mas também contribui para a competitividade do Brasil no mercado internacional de biocombustíveis e bioenergia. Portanto, a articulação entre governo, setor privado e academia é crucial para desenvolver um marco regulatório que incentive o investimento em tecnologias avançadas e assegure o crescimento sustentável do setor.

Vale destacar que com a crescente digitalização e automação dos processos produtivos, o setor sucroalcooleiro também enfrenta o desafio da cibersegurança. A adoção de tecnologias como IoT (Internet das Coisas) e sistemas integrados de gestão aumenta a vulnerabilidade a ataques cibernéticos, que podem comprometer a produção e gerar prejuízos significativos.

A proteção dos dados e a segurança das operações são aspectos críticos que precisam ser abordados com rigor para garantir a integridade das inovações implementadas (FERRIS, 2017; KAUR *et al.*, 2022). Sobre isso, Kaur *et al.* (2022) explicam que investir em cibersegurança e adotar práticas de gestão de riscos tecnológicos são medidas essenciais para proteger o setor contra ameaças emergentes.

A resiliência digital se torna, assim, um componente estratégico de inovação, garantindo que as novas tecnologias possam ser adotadas de forma segura e eficaz.

Em suma, o futuro da inovação no setor sucroalcooleiro brasileiro é promissor, mas depende da superação de várias barreiras econômicas, culturais, regulatórias e climáticas. A exploração das possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias, aliada a um ambiente de financiamento favorável e políticas públicas consistentes, pode transformar o setor, elevando sua competitividade e sustentabilidade.

No entanto, a capacitação da mão de obra, a adaptação às mudanças climáticas e a gestão de riscos tecnológicos serão determinantes para o sucesso das inovações no longo prazo. Assim, uma abordagem integrada, que envolva todos os atores do setor, será essencial para garantir que o setor sucroalcooleiro continue a prosperar e inovar frente aos desafios futuros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo discutir como a inovação tecnológica tem sido discutida no setor sucroalcooleiro, explorando as principais inovações adotadas, as barreiras enfrentadas e as oportunidades futuras. A partir da análise do contexto produtivo e das inovações tecnológicas implementadas, foi possível compreender que o setor sucroalcooleiro não apenas se destaca pela sua importância econômica, mas também pelo potencial de crescimento sustentável, impulsionado por tecnologias que buscam otimizar a eficiência produtiva e reduzir o impacto ambiental.

As inovações tecnológicas, como a mecanização da colheita, o uso de drones para monitoramento das lavouras, a adoção de biotecnologia para o melhoramento genético das plantas e a produção de etanol de segunda geração, demonstram o compromisso do setor com a modernização e a sustentabilidade. Essas tecnologias têm permitido ganhos expressivos em produtividade, redução de custos operacionais e menor dependência de insumos tradicionais, como defensivos químicos e água. No entanto, o sucesso da adoção dessas inovações depende fortemente do acesso a financiamento adequado, da capacitação dos trabalhadores e da superação de barreiras culturais e regulatórias.

As contribuições deste trabalho residem na análise dos desafios e possibilidades que o setor enfrenta em sua jornada de inovação. Identificou-se que, apesar das oportunidades de financiamento verde e das políticas de incentivo à adoção de tecnologias sustentáveis, ainda há entraves significativos, como a burocracia excessiva, a falta de um marco regulatório claro e a resistência dos produtores a novas práticas. A pesquisa também destacou a importância de uma abordagem colaborativa, envolvendo governo, setor privado, academia e instituições financeiras, para criar um ambiente mais favorável à inovação.

Uma das principais limitações observadas no setor é a disparidade no acesso a recursos tecnológicos entre grandes usinas e pequenos produtores, o que pode resultar em uma desigualdade crescente na capacidade de inovação. Para mitigar esses efeitos, é essencial que as políticas públicas sejam direcionadas não apenas para grandes empresas, mas também para incluir pequenas e médias usinas, facilitando seu acesso a crédito e programas de capacitação. Além disso, o fortalecimento de redes de inovação

aberta pode fomentar um ambiente de compartilhamento de conhecimento e recursos, beneficiando todo o setor.

Com base nos resultados obtidos, sugere-se que futuras pesquisas explorem de maneira mais aprofundada o impacto econômico das inovações tecnológicas no setor sucroalcooleiro, em especial o sul-mato-grossense, especialmente em termos de competitividade e sustentabilidade. Estudos que investigam a eficácia dos programas de financiamento existentes e propõem melhorias nas políticas de apoio também são necessários para garantir que o setor continue a evoluir. Além disso, pesquisas que analisem a adaptação do setor às mudanças climáticas e como as inovações podem mitigar esses efeitos serão fundamentais para o planejamento de longo prazo.

Por fim, ressalta-se a importância de se manter uma abordagem crítica sobre o desenvolvimento tecnológico no setor sucroalcooleiro, reconhecendo tanto os avanços quanto as limitações. Isto porque, o futuro do setor depende da capacidade de adaptação às novas demandas do mercado, da inovação contínua e do fortalecimento das políticas de incentivo, que devem ser orientadas para promover um crescimento inclusivo e sustentável. Dessa forma, espera-se que o setor sucroalcooleiro continue a desempenhar um papel central na economia brasileira, consolidando-se como um modelo de inovação e sustentabilidade no agronegócio global.

REFERÊNCIAS

- ABARCA, C.D.G. Inovações tecnológicas na agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil. **Agroindústria da Cana-de-Açúcar**, 1999.
- AGARWAL, V.; MALHOTRA, S.; DAGAR, V.; PAVITHRA, M.R. Coping with public-private partnership issues: a path forward to sustainable agriculture. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 89, 101703, 2023.
- AGRAWAL, R.; AGRWAL, S.; SAMADHIYA, A.; KUMAR, A.; LUTHRA, S.; JAIN, V. Adoption of green finance and green innovation for achieving circularity: an exploratory review and future directions. **Geoscience Frontiers**, v. 15, n. 4, 101669, 2024.
- ALMEIDA, E.C. **Potencialidades na utilização dos drones na agricultura de precisão**. 2023. 16f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Administração). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Naviraí, 2023.
- ALVES, J.M. Paradigma técnico e co-geração de energia com bagaço de cana de açúcar em Goiás. In: Encontro de Energia do Meio Rural, Campinas. **Anais ...**, 2006.
- ANDRADE, M.C. Inovações tecnológicas no setor sucroalcooleiro: determinantes, estágio vigente e perspectivas no contexto brasileiro (2005-2014). **Revista Brasileira de Gestão & Inovação**, v. 4, n. 3, p. 89-106, 2017.
- ARAÚJO, D.F.C.; SOBRINHO, F.L.A. O setor sucroenergético brasileiro. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 13, n. 30, p. 173-200, 2024.
- ASSAD, L. Aproveitamento de resíduos do setor sucroalcooleiro desafia empresas e pesquisadores. **Ciência e Cultura**, v. 69, n. 4, p. 13-16, 2017.
- ATKINSON, C.L.; ATKINSON, A.M. Impacts of climate change on rural communities: vulnerability and adaptation in the Global South. **Encyclopedia**, v. 3, n. 2, p. 721-729, 2023.
- BANCO DO BRASIL. Evolução histórica do crédito rural. **Revista de Política Agrícola**, v. 13, n. 4, 2004.
- BERNARDO, R.; LOURENZANI, W.L.; SATOLO, E.G.; CALDAS, M.M. Analysis of the agricultural productivity of the sugarcane crop in regions of new agricultural expansions of sugarcane. **Gestão 7 Produção**, v. 26, n. 3, e3554, 2019.
- BETARELLI-JUNIOR, A.A.; FARIA, W.R.; ALBUQUERQUE, D.P.E.M. Crédito rural, tipos de financiamentos e efeitos econômicos: o caso dos recursos equalizáveis de juros para o investimento e custeio agropecuário no Brasil (2012). **Planejamento e políticas públicas**, n. 52, p. 111-147, 2019.
- BIOSUL. **Histórico de produção de bioenergia em Mato Grosso do Sul**. 2021. Disponível em: <<https://biosulms.com.br/estatistica/historico-de-producao-em-ms/>>. Acesso em: 08 set. 2024.
- BIOSUL.O **setor:** produção, 2019b. Disponível em: <<https://biosulms.com.br/setor/producao/>>. Acesso em 26 de novembro de 2021.

BIOSUL. **Relatório de evolução da safra 2020/2021**, 2019a. Disponível em: <<https://biosulms.com.br/estatistica/acompanhamento-da-safra-2019-2020-ate-30-de-junho/>>. Acesso em 11 de out de 2021.

BMZ. **Transformation of agricultural and food systems**. Berlin: BMZ Strategies, 2021.

BNDES.Nossahistória,2021.

Disponívelem:<<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/quem-somos/nossa-historia>>. Acesso em 30 de novembro de 2021.

BORDONAL, R.O.; CARVALHO, J.L.N.; LAL, R.; FIGUEIREDO, E.B.; OLIVEIRA, B.G.; SCALA-JR, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 13, 2018.

BRASIL. **Decreto nº 76.523, de 14 de novembro de 1975**. Institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras providências. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76593-14-novembro-1975-425253-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em 27 out. 2025.

BRASIL. **Financing the energy transition in Brazil: instruments and funding sources**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-684/topico-636/WEF%20EPE%20DEA%20IT%20003%202021%20Eng.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm>. Acesso em 27 out. 2025.

BRITO, J.L.R.; MATAI, P.H.I.A.; SANTOS, M.R. Inovação e a produção do etanol de cana-de-açúcar. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 3, p. 1-25, 2024.

BUFON, V.B.; MAIA, F.C.O.; PEREIRA, R.M. Sistema irrigado de produção de cana-de-açúcar no Brasil: história, mitos e desafios. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO-NETO, D.; MANTOVANI, E.C. (Orgs.). **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, 2021.

BÚRIGO, F.L.; WESZ-JUNIOR, V.J.; CAPELLESSO, A.J.; CAZELLA, A.A. O Sistema Nacional de Crédito Rural no Brasil: principais continuidades e discontinuidades no período 2003-2014. **Estudos, Sociedade e Agricultura**, v. 29, n. 3, p. 635-668, 2021.

CÂNDIDO, T.O.; ALMEIDA, C.B. Indústria 4.0 em usina sucroalcooleira. **Revista Científica Unilago**, 2020.

CARVALHO, S.A.D.; FURTADO, A.T. Mapeamento dos esforços tecnológicos dos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil. In: XV Congresso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica. **Anais ...**, Porto, 2013.

CASTRO, C.N. Desigualdade tecnológica rural: breves considerações sobre possíveis tendências. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v. 26, p. 33-45, 2021.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; ABREU, H.M.C.; ARRUDA, P.; BESPALHOK-FILHO, J.C.; BURNQUIST, W.L. *et al.* Sugarcane (saccharum X officinarum): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, v. 4, n. 1, p. 62-89, 2011.

CHEQUIN, B.G.; GRANDI, G. O setor sucroalcooleiro brasileiro: origem e desenvolvimento. In: 6º Conferência Internacional de História Econômica e VIII Encontro de pós-graduação em História Econômica, 2016, São Paulo. **Anais ...**, São Paulo, 2016.

CHIARAVALLLOTI, R.M.; SANTANA, S.; MORAIS, M.S.; ROCHA, L.M.V.; FREITAS, D.M. Efeitos da expansão da cana de açúcar no sudeste do Mato Grosso do Sul e possíveis caminhos para uma agenda sustentável. **Sustentabilidade em Debate**, v. 5, n. 1, p. 117-135, 2014.

CIRANI, C.B.S.; MORAES, M.A.F.D. Inovação na indústria sucroalcooleira paulista: os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 4, p. 543-565, 2010.

CONAB. **Cana-de-açúcar tem queda de 3,6% e fecha safra 2017/18 em 633,26 milhões de t.** 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2327-cana-de-acucar-tem-queda-de-3-6-e-fecha-safra-2017-18-em-633-26-milhoes-de-t>>.

Acesso em 08 set. 2024.

CONAB. **Portal de informações agropecuárias: cana-de-açúcar.** Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-cana-de-acucar.html>>.

Acesso em 27 out. 2025.

COSMO, M.M.; FERRARINI, A.S.F.; SILVA, C.E.S.F. A expansão da irrigação da cana-de-açúcar nos municípios da região centro-oeste do Brasil. In: XXI Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos. **Anais ...**, Belém, 2023.

CRUMPLER, K.; ABI-KHALIL, R.; TANGANELLI, E.; RAI, N.; ROFFEDI, L.; MEYBECK, A. *et al.* **2021 (Interim) Global update report: agriculture, forestry and fisheries in the Nationally Determined Contributions.** Rome: FAO, 2021.

CURSI, D.E.; HOFFMANN, H.P.; BARBOSA, G.V.S.; BRESSIANI, J.A.; GAZAFFI, R. *et al.* History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. **Sugar Tech**, v. 24, p. 112-133, 2022.

DEMO, P. **Pesquisa: Princípios científicos e educativos.** 7ª ed., São Paulo: Cortez, 2000.

EISENBERG, P.L. **Modernização sem mudança: a indústria açucareira em Pernambuco 1840-1910.** Campinas: Paz e Terra/UNICAMP, 1977.

EMBRAPA. **Cana-de-açúcar.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar/pos-producao>>. Acesso em 27 out. 2025.

EUSÉBIO, G.S.; TONETO-JR, R. Uma análise. Do acesso ao crédito rural para as unidades produtivas agropecuárias do Estado de São Paulo: um estudo a partir do LUPA. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 38, p. 133-152, 2012.

FAPESP. **Brazil is a world leader in sugarcane and ethanol knowledge and technology**. São Paulo: FAPESP Communications Office, 2007.

FAXINA, L. **Projeto de drone de baixo custo para monitoramento em áreas agrícolas**. 2021. 53f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Biosistemas). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Avaré, 2021.

FERRIS, J.L. Data privacy and protection in the agriculture industry: is federal. Regulation necessary? **Minnesota Journal of Law, Science & Technology**, v. 18, p. 309-342, 2017.

FLAUSINIO, B.F.P.G. **Produção de energia elétrica a partir do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar gerado no setor sucroalcooleiro de Minas Gerais**. 2015. 169f. Tese (Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. London: Pinter Publishers, 1987.

FU, C.; LU, L.; PIRABI, M. Advancing green finance: a review of sustainable development. **Digital Economy and Sustainable Development**, v. 1, 20, 2023.

FURTADO, A.T.; SCANDIFFIO, M.I.G.; CORTEZ, L.A.B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 39, p. 156-166, 2011.

GIL, A.C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GUO, H.; XIA, Y.; JIIN, J.; PAN, C. The impact of climate change on the efficiency of agricultural production in the world's main agricultural regions. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 97, 106891, 2022.

IBGE. **Censo Agro 2017: Cartograma de cana de açúcar do Brasil por quantidade produzida**, 2017a. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76434>. Acesso em 05 de dez de 2021.

IBGE. **Censo Agro 2017: Cartograma de cana de açúcar do Mato Grosso do Sul por quantidade produzida**, 2017b. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?tema=76434&localidade=50>. Acesso em 05 de dez de 2021.

JESUS, K.R.E.; TORQUATO, S.A.; MACHADO, P.G.; ZORZO, C.R.B.; CARDOSO, B.O.; LEAL, M.R.L.V. *et al.* Sustainability assessment of sugarcane production systems: SustenAgro Decision Support System. **Environmental Development**, v. 32, 100444, 2019.

KAUR, J.; FARD, S.M.H.; AMIRI-ZARANDI, M.; DARA, R. Protecting farmers' data privacy and confidentiality: recommendations and considerations. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, 2022.

KUBOTA, L.C.; ROSA, M.B. Internet das coisas e conectividade no campo. In: VIEIRA-FILHO, J.E.R.; GASQUES, J.G. (Orgs.). **Agropecuária brasileira: evolução, resiliência e oportunidades**. Rio de Janeiro: Ipea, 2023.

KUHN, S.L.; RISSARDI-JUNIOR, D.J., O. crédito rural na agricultura familiar da mesorregião oeste do Paraná, Brasil. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, v. 15, n. 28, p. 128-150, 2015.

LANCKRIET, E.; POPPE, M. O Sistema de inovação tecnológica da agro-energia da cana-de-açúcar no Brasil – da sua gênese à transição agroecológica atual. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2018.

LIMA, M.; SILVA-JUNIOR, C.A.; PELISSARI, T.D.; LOURENÇONI, T.; LUZ, I.M.S.; LOPES, F.J.A. Sugarcane: Brazilian public policies threaten the Amazon and Pantanal biomes. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 3, p. 210-212, 2020.

LOPES, D.; LOWERY, S.; PEROBA, T.L.C. Crédito rural no Brasil: desafios e oportunidades para a promoção da agropecuária sustentável. **Revista do BNDES**, v. 45, p. 155-196, 2016.

LORENA, E.M.G.; BEZERRA, A.P.X.G.; SANTOS, G.S.S.; GABRIEL, F.A.; HOLANDA, R.M. Gestão de resíduos industriais do setor sucroalcooleiro: estudo de caso de Pernambuco, Brasil. **Revista Gestão Industrial**, v. 13, n. 2, p. 182-197, 2017.

MACHADO, J.G.C.F.; NANTES, J.F.D. Adoção da tecnologia da informação em organizações rurais: o caso da pecuária de corte. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 3, p. 555-570, 2011.

MACHADO, P.G.; DUFT, D.G.; PICOLI, M.C.A.; WALTER, A. Assessment of the expansion of sugar cane: application of the Sustainability barometer in the municipalities of Barretos and Jaboticabal, São Paulo State, Brazil. **Sustainability in Debate**, v. 5, n. 1, p. 16-28, 2014.

MARCONI, M.A; LAKATOS, E.M. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 6ª ed., São Paulo: Atlas, 2007.

MARTINS, G.A.; PINTO, R.L. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos**. São Paulo: Atlas, 2001.

MATO GROSSO DO SUL. **Indicadores**, 2018. Disponível em: <<http://www.ms.gov.br/indicadores/>>. Acesso em 05 de dez de 2021.

MINAYO, M.C.S. (Org.). **Pesquisa Social**: teoria, método e criatividade. Petrópolis: Vozes, 2001.

MIRANI, L. **China's internet is better than yours'**, 2013. Disponível em: <<https://qz.com/68972/chinas-internet-is-better-than-yours/>>. Acesso em 15 de novembro de 2021.

MORAIS, L.K.; CURSI, D.E.; SANTOS, J.M.; SAMPAIO, M.; CÂMARA, T.M.M.; SILVA, P.A. *et al.* **Melhoramento genético da cana-de-açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

MOREIRA, J.C.S.; SILVA, R.C.F.; MORAES, P.A.V.; AVELINO, C.H. A indústria 4.0 no processo de colheita de cana-de-açúcar em uma empresa do setor sucroenergético no

interior de São Paulo. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Administração). Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, Araçatuba, 2021.

MUHIE, S.H. Novel approaches and practices to sustainable agriculture. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 10, 100446, 2022.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G. **A dimensão do setor sucroenergético**: mapeamento e quantificação da safra 2013/14. Ribeirão Preto: Makestrat, Fundace, FEA RP/USP, 2014.

NOGUEIRA, M.A.F.S.; GARCIA, M.S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brillhante, Mato Grosso do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 17, n. 27, p. 3275-3283, 2013.

NOVACANA. **A produção de cana-de -açúcar no Brasil e no mundo**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo>>. Acesso em: 20 nov. 2025

OLIVEIRA, A.P.P.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M.G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 939-947, 2014.

OXFORD. **Oxford English Dictionary**. United Kingdom: Oxford University Press, 1998.

PAO, H.T.; FU, H.C. Renewable energy, non-renewable. Energy and. Economic growth in. Brasil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 381-392, 2013.

POLCYN, J.; STRATAN, A.; LOPOTENCO, V. Sustainable agriculture's contribution to quality of life. **Sustainability**, v. 15, n. 23, 16415, 2023.

PORTO, J.R.S. Gestores e burocracias nas políticas públicas da agricultura familiar. **Estudos, Sociedade e Agricultura**, v. 29, n. 3, p. 574-596, 2022.

QUADROS, O.F.; VENTURA, J.A.; FERNANDES, A.A.R.; FERNANDES, P.M.R. Edição dirigida do genoma por CRISPR/Cas9: uma nova tecnologia para o melhoramento de plantas. **Incap em Revista**, v. 9, p. 6-15, 2018.

QUEDA, O. **A intervenção do estado e a agroindústria açucareira paulista**. 1972. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP, Piracicaba - SP, 1972.

QUINTANA, K.A. **Irrigação e fertirrigação por gotejamento para cana-de-açúcar na presença e ausência de boro**. 2010. 70f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2010.

RAMÍREZ-GÓMEZ, C.J.; RODRÍGUEZ-ESPINOSA, H. Local public-private partnerships to promote innovation in agricultural value chains: the case of cocoa in Colombia. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 4, e 49339, 2022.

RAMOS, P. **Agroindústria canavieira e propriedade fundiária no Brasil**. 1991. Tese (Doutorado em Administração). Fundação Getúlio Vargas, São Paulo - SP, 1991.

RAMOS, S.Y.; MARTHA-JUNIOR, G.B. **Evolução da política de crédito rural brasileira**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010.

RAVELI, M.B. **Controle de qualidade no plantio de cana-de-açúcar**. 2013. 83f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp. Jaboticabal, São Paulo, 2013.

REID, W.V.; ALI, M.K.; FIELD, C.B. The future of bioenergy. **Global Change Biology**, v. 26, p. 274-286, 2020.

REIS, H.S. **Utilização de veículos aéreos não tripulados para identificação de falhas no plantio na cana de açúcar**. 2020. 31f. Monografia (Bacharel em Agronomia). Centro Universitário de Goiás, Goiânia, 2020.

RIXSE, J. Engineering/technical education for developing countries' need. **IEEE Transactions on Education**. v. 21, n. 3, 1978.

ROSNAH, M.; HASHMI, W. Advanced manufacturing Technologies in SMEs. **CACCI Journal**, 2005.

ROY, A.; KUMAR, S.; RAHAMAN, M. Exploring climate change impacts on rural livelihoods and. Adaptation strategies: reflections from marginalized communities in India. **Environmental Development**, v. 49, 100937, 2024.

SABRAHMANYA, M.H.B. Technological innovation and competitiveness in the global economy. **Asian Journal of Technology Management**. v. 6, n.21, 2014.

SANCHES, G.M.; BORDONAL, R.O.; MAGALHÃES, P.S.G.; OTTO, R.; CHAGAS, M.F.; CARDOSO, T.F. *et al.* Towards greater Sustainability of sugarcane production by precision agriculture to meet ethanol demands in South-central Brazil based on. A life cycle assessment. **Biosystems Engineering**, v. 229, p. 57-68, 2023.

SÁNCHEZ, G.F.A.; GARCÍA, S.S.; LÓPEZ, D.J.P.; ESPINOZA, L.C.L.; LAUREL, H.O.; SÁNCHEZ, S.C. Artificial seed viability of sugarcane (*Saccharum officinarum* L. cv. Mex 69-290) under conditions of huimanguillo-Tabasco, México. **Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo**, v. 51, n. 2, p. 27-41, 2019.

SANT'ANNA, A.C.; GRANCO, G.; BERGTOLD, J.; CALDAS, M.M. Os desafios da expansão da cana-de-açúcar: como pensam e agem arrendatários e produtores? **Radar**, v. 39, p. 39-48, 2015.

SANTOS-JÚNIOR, E.P.; SILVA, M.V.B.; SIMIONI, F.J.; JUNIOR, P.R.; MENEZES, R.S.C.; JUNIOR, L.M.C. Location and concentration of the forest bioelectricity supply in Brazil: a space-time analysis. **Renewable Energy**, v. 199, p. 710-719, 2022.

SANTOS, C.V.; OLIVEIRA, A.F.; FERREIRA-FILHO, J.B.S. Potential impacts of climate change on agriculture and the economy in different regions of Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, e 220611, 2022.

SANTOS, D.F.L. *et al.* Eco-innovation in the Brazilian sugar-ethanol industry: a case study. **Brazilian Journal of Science and Technology**. v. 2, n. 1, 1-15, 2015.

SCARPIM, E.C. **A mecanização da colheita de cana-de-açúcar e suas implicações para a saúde e segurança dos trabalhadores**. 2012. 65f. Monografia (Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

SCHUMPETER, J. **Capitalism, socialism and democracy**. Nova York: Harper and Row Publishers, 1942.

SCHUMPETER, J. **The theory of economic development** (an inquiry into profits, capital, credit, interest and business cycle). Nova York: Harvard University Press, 1932.

SILVA, C.M.; FRANÇA, M.T.; OYAMADA, G.C. O setor sucroalcooleiro brasileiro e a competitividade entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. **Caderno de Publicações Univag**, v. 7, 2014.

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

SILVA, D.F.S.; BOMTEMPO, J.V.; ALVES, F.C. Oportunidade de inovação no setor sucroenergético. In: XVI Congresso Latino-Iberoamericano de Gestão da Tecnologia. **Anais ...**, Porto Alegre, RS, 2015.

SILVA, D.L.G.; BATISTI, D.L.S.; FERREIRA, M.J.G.; MERLINI, F.B.; CAMARGO, R.B.; BARROS, B.C.B. Cana-de-açúcar: aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e44410714163, 2021.

SILVA, J.; NETO, A.; SEVERIANO, E.; SILVA, F.; DORNELLES, D. Sugarcane bud chip encapsulation for ex vitro synthetic seed formation. **Journal of Agriculture Science**, v. 10, n. 4, p. 104-115, 2018.

SINGH, A.R.; SINGH, S.K.; JAIN, S. A review on bioenergy and biofuel production. **Materials Today Proceedings**, v. 49, p. 510-516, 2022.

SIVARAMAN, K.; SRIKANTH, K.; HARI, P.; RAKKIYAPPAN, C.; SANKARANARAYANAN, A.; RAMESH-SUNDAR, A. et. al. Sustainability of sugarcane productivity in a long-term organic production system vis-à-vis conventional system. **Journal of Sugarcane Research**, v. 3, n. 2, p. 130-140, 2013.

SOUZA, M.I.F.; VIAN, C.E.F.; MARIN, F.R.; SAKAI, R.H.; LOPES, P.C. Informação tecnológica sobre cana-de-açúcar na internet. **Análises de Indicadores do Agronegócio**, v. 4, n. 5, 2009.

SOUZA, P.M.; NEY, M.G.; PONCIANO, N.J. Análise da distribuição dos financiamentos rurais entre os estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 2, 251-270, 2015.

SOUZA, Z.J. A co-geração de energia no setor sucroalcooleiro: desenvolvimento e situação atual. In: Encontro de Energia do Meio Rural, Campinas. **Anais ...**, 2002.

SZMRECSÁNYI, T. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-75)**. São Paulo: HUCITEC, 1979.

SYNGENTA. Resultado de áreas plantadas com tecnologia Emerald. Disponível em: <<https://www.syngenta.com.br/press-release/sustentabilidade/resultados-de-areas-plantadas-com-tecnologia-emerald-serao#:~:text=%E2%80%9CSemente%20artificial%E2%80%9D%20de%20cana%2Dde%20Da%C3%A7%C3%BAcar%20promete%20simplificar%20e,da%20apresenta%C3%A7%C3%A3o%20da%20Syngenta%20no%20Ethanol%20Summit%2C>>. Acesso em 20 nov. 2025.

TERZIOVSKI, M. Innovation and its performance implication in small and medium enterprises in the manufacturing sector: a resource-based view. **Strategic Management Journal**. v. 31, n. 8, p. 892-902, 2010.

TORQUATO, S.A. Mecanização da colheita da cana-de açúcar: benefícios ambientais e impactos na mudança do emprego no campo em São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 29, p. 49-62, 2013.

VICENTE, J.R. **Pesquisa, adoção de tecnologia e eficiência na produção agrícola**. São Paulo: Apta/SAAESP, 2002.

ZAPATA, C.; NIEUWENHUIS, P. Driving on liquid Sunshine - the Brazilian biofuel experience: a policy driven analysis. **Business Strategy and the Environment**. v. 18, n. 8, p. 528-541, 2009.

ZENG, F.; WU, H.Z. Analysis of Chinese investment in renewable energy generation in Brazil. **Frontiers in Energy Research**, v. 12, 2024.

ZHENG, Y.; LUCIANO, A.C.S.; DONG, J.; YUAN, W. High-resolution map of sugarcane cultivation in Brazil using a phenology-based method. **Earth System Science Data**, v. 14, p. 2065-2080, 2022.