



DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL: A APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR SUCROALCOOLEIRO EM ALINHAMENTO AOS ODS

SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT: THE APPLICATION OF CIRCULAR ECONOMY IN THE SUGAR-ENERGY SECTOR IN ALIGNMENT WITH THE SDGS

*Mariangela Lomba Mendes Pinho**
*Flávio de Miranda Ribeiro***

>> Resumo

Considerando o desafio da emergência climática e a necessidade de transição energética, destaca-se o setor sucroalcooleiro, responsável pela conversão da cana-de-açúcar em fonte de energia limpa e renovável. O presente artigo traz uma reflexão sobre a aplicação da Economia Circular (EC) no setor sucroalcooleiro brasileiro, como estratégia para o desenvolvimento econômico sustentável. Além disso, busca alinhar sua atuação a alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), contribuindo para a Agenda 2030. A metodologia utilizada baseia-se em revisão bibliográfica e dados quantitativos secundários, demonstrando como essas práticas contribuem especificamente aos ODS 2, 6, 7, 9, 12 e 13. O estudo evidencia que o setor incorpora prática circulares, como a cogeração de energia a partir do bagaço, a fertirrigação utilizando a vinhaça e a valorização dos resíduos, contribuindo para maior eficiência produtiva e mitigação dos impactos ambientais. O setor sucroalcooleiro gera bioeletricidade para milhões de residências, entretanto, ainda enfrenta desafios como o uso intensivo de água, emissões de GEE decorrentes de queimadas, e problemas com a produtividade, decorrentes das variações climáticas. Se destaca o inegável papel estratégico do setor, evidenciando um caso de sucesso que pode ser replicado globalmente. Ao refletir sobre a EC no setor sucroalcooleiro,

* Pró-reitora Administrativa da Universidade Católica de Santos, mariangelamlp@unisantos.br

** Professor da Universidade Católica de Santos

conclui-se que o segmento é um modelo de circularidade com impacto econômico, ambiental e social positivo, sendo um mercado em expansão e uma alternativa para ampliar a oferta de bioenergia, com baixa emissão de carbono e alinhado aos ODS, visando o desenvolvimento econômico sustentável.

>> Palavras-chaves

Desenvolvimento Sustentável; Economia Circular; ODS; Sucroalcooleiro.

>> Abstrato

Considering the challenge of the climate emergency and the need for energy transition, the sugar-energy industry stands out, responsible for converting sugarcane into a clean and renewable energy source. This article reflects on the application of the Circular Economy (CE) in the Brazilian sugar-energy sector as a strategy for sustainable economic development. In addition, it seeks to support its performance in some Sustainable Development Goals (SDGs), contributing to the 2030 Agenda. The methodology used is based on a literature review and secondary quantitative data, demonstrating how these specific practices relate to SDGs 2, 6, 7, 9, 12, and 13. The study highlights that the sector incorporates circular practices, such as energy cogeneration from bagasse, fertigation using vinasse, and waste valorization, contributing to greater productive efficiency and mitigation of environmental impacts. The sugar-energy sector generates bioelectricity for millions of homes; however, it still faces challenges such as intensive water use, greenhouse gas emissions due to burning, and productivity issues stemming from climate variations. The undeniable strategic role of the sector stands out, highlighting a success story that can be replicated globally. Reflecting on CE in the sugar-energy sector, it is concluded that this segment is a model of circularity with positive economic, environmental, and social impacts, representing an expanding market and an alternative to increase the supply of bioenergy, with low carbon emissions and aligned with the SDGs, aiming for sustainable economic development.

>> Keywords

Sustainable Development; Circular Economy, SDGs; Sugar-energy.

INTRODUÇÃO

Asociedade hodierna enfrenta desafios ambientais sem precedentes, por isso é imprescindível cuidar da “casa comum”, termo cunhado pelo Papa Francisco (2015, §139) para designar o planeta Terra como o lar comum de toda a criação, humana e não humana. Desta forma, ele propõe uma ecologia integral, considerando soluções que integrem os sistemas naturais entre si com os sistemas sociais, o que é difícil observar na cultura atual na qual os valores muitas vezes são relativizados.

A humanidade tem exigido paulatinamente o aumento da produção em função do crescente consumo, e neste cenário atingir o desenvolvimento sustentável é um desafio que, em função do acirramento da crise climática, da crescente escassez de recursos naturais, e de desigualdades sociais e conturbações geopolíticas, torna-se uma missão difícil. Estabelecer estratégias que garantam o crescimento econômico com a sobrevivência da nossa espécie não é apenas importante, mas fundamental.

Deste modo, adquire especial relevância a implementação dos Sustainable Development Goals¹ (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS), estabelecidos pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 2015 como parte da Agenda 2030, apresentando metas globais que visam a implementação de políticas para guiar a humanidade, protegendo o planeta e preparando-o para as gerações futuras.

Ampliando a discussão a respeito da emergência climática e considerando os desafios relacionados à segurança energética e ao desenvolvimento sustentável, um dos aspectos que surge como fundamental nas diretrizes e planos de ação global dos ODS, principalmente em países em desenvolvimento, é a abordagem promissora da produção de biocombustíveis, com a implementação dos conceitos da economia circular que possibilitam a redução dos desperdícios e a reintegração de resíduos na cadeia produtiva.

De fato, todos os setores produtivos devem buscar o aumento da eficiência na utilização dos insumos e na geração de valor, mas essa preocupação adquire especial importância nas cadeias energéticas. Este destaque se deve, primordialmente, pelo fato de que uma sociedade circular depender de formas renováveis e sustentáveis de fornecimento de energia, e neste caso se destacam algumas alternativas, como aquelas oferecidas pelo setor sucroalcooleiro, que têm adotado práticas circulares, inclusive em relação ao reaproveitamento dos resíduos, já a muito tempo.

Destaca-se que a economia circular tem ocupado um espaço cada vez maior nas discussões mundiais, pelos seus benefícios ambientais e potencial econômico, com forte redução dos custos operacionais e proteção do meio ambiente, com isso impulsionando o desenvolvimento econômico sustentável. De acordo com Ribeiro (2024, p.12), quando se trata de sustentabilidade o aumento da população é uma das principais preocupações, visto que na busca de satisfazer as necessidades humanas os processos produtivos criam pressão sobre a base de recursos naturais, demandando quantidades crescentes de matérias-primas, água e energia. Desta forma,

¹ Disponível em <https://sdgs.un.org/goals>

se propõe uma reflexão sobre o modelo econômico atual, que precisa ser repensado, colocando a adoção da economia circular no centro da discussão como via natural para enfrentar também as mudanças climáticas.

Assim, a escolha deste tema justifica-se, pois, o caminho para a catástrofe ambiental é certo se medidas de prevenção e controle não forem tomadas a tempo de mudar esta situação. Neste ínterim, para o atingimento dos ODS a transição para uma economia circular desponta como uma via disruptiva dos processos produtivos tradicionais. Para melhor elucidar esta questão, no presente artigo é analisado o segmento de biocombustíveis, em especial o setor sucralcooleiro, visto ser de grande impacto para o crescimento econômico sustentável.

Apesar das diversas opções para a produção de energia com fontes não renováveis, como combustíveis fósseis e energia nuclear, além de fontes renováveis, como hidroelétrica, solar, eólica entre outras, os biocombustíveis tem apresentado importante crescimento no consumo mundial. Este comportamento está sendo impulsionado pela busca por fontes de energia mais sustentáveis, em decorrência da necessidade de mitigação das emissões dos gases de efeito estufa (GEE).

Porém, na reflexão sobre a cadeia energética dos biocombustíveis, muitas rotas tecnológicas, mesmo com a origem renovável das fontes energéticas, atuam dentro de um modelo linear de produção, seguindo a cadeia de “produzir, consumir e descartar”, gerando muitos resíduos com grande desperdício, e consequentemente sofrendo pressões para adotar práticas mais eficientes e sustentáveis. Neste sentido, destaca-se a cadeia produtiva da cana-de-açúcar, bastante consolidada no Brasil.

O setor sucralcooleiro é de importância estratégica tanto para a economia brasileira como global, e seu histórico de adoção de iniciativas sustentáveis e práticas circulares já tem gerado ganhos econômicos significativos, contribuindo para atingir as metas dos ODS. Desta forma, este artigo objetiva analisar os ganhos ambientais e econômicos obtidos com a aplicação da economia circular no setor sucralcooleiro, especialmente sob a ótica dos ODS 2, 6, 7, 9, 12 e 13.

A metodologia aplicada é de revisão bibliográfica e a análise quantitativa dos dados, com a tabulação das informações quantificáveis de dados secundários, disponíveis em institutos e órgãos específicos do segmento, para maior embasamento científico nas análises.

1. DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL

Um estudo interessante realizado por Backhouse (2002) avalia a história do pensamento econômico e sua evolução desde o início do século XIX, evidenciando que a humanidade sempre teve como preocupação recorrente a busca pelo bem-estar, entretanto a escassez de recursos ao longo do tempo, da época dos gregos até a consolidação da economia capitalista, gerou sucessivos conflitos causando períodos de incertezas e instabilidades.

Autores como Juste Ruiz (1999), Guido Soares (1999), Naredo (1990, 1996), Camargo (2003), Rei (2025, 2023), entre outros, também alertam

sobre os riscos ao meio ambiente e ao processo de desenvolvimento sustentável gerado pela falta de controle quanto ao uso dos recursos.

Apesar do termo desenvolvimento sustentável ser bastante explorado, é interessante conceituá-lo. A definição elaborada pela Comissão Brundtland, em 1987, publicada no relatório *Nosso Futuro Comum*, cita que o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades das gerações atuais, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações.

Para o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável – CEBDS (2025), o conceito ainda “diz respeito à necessidade de repensar hábitos de consumo e produção, focando em qualidade”, reforçando também que deve contar com o “uso de matérias-primas que sejam provenientes de fontes limpas e verdes, além da adoção de mecanismos de mitigação e compensação, e o aumento da reutilização e da reciclagem.”

Interessante pontuar que a principal distinção entre desenvolvimento sustentável e crescimento econômico reside em que o crescimento econômico, a princípio, está geralmente atrelado ao aumento contínuo do uso de energia e recursos naturais, enquanto o desenvolvimento sustentável busca equilibrar o desenvolvimento econômico, o bem-estar social e a preservação do meio ambiente.

Portanto os pilares do desenvolvimento sustentável, na forma de aspectos econômicos, sociais e ambientais, devem estar em equilíbrio para que o desenvolvimento seja pleno, com reflexos positivos para o planeta e para a sociedade.

O modelo tradicional de crescimento econômico baseado na extração descontrolada de recursos não é adequado há décadas. Estudo realizado por Odum e Barret (2015) apresenta as diferenças entre a economia e a economia ecológica que compreende que tudo faz parte de um sistema evolucionário, reforçando os riscos do modelo tradicional. Neste contexto, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) surgem como um esforço para conciliar crescimento econômico, inclusão social e preservação ambiental.

Metas como a energia acessível e limpa (ODS 7), industrialização inclusiva e sustentável (ODS 9), padrões de produção e de consumo sustentáveis (ODS 12) e o combate às alterações climáticas (ODS 13) refletem o engajamento com uma economia comprometida com as práticas sustentáveis.

De acordo com Vengoechea (2012) “as mudanças climáticas determinarão as características e as condições para o desenvolvimento econômico neste século”, por isso as conferências e convenções são tão importantes para conduzir o dilema do crescimento.

Neste bojo do desenvolvimento sustentável surge a economia circular como um modelo econômico que rompe a lógica dos processos lineares de “produção – extração – fabricação – distribuição – consumo – descarte – disposição final” (Ribeiro, 2024, p.22), para um modelo que busca manter os recursos em uso pelo maior tempo possível.

2. ECONOMIA CIRCULAR: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

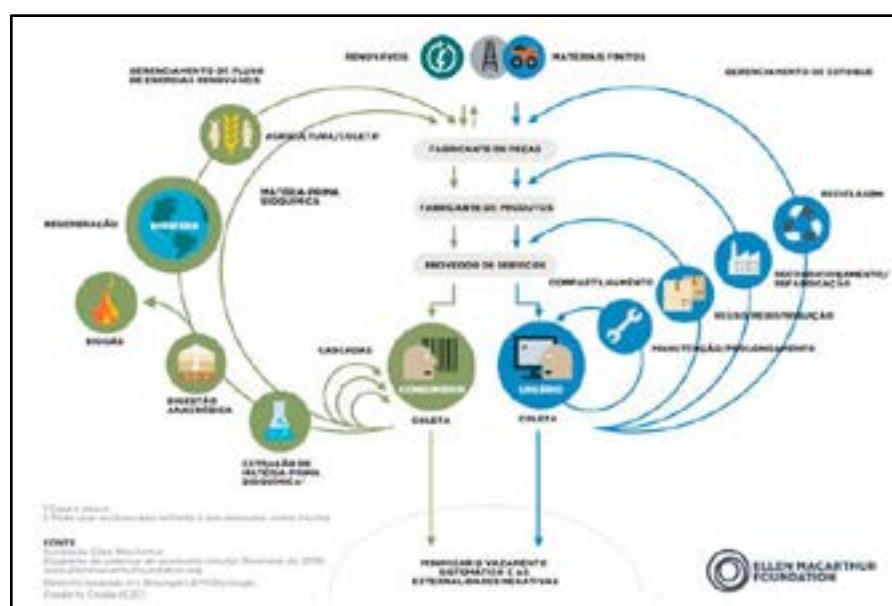
A economia circular é entendida como uma estratégia da sustentabilidade, que tem como objetivo manter os recursos naturais extraídos da natureza em uso pela sociedade pelo maior tempo, ao maior valor e com a maior utilidade possíveis. (Ribeiro, 2023, p.56-57).

No final do século passado, Frances Cairncross já citava que “sólo será posible eliminar facilmente resíduos de un modo adecuado para el entorno si al comienzo de la vida de un producto se piensa en su destino final” (1994, p.156). Por conseguinte, se discute economia circular há várias gerações, embora nem sempre usando esta terminologia, e no âmbito econômico é pertinente verificar um olhar diferenciado com relação aos resíduos, repensando processos e entendendo os resíduos como insumos para a produção de novos produtos.

Consequentemente, na economia circular a gestão dos resíduos vai além dos 3R (Reducir, Reutilizar e Reciclar), buscando soluções que não apenas reduzam os impactos, mas que valorizem os resíduos como recursos e apresentem uma melhora na qualidade ambiental (Ribeiro, 2023, p. 29). Neste ínterim, estas opções se multiplicam – como no caso da menção pelo autor de dez possibilidades de estratégias: Recusar, Repensar, Reduzir, Reusar, Reparar, Reformar, Remanufaturar, Repropósito, Reciclar e Recuperação energética, ampliando o espectro de atuação para uma gestão eficiente.

O diagrama sistêmico da economia circular, conhecido como “Diagrama Borboleta”, desenvolvido pela Fundação Ellen MacArthur (EMF, 2021) apresenta dois ciclos principais: o técnico e o biológico, conforme ilustrado na Figura 01 a seguir.

Figura 01: Diagrama Borboleta (adaptado de EMF, 2021)



No ciclo técnico, produtos são mantidos em uso por estratégias como o reuso, reparo, remanufatura e reciclagem. No biológico, nutrientes e materiais biodegradáveis retornam à natureza para sua regeneração. Assim, a valorização dos resíduos, seja como produtos, seja como materiais, pode minimizar as perdas sistêmicas e as externalidades negativas.

Diante do exposto, observa-se que o valor embutido nesta prática é muito mais do que reaproveitar, reciclar e reduzir, é uma mudança de paradigma com a valorização dos materiais pela sociedade, ficando evidente que permite à sociedade desenvolver um potencial econômico estratégico.

Nesse novo modelo, resíduos deixam de ser sobras de um processo e tornam-se recursos com valor, fomentando a inovação e estimulando novos negócios, promovendo uma economia mais resiliente. É uma forma de pensar toda a cadeia de produção, consumo e descarte, integrando setores e pessoas em um esforço conjunto por um futuro regenerativo.

Neste sentido diversos setores econômicos produzem impactos ambientais significativos, em especial na geração de resíduos, entre eles o setor sucroalcooleiro, em função do elevado volume de resíduos gerados ao longo de toda a cadeia produtiva, da produção no campo até o consumo final. Porém, como veremos, práticas já adotadas pelo setor em busca de competitividade e aumento da sustentabilidade, tem colaborado para reduzir estes danos e promover maior circularidade.

3. POTENCIAL ECONÔMICO DA ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

O setor sucroalcooleiro inclui a produção primária da cana-de-açúcar, considerando o cultivo agrícola dessa matéria-prima para produção de álcool, mas cadeia sucroenergética abrange, além da produção agrícola, todas as etapas de transformação industrial, como o processamento da cana, fabricação dos derivados (açúcar, etanol e subprodutos), além da logística de distribuição e comercialização (ARMAC, 2021).

Entre os principais itens obtidos a partir da cana-de-açúcar, tradicionalmente se destacam o álcool (consumido inclusive para fins alimentícios, como a cachaça) e o açúcar. No último século, porém, o setor tem sido responsável pela produção de álcool com alto teor de pureza para uso como combustível, além de utilizar o próprio bagaço de cana, gerado no processo, como combustível para suas caldeiras. Mais recentemente ainda, o aumento de eficiência nas caldeiras tem permitido a geração de excedentes de energia – viabilizando comercialização de eletricidade para a rede elétrica.

Além disso, o processo também gera diversos resíduos biológicos, que atualmente têm sido utilizados para produção de biometano pelas usinas, demonstrando a versatilidade do setor e sua ampla contribuição para a matriz energética nacional (ARMAC, 2021). Esta contribuição tem se tornado cada vez mais significativa, sendo que os dados oficiais do governo federal (EPE, 2024) apontam que em 2024 o setor sucroalcooleiro foi responsável por abastecer 16,7% de toda a energia consumida no Brasil.

Assim, a escolha deste setor para este estudo justifica-se pela grande relevância do setor sucralcooleiro na oferta nacional de biocombustíveis, sendo um elemento fundamental para a evolução da transição energética brasileira, em um cenário que demanda soluções rápidas e de baixo custo para mitigar os impactos da emergência climática, em especial com a redução das emissões de carbono.

3.1 A expansão e importância do setor sucralcooleiro

A cana-de-açúcar sempre teve um valor histórico, como mostra Marion Menzin (2024) que analisa o consumo de açúcar na Nova Inglaterra no século XVII, e destaca seu papel central na ascensão do capitalismo e do imperialismo no mundo.

De acordo com o Observatório da cana e bioenergia (UNICADATA, 2025), há 345 unidades produtoras no país, com cerca de 1.200 municípios brasileiros cultivando cana-de-açúcar, sendo o Brasil o maior produtor mundial do produto e o 4º segmento com maior volume nas exportações do agro-negócio brasileiro. Além disso, o valor bruto movimentado pela cadeia sucroenergética equivale a cerca de 2% do PIB brasileiro. Realmente, um setor que apresenta forte expansão nas últimas décadas e de grande impacto na economia nacional.

Apesar de na safra 2024/2025 a área destinada à colheita apresentar crescimento, esta deve diminuir a produção devido aos impactos das condições climáticas, baixos índices pluviométricos e altas temperaturas, além das queimadas nos canaviais que afetaram as áreas no ciclo de produção, reduzindo a produtividade das lavouras (CONAB, 2024). Vale ressaltar que as queimadas liberam gases de efeito estufa e material particulado, contribuindo para as mudanças climáticas, o agravamento da poluição do ar, a degradação do solo e a biodiversidade local. Essas colocações demonstram a fragilidade do setor quanto aos danos ao meio ambiente e aos impactos decorrentes do aquecimento global.

No Brasil as maiores produções estão concentradas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, conforme Tabela 1, que apresentam aumento da área e redução na produtividade.

Tabela 1 – Área, produtividade e produção de cana-de-açúcar no Brasil

Região/UF	Área - mil ha Safra		Produtividade - kg/ha Safra		Produção – mil ton Safra		
	2023/24	2024/25	2023/24	2024/25	2023/24	2024/25	Var. %
NORTE	49	49,6	80.608	82.437	3.943	4.092	3,8
NORDESTE	883	920	63.959	62.746	56.478	57.718	2,2
CENTRO OESTE	1.779	1.847	81.537	80.451	143.036	148.622	2,5
MS	630	675	80.609	76.849	50.718	51.880	2,2
SUDESTE	5.099	5.387	91.987	80.650	469.027	434.477	(7,4)
MG	929	958	87.579	85.566	81.377	81.971	0,7
SP	4.091	4.346	93.715	81.112	383.409	348.167	(9,2)
SUL	524	492	73.860	68.693	38.731	33.759	(12,8)
BRASIL	8.334	8.695	85.580	78.048	713.214	678.668	(4,8)

Fonte: Elaboração dos autores com base em CONAB, 2024, p.41.

Historicamente o principal produto do setor é o açúcar, e é fato que o consumo mundial de açúcar continua crescendo. Entre 2010-2011 este era de 156 milhões de toneladas, sendo que em 2022-2023 atingiu 177 milhões de toneladas (CIRAD, 2023, p.5), um crescimento de 13,5%, sendo 80% proveniente da cana-de-açúcar e 20% da beterraba. Neste ínterim, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma participação de 25%, seguido pela Índia e China. Além disso, lidera as exportações globais, no segmento sucroalcooleiro representando 50% das transações globais (AEB, 2024).

De acordo com a EMBRAPA (2025), no Brasil o setor sucroalcooleiro foi alavancado com a significativa expansão da produção nacional de álcool iniciada com o programa Proálcool, e intensificada pela obrigatoriedade da mistura do biocombustível à gasolina. Além disso, o contínuo desenvolvimento das pesquisas agrícolas, conferiu ao país elevada competitividade em nível internacional.

Atualmente, os Estados Unidos é o país que lidera o mercado de etanol, sendo o Brasil o segundo maior produtor, conforme dados da UNICADATA (2025). No Brasil o etanol produzido pelo setor sucroenergético (anidro e hidratado) representa 45,6% da energia consumida pelos veículos leves no país. A partir dos dados da Anfavea, a UNICADATA coloca que o Brasil tem uma frota com mais de 30 milhões de veículos aptos a utilizar tanto a gasolina como o etanol, tendo os automóveis flex uma grande participação na redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE).

Outro produto relevante do setor, e que demonstra a versatilidade da cana-de-açúcar e seus inúmeros subprodutos, é a geração de bioeletrici-

dade, oriunda da biomassa da cana – e que produziu o equivalente a cerca de 32% da geração de energia elétrica pela Usina Itaipu em 2024, sendo suficiente para atender cerca de 11 milhões de residências. Estes dados reforçam a importância energética do setor sucralcooleiro, com a diferença de contribuir para não apenas com o crescimento econômico, mas também para vários ODS, mitigando os impactos dos desequilíbrios climáticos além de do impacto social pelos empregos indiretos gerados.

3.2 Aspectos ambientais e de circularidade do setor sucralcooleiro

Apesar dos benefícios, o setor sucralcooleiro tem ao longo do processo de produção a geração de muitos resíduos. Neste sentido, esforços têm sido canalizados para pesquisa, desenvolvimento e inovação para melhorar os resultados. Entre as principais linhas referente à cultura de cana-de-açúcar estão: o uso agrícola de resíduos agroindustriais, com ênfase para a fertirrigação com o uso racional da vinhaça, e o melhor aproveitamento de subprodutos da cana, como o bagaço, para cogeração de energia.

Com relação a fertirrigação, nos anos 60 o Brasil lançava a vinhaça diretamente nos cursos d’água. Porém, com a portaria MINTER nº 323/78 esta prática foi proibida, e os resíduos que eram dispostos nas chamadas “áreas de sacrifício” aguardando sua decomposição, passaram a ser aspergidos na lavoura conforme regras de utilização racional da vinhaça nos canaviais, com dosagens controladas, substituindo a adubação mineral e aumentando a produtividade (ANA, 2009, p.215).

A produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil gera em torno de 360 bilhões de litros de vinhaça por ano, sendo este resíduo aplicado na fertirrigação como aditivo agrícola auxiliando para a recuperação da fertilidade do solo (Carvalho, 2023).

Já o bagaço de cana, subproduto da operação de moagem para extração do caldo, é utilizado como combustível nas caldeiras do processo fabril. Neste caso, o bagaço é queimado, gerando calor que produz vapor em altas pressões – usado em diversos locais no processo. Porém, as usinas não usam toda a energia obtida do bagaço, e os excedentes têm sido, já há muitos anos, comercializados para o mercado.

Estima-se que em 2024 a biomassa (em geral, somando bagaço de cana e outras fontes) foi responsável por 2,7 GW médios de potência na matriz elétrica brasileira, o que por se tratar de fonte renovável equivale a uma mitigação de 7 milhões de t de CO₂ eq./ano. Apenas para comparação, para retirar da atmosfera esta quantidade de carbono seria necessário plantar 51 milhões de árvores em 20 anos. Deste potencial, a produção de bioeletricidade de cana foi de 21,2 mil GWh, ou 75% de toda a eletricidade gerada a partir de biomassa no país (ÚNICA, 2024).

Em reconhecimento deste papel mitigador do setor, em 2024 as Nações Unidas aprovaram uma Resolução da Assembleia Geral Ambiental (UNEA-6, 2024), intitulada “Circularity of a resilient, low-carbon sugar cane agro-industry”. Este documento busca o fortalecimento da agroindústria da cana-de-açúcar para que seja resiliente, de baixa emissão de carbono e baseada

na economia circular, destacando que a cana-de-açúcar é produzida em mais de 80 países, e milhões de pessoas dependem dela para sua subsistência.

Ainda sobre esta Resolução UNEA, que trata da circularidade do setor, foram efetuadas algumas colocações (UNEA-6, 2024, p.2):

1. Convida os Estados-Membros com agroindústria de cana-de-açúcar a incorporar estratégias de economia circular, resilientes ao clima;
2. Incentiva os Estados-Membros a formar parcerias com o setor privado para adotar a economia circular;
3. Solicita ajuda para mobilizar recursos para apoiar a economia circular, e
4. Propõe manter a coleta de informações e conduzir análises sobre abordagens de economia circular na agroindústria da cana-de-açúcar.

Portanto, a UNEA reafirma a circularidade do setor sucroalcooleiro, reconhecendo este como um segmento importante para a bioeconomia e para a transição energética, reforçando seu potencial na produção de energia, redução de resíduos e valorização de toda a cadeia de subprodutos.

Em âmbito nacional, um importante marco foi a aprovação da Política Nacional de Biocombustível (RenovaBio), instituída pela Lei nº 13.576/2017. Esta iniciativa estabeleceu um marco regulatório para o setor de biocombustíveis, com metas relacionadas à redução de emissões, desmatamento zero e a criação dos Créditos de Descarbonização (CBIOS) - certificados negociáveis que visam promover segurança energética, tornando o setor sucroenergético mais eficiente e sustentável.

Estudo realizado pela Anfavea apresenta que no Brasil a participação do setor de transporte no total das emissões de gases (GEE) é de 13%, sendo que o país se comprometeu a reduzir estas emissões em 53% até o ano de 2050 (ANFAVEA, 2024, p.7). Este estudo apresenta uma perspectiva positiva para maior uso de biocombustível no setor de transportes, ampliando a mistura atual de etanol de 1ª geração na gasolina de 27,5% para até 30-35% (p. 21). Ainda de acordo com o relatório da Anfavea (2024, p. 45), para o enfrentamento do desafio da descarbonização no setor automotivo deve ocorrer a “transição de motorização e uma maior adoção de biocombustível na frota”.

Outra medida do governo é a Lei do Combustível do Futuro (Lei 14.993/2024), que apresenta várias iniciativas para promover a mobilidade sustentável de baixo carbono, inclusive estabelecendo margens de mistura de etanol à gasolina, podendo chegar a 35%, além de um crescente uso de biometano misturado ao gás natural nas redes de distribuição. Da mesma forma, o Programa MOVER (Mobilidade Verde e Inovação), instituído pela Lei nº 14.902/2024, é uma iniciativa voltada à modernização, descarbonização da indústria automotiva e o alinhamento a uma economia de baixo carbono no ecossistema produtivo e inovador de automóveis.

A previsão de adoção mais intensa de biocombustível irá aumentar o consumo anual de etanol, que em 2023 foi de 35 bilhões de litros, para um consumo projetado de 40 a 50 bilhões de litros em 2024. Esta previsão pode representar a necessidade de aumento de área plantada destinada a

produção de etanol, mesmo tendo aumento de produtividade, tanto para a cana-de-açúcar como para milho (Anfavea, 2024, p.37).

Em razão disso, o setor sucralcooleiro deve continuar em expansão acelerada e garantindo sua importância no contexto comercial, ambiental e energético, consolidando-se como um dos pilares da matriz sustentável brasileira.

4. INTERCONEXÕES ESTRATÉGICAS DO SETOR SUCRALCOOLEIRO COM A ECONOMIA CIRCULAR E OS ODS

Com base nas discussões expostas sobre os princípios da economia circular e a relevância do setor sucralcooleiro, tanto a nível local como mundial, podemos avaliar as conexões entre essas temáticas e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Assim como os ODS contribuem para mitigação dos impactos ambientais, podemos incrementar a reflexão com as considerações de Vargas e Rodrigues (2009), para quem a institucionalização dos danos ambientais é refletida nos instrumentos dos regimes internacionais de mudanças climáticas, indicando a importância e urgência com que este assunto é tratado.

O Regime Internacional de Mudanças Climáticas é um conjunto de normas, tratados e práticas com foco no combate às mudanças climáticas, que inclui a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima-UNFCCC (1992), o Protocolo de Kyoto (1997) e o Acordo de Paris, que foi lançado em 2015.

No mesmo ano, a ONU também lançou a Agenda 2030, uma proposta de ação da ONU com 17 objetivos (ODS) e 169 metas, que representam um chamado mundial com a colocação de algumas ações para eliminar a pobreza, preservar o meio ambiente e o clima, assegurar a paz e a prosperidade a todos, em qualquer lugar do planeta (ONU, 2025b).

Neste contexto, as práticas da economia circular implementadas pelo setor sucralcooleiro contribuem para atingir diferentes ODS, e ao integrá-los busca-se identificar as sinergias para o setor visando a consolidação para maior eficiência e sustentabilidade. Evidentemente todos os ODS apresentam forte interrelação, mas identificam-se seis ODS que estão mais atrelados a temática proposta nesta pesquisa, os ODS 2, 6, 7, 9, 12 e 13.

Observando-se o ODS 2, que trata da fome zero e da agricultura sustentável, o relatório da cadeia de valor da cana-de-açúcar do centro de pesquisa CIRAD apresenta os objetivos para a próxima década na busca de uma cadeia mais sustentável, para promoção do setor sucroenergético, a fim de estruturar as operações para o cultivo sustentável por meio de quatro pilares (CIRAD, 2023, p.3).

O primeiro pilar trata de promover o cultivo sustentável e agroecológico da cana-de-açúcar; o segundo trata de apoiar a transição agroecológica do setor canavieiro; o terceiro busca utilizar o conhecimento da diversidade genética da cana-de-açúcar e de seus parasitas para garantir a sustentabi-

lidade, e o quarto uma oportunidade para a cana-de-açúcar multifuncional (CIRAD, 2023, p.5).

Na produção da cana-de-açúcar ações como a fertirrigação com vinhaça tratada reduz o uso de fertilizantes químicos; o aproveitamento do bagaço e da palha da cana utilizada como biomassa valoriza os resíduos; e a mecanização da colheita sem queima evita a emissão de poluentes e GEE, tudo contribuindo para uma agricultura sustentável.

Quanto ao ODS 6, sobre água potável e saneamento, verifica-se que ao longo de toda a cadeia produtiva da indústria sucroalcooleira (lavagem, moenda, clarificação, decantação, evaporação, cozimento, cristalização, diluição melaço, fermentação, destilação e retificação), para cada 1.000 t de cana-de-açúcar são gastos em torno de 16.400 m³ de água, obtendo como produto final 96 L de açúcar e 36 m³ de álcool (Vian, 2022).

Deste modo, o setor sucroalcooleiro necessita de um grande volume de água, mas várias medidas já têm sido adotadas, e a maioria das usinas no Brasil já trabalha com a captação de menos de 1 m³ de água para cada tonelada de cana moída. No caso da lavagem, por exemplo, é possível promover a retirada de impurezas (como terra) por um sistema de limpeza a seco, desde que a cana seja colhida sem o processo de queima, não apenas reduzindo o consumo de água, mas evitando a perda de açúcar. Este exemplo demonstra o compromisso do setor com a Produção Mais Limpa (P+L), gerando benefícios não apenas ambientais, mas econômicos e de produtividade (ANA, 2009, p. 187). Além disso, é importante ressaltar a relevância do tratamento e reuso dos efluentes, focado em suprir parte significativa da demanda necessária de água pelo processo industrial.

Analizando o ODS 7, que aborda energia acessível e limpa, Vandenberghe et al (2022) explora o potencial das usinas de cana-de-açúcar atuando como “biorrefinarias”, com a produção de outros produtos além do açúcar e do etanol. Dentre estes temos bioeletricidade, já discutida, mas também a obtenção de novos materiais, como biopolímeros e outros, promovendo uma “bioeconomia circular”. A bioeconomia surge como uma abordagem para o desenvolvimento sustentável, e está baseada na aplicação de recursos renováveis, em geral de fontes biológicas, para a geração de produtos com elevado valor agregado. Esta constatação da atuação das usinas como biorrefinarias reforça a contribuição da circularidade sob o aspecto explicitado em relação a produção de materiais e energia renováveis.

Para o ODS 9, dedicado à indústria, inovação e infraestrutura, o setor investe em tecnologias digitais e automação, otimizando a produtividade. Mas para além disso, as pesquisas de utilização de ferramentas biotecnológicas, como o desenvolvimento genético da cana-de-açúcar e a produção do etanol de segunda geração por hidrólise enzimática, são evoluções que colocam o setor como um dos mais inovadores do país. Dados da UNICData (2025b) indicam que aproveitamos apenas 15% do potencial da biomassa presente nos canaviais, e se fosse realizada a utilização plena da bioeletricidade o potencial poderia chegar a 151 mil GWh, conseguindo atender mais de 30% do consumo de energia no Sistema Integrado Nacional, denotando que ainda há importante capacidade de aumentar a oferta de energia renovável pelo setor.

Com relação ao ODS 12, consumo e produção responsáveis, desde o início da produção o setor sucralcooleiro é um exemplo de economia circular - como evidencia o controle biológico de pragas, que reduz o uso de insumos químicos não renováveis, e o aproveitamento integral da cana, obtendo além do açúcar e do etanol outros subprodutos como bagaço, melado e resíduos, utilizados para geração de energia, fertilizantes ou insumos em outras indústrias, conforme afirma Bomtempo (2020). Com isso, o setor vem adotando estratégias sustentáveis de gestão do consumo e da produção, como o reaproveitamento de resíduos e o uso eficiente dos recursos naturais, potencializando a economia circular no campo.

O ODS 13, sobre ação contra a mudança global do clima, diante de tudo o que foi exposto fica evidente que toda a cadeia do setor sucralcooleiro tem se destacado nas ações positivas para combater as ameaças ao meio ambiente diante da crise climática. Um dos principais produtos, o etanol, é o biocombustível com a menor pegada de carbono do mundo, tendo como matéria-prima a cana-de-açúcar (ÚNICA, 2025). Este potencial atualmente tem se ampliado, com soluções de descarbonização em várias outras cadeias sendo projetado- como no caso da produção de plásticos derivados da cana-de-açúcar.

Pelo exposto, depreende-se que o setor sucralcooleiro estabelece interconexões estratégicas com a economia circular com práticas sustentáveis que contribuem para os ODS, fortalecendo sua atuação tanto no crescimento econômico como nas questões ambientais.

Para melhor visualização destas correlações, o Quadro 01 apresenta os principais pontos de cada ODS e sua relação com o setor sucralcooleiro, considerando a aplicação da economia circular para avaliar sua contribuição, visando o atingimento das metas propostas na Agenda 2030 da ONU.

Quadro 01 – Sinergias entre Economia Circular e ODS no Contexto Sucroalcooleiro

OBJETIVOS		Contribuição da economia circular no setor sucroalcooleiro
ODS 2	Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável	Os resíduos agrícolas, como a vinhaça e o bagaço, são valorizados na economia circular aumentando a produtividade e promovendo práticas sustentáveis. Desta forma, é possível obter uma agricultura sustentável
ODS 6	Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água, com saneamento para todos	O reuso da água, que é realizado em grande quantidade, nos processos industriais do setor sucroalcooleiro; além do uso racional da vinhaça em fertirrigação reduzem o desperdício hídrico auxiliando na economia da água potável com uma gestão eficiente
ODS 7	Garantir o acesso a energia acessível e sustentável para todos	A aplicação dos conceitos da economia circular com a transformação do bagaço e da palha de cana em biomassa para cogeração de energia renovável, transformando as usinas em geradores de bioeletricidade, promovendo o uso das fontes alternativas, diminuindo a utilização dos combustíveis fósseis e a pegada de carbono
ODS 9	Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação	Investimentos em tecnologia e inovação no setor sucroalcooleiro têm impulsionado a transição para uma economia circular, estimulando o desenvolvimento de soluções sustentáveis como o etanol de segunda geração (E2G), rastreabilidade (RenovaBio) e a geração de créditos de descarbonização (CBIOS), tornando os produtos mais eficiente e valorizados.
ODS 12	Garantir padrões de consumo e produção sustentáveis	O setor sucroalcooleiro é um exemplo na aplicação da circularidade, o reaproveitamento de resíduos nas diversas fases e a redução do desperdício transformando os subprodutos em novos insumos, tornando toda a cadeia produtiva mais limpa. Deste modo, o setor apresenta um consumo eficiente com uma produção responsável e sustentável.
ODS 13	Tomar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos	Naturalmente a aplicação da economia circular no setor contribui para a mitigação dos impactos socioambientais decorrentes das variações climáticas globais, sendo a produção de bioenergia, redução das queimadas e o maior reaproveitamento dos resíduos ações concretas para o enfrentamento dos desequilíbrios climáticos globais.

Fonte: Elaboração dos autores, com base em ONU (2025a)

>> CONCLUSÕES

O setor sucroalcooleiro, apesar de ser composto por muitas grandes empresas, depende da manutenção de milhares de pequenos produtores, que precisam que haja equilíbrio na regulação dos mercados e equilíbrio econômico em toda a cadeia. O consumo de energia, tanto de etanol como bioeletricidade é cada vez maior, assim como a urgência em desenvolver novas aplicações da biomassa, o que obriga o setor a maiores investimen-

tos. Este aumento da demanda impacta em uma pressão pelo aumento da produção, correndo o risco de aumento dos impactos ambientais – como consumo de água, poluição atmosférica e hídrica, emissão de GEE e desmatamentos descontrolados.

Neste sentido, o presente trabalho buscou apresentar uma visão do posicionamento do setor sucralcooleiro como uma alternativa importante para ampliar a oferta de bioenergia, com baixa emissão de carbono, a partir do potencial de mitigação das práticas já realizadas. Esta abordagem também guarda estreita relação com a Agenda 2030, podendo colaborar à consecução de vários ODS, como discutido na pesquisa.

Porém, para este potencial ser realizado, é necessário avançar em políticas públicas de incentivo adequadas. Atualmente, o governo tem adotado iniciativas importantes, como a RenovaBio, a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), a Lei do Combustível do Futuro e o Mover, que visam reestruturar a matriz energética tornando-a mais sustentável e alinhada aos ODS.

Essas ações fortalecem o papel estratégico do setor sucralcooleiro na transição para uma economia de baixo carbono, evidenciando um caso de experiência brasileira que pode ser replicado como exemplo em diversos países do mundo, conforme apregoado pela Resolução UNEA, mencionada na pesquisa.

Esta perspectiva mostra um caminho promissor não apenas para a busca de ações de mitigação dos GEE ou de outros impactos ambientais significativos da produção de energia, mas também ilustram o potencial de ganhos econômicos aos próprios negócios das empresas ao se adotar estratégias de circularidade.

O presente estudo aponta para uma direção de soluções práticas, escaláveis, replicáveis e economicamente vantajosas, que devem compor tanto políticas públicas como estratégias empresariais caso a sociedade realmente decida investir em um futuro mais limpo, circular e sustentável.

>> REFERÊNCIAS

AEB, Associação de Comércio Exterior do Brasil. Há três décadas na liderança o Brasil pode ser o fornecedor mundial de cana-de-açúcar. 2024. Disponível em <https://www.aeb.org.br/assuntos-de-interesse/2024/10/ha-tres-decadas-na-lideranca-brasil-pode-ser-fornecedor-mundial-de-acucar-de-cana/> Acesso em 21 jun.2025

ANA – Agência Nacional de Águas. Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética. FIESP-SP; União da Indústria da Cana-de-açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília: ANA, 2009. Disponível em <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/manual-de-conservacao-e-reuso-de-agua-na-agroindustria-sucroenergetica/> Acesso em 27 jun.2025.

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores & BCG - Boston Consulting Group. Avançando nos caminhos da descarbonização automotiva no Brasil. Relatório de publicação, 2024. Disponível em <https://anfavea.com.br/site/wp-content/uploads/2024/09/Anfavea-Avancando-nos-Caminhos-da-Descarbonizacao-2024-Publicacao.pdf> Acesso em 30 jun.2025.

ARMAC. Um Guia completo sobre o setor sucroalcooleiro.2021. Disponível em <https://armac.com.br/blog/usinas/setor-sucroalcooleiro/> Acesso em 19 jun.2025.

BACKHOUSE, Roger E. *The Penguin History of Economics*. London: Penguin Books, 2002.

BOMTEMPO, Davi. Economia circular no agronegócio: o que é e como aplicar. Summit Agro – Estadão, 2020. Disponível em <https://agro.estadao.com.br/summit-agro/economia-circular-agronegocio-como-aplicar> Acesso em 20 jun.2025

CAIRNCROSS, Frances. *Las Cuentas de la tierra: Economía verde y rentabilidad medioambiental*. Madrid: Acento editorial, 1994.

CAMARGO, Ana Luisa de Brasil. *Desenvolvimento sustentável: dimensões e desafios*. Campinas: Papirus, 2003.

CARVALHO, Julio Cesar; et al. *Biomethane Production from Sugarcane Vianasse in a Circular Economy: Developments and Innovations*. MPDI-Open Access; 2023. Disponível em https://www.mdpi.com/2311-5637/9/4/349?utm_source=chatgpt.com Acesso em 27 jun.2025.

CEBDS. Desenvolvimento Sustentável: o que é e objetivos. Disponível em <https://cebds.org/desenvolvimento-sustentavel-o-que-e-e-objetivos/> Acesso em 01 jun.2025.

CIRAD - Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. *The road to sustainable sugarcane growing [2023-2033]. Sugarcane roadmap summary*. França, 2023. Disponível em <https://www.cirad.fr/en/Media/espace-docutheque/docutheque/fichiers/the-road-to-sustainable-sugarcane-growing-2023-2033> Acesso em 23 jun.2025.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, DF, v. 12, n. 3 novembro 2024.

EMBRAPA. O setor sucroalcooleiro em perspectiva. Brasília: Embrapa, 2025. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1008450/o-setor-sucroalcooleiro-em-perspectiva> Acesso em 20 jun.2025.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2025). *Balanço Energético Nacional 2025: Ano base 2024*. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topicos-771/Relat%C3%B3rio%20Final_BEN%202025.pdf. Acesso em 07 jul., 2025.

FRANCISCO, Papa. *Carta Encíclica Laudato Si’: Sobre o cuidado da Casa Comum*. Vaticano, 2015. Disponível em https://www.vatican.va/content/francesco/pt/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html Acesso em 29 mai,2025.

MARION, Menzin. *The Sugar Revolution in New England: Barbados, Massachusetts Bay, and the Atlantic Sugar Economy, 1600-1700*. Published online by Cambridge University Press: 21 Mar.2024

ODUM, Eugene; BARRET, Gary. *Fundamentos em ecologia*. 5^a ed. Cengage Learning, 2015.

ONU – United Nations. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Department of Economic and Social Affairs. 2025a. Dis-

ponível em <https://sdgs.un.org/2030agenda> Acesso em: 28 jun.2025.

_____, Sobre o nosso trabalho para alcançar os objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. 2025b. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> Acesso em 29 jun.2025

PERNAS GARCÍA, Juan José (coord); at al. Medio Ambiente, Desarrollo y Cooperación Internacional: Estudios Jurídicos sobre Desarrollo Sostenible. Cizur Menor (Navarra): Aranzadi, 2010.

RIBEIRO, Flávio de Miranda. Economia Circular: Uma nova visão de negócios. São Paulo: SENAI-SP editora, 2024.

_____. De lixo a recurso: a visão dos resíduos sólidos na economia circular. São Paulo: Revista Leopoldianum, nº 137, 2023.

UNEA-6. UNITED NATIONS ENVIRONMENT ASSEMBLY. Resolution 6/1: Circularity of a resilient, low-carbon sugar cane agro-industry. Nairobi: United Nations Environment Programme, 1 mar. 2024. Disponível em <https://docs.un.org/en/UNEP/EA.6/Res.1> Acesso em 22 jun.2025.

ÚNICA – UNIÃO DAS INDÚSTRIAS DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA (2024). Cogeração bate recorde na garantia física de termelétricas. Notícias. São Paulo: ÚNICA. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/cogeracao-bate-recorde-na-garantia-fisica-de-termeletricas/>. Acesso em 07 jul., 2025

UNICADATA – Observatório de cana e bioenergia. Fotografia do setor sucroenergético no Brasil e os benefícios econômicos, ambientais e sociais gerados. Disponível em <https://unicadata.com.br/listagem.php?idMn=158> Acesso em 25 jun.2025a

_____. Bioeletricidade. Disponível em <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/bioeletricidade/> Acesso em 25 jun.2025b

VANDENBERGHE, L. P. S. At Al. Beyond sugar and ethanol: The future of sugar-cane biorefineries in Brazil. Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 167. ScienceDirect, October 2022.

VARGAS, Marcelo Coutinho; RODRIGUES, Diego de Freitas. Regime International de Mudanças Climáticas e Cooperação Descentralizada: o papel das grandes cidades nas políticas de adaptação e mitigação. In: HOGAN, D. Joseph; Marandola, Eduardo (Orgs). População e Mudança Climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. Campinas; Brasília: NEPO/UNICAMP; UNFA, 2009.

VENGOECHEA, Alejandra. LAS CUMBRES DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO. Producción: Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert – FES. Colombia, 2012. Disponível em <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiayclima/09155.pdf> Acesso em 01 jun.2025.

VIAN, Carlos E. F. Pós-produção da cana-de-açúcar. EMBRAPA, 23.fev.2022. Disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao> Acesso em 25 jun.2025

