

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

HUGO RODRIGUES EPIFANIO

**A IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR NO BRASIL:
REVISÃO SOBRE OS ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICO-AMBIENTAIS
DO PROCESSO PRODUTIVO DO AÇÚCAR NO BRASIL**

SÃO CARLOS – SP

2023

HUGO RODRIGUES EPIFANIO

**A IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR NO BRASIL:
REVISÃO SOBRE OS ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICO-AMBIENTAIS DO PROCESSO
PRODUTIVO DO AÇÚCAR NO BRASIL**

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. André Bernardo

SÃO CARLOS – SP

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa do Trabalho de Graduação do aluno Hugo Rodrigues Epifanio, realizada em 13/03/2023:

Prof. Dr. André Bernardo (Orientador)
Universidade Federal de São Carlos / Departamento de Engenharia Química

Prof. Dra. Fernanda Perpétua Casciotori (Convidada)
Universidade Federal de São Carlos / Departamento de Engenharia Química

Prof. Dr. José Maria Corrêa Bueno (Professor da Disciplina)
Universidade Federal de São Carlos / Departamento de Engenharia Química

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, pela minha vida e saúde, e toda a Sua graça em minha existência, me levantando e me dando forças para superar todos os obstáculos e dificuldades ao longo dessa jornada.

À minha família, por sempre estarem ao meu lado, e pelos inúmeros sacrifícios que fizeram para que eu pudesse chegar até este momento.

Aos meus amigos, que ao longo desta batalha, sempre estiveram ao meu lado, em especial, Wellington Martins, Iago Santos e Clarissa Câmara.

Ao Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Química da UFSCar (PET-EQ UFSCar), por todas as experiências únicas e incríveis que pude vivenciar e todo o desenvolvimento que me foi proporcionado.

A todo o corpo docente do Departamento de Engenharia Química da UFSCar, por todos os conhecimentos técnicos, aprendizados e lições de vida, que me formaram como profissional.

À Universidade Federal de São Carlos, por ter sido a minha casa ao longo desses anos, e ter fornecido toda a infraestrutura, auxílio e apoio para que este curso de graduação pudesse ser realizado.

E por fim, a todas as pessoas que de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente ao longo dessa trajetória.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é revisar os aspectos socioambientais e socioeconômicos do processo de produção de açúcar a partir da cana-de-açúcar no Brasil. Desta forma, obtendo-se com o trabalho a compreensão dos conceitos do processo produtivo de açúcar no Brasil e principalmente, sua relação com aspectos socioambientais e socioeconômicos, que apresentam a sua importância para o país. No Brasil, a produção de açúcar provém do cultivo da cana-de-açúcar, tornando o país o maior produtor mundial e o maior exportador de açúcar, seguido pela Índia e China. Dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA) e da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) indicam que o país possui atualmente cerca de 8,1 milhões de hectares plantados e processou cerca de 665,1 milhões de toneladas na safra 2020/2021. A produção de cana-de-açúcar ocorre por região: de setembro a março nas regiões norte e nordeste, e de abril a novembro no centro-sul, portanto, o processo de plantio e colheita no Brasil é praticamente contínuo. Pelo fato de o Brasil ocupar o primeiro lugar no mundo na produção e exportação de açúcar e etanol, atrelado ao crescimento da população mundial, da indústria de alimentos e à busca constante por combustíveis renováveis que possam substituir o petróleo e que sejam menos prejudiciais ao meio ambiente, o cultivo e processamento da cana-de-açúcar tem ganhado cada vez mais um destaque global, e por consequência, o processo produtivo de açúcar.

Palavras-chaves: Açúcar. Sacarose. Produção. Fabricação. Cana-de-açúcar. Socioeconômico. Socioambiental.

ABSTRACT

The objective of this work is to review the socio-environmental and socio-economic aspects of the sugar production process from sugar cane in Brazil. In this way, obtaining with the work the understanding of the concepts of the productive process of sugar in Brazil and mainly, its relation with socioenvironmental and socioeconomic aspects, that present its importance for the country. In Brazil, sugar production comes from the cultivation of sugar cane, making the country the world's largest producer and the largest exporter of sugar, followed by India and China. Data from the Union of the Sugarcane and Bioenergy Industry (UNICA) and the National Supply Company (CONAB) indicate that the country currently has around 8.1 million hectares planted and processed around 665.1 million tons in the 2020/2021 harvest. Sugarcane production takes place by region: from September to March in the north and northeast regions, and from April to November in the center-south, therefore, the planting and harvesting process in Brazil is practically continuous. Due to the fact that Brazil occupies the first place in the world in the production and export of sugar and ethanol, linked to the growth of the world population, the food industry and the constant search for renewable fuels that can replace oil and that are less harmful to the environment environment, the cultivation and processing of sugarcane has increasingly gained global prominence, and consequently, the sugar production process.

Keywords: Sugar. Sucrose. Production. Manufacturing. Sugarcane. Socioeconomic. Socioenvironmental.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma da produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar.	18
Figura 2 - Produção de cana-de-açúcar no Brasil de 2017 a 2021	24
Figura 3 - Contraste de paisagem entre canavial e pastagem degradada.....	35
Figura 4 - Processo de colheita da cana-de-açúcar (cortadora-fatiadora ao lado de um caminhão de transbordo).....	40
Figura 5 - Bagaço da cana-de-açúcar	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Outras técnicas da produção canavieira no Brasil.....	41
Tabela 2 - Vantagens da produção de cana-de-açúcar no Brasil.....	45
Tabela 3 - Desvantagens da produção de cana-de-açúcar no Brasil.....	46

LISTA DE SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CBIO	Crédito de Descarbonização
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
IEA	Instituto de Economia Agrícola
Imaflora	Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola
ISO	<i>International Sugar Organization</i> (Organização Internacional do Açúcar)
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ME	Ministério da Economia
MME	Ministério de Minas e Energia
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PIB	Produto Interno Bruto
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Alcool
UDOP	União Nacional da Bioenergia
UNEM	União Nacional do Etanol de Milho
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 OBJETIVO GERAL	12
1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO	13
1.4 JUSTIFICATIVA.....	13
1.5 HIPÓTESE.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 RELEVÂNCIA DE TÓPICOS AO ESTUDO.....	14
2.2 FORMAS DE APRESENTAÇÃO DA SACAROSE.....	15
2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO	17
2.4 PROBLEMAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	19
2.5 SOBRE A PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE AÇÚCAR NO BRASIL... 20	
3. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO	22
3.1 METODOLOGIA	22
3.2 A CULTURA AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.....	23
3.3 TRAJETÓRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL, PERSPECTIVAS GEOGRÁFICAS, HISTÓRICAS E AMBIENTAIS	25
3.4 A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO SETOR SUCROENERGÉTICO E DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR NO BRASIL.....	28
3.5 DISCUSSÃO SOBRE ASPECTOS DE RELEVÂNCIA SOCIOECONÔMICA	30
3.6 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS RELACIONADOS A PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	34
3.7 O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR E SUA AÇÃO SOBRE O MEIO AMBIENTE	36
3.8 CANA-DE-AÇÚCAR: ASPECTOS ECONÔMICOS, SOCIAIS, AMBIENTAIS E DE SUSTENTABILIDADE.....	38
3.9 CULTIVO E COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL	39
3.10 SUBPRODUTOS DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE.....	42

3.11 VANTAGENS, DESVANTAGENS E BENEFÍCIOS DA PRODUÇÃO SUCROENERGÉTICA	44
4. CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar faz do Brasil o maior produtor e exportador mundial de açúcar, seguido pela Índia e China. Dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA) e da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) indicam que o país possui atualmente cerca de 8,1 milhões de hectares plantados, com uma produção na safra 2020/2021 de aproximadamente 665,1 milhões de toneladas.

Segundo o Instituto de Economia Agrícola - IEA (2007), as áreas de terras cultivadas no país tiveram um aumento ao longo dos anos. Novas tecnologias foram e continuam sendo introduzidas no setor sucroenergético nos últimos anos, mas o desafio atual é obter novos ganhos de produtividade neste setor, de forma a garantir a competitividade do Brasil no cenário internacional.

Nesse contexto, a melhoria das operações agrícolas é fundamental, não apenas por constituir a base do processo produtivo, mas também por afetar diretamente o desenvolvimento e a produtividade das plantas (HORII, 2004).

No caso da cana-de-açúcar, o início de uma nova fase do processo de reestruturação produtiva remonta a meados da década de 1980, envolvendo os setores rural, industrial e administrativo (SCOPINHO, 2000). Essa mudança é impulsionada pela necessidade de aumentar a produtividade, melhorar a qualidade e reduzir custos, impactando melhorias para atender às demandas do mercado consumidor.

Para MILAN (2002), a sobrevivência das empresas agrícolas está relacionada à implantação de novas técnicas administrativas baseadas na gestão da qualidade e novas formas de pensar. PECHE FILHO (1994) via o controle de qualidade nas operações agrícolas como a adoção de uma série de procedimentos que facilitam o serviço e os resultados, atendendo com precisão as exigências da máquina à qual pertence a próxima operação.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é a compreensão dos conceitos do processo produtivo do açúcar no Brasil e sua relação específica com aspectos socioambientais e socioeconômicos considerando a visão da literatura existente, concepções da historiografia, além de tentativas de compreender a usabilidade da cana-de-açúcar nos dias atuais.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

A fim de viabilizar a consecução do objetivo geral de estudo, foram formulados objetivos específicos, como forma de restringir logicamente o raciocínio descritivo apresentado neste estudo, sendo eles:

- Compreensão dos problemas relacionados à cana-de-açúcar, sua aplicação e aspectos gerais;
- Conceitualização sobre os aspectos socioambientais e socioeconômicos do processo produtivo do açúcar no Brasil;
- Influência da cana-de-açúcar e sua usabilidade no Brasil.

1.4 JUSTIFICATIVA

Justifica-se que, com a mistura dos conceitos utilizando-se da revisão bibliográfica realizada, seja possível obter uma nova perspectiva condizente com a obra, assim como um melhor aprendizado sobre as ocorrências relacionadas ao tema, aspectos da produção de açúcar, utilizações da cana-de-açúcar no Brasil e aspectos socioambientais e socioeconômicos envolvidos, utilizando-se da literatura existente.

1.5 HIPÓTESE

Dá-se a hipótese do trabalho, que com a síntese de informações da revisão bibliográfica realizada o profissional responsável do ramo, conseguirá a partir do estudo realizado, uma melhor compreensão e entendimento sobre a utilização da cana-de-açúcar e a produção de açúcar no Brasil, levando-se em consideração seus aspectos socioambientais e socioeconômicos. Assim como também se espera uma maior compreensão e entendimento perante sua relevância para o país.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RELEVÂNCIA DE TÓPICOS AO ESTUDO

O Ciclo da Cana-de-Açúcar foi um período da história do Brasil colonial que perdurou do século XVI ao XVIII, sendo antecedido pelo Ciclo do Pau-Brasil. O açúcar representou a primeira grande riqueza agrícola e industrial do Brasil. Por ser tão adaptável ao nosso clima e solo, a cana-de-açúcar foi durante muito tempo a base da economia colonial (BETTIN, 2005).

A história oficial é que Martim Affonso de Souza trouxe as primeiras mudas de cana-de-açúcar para o Brasil cerca de 30 anos após a chegada dos portugueses em solo brasileiro. Começou a ser cultivada na Capitania de São Vicente, mas foi na região Nordeste, principalmente nas Capitanias de Pernambuco e Bahia, que os engenhos se multiplicaram. No final do século XVI, o Brasil era considerado o maior produtor e fornecedor mundial de açúcar. A qualidade era superior à da Índia (na época, colônia inglesa que também era produtora de açúcar), com uma produção anual estimada em 6.000 toneladas, das quais cerca de 90% eram exportadas para Portugal e vendidas para a Europa (ARAÚJO, 2013).

A descoberta de ouro em Minas Gerais no final do século XVII tirou o açúcar de sua posição privilegiada como fonte de riqueza, mas a produção de açúcar não parou até o final do século XIX, quando mudanças tecnológicas significativas foram introduzidas na produção (ARAÚJO, 2013).

A cana-de-açúcar pertence à família das gramíneas e é uma cultura semiperene (mais de 5 anos). Possui perfilhos abundantes, com 4 a 12 hastes, entre 3 e 5 metros de altura, com sistema radicular fasciculado e relativamente grande (BONILLA, 1994). A planta tem alta eficiência fotossintética (C4), alto rendimento de biomassa, alta capacidade de controle da erosão do solo e alto valor econômico com base no teor de açúcar e biomassa. Os principais produtos do processamento da cana-de-açúcar, que são o açúcar e o etanol, são dois dos produtos essenciais da economia mundial, tendo em vista que o açúcar é parte essencial da alimentação humana, e o álcool, utilizado em bebidas alcoólicas como a cachaça ou como combustível veicular, também conhecido como etanol, é de suma importância para uma matriz energética mais sustentável (BOSSO, 2004).

Outro uso da cana-de-açúcar em muitas regiões do Brasil é como uma bebida natural conhecida como caldo de cana ou garapa. Por meio de seu processamento, geralmente de forma manual, obtém-se o caldo de cana, o melaço, o açúcar mascavo e a rapadura. Muitas utilidades podem vir da cana-de-açúcar, pois os subprodutos e resíduos são utilizados para alimentação humana e animal, fertilização do solo e produção de energia (GODOI, 2004).

Dentre os subprodutos e resíduos, destacam-se: bagaço, melaço (ou mel final), torta de filtro, óleo de pirólise, óleo fúsel, álcool bruto e fermento seco (GODOI, 2004).

A reprodução da cana-de-açúcar ocorre por meio de gemas (vegetativas), e o ciclo da planta dura em média seis anos, com cinco cortes. As principais tecnologias com potencial para aumentar a durabilidade da cana-de-açúcar, e por consequência, a produtividade da usina, estão relacionadas ao melhoramento genético, controle de pragas e doenças, técnicas de plantio e cultivo (GOMES, 2005).

2.2 FORMAS DE APRESENTAÇÃO DA SACAROSE

A sacarose é um dissacarídeo encontrado em plantas que consiste em dois monossacarídeos (a molécula de carboidrato mais simples) ligados por uma ligação glicosídica. É majoritariamente produzido comercialmente a partir da cana-de-açúcar - facilmente cultivada em países tropicais como o Brasil - ou da beterraba-açucareira em países de clima mais ameno, como em alguns da Europa. A fórmula molecular da sacarose é $C_{12}H_{22}O_{11}$, sendo formada pela condensação de seus dois monossacarídeos constituintes, reação que ocorre nas plantas. A condensação é uma reação na qual duas moléculas se juntam para criar uma molécula maior e eliminar uma molécula pequena, geralmente água, como no caso da condensação da sacarose (KISHIKAWA, 2003).

De acordo com o nível de processamento, é possível obter diferentes tipos de açúcares, cada um com diferentes características e propriedades que os tornam úteis para diferentes propósitos (LAWRENCE, 1984).

- I. Açúcar mascavo: É o açúcar obtido nas etapas intermediárias do processo de produção do açúcar. Ele se forma quando o açúcar cristaliza com o melaço em um pó fino, resultando em um pó marrom úmido com o sabor característico do melaço, podendo conter pequenas quantidades de vitaminas do complexo B, como tiamina, riboflavina e niacina, além de vitamina C e antioxidantes, além de alguns minerais, como o cálcio, ferro, magnésio, potássio, zinco e fósforo. (LAWRENCE, 1984; CARVALHO *et al.*, 2011).
- II. Açúcar demerara: Durante a fase de produção, o açúcar demerara passa por um processo de refino mais leve que o açúcar refinado, o que resulta em uma coloração levemente amarelada e com mais nutrientes provenientes do melaço e do açúcar mascavo (LAWRENCE, 1984).

- III. Açúcar refinado: É o açúcar branco comum que passou por processos químicos e físicos, como branqueamento e moagem de cristais, para obter uma cor branca e uniforme. Além disso, por ser um pó fino, auxilia na dissolução e no preparo de alimentos e bebidas (MATOS, 2004).
- IV. Açúcar cristal: É o açúcar tradicionalmente produzido nas usinas, possuindo maior granulometria comparado ao açúcar refinado. A depender dos níveis de impurezas existentes no caldo tratado, bem como o próprio tratamento do caldo, o processo pode gerar duas classificações de açúcares cristais, o “açúcar branco” e o “açúcar bruto”, sendo a principal diferença entre ambos a cor e o grau de polarização, ou seja, a quantidade de luz que é desviada por ele. Ambos são amplamente utilizados na indústria alimentícia, em produtos como doces, laticínios, molhos e bebidas (MACHADO, 2012; RECH e TAVARES, 2017).
- V. Açúcar em pedra: O refino desse tipo de açúcar se dá entre o açúcar moído e o açúcar refinado. Isso garante que os cristais sejam ligeiramente maiores, de cor ligeiramente amarelada e menos solúveis em água do que os do açúcar refinado, mas, fora isso, têm quase as mesmas propriedades (MONTGOMERY, 2004).

Existem muitos tipos de açúcar disponíveis, todos podem ser produzidos na mesma linha de produção, com os produtos desejados removidos em diferentes etapas. Mas a regra é simples: quanto mais escura a cor, maior o teor de nutrientes do açúcar (MONTGOMERY, 2004).

Quando os dissacarídeos, como a sacarose, reagem com ácidos diluídos ou sob a influência de uma enzima chamada invertase, eles passam por um processo de quebra molecular. Esse processo quebra as ligações glicosídicas, dividindo a sacarose em duas unidades (glicose e frutose) em proporções iguais. Essa reação, chamada de inversão da sacarose, produz um líquido muito mais doce que a própria sacarose, conhecido como “açúcar invertido”, e isso se deve porque o açúcar invertido é composto pelas moléculas hidrolisadas de glicose e frutose, que possuem um sensorial mais doce do que a sacarose individualmente. (JAY-LIN e SHERMAN, 1976; SIMKO, 2002).

O açúcar invertido é nomeado por suas propriedades ópticas. Quando a sacarose é diluída em água, ou seja, quando as ligações glicosídicas não são quebradas, ela tem a capacidade de virar uma luz polarizada em uma direção. A solução de açúcar invertido, por outro lado, foi capaz de desviar a luz em outra direção (SIMKO, 2002).

2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O açúcar é resultado de um longo processo que começa com o cultivo e colheita da cana-de-açúcar, matéria-prima do açúcar. Antigamente, a cana-de-açúcar era colhida manualmente, pelos trabalhadores chamados “cortadores de cana”, em que se era necessário a queima prévia do canavial, além de submeter a mão-de-obra a limitações ergonômicas e de insalubridade trabalhista. Com o passar dos anos, o processo de colheita mecanizada (que pode ser realizado sem a realização de queimadas nos canaviais) foi crescendo e substituindo a colheita manual, principalmente após a promulgação de mudanças nas legislações ambientais e de saúde pública no estado de São Paulo (BRAUNBECK, 2006) que ocorreram ao longo da década de 2000, através da Lei n. 11.241 de 20023 e do Protocolo Agroambiental de 2007.

Após a colheita, a cana-de-açúcar é moída por grandes trituradores (moendas), que auxiliam na extração do caldo da cana. Para uma moagem mais eficiente, o bagaço (a parte sólida que sobra da moagem) é misturado à água quente, o que permite uma melhor extração do caldo presente na cana (SPEER, 1990).

O caldo primário é um caldo de ocorrência natural que é moído e levado a um laboratório onde é testado quimicamente quanto ao pH e teor de açúcar. Este caldo é então tratado quimicamente para destruir os microrganismos presentes, eliminar impurezas insolúveis (como areia, argila e bagacilho) e corrigir a cor (NUNES *et al.*, 2019; STAMATIS, 1995).

O tratamento químico consiste por realizar os processos de coagulação, floculação e precipitação dos coloides, que são eliminados por decantação e filtração, devido a formação de um precipitado insolúvel que agrupa as impurezas presentes no caldo. A clarificação consiste nas etapas de sulfitação (em que ocorre o contato do caldo com dióxido de enxofre – SO_2 , em contracorrente), calagem (adição de hidróxido de cálcio, também chamado de “leite de cal” – $\text{Ca}(\text{OH})_2$) e/ou adição de componentes poliméricos de cadeia (LIMA, 2012).

Após o tratamento químico, o caldo da cana é levado para grandes tanques onde o líquido é aquecido para garantir a isenção de microrganismos. Ao fazer isso, a água presente nesse líquido também evapora e o que resta é um caldo concentrado (STAMATIS, 1995).

Para que esse caldo se transforme no que conhecemos como açúcar sólido, ele precisa ser evaporado novamente. Nesse processo, a sacarose presente é refinada e o xarope é convertido em uma massa cozida, constituída de cristais de açúcar envoltos no mel. A massa formada segue para o cristizador, provido de agitadores que auxiliam no processo de cristalização do açúcar e impedem a formação de um bloco. Após o processo de cristalização,

o conteúdo do cristalizador segue para a centrífuga com água e vapor, que separa o açúcar do chamado mel (LIMA, 2012; PAULINO, 2021).

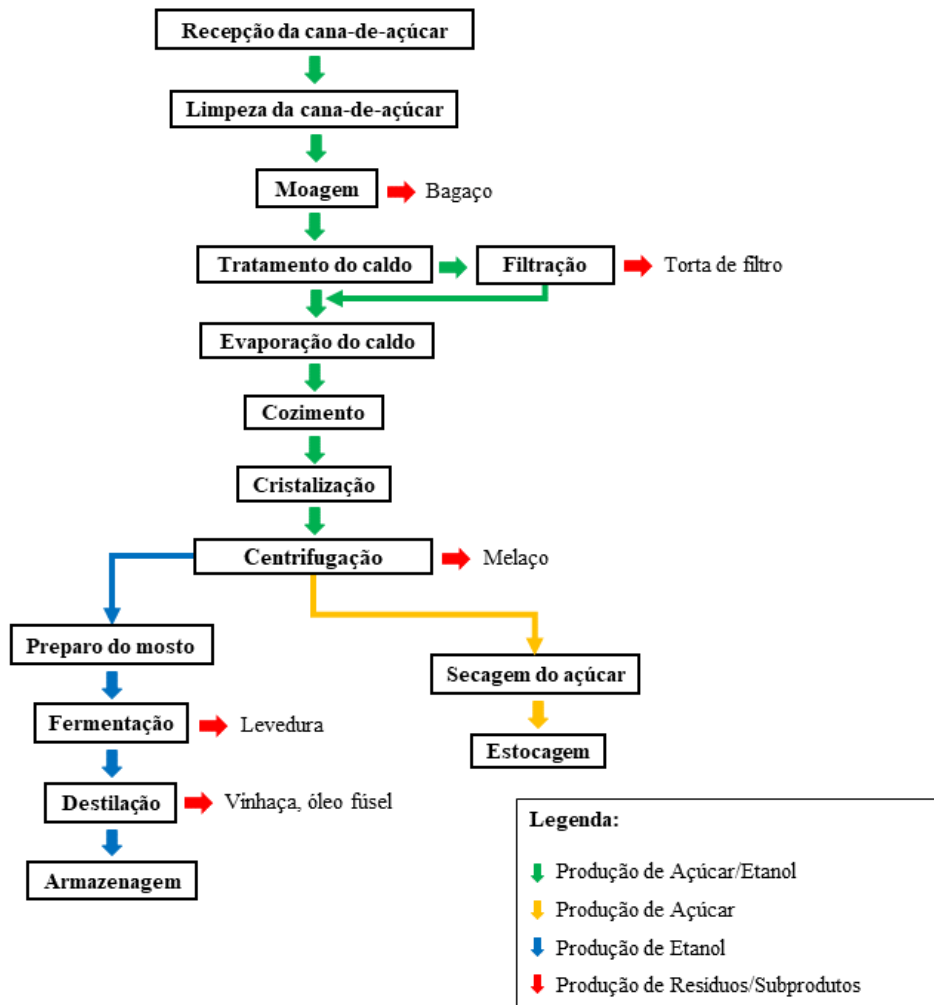


Figura 1 - Fluxograma da produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar.

Fonte: Adaptado com a permissão de GOMES, *et al.* Copyright (2016, p. 120) Revista Orbis Latina.

Por fim, o açúcar passa pelo processo de secagem, para extrair o excesso de umidade que tenha sobrado dos processos anteriores, e deixando o produto dentro dos parâmetros de umidade em conformidade com padrões estabelecidos pela legislação brasileira (Diário Oficial da União - Instrução Normativa nº 47, de 30 de agosto de 2018). Esse açúcar é então encaminhado para estocagem (que pode ocorrer a granel ou em embalagens), conforme fluxograma apresentado na Figura 1 (LIMA, 2012).

2.4 PROBLEMAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO

Após o estabelecimento do Proálcool (Programa Nacional do Álcool) em novembro de 1975, a produção de cana-de-açúcar no Brasil aumentou rapidamente, de um nível de pouco menos de 100 milhões de toneladas por ano para um novo patamar de cerca de 220 milhões de toneladas em 1986/87. O plantio de cana-de-açúcar só voltou a crescer desse modo na safra 93/94, desta vez impulsionado pelo aumento das exportações de açúcar (LAWRENCE, 1984).

Desde então, a produção não parou de crescer (exceto entre 1998 e 2001, quando uma crise do setor levou à queda da produção, devido a altos níveis de estoque e à redução do consumo no mercado doméstico). Com o lançamento bem-sucedido dos veículos de combustível duplo (veículos *flex*) no mercado nacional em 2003, a produção de cana-de-açúcar voltou a acelerar mais ainda para atender à crescente demanda por etanol hidratado, atingindo cerca de 520 milhões de toneladas em 2007 (GUEVARA *et al*, 2007; UDOP, 2007).

O crescimento do setor ao longo dos anos, o aumento da demanda interna por álcool anidro e às expectativas de expansão das exportações impulsionaram a criação de usinas de açúcar e etanol, sendo que atualmente, existem cerca de 425 usinas no Brasil, das quais quase todas produzem etanol e 150 realizam a produção de açúcar. A maior concentração ocorre na região oeste do estado de São Paulo (NOVACANA, 2022).

A contaminação microbiana é uma das principais contribuintes para as perdas durante a produção de açúcar e etanol. A presença de contaminantes pode causar problemas nas operações de extração, tratamento do caldo e fermentação. As bactérias consomem a matéria-prima (sacarose) e afetam o produto final (LIMA, 2012).

Algumas bactérias também são responsáveis pelo aparecimento de amido e glucano que interferem no processo de produção de açúcar. A propagação de bactérias biodegradantes produz ácidos orgânicos, sendo o ácido lático considerado o principal deles. O alto teor de bactérias lácticas nas cubas pode causar algumas perturbações no processo de fermentação, afetando o desempenho da levedura e também podendo levar à formação de flocos (BOSSO, 2004).

2.5 SOBRE A PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE AÇÚCAR NO BRASIL

O Brasil ocupa o primeiro lugar no mundo na produção e exportação de açúcar e etanol. Há uma busca constante por combustíveis renováveis que possam substituir o petróleo e sejam menos prejudiciais ao meio ambiente. Isso torna a cana-de-açúcar uma cultura globalmente importante para o desenvolvimento sustentável (CONAB, 2022).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo que, de acordo com dados do Balanço de Atividades divulgado pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA), em 2019, o setor sucroenergético representou cerca de 2,0% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, além de que na safra 2020/2021, o país registrou 665,1 milhões de toneladas de material processado (UNICA, 2020).

A produção de cana-de-açúcar ocorre de forma regionalizada: de setembro a março nas regiões norte e nordeste, e de abril a novembro no centro-sul. Portanto, o processo de plantio e colheita em território brasileiro é praticamente contínuo (AGRICULTURA, 2020).

São Paulo responde por cerca de 50% de toda a produção de açúcar do país. Em segundo lugar ficou o estado de Minas Gerais com 11,3% da produção total, seguido pelo estado de Goiás com 11,1%. Segundo dados de 2016 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o estado de São Paulo tem 5,6 milhões de hectares cultivados (AGRICULTURA, 2020).

As usinas de cana-de-açúcar da região nordeste do país concentram-se na chamada Zona da Mata do Nordeste, abrangendo mais os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas; na região sudeste o principal destaque é o estado de São Paulo. De modo geral, a área de plantio fica bem próxima da usina, num raio de 25 quilômetros, o que é conveniente por questões de custo e transporte. Outros estados brasileiros também estão envolvidos na produção de cana-de-açúcar, incluindo Paraná, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Amazonas, Piauí, Maranhão e Tocantins (GODOI, 2004).

Conforme dados da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), divulgados em março de 2020, o Brasil produziu 642,7 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2019/2020. Os resultados apontaram um aumento de 3,6% em relação à safra anterior. Segundo o levantamento, cerca de 65% do volume total foi destinado à produção de etanol distribuído entre subprodutos anidro e hidratado, e 35% para a produção de açúcar (CONAB, 2022).

Atualmente a produtividade de cana-de-açúcar começa a se recuperar após duas rodadas de adversidades climáticas, como seca e geadas. As adversidades climáticas que afetaram a produção de cana-de-açúcar nos últimos anos também afetaram a produção de açúcar no Brasil.

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a produção de açúcar, e a redução na produção de cana-de-açúcar resultou em uma redução na produção de açúcar no país (CONAB, 2022).

Em 2019, a produção de açúcar no Brasil caiu em cerca de 9% em relação à safra anterior, devido à seca prolongada que afetou a produtividade da cana-de-açúcar. Em 2020, a produção de açúcar também foi afetada pela geada que ocorreu em algumas áreas produtoras de cana-de-açúcar, o que levou a uma nova redução na produção (CONAB, 2022).

Além disso, as condições climáticas também afetaram a qualidade da cana-de-açúcar e, consequentemente, a qualidade do açúcar produzido. Isso pode ter um impacto negativo na comercialização do açúcar, uma vez que a qualidade é um fator importante para a determinação do preço (CONAB, 2022; MAPA, 2021).

Por conta da recuperação do setor, o aumento médio nacional do rendimento agrícola do país de 1,6 por cento contrastou com uma diminuição de 2,6 por cento na terra arável. Portanto, conforme o segundo levantamento da safra 2022/23 divulgado pela Companhia Agência Nacional de Abastecimento (CONAB) a produção de cana-de-açúcar deve chegar a 572,9 milhões de toneladas, havendo uma leve queda de 1% em relação ao ciclo anterior (CONAB, 2022).

Se o crescimento das lavouras na safra 2020/2021 foi prejudicado pela falta de chuva, enquanto na safra 2021/2022, além da seca, ocorreram fortes geadas em importantes áreas produtivas, na safra 2022/2023, as condições climáticas são mais favoráveis. Os agricultores devem colher 70.484 quilos por hectare nesta safra. No ciclo 2021/22, a produtividade está estimada em 69.355 quilos por hectare. Para a safra 2020/21, a produtividade da safra esteve em torno de 70.357 kg por hectare, muito próxima do esperado para esta safra (CONAB, 2022).

A melhora do desempenho foi impulsionada principalmente pelos maiores índices registrados nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, esta última concentrada no estado de Goiás, mas também no estado de Minas Gerais, onde as variações positivas foram de 6% e 3,5%, respectivamente para as regiões, enquanto os estados registraram aumentos de 3,8% e 3,2%, respectivamente (CONAB, 2022).

A recuperação da produtividade freou a queda da produção, já que a CONAB espera novas reduções de área. Se na safra 2020/21 foram alocados cerca de 8,6 milhões de hectares, na safra passada foram ocupados 8,3 milhões de hectares. Nesse ciclo, houve nova queda, estimada em 8,1 milhões de hectares. Essa queda se deve à competitividade com grãos como milho e soja, que têm oferecido boa rentabilidade aos produtores, aliada à melhora das lavouras que não estão sendo colhidas devido às condições climáticas. A CONAB também espera que a

produção de açúcar e etanol diminua com a queda da safra de cana-de-açúcar. Segundo o levantamento, a produção de açúcar está estimada em cerca de 33,9 milhões de toneladas, uma queda de 3% em relação a 2021/22 (BETTIN, 2005; CONAB, 2022).

A valorização do real frente ao dólar e o aumento das incertezas na economia mundial, gerando preocupações com o aumento do consumo e a volatilidade dos preços, estiveram entre os motivos da queda nas exportações de açúcar. Segundo dados do Ministério da Economia (ME), o Brasil exportou 8,1 milhões de toneladas do produto entre abril e julho de 2022, uma queda de 14,6% em relação ao mesmo período do ciclo anterior. Apesar da queda nos embarques, o valor dessas exportações somou cerca de US\$ 3,2 bilhões, um leve aumento de 0,7% em relação ao ano anterior (CATUVER, 2022).

3. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

3.1 METODOLOGIA

Para a realização do Trabalho de Graduação, foram utilizados livros, artigos, revisões bibliográficas e pesquisas sobre o contexto geral, além de tópicos relacionados utilizando-se da internet como motor de busca.

A seleção das fontes de pesquisa foi baseada em teses e trabalhos de autores, artigos veiculados em periódicos e congressos, sites da internet, relatórios de simpósios. Nesse processo tratou-se da busca de pesquisas relacionadas à temática sobre a cana de açúcar, realizando uma revisão bibliográfica sobre seus aspectos socioeconômicos em conjunto com aspectos socioambientais, sendo utilizados como termos de busca: “Açúcar”; “Sacarose”; “Produção de açúcar”, “Processamento de Cana-de-açúcar”, “Sucroenergético”, “Sucroalcooleiro”, “Aspectos socioeconômicos do setor sucroenergético”, “Aspectos socioambientais do setor sucroenergético”. Ademais, essa ação foi realizada por meio de plataformas científicas, bibliotecas, repositórios e bases de dados online diversas, sendo elas: *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO), *Google Scholar*, *Scopus Elsevier*, *Cochrane Library*, *Web of Science*, dentre outros.

A metodologia tem por objetivo o estabelecimento do contato direto do pesquisador com os instrumentos de pesquisa, o que possibilita o andamento de cada etapa da pesquisa, bem como da absorção de conhecimentos significativos para o desenvolvimento do mesmo. Além disso, a metodologia deve permitir avaliar com maior nível de detalhamento um assunto ou uma

temática, de forma a torná-la esclarecedora e de forma que possibilite estabelecer as questões importantes para a direção do trabalho (LAKATOS e MARCONI, 2010).

Segundo LIMA E MIOTO (2007), a principal vantagem da revisão bibliográfica, ou de literatura, está no fato de permitir ao investigador a abrangência de uma gama de fenômenos, sendo estes abordados de uma maneira muito mais ampla do que se poderia pesquisar diretamente.

3.2 A CULTURA AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

O cultivo da cana-de-açúcar é um dos métodos agrícolas mais antigos do Brasil, fazendo parte de todo o processo de colonização e desenvolvimento da agricultura colonial, até os tempos atuais, passando por várias fases, com momentos áureos e outros de crises causadas por concorrência de outros países e preços baixos. Apesar de ser uma das culturas mais antigas do país, historicamente, muita mudança ocorreu no processo de produção da cana (SANDERS e SANDERS, 2018).

O avanço dos métodos de cultivo sempre acompanhou o desenvolvimento das tecnologias, e está presente desde as variedades usadas, passando pelas técnicas de plantio e manejo, chegando à colheita e transporte. De 2017 a 2021, o Brasil aumentou em mais de 42% a área plantada de cana-de-açúcar, passando de 5,7 milhões de hectares para 8,1 milhões de hectares, aumentando na mesma proporção o volume de cana colhida, alcançando em 2021 a produção de 665,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, conforme apresentado através da Figura 2, que apresenta os dados de produção publicados no Boletim da Safra de Cana-de-açúcar do ano de 2021 da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021).

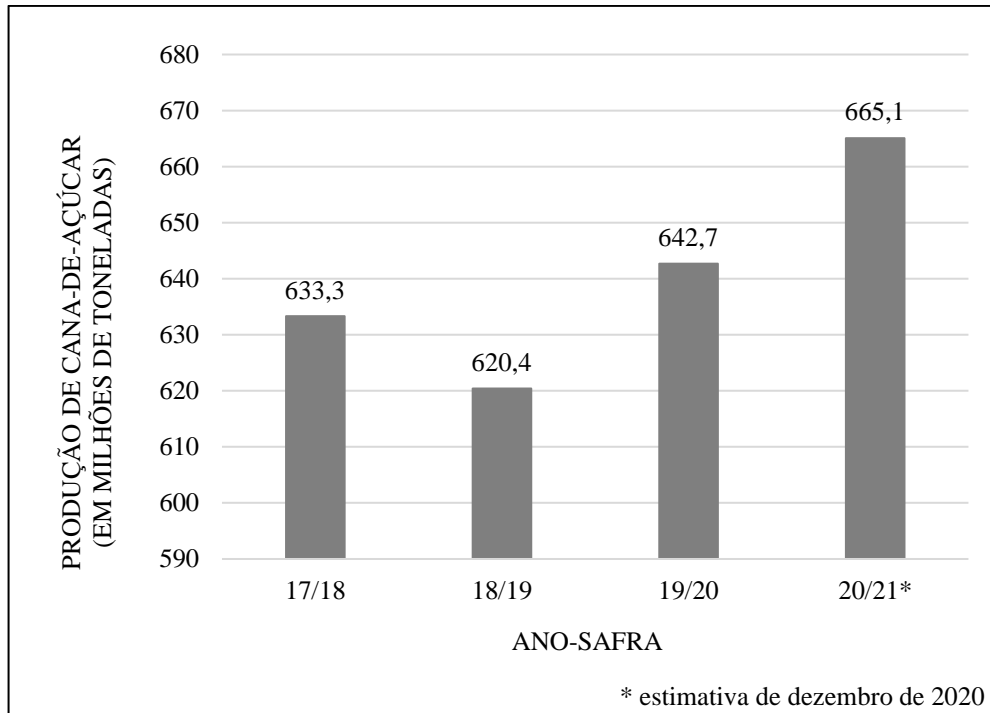


Figura 2 - Produção de cana-de-açúcar no Brasil de 2017 a 2021.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor a partir de dados da CONAB (2021).

Para o plantio, considerando que a área já esteja desmatada, a atividade agrícola de cultivo da cana de açúcar inicia com a limpeza do terreno, aração, gradagem, nivelamento e estudos de solo para avaliação da qualidade e necessidade de adição de corretivos e fertilizantes (IAC, 1994).

Em seguida, é feito o preparo de solo, consistindo em uma série de operações que visam proporcionar à cultura um solo com condições físico-químico e biológicas adequadas ao seu desenvolvimento, condicionando às gemas que serão semeadas uma boa formação do sistema radicular e estrutura vegetativa. Nesta fase são feitas as adequações do solo com incorporação de matéria orgânica, quando disponível, terraceamento, se necessário, e o condicionamento do solo (CASTRO, 1985).

Como a cana é uma gramínea, o seu corte para colheita estimula novas brotações. Dessa forma, o trabalho de preparo de solo só é feito quando há a renovação dos canaviais, o que ocorre normalmente a cada 5 ou 6 anos, conforme políticas da empresa, levando em consideração os aspectos de produtividade e sanidade dos canaviais. Assim, anualmente, a cana é colhida e após a colheita são feitos os tratos culturais, que se resumem em aplicação de defensivos agrícolas para controle de ervas daninhas, aplicação de fertilizantes e, quando necessário e possível, irrigação para crescimento das plantas (OMETTO, 2000).

3.3 TRAJETÓRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL, PERSPECTIVAS GEOGRÁFICAS, HISTÓRICAS E AMBIENTAIS

Apesar de o primeiro engenho de açúcar do Brasil ter sido construído no litoral do atual estado de São Paulo, em 1532, foi na Capitania da Bahia que, durante a maior parte do período colonial, o número desses engenhos se multiplicou. Já no final do século XVIII havia um grande número deles espalhados pelo vasto litoral brasileiro (SOBRINHO *et al.*, 2019).

Na região Sul, havia a presença de muitos engenhos que produziam outro derivado da cana, a aguardente, bebida de alto teor alcoólico, destinada ao consumo da grande população da região do garimpo, no atual estado de Minas Gerais, e a sede colonial (Rio de Janeiro), que também foi sede do Reino de Portugal. Nessa época, havia poucas atividades econômicas tipicamente comerciais no Norte (atual Amazonas, Pará e outros estados próximos) e na área central (atual Goiás, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) (BACCHI e CALDARELLI, 2015).

O período colonial foi marcado pelo que se convencionou chamar de “Ciclo do Açúcar”, pelo fato de a indústria açucareira, sediada majoritariamente na região Nordeste, constituir a atividade econômica mais importante da colônia. A evolução dessa atividade fabril passou, nesse período, por algumas transformações tecnológicas que tornaram o Brasil o mais importante fornecedor de açúcar para o mercado europeu (BACCHI e CALDARELLI, 2015).

Na primeira fase, a atividade foi dominada pelos engenhos que combinavam atividades agrícolas e industriais e funcionavam com base de mão de obra escrava. Tais engenhos eram divididos em dois tipos: os movidos a água e os movidos a tração animal. A força da água ou do animal era utilizada para movimentar os moinhos de esmagamento da cana. O engenho baseado na força da água tinha o inconveniente de depender das fases dos rios, de modo que, nos períodos de estiagem, ficava com a produção comprometida. Os engenhos com tração animal exigiam amplas áreas de pastagem para os animais. E ambos precisavam de grandes áreas para o abastecimento de lenha (FERREIRA, 2016).

Outras atividades existentes na colônia estavam ligadas à indústria açucareira, sendo as principais a pecuária e a extração de madeira. A criação de gado não era destinada ao consumo humano, mas sim para suprir as necessidades dos engenhos de açúcar no transporte de cana, madeira, açúcar e até mesmo das famílias que tinham que se deslocar entre uma fazenda e outra. A atividade madeireira, por sua vez, tinha duas finalidades principais: fornecer combustível para os fornos e fabricar caixas de madeira para embalar o açúcar (GUEDES *et al.*, 2002).

Mudanças significativas nesse quadro só ocorreram a partir do século XIX, quando importantes inovações foram introduzidas nessa atividade produtiva, tanto na agricultura quanto na manufatura. Foi o caso da introdução de uma nova variedade de cana, a caiana, que substituiu a crioula, o uso do arado, a introdução das primeiras máquinas a vapor, as transformações nas caldeiras, que passaram a utilizar o próprio bagaço da cana como combustível e a substituição dos tambores de madeira das moendas por tambores metálicos dispostos horizontalmente em vez de verticalmente (SANTOS, 2009).

Essas inovações contribuíram para melhorar a qualidade do açúcar e aumentar a eficiência das fábricas brasileiras, pois a perda do mercado brasileiro de açúcar também estava associada ao grau de impureza do açúcar bruto exportado, ao contrário do produto das Antilhas e da beterraba europeia, cujos açúcares eram mais puros. A fase áurea da produção açucareira terminou no final do século XVII, precipitada pela queda dos preços internacionais do produto e pelas políticas protecionistas do mercantilismo europeu, principalmente na França e na Inglaterra. Foi também nessa época que começou a mineração no Brasil central, para onde fluíam capitais e escravos, o que contribuiu para aprofundar a crise da agroindústria açucareira nordestina (GUEDES *et al.*, 2002).

Uma importante referência da atividade açucareira no período colonial é a ocupação holandesa (1630-1654). Essa ocupação foi precedida por ataques à província da Bahia entre 1624 e 1627, quando os holandeses saquearam vários entrepostos de açúcar, mas houve uma ocupação vitoriosa, que se deu com o ataque à Capitania de Pernambuco e o controle das capitanias de Itamaracá, Paraíba, Sergipe e Rio Grande do Norte. Segundo Pires *et al.* (2008), o quadro econômico do açúcar explica a avidez com que a Companhia Holandesa das Índias Ocidentais buscava apropriar-se da parte mais rica do Brasil.

O período imperial foi marcado pelo renascimento das exportações brasileiras de açúcar das províncias do Nordeste, especialmente Pernambuco e Bahia. Esse fato, por sua vez, promoveu uma importante tentativa de modernização da produção açucareira no Brasil, refletindo a entrada do país no mercado mundial demandando “bens de capital”. Isso estava relacionado à pressão britânica e era apoiado pelo governo imperial (FERREIRA, 2016).

Para os senhores de engenho, essa separação das atividades agrícolas e industriais não interessava, pois representaria para eles uma perda de poder e status. Assim, na medida em que fracassou a ideia dos engenhos centrais, instalaram-se fábricas, unidades produtivas com maior aparato técnico, mas que mantinham as duas atividades sob a titularidade e controle dos mesmos agentes sociais. Assim, os engenhos centrais foram substituídos pelas usinas, que passaram a disputar empréstimos do governo com juros subsidiados e também empréstimos para a

construção de suas próprias linhas férreas. Ressalte-se que a não extinção dos antigos engenhos significou a continuidade da disputa pela cana e pela terra (GUEDES *et al.*, 2002).

A disponibilidade de capital, em sentido amplo, derivava, como já indicado, da transferência direta ou indireta da renda gerada pela exportação do café e dos lucros obtidos com a expansão do mercado interno para o consumo de açúcar. Em sentido restrito, foi consequência da implantação de uma indústria local que fornecia máquinas, equipamentos e bens complementares para a grande maioria das operações de cultivo e beneficiamento da cana-de-açúcar (BACCHI e CALDARELLI, 2015).

A disponibilidade de trabalho no período foi causada principalmente por um fluxo migração interna das regiões mais pobres em direção a São Paulo. Além desse fator, no pós-guerra houve um processo de mecanização da agricultura brasileira e paulista em geral, das lavouras de café e cana-de-açúcar em particular, que levou, ao final do período, à supremacia do uso trabalhadores sazonais, pois essa mecanização era parcial, ou seja, ocorria no preparo do solo e nos tratos culturais, mas não na colheita. Uma peculiaridade do uso da mão-de-obra nas lavouras de cana-de-açúcar e café é que as famílias tinham acesso à produção de subsistência em latifúndios sem uso, o que significava baixo desembolso de capital variável por parte dos proprietários destes (NETO *et al.*, 2009).

O componente mais específico sempre foi o da disponibilidade de terras. Como já mencionado na seção anterior, o latifúndio paulista tinha enormes extensões de terra reservadas para futuras expansões da cafeicultura. Como essas expansões se depararam com excedentes de produção que oneraram o Estado, que agiu para contê-las, parte significativa dessas reservas passou a ser ocupada com a cana-de-açúcar (NETO *et al.*, 2009).

Na maioria das vezes, isso era feito pelos próprios proprietários de forma integrada, ou seja, com a formação de um canalial junto com a instalação de um pequeno engenho de açúcar, ou mesmo de uma usina quando havia recursos financeiros para isso. Assim, foi mantida a forma tradicional de multiplicar o número de unidades produtoras de açúcar no Brasil. Posteriormente, essas unidades foram sendo ampliadas e seus proprietários tentaram regularizar a expansão, obtendo geralmente, a posteriori, a autorização para aumentar a cota de produção. Muitos desses fazendeiros eram imigrantes, principalmente italianos, que obtiveram acesso à terra por meio da compra de pequenas propriedades com recursos de uma grande poupança familiar (BACCHI e CALDARELLI, 2015).

3.4 A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO SETOR SUCROENERGÉTICO E DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR NO BRASIL

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura importante para lidar com a mitigação das mudanças climáticas, pois produz biocombustível e biomassa para energia. Também é importante para a segurança alimentar, pois quase 75% do açúcar mundial vem de plantações de cana-de-açúcar. Atualmente, apesar do reconhecimento de que as energias renováveis podem fornecer soluções para as atuais crises energéticas e econômicas globais, especialmente nos países em desenvolvimento, os atuais baixos preços do petróleo e a preocupação com a segurança alimentar e a perda de habitats para a biodiversidade por conta das mudanças indiretas no uso da terra são reconhecidas como questões importantes para avaliar opções futuras para a produção de combustível (PIRES *et al.*, 2018).

No entanto, de acordo com Santos (2009), no Brasil, os benefícios de contar com a cana-de-açúcar como cultura pilar superam em muito os aspectos negativos que o país ainda está tentando superar. Os principais aspectos positivos diretos incluem o número e a qualidade do emprego, principalmente após a adoção da colheita mecanizada e a aplicação das normas trabalhistas. Além disso, a segurança energética do país e a economia de divisas da balança comercial foram cruciais para o desenvolvimento nacional. Indiretamente, também houve emprego significativo na indústria pesada em regiões onde as fábricas foram localizadas, apoiando o emprego e o desenvolvimento econômico.

Nas últimas três décadas, o Brasil reduziu seus níveis de pobreza e fome (THALER, 2013), com o setor agrícola sendo uma das bases econômicas para essa mudança. Focando apenas no mercado de bioetanol, deve-se lembrar que os custos de produção diminuíram à medida que a produção aumentou em média 6% ao ano, de 0,9 bilhão de galões em 1980 para 3,0 bilhões de galões em 1990 e depois para 4,2 bilhões de galões em 2006 (BACCHI, 2015).

O custo do bioetanol em 1980 era aproximadamente três vezes o custo da gasolina, mas os subsídios cruzados do governo pagavam a diferença de preço na bomba. Os subsídios vinham principalmente de impostos sobre a gasolina e, portanto, eram pagos pelos motoristas de automóveis. Todos os preços dos combustíveis eram controlados pelo governo brasileiro. Os subsídios gerais ao etanol na década de 90 e na década seguinte, eram em torno de US\$ 30 bilhões, mas foram mais do que compensados por uma redução de US\$ 50 bilhões nas importações de petróleo no final de 2013 (GOLDEMBERG *et al.*, 2008).

Segundo o Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) a bioeletricidade baseada em bioetanol e bagaço

de cana-de-açúcar supriram cerca de 8,4% da demanda nacional de energia, em dezembro de 2022 (ONS, 2023).

Atualmente, existem dois principais programas de incentivo ao setor sucroenergético, o Programa RenovaBio, que se baseia no estímulo à produção de biocombustíveis que tem como objetivo reduzir a emissão de gases de efeito estufa e promover o uso de fontes renováveis de energia, oferecendo incentivos econômicos para produtores de biocombustíveis, como o etanol, com base em sua eficiência energética e redução de emissões de gases do efeito estufa. O orçamento do RenovaBio para o período de 2020 a 2022 foi de R\$ 1,9 bilhão (cerca de US\$ 370 milhões) por ano, destinado a pagar os créditos de descarbonização (CBIOS) para as usinas de biocombustíveis que atendem aos critérios de eficiência energética e redução de emissões (BRASIL, 2023).

O segundo, é o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR), que tem um orçamento anual que varia de acordo com as necessidades do setor e a disponibilidade de recursos do governo que beneficia não só a produção de etanol, mas também outras culturas agrícolas, para o qual foram destinados R\$ 1,3 bilhão (cerca de US\$ 250 milhões) (BRASIL, 2023).

Os subsídios governamentais para os biocombustíveis se relacionam com o processo de produção de açúcar devido ao fato de que a cana-de-açúcar, principal matéria-prima utilizada na produção de açúcar no Brasil, também é utilizada na produção de etanol. Desta forma, o impacto não ocorre apenas no setor de biocombustíveis, mas também na produção de açúcar, uma vez que compartilham a mesma matéria-prima.

Além disso, quase todas as usinas de açúcar também produzem etanol em suas instalações, como uma estratégia de diversificar sua produção e aproveitar ao máximo a matéria-prima disponível. Dessa forma, os incentivos governamentais para a produção de etanol também podem beneficiar indiretamente a produção de açúcar, ao tornar o processo de produção de cana-de-açúcar mais rentável e eficiente.

Outro fator importante é que, com a previsão de que a população mundial alcance 9,7 bilhões de pessoas em 2050, a indústria de alimentos será cada vez mais relevante e terá um papel fundamental em garantir a segurança alimentar e nutricional da população. Em um cenário em que os alimentos processados e industrializados ganham cada vez mais destaque, não somente por conta do crescimento da industrialização em países em desenvolvimento, mas também, para atender essa crescente demanda por alimentos, o açúcar se destaca por ser um dos ingredientes mais utilizados na produção de alimentos industrializados, tais como refrigerantes, doces, chocolates, sorvetes, entre outros (BHUSHAN, 2018).

Isso ocorre porque o a adição de açúcar em alimentos industrializados tem diversos papéis importantes. Em termos de sabor, o açúcar é capaz de melhorar o gosto dos alimentos, deixando-os mais agradáveis ao paladar. Além disso, ele pode ser utilizado para dar textura aos produtos, tornando-os mais macios e úmidos, como é o caso de bolos e biscoitos. Outra função do açúcar é atuar como conservante, prevenindo o crescimento de bactérias e outros micro-organismos que podem causar deterioração nos alimentos (TEIXEIRA *et al.*, 2020). Desta forma, espera-se que a indústria de produção de açúcar também se adeque e cresça junto com as demais indústrias do setor alimentício do Brasil. Embora seja possível uma redução na quantidade de açúcar nos alimentos, a sua presença ainda desempenha funções importantes como um ingrediente de diversos alimentos, que devem ser consideradas.

No entanto, também é preciso ressaltar que a Organização Mundial de Saúde (OMS) traz estudos que indicam que o consumo excessivo de açúcar pode trazer efeitos negativos à saúde, tais como o aumento do risco de obesidade, diabetes e doenças cardiovasculares (TE MORENGA *et al.*, 2013). Por essa razão, as discussões sobre as quantidades e proporções de ingredientes nos alimentos industrializados, incluindo o açúcar, e a transparência dessas informações para o consumidor, têm sido cada vez mais recorrentes, culminando em mudanças na legislação sobre rotulagem de alimentos em 2020, estabelecidas pela Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 429 e Instrução Normativa nº 75, publicadas em outubro de 2020 pela Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

3.5 DISCUSSÃO SOBRE ASPECTOS DE RELEVÂNCIA SOCIOECONÔMICA

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil tem sido uma parte fundamental do crescimento de economias locais na história recente, pois gera cerca de 43,8 bilhões de dólares todos os anos e gera empregos a 1,09 milhão de pessoas trabalhando nesse setor (CONAB, 2019). Segundo dados de 2021 da Organização Internacional do Açúcar (ISO), o Brasil responde por cerca de 30% da produção global de açúcar e mais de 50% da produção mundial de etanol a partir da cana-de-açúcar (ISO, 2021).

Nos últimos 35 anos, o setor da cana-de-açúcar cresceu enormemente, graças ao notável avanço tecnológico proporcionado por novas variedades, fertilizantes, produtos químicos, mecanização e diferentes práticas de cultivo. Entre 2015 e 2018, o setor sucroenergético cresceu 10% ao ano. No entanto, a crise econômica global causada pela pandemia de COVID-19 desacelerou seu crescimento nos últimos anos, mas ainda cresce a respeitosos 3% ao ano (CONAB, 2022).

A produção de cana-de-açúcar também pode estar inserida no tecido da cultura brasileira, pois sem ela elimina-se grande parte da economia mundial. Devido ao Brasil ser um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, há um conjunto único de desafios, bem como oportunidades que vêm com isso. O Brasil foi um dos pioneiros na produção de cana-de-açúcar na década de 1530, e só cresceu desde então. Por isso, tornou-se o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (AMARAL, 2010).

Com essa liderança, as oportunidades de continuar crescendo em participação de mercado e produzir ainda mais cana-de-açúcar são ainda maiores. A demanda por etanol e cana-de-açúcar só aumenta, assim como as oportunidades para o Brasil. A indústria sucroenergética brasileira compõe um setor muito dinâmico, industrializado e consolidado por cerca de 425 usinas, distribuídas entre destilarias, usinas de açúcar e usinas de açúcar e etanol (NOVACANA, 2022).

Esses grandes produtores industriais têm capacidades agrônômicas, tecnológicas e outras necessárias para adotar novas tecnologias em larga escala. Devido à inacessibilidade dos campos de cana-de-açúcar em 3 a 4 meses após o plantio, por conta de as mudas serem muito vulneráveis nesta fase e podendo sofrer danos facilmente, como pisoteio ou compactação do solo, que podem comprometer o crescimento e a produtividade da cana, as tecnologias de monitoramento da lavoura podem fornecer ao produtor uma solução para analisar o desenvolvimento da lavoura ao longo da safra (BUARQUE *et al.*, 2003; ARAUJO e FERREIRA, 2019).

Além disso, necessita-se de uma gestão mais eficiente do processo de colheita e logística associada, visto que um sistema de produção de cana-de-açúcar é extremamente complexo. Ainda, trata-se de uma cultura que requer o uso mais eficiente dos recursos disponíveis, como água, defensivos, vinhaça, etc. O reaproveitamento da água consumida por uma usina no processo industrial é um exemplo típico de como minimizar o uso de água por um produtor de cana-de-açúcar. E por fim, uma maior mecanização dos processos de plantio e colheita. Enquanto 90% da colheita é mecanizada no estado de São Paulo, isso ainda não ocorre em outros estados do Brasil e em outros países (BRAILE e CAVALCANTI, 1979).

O processo de colheita da cana-de-açúcar inclui três operações diferentes, que devem ser coordenadas e sincronizadas: operações de campo, transporte para a usina e operações da usina. As operações de campo são realizadas em milhares de campos na mesma zona geográfica, mas ainda amplamente distribuídos. O transporte da cana colhida até a usina é feito por meio de caminhões e carretas. Por fim, os caminhões são descarregados na fábrica (BUARQUE *et al.*, 2003).

Após a colheita, a cana é transportada para a usina, para processamento e transformação do açúcar contido nos colmos, em açúcar para consumo humano ou etanol combustível. Muitas unidades operam com a produção dos dois tipos de produto, embora algumas optem por apenas um deles, por questões estratégicas (FREITAS, 1987).

Ao entrar na unidade de processamento, a cana chega com até 12% de impurezas, e por isso é necessária uma limpeza, com lavagem com água ou jateamento de ar, para melhorar a qualidade da matéria-prima (MUÑOZ *et al.*, 2015). De acordo com o *World Bank Group* (1998), para limpeza de uma tonelada de cana são necessários 20 metros cúbicos (m³) de água. Macedo (2005) informa que, no Centro-Sul do Brasil, na área industrial de uma usina são consumidos 13,759 m³ de água para cada tonelada de cana processada. A água, além da lavagem de cana, é usada para resfriamento de equipamentos e geração de vapor para movimentação de turbinas (NETO, *et al.*, 2009; BUARQUE *et al.*, 2003).

Algumas usinas têm investido em sistemas de lavagem com jatos de ar como uma alternativa para reduzir o consumo de água e os custos operacionais. Essas usinas geralmente estão localizadas em áreas onde a escassez de água é um problema ou onde o preço da água é alto. Embora o sistema de lavagem com jatos de ar seja uma alternativa interessante ao uso de água para a limpeza da cana-de-açúcar, a adoção desse método ainda é limitada na indústria sucroenergética. Isso ocorre porque os sistemas de lavagem com jatos de ar ainda são relativamente novos e os equipamentos necessários para a implementação desse método ainda são caros. Além disso, o desempenho desse método em termos de eficiência de limpeza ainda não é tão bom quanto o sistema de lavagem com água convencional (PAES *et al.*, 2020).

Assim, ainda é comum o uso de água para a lavagem da cana-de-açúcar, especialmente em usinas que estão localizadas em áreas com disponibilidade hídrica adequada (FERREIRA *et al.*, 2019).

O setor sucroenergético é um importante empregador no Brasil. De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a safra de cana-de-açúcar 2021/2022 gerou cerca de 1,02 milhão de empregos diretos e indiretos no país. Além disso, o setor sucroenergético é responsável por cerca de 1,2% do emprego formal no Brasil, segundo dados do Ministério da Economia (ME) de dezembro de 2021 (MAPA, 2021; ME, 2021).

A participação do setor sucroenergético no emprego formal pode variar em cada região do país, de acordo com a concentração de usinas de açúcar e etanol. Em algumas regiões, como no interior de São Paulo, por exemplo, o setor sucroenergético é um importante gerador de empregos. Em outras regiões, a participação desse setor pode ser menor, mas ainda assim é significativa. Cabe ressaltar que a geração de empregos no setor sucroenergético pode variar de

acordo com a sazonalidade da produção de cana-de-açúcar, uma vez que a colheita e o processamento da cana são atividades que ocorrem em um período específico do ano (ME, 2021).

Além da tradicional produção de açúcar e álcool, as unidades processadoras de cana-de-açúcar passaram a ser importantes produtoras de energia elétrica, tanto para o consumo interno da própria unidade, como para venda ao mercado, sendo mais um produto comercializado pelas usinas. O setor sucroenergético tem investido em outras formas de geração de energia a partir da biomassa, como a produção de biogás a partir do tratamento de resíduos orgânicos e efluentes gerados nas usinas. O biogás pode ser utilizado como combustível para a geração de energia elétrica e térmica, substituindo os combustíveis fósseis e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (BRASIL, 2017; UNICA, 2023)

É possível que a participação do setor sucroenergético na matriz energética brasileira continue crescendo nos próximos anos, impulsionada pelo aumento da demanda por biocombustíveis e pela diversificação das fontes de energia renovável, fazendo com que a produção de etanol e de energia elétrica se destaquem em relação à produção de açúcar. No entanto, é importante ressaltar que a produção de etanol e energia elétrica não são necessariamente excludentes em relação à produção de açúcar. Inclusive, muitas usinas têm buscado uma estratégia de diversificação da produção para aproveitar ao máximo os benefícios econômicos e ambientais de cada uma dessas atividades, produzindo açúcar, etanol e energia elétrica de forma integrada e complementar, tendo em vista que essa estratégia pode proporcionar uma margem de lucro mais estável para as usinas, já que a diversificação garante maior proteção perante a volatilidade de preços dos produtos no mercado doméstico e internacional.

Além da produção de açúcar e do etanol convencional (etanol de primeira geração ou etanol 1G), as usinas que produzem etanol de segunda geração ou também conhecido como “etanol 2G” também vem ganhando espaço e crescido dentro do setor. O etanol 2G é produzido a partir de resíduos agrícolas, como a palha e o bagaço da cana-de-açúcar, que são ricos em celulose e hemicelulose. Para produzir o etanol 2G, esses resíduos passam por um processo de pré-tratamento, que envolve a separação das fibras da celulose e hemicelulose. Em seguida, a celulose e a hemicelulose são quebradas em açúcares por meio de um processo chamado “hidrólise enzimática”, utilizando enzimas específicas que quebram as moléculas de açúcar em unidades menores. Depois disso, os açúcares são fermentados por leveduras, que transformam esses açúcares em etanol. Por fim, o etanol é purificado para remoção de impurezas e pode ser utilizado como biocombustível ou como matéria-prima para a produção de outros produtos

químicos renováveis. O processo de produção de etanol 2G é mais complexo e requer tecnologias avançadas em relação à produção de etanol convencional, mas ainda é uma alternativa promissora para aumentar a produção de biocombustíveis (BRANCO *et al.*, 2019).

3.6 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS RELACIONADOS A PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

A produção de cana-de-açúcar no Brasil é ótima para a população, pois ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, mas pode ser prejudicial ao meio ambiente em geral, podendo voltar a afetar o mundo nas próximas décadas. Florestas tropicais precisam ser derrubadas e lotes de terra precisam ser devastadas para dar lugar a fazendas de cana-de-açúcar no Brasil e no mundo, o que tem um custo de oportunidade (FERREIRA, 2016).

Um conceito amplamente discutido em relação a esse tema, é o da dívida ou déficit de carbono (C) no solo, que é uma medida da quantidade de carbono que foi perdida ou ganha pelo solo ao longo do tempo em comparação com uma condição de referência. Essa condição de referência é geralmente uma situação na qual o solo não sofreu perturbações significativas, como a conversão de áreas florestais em áreas agrícolas ou pastagens (LAL, 2004).

O déficit de carbono ocorre quando o solo perdeu mais carbono do que ganhou, o que geralmente ocorre em áreas onde houve desmatamento ou manejo inadequado do solo. Isso pode levar a um empobrecimento do solo, afetando sua fertilidade e capacidade de reter água. Além disso, a perda de carbono do solo contribui para a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, agravando as mudanças climáticas (LAL, 2004).

Atualmente, as estimativas dos efeitos do lançamento de gases no balanço de C (Carbono) do solo também levam em conta a economia de CO₂ do cultivo da cana-de-açúcar. Para o período de 20 anos, MCMANUS *et al.* (2016) estimaram a dívida de C do solo em 21 e 5,7 Mg C.ha⁻¹ (megagrama de carbono por hectare) na conversão de vegetação nativa e pastagens em cana-de-açúcar, respectivamente. Considerando o etanol C (2,7 Mg C.ha⁻¹/ano) (megagrama de carbono por hectare por ano) substituindo os combustíveis fósseis, a magnitude das dívidas de C do solo levaria 8 ou 2 – 3 anos para ser compensada seguindo a quantidade de vegetação nativa ou pastagens, respectivamente. Portanto, os efeitos da conversão de pastagens em cana-de-açúcar sobre os débitos de C do solo ainda não estão claros para áreas onde os resíduos da cana-de-açúcar ficam retidos na superfície do solo na colheita sem queima (safra verde).

Estudos recentes em simulações de longo prazo mostram que a conversão de pastagens em cana-de-açúcar com colheita verde está associada ao acréscimo de C no solo a uma taxa de $0,16 \text{ Mg C ha}^{-1}/\text{ano}$ (Oliveira *et al.*, 2017a). Além disso, $15,9 \text{ Mg C.ha}^{-1}$ também é armazenado anualmente na biomassa da cana-de-açúcar e, portanto, a substituição dos ecossistemas que contêm os estoques mais baixos de biomassa C (por exemplo, pastagens degradadas) por culturas energéticas de alto rendimento (por exemplo, cana-de-açúcar, dendê) pode reduzir ou mesmo eliminar o tempo de retorno das dívidas C contraídas (OLIVEIRA *et al.* 2017).

Assumindo que mais de 50% das pastagens no Brasil estão degradadas e a dívida induzida pela mudança do uso do solo depende da condição atual das pastagens, os efeitos do uso direto da terra a mudança para a plantação de cana-de-açúcar poderia levar a benefícios climáticos indiretos ao resfriar o clima local e mitigar as emissões de gases do efeito estufa (BEMDES *et al.* 2015).

Semelhante à expansão da cana-de-açúcar no período 2006-2011, a conversão de citros e florestas naturais em cana-de-açúcar também é inevitável. De fato, a conversão de pastagens degradadas em plantações de cana-de-açúcar é uma estratégia importante para garantir os benefícios ambientais do etanol de cana-de-açúcar para aumentar o balanço de C no solo e na biomassa (Figura 3) (OLIVEIRA *et al.* 2016).



Figura 3 – Contraste de paisagem entre canavial e pastagem degradada.

Fonte: Adaptado de PxHere, 2017. Licenciado sob CC0, via *PxHere: Free Images & Free stock fotos*.

Os agrossistemas extensivos de pastagens e cana-de-açúcar representam a mais intensa mudança de uso da terra associada à expansão da cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil. Além

disso, a expansão da cana-de-açúcar reintegra pastagens degradadas em um sistema mais produtivo, de modo que até mesmo pequenas melhorias na qualidade do solo (ou seja, aumento da qualidade química do solo) já foram relatadas quando pastagens extensivas são convertidas em cana-de-açúcar (MUÑOZ *et al.*, 2015).

O solo sob cana-de-açúcar funcionou a 74% de sua capacidade potencial em comparação com aqueles sob pastagem extensiva a 70%. Embora a expansão da cana-de-açúcar em pastagens extensivas leve a melhorias leves, mas significativas, na qualidade do solo, podendo haver uma perda significativa na biodiversidade do solo pela expansão da cana-de-açúcar a partir de pastagens, nas quais a diversidade e abundância de grupos de macrofauna do solo foram reduzidas em 39 e 89 %, respectivamente (MCMANUS *et al.*, 2016). Esses dados validam a importância dos avanços no manejo dos sistemas agrícolas para a redução dos riscos de deterioração futura da qualidade do solo e para a melhoria da biodiversidade nos canaviais.

3.7 O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR E SUA AÇÃO SOBRE O MEIO AMBIENTE

As soqueiras, como são chamadas as touceiras de cana, após anos de produção, devem ser removidas para darem lugar às novas plantações. Esse trabalho pode ser feito de forma mecânica, com a utilização de grades pesadas ou de forma química, com a aplicação de herbicidas como o glifosato, e em sequência, a sulcagem, com abertura de valas para plantio da cana (FREITAS, 1987).

Com o avanço das tecnologias agrícolas, muitos equipamentos foram incorporados à produção de cana-de-açúcar, possibilitando a mecanização de processos. Se por um lado há a possibilidade do desemprego de muitas pessoas, por outro há o combate às formas, muitas vezes, desumanas de trabalho, onde o trabalhador é submetido a jornadas exaustivas sob condições insalubres, como calor, fuligem e poeira. Equipamentos executam mais de uma atividade ao mesmo tempo, como por exemplo, plantadeiras que abrem os sulcos, distribuem os colmos, aplicam cupinicida, distribuem adubo e fazem a cobertura da cana, são muito utilizados na maioria das usinas do Centro-Sul do Brasil (AMARAL, 2010).

CASTRO (1985) demonstra que no fluxo de plantio de cana, convencionalmente, o preparo de solo poderia ser dividido em primário: desmatamento, operações com rolo faca e aração; e secundário: nivelamento do terreno, destorroamento, incorporação de herbicidas, eliminação de ervas invasoras com uso de gradagem ou enxada rotativa.

A utilização de processos mecanizados implica em aumento do uso de combustível fóssil, principalmente o óleo diesel, usado para movimentar equipamentos agrícolas como

tratores e colhedoras. A competição e a pressão por preços acessíveis aos consumidores, também pressionam os produtores para que reduzam os custos de produção, para serem competitivos. Com isso, a utilização de defensivos agrícolas torna-se cada vez mais intensiva nos processos de produção de cana. Esses aspectos contribuem negativamente para o impacto ambiental da produção sucroenergética (EPE, 2017).

A infestação de cupins na cana plantada pode ocorrer em regiões onde há a incidência desse inseto, e pode causar grandes prejuízos ao produtor, pois eles destroem os toletes (nós) e gemas, ocasionando falhas na brotação das mudas. Além dos cupins, existem outras pragas como a broca da cana-de-açúcar, inseto que principalmente na fase larval se alimenta da cana-de-açúcar penetrando nos colmos da planta através das partes mais moles, criando “túneis” dentro da cana, causando a morte de parte ou de toda a planta e podendo causar sérios danos à produção (MIRANDA, 2005). Assim como a cigarrinha-da-raiz, que se alimenta das raízes da cana e transmite doenças, e o bicudo-da-cana, um besouro que se alimenta das gemas apicais da cana, comprometendo o desenvolvimento das plantas. Além dessas, outras pragas como as formigas cortadeiras e os nematoides que também podem afetar as plantações de cana-de-açúcar (CTC, 2018).

Por isso a necessidade, em algumas produções de cana-de-açúcar, da aplicação de produtos para controle de insetos. No plantio, a aplicação pode ser feita por trator ou de forma manual (MIRANDA, 2005). Após o plantio da cana são feitas aplicações de herbicidas que impedem a germinação de ervas daninhas indesejáveis com produtos à base de substâncias químicas específicas para esse fim (CORBINI, 1987).

Após a colheita, são executados os tratos culturais, que incluem aplicação de defensivos agrícolas e, quando necessário, aplicação de corretivo de acidez e adubos (IAC, 1994). A aplicação de agroquímicos, como os inseticidas e herbicidas, tem como objetivo controlar o ataque de pragas ou ervas que podem prejudicar o desenvolvimento da lavoura de cana-de-açúcar (OMETTO, 2000).

Para a colheita com corte manual da cana ainda se usa, em algumas regiões do Brasil, a prática da queima para despalha. Entretanto, a escassez de mão-de-obra para esse trabalho, a pressão social e legal para o fim da prática de queima e a busca por redução de custo têm incentivado muitos empreendimentos a implantar a colheita mecanizada, onde a topografia e características do solo permitem a mecanização, tendo em vista que em regiões onde o canavial é topograficamente íngreme, a utilização da colheita mecanizada não é possível. Enquanto que a emissão de gases de efeito estufa na queima para colheita é compensada pela fixação de carbono durante o período vegetativo da cana (OMETTO, 2000), as emissões da colheita

mecanizada já não possuem o mesmo viés científico, pois há um aumento relativo do uso de óleo diesel (PIRES *et al.*, 2018).

3.8 CANA-DE-AÇÚCAR: ASPECTOS ECONÔMICOS, SOCIAIS, AMBIENTAIS E DE SUSTENTABILIDADE

A cana-de-açúcar é amplamente cultivada em países tropicais, representando um dos principais produtos agrícolas e matéria-prima relevante para a agroindústria. Seu custo normalmente representa cerca de 50 a 60% do custo final da produção de açúcar ou etanol. O setor sucroenergético brasileiro passou por diversas mudanças ao longo dos anos. Historicamente, a tecnologia de produção da cana-de-açúcar tem sido baseada na mão-de-obra e associada à queima da palha antes da colheita para reduzir o risco de animais peçonhentos, diminuir o custo de produção e melhorar as condições de campo para os trabalhadores rurais (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Na última década, no entanto, diversas questões econômicas, sociais e ambientais levaram o setor a operações agrícolas mecanizadas na região Centro-Sul do Brasil, especialmente as de colheita e plantio. A participação da colheita mecanizada no estado de São Paulo passou de cerca de 31% da área total colhida em 2005 para quase 89% em 2013. Embora a colheita mecanizada pareça consolidar sua trajetória no setor canavieiro, muitas questões ainda podem ser levantadas quanto à sua sustentabilidade (SANDERS e SANDERS, 2018).

Vários estudos avaliaram separadamente os aspectos ambientais, sociais e econômicos da mecanização da cana-de-açúcar. Algumas publicações indicam que a mecanização da cana-de-açúcar está relacionada a menores custos de produção quando comparada ao sistema manual. Além disso, a colheita mecanizada está associada a benefícios ambientais, como a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e material particulado devido à eliminação da queima da cana-de-açúcar (PIRES *et al.*, 2018).

Embora a mecanização no meio rural leve a menor geração de empregos, esse impacto seria minimizado por oportunidades adicionais e melhores de empregos em setores como máquinas e insumos para a produção agrícola. Além disso, a mecanização promoveria melhores condições de trabalho e maior rendimento quando comparado com o sistema de produção de cana-de-açúcar manual (FERREIRA, 2016).

3.9 CULTIVO E COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

O Brasil, país com a maior oferta e produção de açúcar no mundo, tem sua produção estimada em 36 milhões de toneladas na safra de 2022/23, correspondendo a 49% do comércio mundial de açúcar nesse período (RAÍZEN, 2022). Diante da grandiosidade da produção, o país precisa de técnicas produtivas eficazes e, principalmente, sustentáveis, contando com equipamentos altamente tecnológicos e desenvolvendo uma linha de produção que garanta a maximização dos lucros, tanto do comércio do açúcar e do etanol, principais produtos advindos da indústria canavieira, quanto dos subprodutos da produção que, cada vez mais, vêm ganhando destaque no mercado e tornando-se lucrativos às canavieiras e aos segmentos do mercado que os utilizam (ALCARDE, 2022; RIPOLI, 2000).

Atualmente, a técnica mais comum utilizada na produção de cana-de-açúcar no Brasil é a colheita mecanizada. A colheita manual, que era predominante no passado, vem sendo substituída progressivamente pela colheita mecanizada em razão da sua maior eficiência e menor custo (GOMES, 2016). A colheita mecanizada pode ser realizada de duas maneiras: com o uso de colhedoras integrais ou com o uso de máquinas conhecidas como "cortadoras-picareta" ou "cortadoras-fatiadoras", que fazem o corte da cana em pedaços menores, facilitando o seu transporte através de caminhões de transbordo, que acompanham a colheitadeira se movimentando na mesma velocidade durante o processo, acelerando quando preenchem toda a caçamba e dando lugar a um outro caminhão de transbordo com a caçamba vazia que vem atrás para seguir acompanhando a colhedora, até que a caçamba seja totalmente preenchida novamente, para que um terceiro veículo venha em seguida, e assim por diante, conforme apresentado na Figura 4. A utilização de colhedoras integrais continuamente durante a colheita tem sido cada vez mais comum no país, uma vez que são capazes de realizar a colheita de forma mais rápida e eficiente, permitindo maior produtividade e redução de custos (BERNARDO, 2019).



Figura 4 – Processo de colheita da cana-de-açúcar (cortadora-fatiadora ao lado de um caminhão de transbordo)

Fonte: Acervo pessoal do autor (2022).

As colhedoras podem ser equipadas com sistemas de monitoramento e controle de qualidade, permitindo a avaliação em tempo real da produtividade e qualidade da cana colhida. Entretanto, a adoção da colheita mecanizada também apresenta desafios, como a necessidade de adaptação das lavouras para a utilização das máquinas e a capacitação dos trabalhadores para a operação e manutenção das colhedoras (GOMES, 2016; BERNARDO, 2019).

Além da colheita mecanizada, outras técnicas importantes utilizadas na produção de cana-de-açúcar no Brasil (Tabela 1) incluem o uso de variedades de cana-de-açúcar adaptadas às condições locais, a utilização de técnicas de adubação e irrigação, a aplicação de defensivos agrícolas, bem como a utilização de tecnologias modernas para a extração do caldo da cana e para a produção de açúcar e etanol (BERNARDO, 2019).

Tabela 1 - Outras técnicas da produção canavieira no Brasil.

<p>Manejo do solo</p>	<p>Uma vez que a produção canavieira exige condições favoráveis para seu desenvolvimento e produtividade, algumas técnicas são empregadas para maximizar a produção, são elas: adubação; controle da erosão; manejo da palha; correção do solo; rotação de culturas e irrigação (MAGALHÃES, 2012).</p>
<p>Uso de biofertilizantes e bioinseticidas</p>	<p>Cada vez mais usados na indústria canavieira, para maximizar a produtividade e o desenvolvimento da plantação, os biofertilizantes são uma alternativa aos fertilizantes químicos, extremamente nocivos ao meio ambiente e ao ser humano. Dentre as técnicas utilizadas, a mais utilizada é a aplicação de bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos (QIU, 2022; ANPII, 2018). O uso de bioinseticidas, derivados de organismos vivos, como bactérias, fungos, vírus, entre outros, que podem ser utilizados no controle de pragas e doenças na agricultura, também vem se tornando cada vez mais comum, devido aos seus benefícios ambientais (LEITE <i>et al.</i>, 2012).</p>
<p>Uso de variedades transgênicas</p>	<p>Atualmente, existem seis variedades de cana transgênicas desenvolvidas pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), sendo que duas (CTC20Bt e CTC9001Bt) estão implantadas em cerca de 150 usinas do país, embora haja pesquisas em andamento para o desenvolvimento constante de mais variedades e tecnologia, bem como que seja uma técnica empregada também em outros países. Os principais objetivos da utilização dessas variedades são o aumento da produtividade, maximização dos lucros e resistência a pragas e doenças. As variedades transgênicas também podem ser desenvolvidas para resistir a condições adversas de clima, como seca e altas temperaturas, o que pode contribuir para a sustentabilidade da produção (NOVACANA, 2022 e KHAN, 2019). Conforme a Lei nº 11.105, de março de 2005, os produtos para o consumidor final que contenham matéria-prima de origem transgênica devem conter essa indicação na rotulagem (BRASIL, 2005).</p>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Vale ressaltar que a produção de cana-de-açúcar no Brasil é um setor em constante evolução, com investimentos em tecnologia e pesquisa para aprimorar as técnicas de produção, visando melhorar a produtividade, a qualidade dos produtos e reduzir os impactos ambientais (FURLAN, 2020).

3.10 SUBPRODUTOS DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE

A produção de açúcar é uma indústria global importante que fornece matéria-prima para uma ampla gama de produtos. No entanto, a produção de açúcar também gera subprodutos, como bagaço de cana, cinza de bagaço e vinhaça, que podem ter impactos negativos no meio ambiente se não forem geridos de forma adequada (ALCARDE, 2022).

Os subprodutos gerados podem ser utilizados pela própria indústria canavieira ou por outros setores econômicos, como na geração de energia limpa ou na fertilização de solos (MIRANDA-STALDER, BURNQUIST, 1996). Além disso, esses subprodutos gerados consolidaram um fiel mercado consumidor, tendo sua receita próxima a receita trazida pelos dois produtos principais extraídos da cana de açúcar, o açúcar e o álcool (UDOP, 2003).

O subproduto mais abundante de toda a produção canavieira é o bagaço, fibras orgânicas resultantes da extração do caldo pelas moendas (Figura 4), que representa cerca de 280 quilos a cada tonelada de cana processada, ou seja, 28% da produção total. É considerado um dos mais importantes subprodutos para a indústria sucroenergética, visto que pode ser utilizado como fonte de energia limpa renovável, produção de celulose e na complementação da alimentação de animais confinados, como gado ou aves (ALCARDE, 2022). Dentre todas as suas aplicações, a produção de bioenergia é a mais vantajosa e, muitas usinas canavieiras brasileiras já são eletricamente autossuficientes devido a transformação dessa matéria orgânica em energia elétrica (UDOP, 2003).



Figura 5 – Bagaço da cana-de-açúcar.

Fonte: FRODESIK, 2020. Licenciado sob CC0 1.0, via *Wikimedia Commons*.

As cinzas do bagaço, produto inorgânico resultante da queima do bagaço durante o processo de geração de energia, também apresentam grande valor econômico, uma vez que, em sua composição, apresentam mais de 60% de sílica, substância química muito utilizada na produção de cimento. Devido às suas características, a incorporação dessas cinzas na produção de cimento, além de agregar valor ao produto final, também proporciona vantagens técnicas e ambientais, como a criação de uma barreira física que restringe a penetração de fungos e a redução da perda de água por transpiração (CORDEIRO, 2009).

Embora existam as vantagens técnicas e ambientais com o uso do bagaço da cana-de-açúcar e suas cinzas, também podem haver impactos negativos se a utilização não for gerida corretamente. Por exemplo, a queima inadequada do bagaço de cana pode liberar gases de efeito estufa, enquanto a utilização inadequada de cinza de bagaço pode contaminar o solo e as águas subterrâneas dos lençóis freáticos (BEGA, 2014).

Outro subproduto economicamente vantajoso advindo da indústria canavieira é a vinhaça, resíduo líquido que consiste em uma mistura de caldo residual e outros materiais resultantes da destilação do caldo de cana fermentado para a produção de álcool. Sua produção está diretamente relacionada com a produção de álcool, já que cada litro de álcool gera entre 12 e 18 litros de vinhaça. Sua utilização mostra-se variada, podendo ser utilizada na suplementação de alimentação de animais, produção de biomassa e, principalmente, fertilização do solo, utilização mais rentável e amplamente utilizada no país (ALCARDE, 2022). Entretanto, a vinhaça possui um pH mais baixo (em torno de 3,5 – 5,5), principalmente devido à presença de ácidos orgânicos que são produzidos durante o processo de fermentação da cana-de-açúcar para a produção de álcool, sendo os principais os ácidos aconítico, cítrico, glicólico, glutâmico, láctico, málico, maleico, malônico, oxálico, succínico e tartárico (PARNAUDEAU et al., 2008;

MORALES et al., 2002). A má gestão da vinhaça pode contaminar o solo e as águas subterrâneas, afetando negativamente a saúde humana e o meio ambiente, além do subproduto apresentar um mal odor, causando incômodo na população que reside em regiões próximas das áreas em que é aplicada, cuja regulamentação e fiscalização no estado de São Paulo é realizada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), através do Decreto Estadual nº 54.487/09, de 26 de junho de 2009 (SILVA, 2007).

A gestão adequada dos subprodutos da produção de açúcar é fundamental para a sustentabilidade da indústria. É importante que as indústrias de açúcar implementem práticas sustentáveis para minimizar os impactos negativos dos subprodutos e maximizar seu potencial. Embora existam desafios na utilização efetiva desses subprodutos, tais como a necessidade de investimentos em infraestrutura e tecnologia, seu potencial para promover a sustentabilidade e reduzir os impactos ambientais negativos da produção de açúcar é significativo e não deve ser ignorado (RIPOLI, 2000).

3.11 VANTAGENS, DESVANTAGENS E BENEFÍCIOS DA PRODUÇÃO SUCROENERGÉTICA

A cana-de-açúcar e a indústria sucroenergética movimentam bilhões de reais anualmente e, o Brasil, como maior produtor mundial de cana, responsável por aproximadamente 30% de todo montante produzido, manuseado e utilizado mundialmente, sofre interferência direta de todas as vantagens, desvantagens e benefícios da produção canavieira (FAO, 2020).

Nas tabelas a seguir, demonstram-se as vantagens e desvantagens da produção de cana-de-açúcar no Brasil, o que por consequência, está atrelada à produção açucareira no país:

Tabela 2 - Vantagens da produção de cana-de-açúcar no Brasil.

Geração de emprego e renda	<p>A produção sucroenergética compõe um importante setor econômico e importante parcela do PIB nacional, que gera empregos diretos e indiretos em áreas rurais e urbanas. Além disso, a produção gera renda para produtores e trabalhadores envolvidos em diferentes etapas do processo produtivo (SANTOS <i>et al.</i>, 2019).</p>
Produção de biocombustíveis	<p>A cana-de-açúcar é uma importante fonte de matéria-prima para a produção de biocombustíveis, como o etanol e o bioquerosene. Esses biocombustíveis são menos poluentes que os combustíveis fósseis e podem contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa (FURLAN <i>et al.</i>, 2020).</p>
Fonte de nutrientes	<p>A cana-de-açúcar é uma importante fonte de nutrientes para animais e humanos. A cana-de-açúcar é utilizada na alimentação de bovinos, suínos e aves, e pode ser processada para a produção de açúcar, melado e rapadura, que são alimentos tradicionais em muitas culturas (MENEZES <i>et al.</i>, 2018).</p>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3 - Desvantagens da produção de cana-de-açúcar no Brasil.

<p>Degradação ambiental</p>	<p>Redução da biodiversidade devido ao desmatamento para plantio; danos permanentes a fauna e a flora; compactação do solo pelo tráfego de maquinaria pesada; assoreamento dos corpos d'água em resposta à erosão do solo e emissão de fuligem e gases tóxicos durante a colheita (ANDRADE, DINIZ, 2007).</p>
<p>Contaminação do solo e das águas</p>	<p>A fim de maximizar a produção, inúmeros defensivos agrícolas são aplicados na plantação durante seu plantio. Devido ao alto grau de toxicidade dessas substâncias, o solo é permanentemente contaminado e, em casos mais graves, os lençóis freáticos e águas superficiais, como rios e represas, também se contaminam, culminando na contaminação humana (ANDRADE, DINIZ, 2007).</p>
<p>Condições precárias de trabalho</p>	<p>Mesmo com a modernização do maquinário agrícola, os ainda trabalhadores manuais das canavieiras sofrem com péssimas condições de trabalho além da exploração da força de trabalho, composta por jornadas exaustivas, trabalho em baixo do sol sem nenhum tipo de proteção, salários muito reduzidos e baixa perspectiva de melhora. Alguns autores culpabilizam a grande concentração de terra e baixa fiscalização como fatores responsáveis pela atual situação (ANDRADE, DINIZ, 2007).</p>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Assim, a produção de cana-de-açúcar no Brasil traz importantes benefícios sociais, econômicos e ambientais. É importante que a produção seja realizada de forma sustentável, com práticas agrícolas que minimizem os impactos ambientais e garantam a preservação da biodiversidade e dos recursos hídricos.

4. CONCLUSÃO

Matéria prima para o setor sucroenergético, as plantações de cana-de-açúcar no Brasil possuem uma importância histórica, geográfica, socioeconômica e cultural significativa. Assim como a cana-de-açúcar, o açúcar em si é um produto que também faz parte da cultura e da identidade do Brasil, e sua produção tem um valor simbólico importante.

O setor sucroenergético gera impactos significativos na economia e na vida socioeconômica do Brasil, tanto com a produção de açúcar quanto com a produção de etanol e energia elétrica (cada vez mais explorada nos últimos anos), colocando a nação como o maior produtor e exportador global de açúcar e etanol.

Tendo em vista a expressividade e importância nacional do setor em que está inserida, a produção açucareira em si também representa uma das principais fontes de renda para muitas regiões do país, gerando empregos diretos e indiretos e movimentando a economia local. Além disso, a produção de açúcar tem uma grande importância na balança comercial do país, contribuindo para a geração de divisas e o fortalecimento da economia nacional por conta da forte exportação desta *commodity*.

Por outro lado, a produção de açúcar no Brasil também apresenta desafios socioeconômicos significativos. Em algumas regiões, principalmente as de menor avanço tecnológico, a produção açucareira ainda é marcada pela submissão da mão-de-obra a condições de trabalho insalubres, pela falta de investimentos em infraestrutura e pela baixa ou ausente fiscalização. Além disso, também pode ter impactos negativos na saúde dos trabalhadores e das comunidades ao redor das plantações, especialmente quando há uso intensivo de defensivos agrícolas.

Já sob a perspectiva socioambiental, o setor sucroenergético e a produção de açúcar também apresentam avanços e retrocessos. Por um lado, a produção de biocombustíveis pode contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa e para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a produção de açúcar e etanol podem ser realizadas de forma integrada, gerando subprodutos que podem ser utilizados na geração de energia elétrica (bioenergia), gerando potencial para reduzir a dependência de fontes não renováveis, como o petróleo, e contribuir para a redução de emissões de gases de efeito estufa, bem como a produção também pode gerar outros produtos de aplicações diversas.

Por outro lado, também tem impactos negativos no meio ambiente, como a perda de biodiversidade e o uso intensivo de recursos naturais, como a água e o solo. Além disso, o uso

de defensivos agrícolas e outros produtos químicos na produção pode contaminar o solo e os lençóis freáticos subterrâneos.

A produção açucareira também possui a desvantagem de estar exposta às adversidades climáticas, que podem prejudicar as plantações de cana-de-açúcar e por consequência, a produção do produto, bem como também se apresenta exposta às oscilações comerciais do mercado doméstico e principalmente, do mercado internacional.

Mesmo com desvantagens e gerando impactos negativos, ainda assim, a produção de açúcar, bem como o setor sucroenergético também apresentam diversos impactos positivos e vantagens que compensam e superam as obstáculos intrínsecos, se mostrando benéficos e de suma importância para a economia e balança comercial do Brasil, gerando receita através da comercialização de açúcar e etanol, criando empregos e postos de trabalho ao longo de toda a cadeia produtiva e em diferentes regiões do país, gerando subprodutos de grande potencial e com diversas aplicações, sendo a principal, o bagaço da cana-de-açúcar, que cada vez mais, tem sido explorado para a geração de uma bioeletricidade que diminui a dependência da matriz energética brasileira de fontes fósseis.

Desta forma, com a crescente demanda mundial por biocombustíveis e por uma matriz energética mais limpa, menos fóssil, o setor tende a crescer com o passar dos anos, mantendo a sua relevância e impacto na economia do país, cujo próprio governo brasileiro já realiza programas de incentivo e subsídio aplicados ao setor. Junto com o crescente aumento da população mundial e da indústria de alimentos, que também terá uma demanda maior por açúcar, um dos ingredientes mais utilizados na produção de alimentos industrializados.

Diante desses desafios, é fundamental que a indústria de açúcar e o setor sucroenergético em geral atue de forma responsável e sustentável, minimizando seus impactos negativos e maximizando seus benefícios socioeconômicos e ambientais (que são diversos), garantindo uma produção que seja capaz de atender às necessidades do Brasil e da população mundial, sem comprometer a qualidade de vida das gerações futuras, pois atualmente, já se apresenta como um setor fundamental e de grande importância para o Brasil, que possui perspectivas promissoras e possibilidades para crescimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURA. Alta na Produção e nas Exportações de Açúcar Marca a Safra 2020/21 de Cana. **IEA**, AGRICULTURA, Official Website, 2020. Disponível em: [http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925#:~:text=O%20Estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo,0%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas\)2](http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925#:~:text=O%20Estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo,0%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas)2). Acesso em 18 fev. 2023

ABIA. Indústria de alimentos tem expansão de emprego e mantém bom desempenho. Associação Brasileira da indústria de Alimentos. Releases, **ABIA**, 2022. Disponível em: <https://www.abia.org.br/releases/industria-de-alimentos-tem-expansao-de-emprego-e-mantem-bom-desempenho#:~:text=Segundo%20aponta%20pesquisa%20conjuntural%20da,mesmo%20per%C3%ADodo%20do%20ano%20anterior>. Acesso em: 18 fev. 2023

ADITIVOS & INGREDIENTES. O lado saudável do açúcar. Artigos, **Aditivos & Ingredientes**, 2017. Disponível em: <https://aditivosingredientes.com/artigos/todos/o-lado-saudavel-do-acucar>. Acesso em: 18 fev. 2023

ALCARDE, A. R. Cana: outros produtos. **Embrapa**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/outros-produtos>. Acesso em: 13 fev. 2023.

AMARAL, D. **História da Mecânica - O motor a vapor**. 2010. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal da Paraíba - UFPB Disponível em: www.demec.ufpb.br/port/d_online. Acesso em 14 fev. 2023

ANDRADE, J. M. F.; DINIZ, K. M. **Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão**. Tese (Especialização em Gerenciamento Ambiental), Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/publicacoes/2016/12/impactosAmbientaisAgroindustria.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **RenovaBio**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/renovabio>. Acesso em: 24 fev. 2023.

ANPII. **O uso de biofertilizantes nos canaviais**. Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes. Jornal da Bioenergia, 2018. Disponível em: <http://www.ANPII.org.br/o-uso-de-biofertilizantes-nos-canaviais/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

ARAÚJO, E., SANTOS, J. O DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E SUA RELEVÂNCIA NA ECONOMIA NACIONAL. **FACIDER - Revista Científica**, São Paulo, 04 de set. 2013. Disponível em: <<http://revista.sei-cesucol.edu.br/index.php/facider/article/view/37/87>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000: sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário**, Rio de Janeiro, 2000. 26 p.

AZEVEDO, D. A.; SANTOS, C. T. M.; NETO, F. R. A. Identification and seasonal variation of atmospheric organic pollutants in Campos dos Goytacazes, Brazil. **Atmospheric Environment, Amsterdam**, v. 36, n. 14, p. 2383-2395, mai. 2002.

BACCHI, Mirian Rumenos Piedade; CALDARELLI, Carlos Eduardo. Impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético no Estado de São Paulo, entre 2005 e 2009. **Nova Economia**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.209-224, abr. 2015. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/6303>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BEGA, R. M. **Aplicação de cinza do bagaço de cana-de-açúcar em latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2014, Tese (Doutorado em Agronomia). Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/122232/000818403.pdf;sequence=1>. Acesso em: 13 fev. 2023.

BERNARDO, R. *et al.* Analysis of the agricultural productivity of the sugarcane crop in regions of new agricultural expansions of sugarcane. **Gestão & Produção**, São Carlos / SP, v. 26, n. 3, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530X3554-19>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BERNDES G.; YOUNGS H.; BALLESTER M. V. R.; CANTARELLA H.; COWIE A. L.; JEWITT G.; MARTINELLI L. A.; NEARY D. Soils and water. In: Souza GM, Victoria RL, Joly CA, Verdade LM (eds) **Environmental Development**. FAPESP, São Paulo, pp 618–659. 2015. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68329.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BETTIN, S. M.; FRANCO, D. W. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em aguardentes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 234-238, abr/jun. 2005.

BHUSHAN, B. Impact of Sugarcane Agriculture on the Environment. **Berlin: Springer**, 2018.

BIRKHOLZ, D. A.; COUTTS, R. T.; HRUDEY, S. E. Determination of polycyclic aromatic compounds in fish tissue. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 449, p. 251-260, 1988.

BONILLA, J. A. **Qualidade total na agricultura: fundamentos e aplicações**. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade Total na Agricultura, 1994. 334 p.

BOSSO, R. M. V. **Investigação de biomarcadores de suscetibilidade e de exposição ambiental em indivíduos ocupacionalmente expostos à queima de canaviais** 106p. Tese (Doutor em Ciência Biológicas) Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José do Rio Preto, 2004.

BRAILE, P.; CAVALCANTI, J. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 1979. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mis-13750>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BRANCO, R. H. R.; SERAFIM, L. S.; XAVIER, A. M. R. B. Second Generation Bioethanol Production: On the Use of Pulp and Paper Industry Wastes as Feedstock. **Fermentation**, no. 1: 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fermentation5010004>. Acesso: 27 mar. 2023.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 25 fev. 2023.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 47**, de 30 de agosto de 2018. Estabelecer o Regulamento Técnico do Açúcar, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 173, p. 12-15, 06 ago. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/39939558/do1-2018-09-06-instrucao-normativa-n-47-de-30-de-agosto-de-2018-39939440. Acesso em: 27 mar. 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.105**, de 24 de março de 2005. Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1o do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, cria o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, altera a Lei no 8.974, de 5 de janeiro de 1995, revoga a Medida Provisória no 2.191-9, de 23 de agosto de 2001, e os arts. 5o, 6o, 7o, 8o, 9o, 10 e 16 da Lei no 8.974, de 5 de janeiro de 1995, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mar. 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111105.htm. Acesso em: 27 fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR)**, 2023. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/seguro-rural/programa-de-subvencao-ao-premio-do-seguro-rural-psr>. Acesso em: 24 fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 400**, de 24 de fevereiro de 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 fev. 2021. Seção 1, p. 36. Disponível em: <http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-400-de-24-de-fevereiro-de-2021-305090186>. Acesso em: 24 fev. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa RenovaBio**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/renovabio>. Acesso em: 24 fev. 2023.

BRAUBECK, O. A.; OLIVEIRA, J. T. A. COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM AUXÍLIO MECÂNICO. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 300-308, jan./abr. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/TWRDPKRhRcKpQHZpjs9VNJc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BUARQUE, D. C.; PEDROSA, V. d.; CARVALHO, G. S.; FREIRE, C. C. Critérios de demandas hídricas para a outorga de uso da água: setor sucro-alcooleiro. **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Alagoas, SE: UFAL, 2003. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6715>. Acesso em: 14 fev. 2023.

CARVALHO, A. M. P. L.; CAMPOS, C. P.; LOPES, P. A. Composição nutricional de açúcares e adoçantes e sua utilização na alimentação. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 6, p. 947-959, dez. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-52732011000600011&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 27 fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732011000600011>.

CATUVER, D. Conab estima produção de 572,9 milhões de toneladas de cana-de-açúcar: Estudo aponta queda de 1% para a safra 2022/2023 ante a campanha passada. **Sistema Brasileiro do Agronegócio – SBA**, Notícias, Agricultura, 2022. Disponível em: <https://sba1.com/noticias/noticia/21222/Conab-estima-producao-de-572-9-milhoes-de-toneladas-de-cana-de-acucar#:~:text=Essas%20situa%C3%A7%C3%B5es%20geram%20preocupa%C3%A7%C3%A3o%20em,igual%20per%C3%ADodo%20do%20ciclo%20anterior>. Acesso em: 14 fev. 2023.

CASTRO, O. M. **Aspectos de manejo do solo**. Paranapanema: Fundação Cargill. 1985. P. 68-93.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Portal de Informações** Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safras/cana-evolucao-estimativa>. Acesso em 14 fev. 2023.

CORBINI, J. L. **Operações agrícolas em tratos culturais**. Em S. B. PARANHOS, Cana de Açúcar: cultivo e utilização (pp. 333-370). Campinas: Fundação Cargill, 1987. Acesso em: 14 fev. 2023.

CORDEIRO, G. C.; *et al.* Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. **Química Nova**, v. 32, n. 1, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/b369LbWjqHzbR5zkwvmxKdK/?lang=pt#>. Acesso em: 12 fev. 2023.

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. **Caderneta de Pragas e Doenças da Cana-de-Açúcar**. Piracicaba, 2018. Disponível em: <https://ctc.com.br/produtos/wp-content/uploads/2018/07/Caderneta-de-Pragas-e-Doen%C3%A7as-da-Cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar-CTC.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2019**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20EN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em 14 fev. 2023.

ELÍSIOS, M. Os 10 países que mais produzem açúcar. **SOCIENTIFICA**, 2022. Disponível em: <https://societifica.com.br/paises-que-mais-produzem-acucar/>. Acesso em 14 fev. 2023

FAO. **Production: Crops**. FAOstat – Food and Agriculture Data. Online, 2020. Disponível em: <http://www.FAO.org/FAOstat/en/#data/QC>. Acesso em: 14 fev. 2023.

FERREIRA, L. C. G. **A paisagem regional da microrregião Ceres (GO) – das colônias agrícolas nacionais ao agronegócio sucroenergético**. Tese de Doutorado apresentado ao PPGEA UnB, 2016. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/6303>. Acesso em: 14 fev. 2023.

FERREIRA, T., FERRAZ, A., & JUNQUEIRA, T. (2019). Water consumption in sugarcane processing: A Brazilian perspective. **Journal of Cleaner Production**, 219, 135-143.

FREITAS, G. R. Preparo do solo. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar cultivado e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 271-332.

FRODESIK, A. Bagasse at a sugarcane factory in Hainan, China. **Wikimedia Commons**, the free media reposit, "File:Bagasse in Hainan - 02.jpg,", 2020. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Bagasse_in_Hainan_-_02.jpg&oldid=398404711. Acesso em: 21 mar. 2023.

FURLAN, L. T.; *et al.* Potencial produtivo e energético da cana-de-açúcar no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 3, 78-86, 2020. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/issue/view/1086>. Acesso em: 12 fev. 2023.

GARCIA, S. Por dentro do cocho – Bagaço de cana na alimentação de bovinos de corte. **Agroceres Multimix**, 2021. Disponível em: <https://agroceresmultimix.com.br/blog/por-dentro-do-cocho-bagaco-de-cana-na-alimentacao-de-bovinos-de-corte/>. Acesso em: 13 fev. 2023.

GARCIA-FALCÓN, M. S.; GONZÁLEZ-AMIGO, S.; LAGE-YUSTY, M. A.; SIMALLOZANO, J. Determination of benzo(a)pyrene in some Spanish commercial smoked products by HPLC-FL. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 16, n. 1, p. 9-14, 1999.

GODOI, A. F. L.; RAVINDRA, K.; GODOI, R. H. M.; ANDRARDE, S. J.; SANTIAGO-SILVA, M.; VAECK, L. C.; GRIEKEN, R. V. Fast chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosol samples from sugar cane burning. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1027, n. 1/2, p. 49-53, fev. 2004.

GOMES, A. C. A.; MEURER, A. P. S. M.; PINTOR, G. M. Z. O uso da logística reversa para atender a responsabilidade socioambiental: Estudo de caso em uma agroindústria canavieira no Paraná. **Revista Orbis Latina**, Foz do Iguaçu / PR (Brasil), v. 6, n. 2, p. 111-128, 2016. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/orbis/article/view/623/514>. Acesso em: 15 fev. 2023.

GOMES, J. A. **Proposta metodológica para avaliação de colhedoras de batata (*Solanum tuberosum* L.) com base em parâmetros de qualidade 2005**. 154 f. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

GUEDES, S.N.R.; GALLO, Z.; MARTINS, L.A.T.P. Passado, presente e futuro da agroindústria canavieira do Brasil: uma reflexão a partir da perspectiva do desenvolvimento sustentável. São Paulo: **Atlas**, 2002. p.312-319. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/5Hvm5kYBHkgCmPj4dV8JzQk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 fev. 2023.

GUEVARA, A. J. DE H., SILVA, O. R. DA, HASEGAWA, H. L., & Venanzi, D. (2017). Evaluation of Sustainability of Brazilian Ethanol Production: A model in System Dynamics. *Brazilian Business Review*, 14(4), 435–447. HORII, J.A. Qualidade da matéria-prima na visão industrial. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, v.1, n.1, p.91-3, 2004.

IAC - INSTITUTO DO AÇÚCAR E ALCOOL. Estudo de caso: Destilarias de álcool e usinas de açúcar. Campinas: **IAC**, 1994. Disponível em: <http://oagronomico.iac.sp.gov.br/?p=7>. Acesso em: 14 fev. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (Dezembro de 2016). **Estatísticas do cadastro central de empresas**. 2016. Disponível em: IBGE: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/outras-estatisticas-economicas/9016-estatisticas-do-cadastro-central-de-empresas.html?=&t=resultados> . Acesso em 12 de fev 2023.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Cana-de-açúcar para indústria: o quanto vai precisar crescer**. Disponível em: <www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=7448>. Acesso em: 13 fev. 2023.

ISO. **International Sugar Organization. Market Information**, 2021. Disponível em: <https://www.isosugar.org/market-information/>. Acesso em: 25 fev. 2023.

JAY-LIN, J.; SHERMAN, P. Sucrose hydrolysis in food processing. In: BAKER, R. A.; FINCH, C. A. (Eds.). *Sucrose: Properties and Applications*. New York: **AVI Publishing Company**, 1976. p. 389-419.

KAYALI-SAYADI, M. N.; BARROSO, S. R.; ROLDAN, C. B.; DIEZ, L. M. P. Rapid determination of PAHs in drinking water samples using solid-phase extraction and HPLC with programmed fluorescence detection. **Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies**, London, v. 19, n. 19, p. 3135-3146, 1996.

KHAN, M. T. *et al.* Genetically Modified Sugarcane for Biofuels Production: Status and Perspectives of Conventional Transgenic Approaches, RNA Interference, and Genome Editing for Improving Sugarcane for Biofuels. **Sugarcane Biofuels**, p. 67-96, 2019. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-18597-8_4#citeas. Acesso em: 15 fev. 2023

KISHIKAWA, N.; WADA, M.; KURODA, N.; AKIYAMA, S.; NAKASHIMA, K. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in milk samples by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. **Journal of Chromatography B**, Amsterdam, v. 789, n. 2, p. 257-264, jun. 2003.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de metodologia científica: Técnicas de pesquisa. 7 ed. – São Paulo: **Atlas**, 2010. Disponível em: https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india. Acesso em: 14 fev. 2023.

LAL, Rattan. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, [s.l.], v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 11 jun. 2004. American Association for the Advancement of Science (AAAS).

LAWRENCE, J. F. WEBER, D. F. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in Canadian samples of processed vegetables and dairy products by liquid chromatography with fluorescence detection. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v. 32, n. 4, p. 794-797, jul. 1984.

LEITE, L. G. *et al.* Eficiência de nematoides entomopatogênicos e inseticidas químicos contra *Sphenophorus levis* e *Leucothyreus* sp. em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. Pesqui. Agropecu. Trop., 2012 42(1), p. 40–48, jan. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/TSrB7NpyPmrpHZmg37DfkcF/?lang=pt&format=html#>. Acesso em:

LIMA, R. B. **Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. doi:10.11606/D.85.2012.tde-16012013-143923. Acesso em: 15 fev. 2023

LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katalysis**, v. 10, p. 35-45, 2007. Disponível em: Acesso em: 14 fev. 2023.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E.; SILVA, J. E. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, v.32, pp. 582-595, 2008. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/6303>. Acesso em: 14 fev. 2023.

MACHADO, S. S. Tecnologia da Fabricação do Açúcar. **Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – Rede e-Tec Brasil**, 2012. 56 p. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/11_tecnologia_fabricacao_acucar.pdf. Acesso em: 27 fev. 2023.

MAGALHÃES, E. F. *et al.* Efeito de diferentes práticas de manejo do solo na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1185-1194, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000400018. Acesso em: 15 fev. 2023.

MATOS, R. B. **Indicadores de desempenho para o beneficiamento de madeira serrada em empresas de pequeno porte: um estudo de caso**. 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MCMANUS, C.; BARCELLOS, J. O. J.; FORMENTON, B.K.; HERMUCHE, P. M.; CARVALHO, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; GIANEZINI M.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. N.; ZAGO D, NETO JB (2016) Dynamics of cattle production in Brazil. **PLoS One**. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147138>. Acesso em: 14 fev. 2023.

MENEZES, M. C. C., *et al.* O uso da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-99402012000400011. Acesso em: 13 fev. 2023.

MILAN, M.; FERNANDES, R.A.T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo, **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.261-6, 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA (2021). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/safra-da-cana/safra-da-cana>. Acesso em: 24 fev. 2023.

Ministério da Economia - ME (2021). **Caged - Cadastro Geral de Empregados e Desempregados**. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/assuntos/empregador/caged>. Acesso em: 24 fev. 2023.

MIRANDA, S. H. G. S.; BURNQUIST, H. A importância dos subprodutos da cana-de-açúcar no desempenho do setor agroindustrial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 34, n. 3 e 4, p. 103-119, 1996. Disponível em: <http://www.resr.periodikos.com.br/article/5d8912f90e8825a071c51225>. Acesso em: 13 fev. 2023.

MME - **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**. 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em 14 fev. 2023.

MME - **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**, 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade** 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 514 p.

MORALES, A. A.; VICTÓRIA, H. M.; GODSHALL, M. A.; JARAMILLO, A. A.; LARRAHONDO A.; JESUS, E.; GRIMM, C. **Identification of organic compounds in vinasse**. Proceedings of the Sugar. **Processing Research Conference**, 2002.

MUÑOZ, R.; MEIER, L.; DIAZ, I.; JEISON, D. A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading. **Reviews in Environmental Science and Bio/ Technology**, pp. 727-759, 2015. Disponível em: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/26906/review-state-Mu%F1oz-et-al.%202015.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 fev. 2023.

NETO, A. E.; SHINTAKU, A.; PIO, A., CONDE, A.; FRANCESCO, F.; DONZELLI, J. Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética. Brasília: ANA, FIESP, UNICA, CTC, 2009. Disponível em: <http://oagronomico.iac.sp.gov.br/?p=7>. Acesso em: 14 fev. 2023.

NOVACANA. **A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo), 2013**. Disponível em: <https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo>. Acesso em 17 fev. 2023

NOVACANA. **As usinas de Açúcar e Etanol do Brasil, 2022**. Disponível em: https://www.novacana.com/usinas_brasil. Acesso em: 15 fev. 2023.

NUNES, T. S., FINZER, J. R. D. "A IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DO CALDO DE CANA DE AÇÚCAR PARA A PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ETANOL", p. 1442-1448 . In: **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. São Paulo: Blucher, 2019.

OLIVEIRA, B. G.; CARVALHO, J. L. N.; CHAGAS, M. F.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. (2017b) Methane emissions from sugarcane vinasse storage and transportation systems: comparison between open channels and tanks. **Atmos Environ**. 159:135–146. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.005>. Disponível em: Acesso em: 14 fev. 2023.

OLIVEIRA, D. M. S.; PAUSTIAN, K.; DAVIES, C.A.; CHERUBIN, M.R.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. (2016) Soil carbon changes in areas undergoing expansion of sugarcane into pastures in south-central **Brazil**. **Agric Ecosyst Environ** 228:38–48. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.005> Disponível em: Acesso em: 14 fev. 2023.

OMETTO, Aldo Roberto. **Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Acesso em: 24 fev. 2023.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro - Janeiro de 2023**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/boletim-mensal-do-sistema/Boletim-Mensal.aspx>. Acesso em: 24 fev. 2023.

PAES, P. R., SANTANA, E. N., DE SOUSA JUNIOR, R. A., & DE OLIVEIRA, L. S. (2020). Evaluation of alternative methods for sugarcane cleaning. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 120, 109656.

PARNAUDEAU, V.; CONDOM, N.; OLIVER, R.; CAZVIELLE, P.; RECOUS, S. Vinsasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration process. **Bioresource Technology Journal**, v.99, 1553–1562, 2008.

PAULINO, O. F. T. **Produção de Açúcar**. Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Pós-Graduação em Gestão do Setor Sucroalcooleiro, Araras. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/Producao-de-Acucar-materialdeapoio.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.

PETROLI, V. Unem: produção de etanol de milho deve dobrar até 2030. **Canal Rural**, Notícias Mato Grosso, 2022. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/mato-grosso/unem-producao-de-etanol-de-milho-deve-dobrar-ate-2030/>. Acesso em: 14 fev. 2023

PIRES, A. C.; BENOIST, A.; LUZ, S. M.; SILVERIO, V. C. Implications of removing straw from soil for bioenergy: An LCA of ethanol production using total sugarcane biomass. **Journal of cleaner production**, pp. 249-259, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322911639_Implications_of_removing_straw_from_soil_for_bioenergy_An_LCA_of_ethanol_production_using_total_sugarcane_biomass. Acesso em: 14 fev. 2023.

PROCANA. **Ligado no dia a dia do setor**. Disponível em: <http://www.procana.com.br/Conteudo/Conheca%20o%20Setor.asp>. Acesso em: 14 fev. 2023.

PXHERE. PxHere: Free Images & Free stock fotos, Photo 720458, **PxHere**, 2017. Disponível em: <https://pxhere.com/en/photo/720458>. Acesso em: 21 mar. 2023.

QIU, Z. *et al.* Biofertilizers can enhance nitrogen use efficiency of sugarcane. **Environmental Microbiology**, v. 24, n. 8, p. 3655-3671, 2022. Disponível em: <https://ami-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1462-2920.16027>. Acesso em: 15 fev. 2023.

RAÍZEN. **Produção de açúcar: conheça suas etapas e como funciona na RAÍZEN**. Blog RAÍZEN [online], 2022. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/producao-acucar>. Acesso em: 15 fev. 2023.

RAÍZEN. **Programa inédito na cadeia de cana-de-açúcar promove sustentabilidade entre Produtores**. Sala de Imprensa Raízen [online], 2020. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/programa-inedito-na-cadeia-de-cana-de-acucar-promove-sustentabilidade-entre-produtores>. Acesso em: 15 fev. 2023.

RECH, R.; TAVARES, R. Substituição do açúcar refinado pelo açúcar cristal em bolos de trigo: aceitação e qualidade. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 76, n. 2, p. 1-8, 2017. Disponível em: http://periodicos.ses.sp.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0073-98552017000200004&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 27 fev. 2023.

RIPOLI, T. C. C.; *et al.* Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 4, Piracicaba, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/mbBRZQyhKdHs6kxJW3MCS6s/?lang=en#>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SANDERS, M. C.; SANDERS, C. E. A world's dilemma 'upon which the sun never sets': The nuclear waste management strategy (part II): Russia, Asia and the Southern Hemisphere. **Progress in Nuclear Energy**, pp. 148-169, 2018. Disponível em: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:50061861. Acesso em: 14 fev. 2023.

SANTOS, C. Y. M.; AZEVEDO, D. A.; AQUINO NETO, F. R. A. Selected organic compounds from biomass burning found in the atmospheric particulate matter over sugarcane plantation areas. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 36, n. 18, p. 3009-3019, jun. 2002.

SANTOS, Joelma Cristina dos. **Dos canaviais à “etanolatria”: o (re) ordenamento territorial do capital e do trabalho no setor sucroalcooleiro da Microrregião Geográfica de Presidente Prudente – SP**. Tese de Doutorado apresentado ao PPGEA da Universidade Federal de Uberlândia, 2009. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/6303>. Acesso em: 14 fev. 2023.

SÃO PAULO. **Lei nº 11.241**, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. São Paulo: Assembleia Legislativa, [2002]. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20elimina%C3%A7%C3%A3o%20gradativa,DO%20ESTADO%20DE%20S%C3%83O%20PAULO%3A&text=Artigo%201.%C2%BA%20%2D%20Esta%20lei,da%20cana%2Dde%2Da%C3%A7%C3%BAcar>. Acesso em: 27 fev. 2023.

SCOPINHO, R. A. Qualidade total, saúde e trabalho: uma análise em empresas sucroalcooleiras paulistas. **Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, n.1, p.93-112, 2000.

SILVA, M. A. S.; *et al.* Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1., 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/vxTJ6yw3YP7bsCx7qC3Qcdj/?lang=pt#>. Acesso em: 14 fev. 2023.

SIMKO, P. Review - Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. **Journal of Chromatography B**, Amsterdam, v. 770, n. 1/2, p. 3-18, abr. 2002.

SOBRINHO, A.; LUIZ, F.; FERREIRA, L. C. G. A produção canavieira e o mito do progresso: agronegócio e agricultura familiar na microrregião Ceres, Goiás. Brasília, **Revista Patry Ter**, vol. 2 | n. 1 | abril 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/patryter/article/view/15648/21192>. Acesso em: 14 fev. 2023.

SPEER, K.; STEEG, E.; HORTSMANN, P.; KUHN, T.; MONTAG, A. Determination and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in native vegetable oils, smoked fish products, mussels and oysters, and bream from the river Elbe. **Journal of High Resolution Chromatography**, Weinheim, v. 13, n. 2, p. 104-111, fev. 1990.

STAMATIS, D.H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. Madison: ASQC, 1995. 494 p.

THALER, K. Brazil, biofuels and food security in Mozambique. **Agricultural Development and Food Security in Africa**, p. 145-158, 2013.

TE MORENGA, L. *et al.* Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomised controlled trials and cohort studies. **BMJ**, v. 346, p. e7492, 2013. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/346/bmj.e7492>. Acesso em: 27 mar. 2023.

TEIXEIRA, R. F. *et al.* Impacto do consumo de açúcar adicionado em bebidas sobre o sobrepeso/obesidade em adultos: revisão sistemática e metanálise. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 3, e00275819, 2020.

TOLEDO, M. C. F.; CAMARGO, M. S. F. O. Benzo(a)pireno em óleos de milho produzidos e comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 73-76, jan/abr. 1998.

UDOP. **Governo e UNICA assinam protocolo de cooperação para desenvolvimento sustentável da indústria canavieira**. Disponível em: www.udop.com.br/geral.php?item=noticia&cod=70740#. Acesso em: 9 fev. 2023.

UDOP. **Subprodutos da cana se tornaram fonte de receita**. União Nacional da Bioenergia – Energia que Inova [online] 2003. Disponível em: www.udop.com.br/noticia/2003/06/23/subprodutos-da-cana-se-tornaram-fonte-de-receita.html. Acesso em: 13 fev. 2023

UNICA. **UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA, 2022. Estatísticas**. Disponível em: www.portalunica.com.br/referencia/estatisticas.jsp. Acesso em: 14 fev. 2023.

UNICA. **Dados Consolidados da Safra 2020/2021, 2020** Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatisticas/safra.aspx>. Acesso em: 14 fev. 2023.

UNICA – **UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA**. Disponível em: http://www.unica.com.br/pages/unica_perfil1.asp. Acesso em: 14 fev. 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants** (37th report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Technical Report Series, Geneva, n. 28, 1991.