



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**TRANSIÇÃO DA COLHEITA MANUAL QUE UTILIZA A QUEIMA DA PALHA
DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A COLHEITA MECANIZADA: ANÁLISE
TEMPORAL DAS SAFRAS ENTRE 2009/2010 E 2023/2024 NO ESTADO DA
PARAÍBA.**

JEOVÁ MESQUITA DE ARAÚJO NETO

João Pessoa – PB

Outubro de 2024

JEOVÁ MESQUITA DE ARAÚJO NETO

**TRANSIÇÃO DA COLHEITA MANUAL QUE UTILIZA A QUEIMA DA PALHA
DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A COLHEITA MECANIZADA: ANÁLISE
TEMPORAL DAS SAFRAS ENTRE 2009/2010 E 2023/2024 NO ESTADO DA
PARAÍBA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Ambiental na
Universidade Federal da Paraíba (UFPB), como
requisito indispensável para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

João Pessoa – PB

Outubro de 2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N469t Araujo Neto, Jeova Mesquita de.

Transição da colheita manual que utiliza a queima da palha da cana-de-açúcar para a colheita mecanizada: análise temporal das safras entre 2009/2010 e 2023/2024 no estado da Paraíba. / Jeova Mesquita de Araujo Neto.
- João Pessoa, 2024.

54 f. : il.

Orientação: Aline Antunes.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Cana-de-açúcar. 2. Colheita. 3. Impacto socioambiental. 4. GEE. I. Antunes, Aline. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 504(043.2)

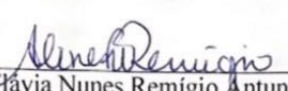
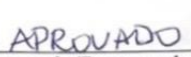
FOLHA DE APROVAÇÃO

JEOVÁ MESQUITA DE ARAÚJO NETO

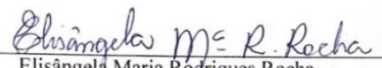
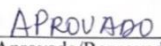
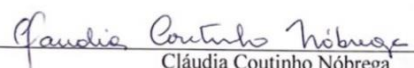
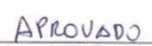
TRANSIÇÃO DA COLHEITA MANUAL QUE UTILIZA A QUEIMA DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A COLHEITA MECANIZADA: ANÁLISE TEMPORAL DAS SAFRAS ENTRE 2009/2010 E 2023/2024 NO ESTADO DA PARAÍBA.

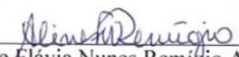
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 25/10/2024 perante a
seguinte comissão julgadora:

ORIENTADORA

 _____ Aline Flávia Nunes Remígio Antunes Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB	 _____ APROVADO (Aprovado/Reprovado)
---	--

BANCA EXAMINADORA

 _____ Elisângela Maria Rodrigues Rocha Universidade Federal da Paraíba	 _____ APROVADO (Aprovado/Reprovado)
 _____ Cláudia Coutinho Nóbrega Universidade Federal da Paraíba	 _____ APROVADO (Aprovado/Reprovado)



Profª. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela força, sabedoria e saúde concedidas ao longo de toda a minha jornada acadêmica, me possibilitando enfrentar os obstáculos durante este processo.

Aos meus familiares, pelo amor e carinho que sempre me concederam, aos incentivos que me deram durante cada etapa dessa caminhada, e por me darem suporte nos momentos mais difíceis.

À Superintendência de Administração do Meio Ambiente, em especial à toda equipe da Divisão de Florestas, pela oportunidade de integrar este corpo técnico e poder absorver aprendizados além do âmbito profissional.

Aos meus colegas de curso, pela união durante esta graduação, compartilhando momentos leves e de dificuldades, mas sempre apoiando uns aos outros.

Ao corpo docente da UFPB por toda dedicação e compartilhamento de conhecimento ao longo dos anos.

A professora Aline Remígio, minha orientadora, por todo acolhimento e suporte durante esta etapa da graduação.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desta etapa da minha vida.

RESUMO

A agricultura da cana-de-açúcar tem sido uma atividade econômica importante e consolidada no Brasil desde os tempos coloniais, caracterizada pelo uso intensivo de mão de obra e pela prática tradicional de queima da palha da cana. Este estudo explora os impactos produtivos e socioambientais da transição da colheita manual para a mecanizada no estado da Paraíba, com base em dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Para isto foram analisadas as safras de cana-de-açúcar entre 2009/2010 a 2023/2024 no estado, considerando aspectos como produção, produtividade, área colhida e tipo de colheita, bem como a estimativa da emissão de gases de efeito estufa associadas à queima pré-colheita. Os resultados apontam que a mecanização, a partir da eliminação gradual das práticas de queima, contribuiu na redução da emissão de gases de efeito estufa em 18% no período analisado, especialmente metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), que são convertidos em dióxido de carbono equivalente (CO_2 -equivalente) com intuito comparativo. No entanto, essa transição traz desafios sociais e econômicos, como impactos negativos na mão de obra, destacando a necessidade de os governos desenvolverem políticas para promover a qualificação profissional e garantir uma transição justa. O estudo conclui que, além de reduzir os impactos ambientais, a mecanização também pode melhorar a eficiência produtiva, desde que seja acompanhada de estratégias de inclusão social e adaptação tecnológica.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Colheita. Impacto socioambiental. GEE.

ABSTRACT

Sugarcane agriculture has been an important and consolidated economic activity in Brazil since colonial times, characterized by intensive labor use and the traditional practice of burning sugarcane straw. This study explores the productive and socio-environmental impacts of the transition from manual to mechanized harvesting in the state of Paraíba, based on data from the National Supply Company (CONAB). To this end, sugarcane harvests from 2009/2010 to 2023/2024 in the state were analyzed, considering aspects such as production, productivity, harvested area, and type of harvest, as well as estimates of greenhouse gas emissions associated with pre-harvest burning. The results indicate that mechanization, by gradually eliminating burning practices, contributed to an 18% reduction in greenhouse gas emissions over the analyzed period, particularly methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), which are converted into carbon dioxide equivalent (CO₂-equivalent) for comparative purposes. However, this transition brings social and economic challenges, such as negative impacts on labor, highlighting the need for governments to develop policies to promote professional training and ensure a fair transition. The study concludes that, in addition to reducing environmental impacts, mechanization can also improve productive efficiency, provided it is accompanied by strategies for social inclusion and technological adaptation.

Strategies.Keywords: Sugarcane. Harvesting. Socio-environmental impact. GHG.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1 - Mapa de localização	28
Gráfico 1: gráfico relacionando área, produtividade e produção no estado da Paraíba.....	34
Gráfico 2: Percentual de colheita mecanizada por safra	38
Gráfico 3: Produção x área mecanizada na Paraíba.....	39
Gráfico 4: Produção x área mecanizada no Nordeste	41
Gráfico 5: Produção x área mecanizada no Brasil.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área, produtividade e produção de cada safra na Paraíba.....	32
Tabela 2: Transição entre a colheita manual e a colheita mecanizada no estado da Paraíba.....	36
Tabela 3: Transição entre a colheita manual e a colheita mecanizada em Pernambuco, Rio Grande do Norte e no Nordeste.....	38
Tabela 4: Estimativa de emissão de GEE a partir da queima da massa seca da cana-de-açúcar na Paraíba.....	44
Tabela 5: Estimativa de redução na emissão de GEE a partir da queima da massa seca da cana-de-açúcar na Paraíba.....	45

LISTA DE SIGLAS

AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
APA	Área de proteção ambiental
APP	Área de preservação permanente
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DR	Doenças Respiratórias
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GEE	Gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
Proálcool	Programa Nacional do Álcool
ROI	Registros de Ocorrência de Incêndios
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
SUS	Sistema Único de Saúde
UC	Unidades de conservação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivo Geral	14
1.1.1. Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Contexto histórico.....	15
2.2. Aspectos sociais	17
2.3. Aspectos ambientais.....	19
2.4. Legislação ambiental	23
3. METODOLOGIA	26
3.1. Descrição geral da pesquisa	26
3.2. Área de estudo	26
3.3. Coleta de dados	28
3.4. Tratamento de dados	29
3.5. Análise e interpretação de dados	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Área, produtividade e produção	32
4.2. Transição entre a colheita manual para a colheita mecanizada	35
4.3. Impactos produtivos da transição do sistema de colheita	39
4.4. Emissão de gases do efeito estufa relacionado à queima	43
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

A crescente conscientização ambiental mundial, vem tomando grande proporção e destaque no contexto contemporâneo, devido aos gestores governamentais e empresariais idealizarem a implementação de práticas cada vez mais sustentáveis. Segundo Gonçalves (2013), assuntos relacionados à responsabilidade socioambiental das organizações têm ganhado espaço em meio administrativo, sendo visto como a solução para adaptar-se as exigências atuais do mercado. Com isso, a gestão ambiental e a auditoria ambiental passam a integrar o planejamento empresarial, introduzindo práticas cada vez mais sustentáveis para garantir vantagens no mercado competitivo.

De acordo com Cordeiro (2008), a indústria sucroalcooleira apresenta aspectos influentes nas mais diversas áreas de uma sociedade, destacando a economia, o social e o meio ambiente, essa longa tradição vem desempenhando um papel fundamental na economia desde o período colonial.

Ao longo do tempo, essa atividade passou por diversas transformações tecnológicas e de manejo, particularmente no que diz respeito às práticas de colheita da cana-de-açúcar. A queima da palha, uma técnica amplamente utilizada para facilitar a colheita manual, tem sido objeto de críticas devido aos impactos socioambientais significativos, como a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e os efeitos adversos à saúde da população residente em áreas de cultivo (Ronquim, 2010).

A técnica de colheita que integra a utilização do fogo controlado na despalha da cana-de-açúcar é um método usual na maioria dos países produtores, a utilização desta prática é muitas vezes indispensável quando está relacionada à colheita manual, pois auxilia a produtividade do trabalhador, e evita acidentes de trabalho (Paes, 2007).

Durante a etapa de queima, ocorre impactos aos atributos físico-químicos e biológicos do solo, que a longo prazo tem poder de influência na produção da cultura, neste aspecto, a colheita mecanizada reintegra ao solo os resíduos que seriam queimados, enriquecendo-o (De Souza, 2005; Furlani Neto *et al.*, 1997; Macedo *et al.*, 2003).

Devido à problemática que envolve a emissão de gases de efeito estufa (GEE), relacionando-a ao aquecimento global e das mudanças climáticas,

cenário em que a indústria sucroalcooleira encontra-se inserida, que em 1997 ocorreu a 3ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, na cidade de Kyoto, no Japão, com intuito de reduzir as emissões de GEE. O marco desta conferência foi a adoção do protocolo de Kyoto, sendo este o primeiro tratado internacional a estabelecer metas para reduzir a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera.

O Acordo de Paris, adotado no ano de 2015, também apresenta o objetivo principal de adotar medidas de redução de emissão de gases do efeito estufa, tendo como meta assegurar que a elevação da temperatura do planeta não supere 2°C. Estas medidas realizadas com intuito de conter o avanço desenfreado do aquecimento global, influenciam nas atividades que apresentam participação direta na emissão de GEE, como a indústria sucroalcooleira.

O cultivo da cana-de-açúcar está presente no território brasileiro desde a sua colonização, apresentando concentração na região nordeste, essa indústria está diretamente relacionada com a estruturação e pelo desenvolvimento econômico do Brasil (Schwartz, 1988). Durante longo período de exploração a agroindústria canavieira trouxe impactos ambientais negativos, sendo considerada uma das atividades responsáveis por desequilíbrios ecológicos no ambiente agrícola, apesar disso, continua se desenvolvendo no cenário econômico brasileiro (Silva, 2011).

Segundo Zancul (1998), os impactos ambientais da indústria sucroalcooleira durante a queima, estendem-se ao cotidiano das pessoas que estão na zona de influência das usinas, sendo pelo aumento no número de casos relacionados a doenças respiratórias (DR), acidentes de trânsito causados devido a interferência da fumaça na visão dos motoristas, ou deposição da fuligem nas casas.

O tema apresenta relevância tanto a nível nacional quanto a nível regional, devido à alta influência nos setores, econômicos e sociais, como apresentado pelo presidente da Associação dos Plantadores de Cana da Paraíba (ASPLAN, 2024), Murilo Paraíso, afirmando que a agroindústria canavieira fomenta a economia do estado, pois o setor sucroenergético na Paraíba emprega cerca de 40 mil pessoas no campo e na indústria em períodos de safra.

A abordagem evidenciando o cenário no estado da Paraíba, permite a propagação do conhecimento relacionado aos aspectos socioambientais, econômicos e de desenvolvimento deste setor a nível estadual, considerando que grande parte dos estudos a respeito desta agroindústria aborda o tema em nível nacional, ou nos estados com maior influência neste ramo, com pouco destaque às condições dos estados do nordeste, em especial à Paraíba.

Desta forma, os cenários abordados neste estudo apresentam particularidades da produção local, comparando-as com outras regiões, podendo servir como base e fomentando a realização de novos estudos semelhantes.

1.1 Objetivo geral

Discutir à cerca da transição do método de colheita tradicional para o mecanizado, considerando os aspectos socioambientais e econômicos referentes ao período entre 2009/2010 a 2023/2024, no estado da Paraíba.

1.1.1 Objetivos específicos

- Discutir a respeito dos impactos socioambientais e econômicos relacionados aos métodos de colheita da indústria sucroalcooleira;
- Analisar os impactos da transição entre os métodos de colheita relacionados na produção da cana-de-açúcar na Paraíba, comparando o cenário nordestino e nacional
- Analisar as características da série histórica da transição entre os métodos de colheita na indústria sucroalcooleira na Paraíba, comparando com os estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte.
- Estimar o quantitativo de gases de efeito estufa emitidos durante a queima da palha da cana-de-açúcar pré-colheita, correlacionando com a expansão da colheita mecanizada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Contexto histórico

Segundo Schwartz (1988), registros apontam que no início do século XV houve a introdução da cana-de-açúcar no Brasil, neste período o Brasil Colônia apresentou-se como uma alternativa para os portugueses romperem o monopólio da produção de açúcar exercido pelo Oriente Médio, e se consolidarem no mercado sucroalcooleiro (Braibant, *et al.*, 2012). O sucesso no cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é associado as condições ambientais da região, como o clima tropical e as boas condições do solo, que eram adequadas para o cultivo da cana-de-açúcar (LE COUTEUR e BURRESON, 2006).

Porém, apenas entre 1530 e 1540 que a produção se solidificou no país, com o surgimento de engenhos no litoral brasileiro, que segundo Schwartz (1988, p. 36) eram “pequenos engenhos, em que a maioria era do tipo trapiche, movidos por cavalos ou bois e, alguns usavam força hidráulica, em geral os construídos pelos próprios donatários”.

A necessidade de mão de obra no cultivo da cana-de-açúcar, aponta que “a escravização dos índios e o uso de sua mão-de-obra no plantio e beneficiamento da cana revelaram-se etapa transitória no desenvolvimento da indústria açucareira, durante a qual se empregou uma força de trabalho relativamente barata e prontamente acessível até que a atividade se encontrasse totalmente capitalizada” Schwartz(1988, p. 40).

Como apresentado por Schwartz (1988), a comercialização de subprodutos da cana-de-açúcar no Brasil, apresenta influência econômica na sociedade desde o início da implantação desta cultura, ainda quando colônia, neste período houve indícios da presença do açúcar brasileiro em outros países. Porém, segundo Michel Junior (2010) o cultivo da cana no Brasil sofreu dois impactos negativos, inicialmente com um colapso no cultivo brasileiro devido a introdução da cultura no Caribe, e posteriormente, com o término do chamado “Ciclo do Açúcar”, decorrente do impacto da produção francesa de açúcar a partir da beterraba.

No início do século XX, durante outro momento de baixa na indústria sucroalcooleira, é apresentado na Bahia um documento sobre as Aplicações Industriais do Alcool, utilizando de referências europeias, e fomentando novamente a economia proveniente da cana-de-açúcar, devido ao desenvolvimento de combustível a partir desta matéria-prima, sendo visto como algo revolucionário, e enfatizando a área de energias renováveis (Michel Junior, 2010).

Apesar do período de decaimento com as negociações do mercado externo, a introdução do álcool como combustível, no início da década de 1920, fortaleceu este mercado, ampliando-o e oferecendo uma certa estabilidade (Michel Junior, 2010). Isto se concretizou em 1931 através do decreto nº 19.717, em que a partir do mês de julho daquele ano, a gasolina importada obrigatoriamente necessitaria da adição de álcool de procedência nacional, na proporção mínima de 5%.

Com intuito de auxiliar o setor açucareiro no enfrentamento dos recorrentes períodos de crise, o apoio governamental se deu através do decreto nº 22.789 de 01/06/1933, com a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool, que visava assegurar o equilíbrio do mercado, fomentando a produção, o transporte e o comércio de cana-de-açúcar e álcool, incrementando paralelamente a produção e o consumo do álcool-motor nacional.

A crise internacional do petróleo ocorrida na década de 1970, foi um marco histórico que envolveu a economia mundial, com o intuito de buscar fontes alternativas à dependência dos combustíveis fósseis, o etanol apresentou-se como substituto adequado para a gasolina, justamente pelo fato do Brasil possuir indústrias que produziam em larga escala, além do domínio no cultivo desta matéria-prima, somado ao fato tratar-se de uma fonte de energia renovável e menos poluente.

Como relatado pela agência Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), o Programa Nacional do Alcool (Proálcool) foi criado a partir do decreto nº 83.700/1979, contribuindo com a produção de bioenergia naquela época, a instituição ressalta a importância do empenho conjunto entre universidades e instituições de pesquisa, empresas e o governo no âmbito do programa, sendo este fator crucial para o surgimento e desenvolvimento do programa.

Durante a década de 1980, de acordo com Alves(2006), o complexo agroindustrial canavieiro, atingiu seu ápice até então, devido a segunda fase do Pró-álcool, que fomentava a produção de álcool hidratado e anidro, que produzidos em destilarias autônomas, estes combustíveis atendiam a demanda por álcool, decorrente da produção de automóveis nacionais abastecidos unicamente a este novo combustível. Este autor destaca a importância do Proálcool, classificando-o como o maior programa público mundial de produção de combustível alternativo aos derivados do petróleo.

De acordo com Paixão (1994 apud Michel Junior, 2010), o setor sucroenergético destaca-se nacionalmente por sua tradicionalidade e consolidação entre as indústrias não extrativas de manipulação e processamento de biomassa. Desde o período colonial, a cana-de-açúcar apresenta-se como uma cultura amplamente desenvolvida, além disso, o açúcar teve representativa importância econômica, sendo por muitos anos um produto brasileiro de exportação. Vale ressaltar, que entre os séculos XVI e XVIII, a atividade econômica de maior predominância desenvolvida no Brasil, era justamente a indústria sucroalcooleira.

2.2. Aspectos sociais

A indústria sucroalcooleira necessita de alta demanda de mão de obra, que historicamente apresenta-se com péssimas condições de trabalho, desta forma, Silva (2005) apresenta relatos que estas condições no agronegócio, seriam análogas à escravidão, enfatizando a indústria do açúcar e do álcool, comparando à vida útil de um cortador de cana com a de um escravo no período do Brasil Colonial.

Silva (2005) utilizou de denúncias do Ministério Público, assim como da imprensa, para solidificar o que apresenta sobre estas condições de trabalho, apontando também a alta exigência por produção, somado a falta de estabilidade devido a facilidade de ser substituído, e acrescenta a respeito do baixo salário considerando a insalubridade da profissão.

A respeito desta exigência por uma alta produtividade dos trabalhadores, na “década de 1950 a produtividade do trabalho era de 3 toneladas de cana cortadas por dia de trabalho; na década de 1980, a produtividade média passou para 6 toneladas de cana por dia/homem ocupado e, no final da década de 1990

e início da presente década, atingiu 12 toneladas de cana por dia” Alves e Col (2003 apud Alves, 2006). O autor retrata que o trabalho excessivo, é intrínseco aos trabalhadores devido a forma de pagamento se dá por produção, levando-os ao esgotamento físico, podendo ocasionar a morte dos mesmos, e o que solucionaria isto, seria justamente o fim do pagamento por produção, ou até mesmo a modificação completa do processo de produção, substituindo o trabalho manual por máquinas.

Apesar da substituição da mão de obra dos cortadores por máquinas apresentar benefícios ambientais incontestáveis, esta alternativa traz momentos de insegurança e de incerteza aos trabalhadores, devido a dependência daquela fonte de renda. Isto ocorre devido à baixa perspectiva de reinclusão destes trabalhadores no mercado de trabalho, visto o baixo nível de instrução destes para outras atividades.

“Apesar de não se conhecer bem o perfil dos trabalhadores envolvidos no setor sucroalcooleiro, no Brasil, estima-se que apenas nas atividades de corte da cana estejam envolvidos aproximadamente 335 mil trabalhadores” (Vilas Boas e Dias, 2009, p.26). Ou seja, o processo de transição até a substituição da mão de obra por máquinas, deve ocorrer de forma gradativa e com ações que capacitem estas pessoas a apresentarem condições de atuarem em outras áreas.

Com a utilização da queima da palha da cana-de-açúcar até os dias atuais, os impactos à saúde do trabalhador continuam sendo decorrentes não apenas do trabalho exaustivo, mas também da poluição atmosférica, que atinge diretamente a população que reside em regiões canavieiras.

Como apresentado por Borges *et al.*,(2020), a queima da cana-de-açúcar apresenta impactos socioambientais relacionados ao lançamento de material particulado, bem como a emissão de gases causa tóxicos que causam problemas ambientais e sociais sérios; concluindo que este método representa uma proporção inversamente proporcional entre produtividade e qualidade de vida.

Os gases tóxicos emitidos penetram no aparelho respiratório provocando reações alérgicas e inflamatórias, chegando a atingir a corrente sanguínea e diversos órgãos, isto gera impacto direto no Sistema Único de Saúde (SUS), devido ao aumento da demanda por atendimento e do

quantitativo de internações (Borges *et al.*, 2020). Ademais, Ribeiro (2008) acrescenta que crianças, idosos e asmáticos são os mais afetados por esta problemática.

De acordo com Ramos *et al.* (2018), que abordou a relação da queima da palha da cana-de-açúcar com a quantidade de internações relacionadas a quatro doenças respiratórias (DR), a recorrência de internações por DR no período da queima apresentaram aumentos significativos quando comparado ao período sem queima, principalmente nos quadros de pneumonia.

Domingues *et al.* (2023), que realizaram um estudo semelhante, analisando a população de crianças (< 5 anos) e de idosos (> 60 anos) no estado de Pernambuco, sugerindo uma possível associação de DR com a exposição crônica aos particulados emitidos pela queima de biomassa, comprometendo a saúde de grupos vulneráveis nos territórios do agronegócio em Pernambuco. Somado a isto, os autores apontam a necessidade de soluções alternativas às queimadas no processo de colheita da cana-de-açúcar, bem como a estruturação de políticas públicas de proteção à saúde humana e ambiental.

2.3. Aspectos ambientais

De acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 01/1986, define-se impacto ambiental como: “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente (...) resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afete: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições sanitárias e estéticas do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais”

Com isso, a indústria sucroalcooleira causa impactos ambientais desde sua implementação, que devido ao desmatamento visando implementar a monocultura da cana-de-açúcar, afeta a biodiversidade local; durante o desenvolvimento da cultura contamina o solo, águas superficiais e subterrâneas, através do adubação química, corretivos minerais, aplicação de herbicidas e defensivos agrícolas; compactam o solo, devido ao maquinário utilizado; nos períodos de queima geram poluição atmosférica, assim como danos à flora e a fauna (Andrade e Diniz, 2007, p.34).

A utilização de máquinas para realizar a colheita da cana-de-açúcar sem queima prévia, resulta no depósito da palhada sob o solo com aproximadamente 10 a 12 cm de espessura, com isso, a palhada que seria queimada e transformada em gases e cinzas, torna-se responsável por proteger contra intempéries, auxiliando na conservação. Além disso, durante o processo de decomposição, parte da palhada é incorporada ao solo, sendo um método de sequestro do carbono, apresentando potencial mitigador para emissões de gases, visto que o quantitativo que seria emitido retém-se na palha e no solo (LUCA *et al.*, 2008).

De acordo com Andrade e Diniz (2007), a vinhaça, resíduo gerado no processo de destilação do álcool, provoca eutrofização quando lançado nos corpos hídricos, ocasionando um desequilíbrio na diversidade local. Devido às características físico-químicas da vinhaça, passou a ser utilizada para fertirrigação da cultura, com isso a poluição passou a atingir também o solo, pois as usinas utilizavam tanques escavados para armazenamento deste resíduo por vários dias, e devido a presença de matéria orgânica exalava fortes odores, juntamente com a proliferação de vetores.

Porém o fato da reutilização eficiente da vinhaça como fertilizante, segundo Rosseto (2004) possibilita a redução do uso de adubos sintéticos consideravelmente, que tem alta relevância principalmente quando considera-se a utilização dos mesmos no setor agropecuário, como apresentado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1994), onde os produtos químicos utilizados estão entre as principais fontes de contaminação dos recursos hídricos, pois são carregados através da chuva ou irrigação; além disso, o reaproveitamento destes efluentes evita que sejam descartados irregularmente em corpos hídricos. Lyra *et al.*, (2003) complementam, apontando que a utilização de vinhaça na fertirrigação de canaviais minimiza o potencial poluidor deste resíduo.

Historicamente o manejo utilizado na colheita da cana-de-açúcar inclui a queima da palha neste processo, apesar de arcaico devido aos seus impactos, este método ainda é utilizado pelas indústrias sucroalcooleiras. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022), o Brasil efetua colheita de cana-de-açúcar em 9.870.590 Hectares (ha), ou seja, toda área que

não substituiu a queima por outras alternativas de colheita, utilizou deste método durante o processo.

No cenário nacional, de acordo com o que foi apresentado por Lima et al., (1999, apud Ronquim 2010) o levantamento realizado pelo autor apresentou que a cana-de-açúcar é responsável por aproximadamente de 98% das emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas. Durante a queima ocorrem grandes emissões de gases para a atmosfera, como dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), entre outros que intensificam o efeito estufa, constituindo um dos principais problemas ambientais atuais.

Como apresentado por Langowski (2007), os defensores das queimadas alegam que essa forte liberação de CO_2 durante a colheita da cana-de-açúcar, não apresenta contribuição significativa a médio prazo para a intensificação do efeito estufa, afirmando que essa emissão é capturada durante o desenvolvimento do canavial no ano seguinte. Porém, o fator tempo intervém nesta argumentação, visto que toda quantidade de CO_2 emitida quase que instantaneamente, em poucas horas, durante a queimada, necessita de aproximadamente de 12 a 18 meses para ser capturada, isto sem considerar que muitas vezes as áreas de plantio substituem uma área de vegetação natural que anteriormente realizava essa captura de CO_2 e foi desmatada para introdução desta cultura.

Na agricultura, o processo produtivo que utiliza do cultivo de uma única espécie, assim como na produção de cana-de-açúcar, denomina-se como monocultura, esta forma de plantio traz consequências e impactos ambientais. A monocultura ganhou força no Brasil devido ao modelo de produção local, que visa a produção em larga escala para atendimento principalmente do mercado exterior.

Esta prática sofre diversas críticas a respeito da sustentabilidade desse modelo, visto o uso em grande escala de fertilizantes, agrotóxicos e insumos de alto custo, além dos impactos ambientais gerados a partir da substituição da vegetação nativa pelo plantio de uma só cultura. Somado a isto, o plantio da cana-de-açúcar apresenta a especificidade da queima da palha que antecede a colheita, o que intensifica ainda mais estes impactos.

Os indivíduos que resistem a implantação desta monocultura, acabam sendo atingidos durante a queima da palha, de acordo com Ronquim (2010) os

canaviais geralmente são plantados em áreas próximas de outras culturas ou vegetações. Estas áreas muitas vezes se estendem até os limites de florestas, unidades de conservação (UC), áreas de proteção ambiental (APA), áreas de preservação permanente (APP) e áreas de plantio de outras culturas, com isto possibilita que estas áreas sejam impactadas pelos efeitos das queimadas.

Uma das práticas utilizadas nas queimadas dos canaviais dava-se a partir dos quatro lados da plantação e o fogo alastrava-se das extremidades para o centro, formando um cinturão de fogo que cercava os animais presentes nestas áreas, impossibilitando a tentativa de fuga. Com o passar dos anos, esta técnica passou a ser modificada para que seja iniciada em apenas dois dos lados do canavial, visando a redução dos impactos à fauna, porém, o fogo ainda tem destruído um número incalculável de espécimes da fauna nativa, desde insetos até mamíferos (Ronquim 2010).

Durante a queima, o fogo alastra-se com rapidez principalmente na presença de ventos fortes, dificultando e até mesmo impossibilitando a fuga de certos animais, ocasionando mortes e destruição de ninhos e filhotes seja pelo contato com o fogo ou por asfixia causada pela fumaça. Apesar dos impactos na biodiversidade, há presença de animais de diferentes portes no canavial, devido a cadeia trófica existente, após a queima, insetos, pequenos roedores, pássaros e outros animais de pequeno porte, são completamente incinerados e sequer deixam vestígios notáveis.

Como apresentado por Vian e Gonçalves (2007), apesar da ausência de dados estatísticos sobre o número de animais silvestres mortos, e que a polícia ambiental estima que a prática das queimadas mate anualmente centenas de aves e pequenos roedores; A partir da quantificação quanto a mortandade de animais durante a queima dos canaviais em locais específicos, evidenciou-se três grupos de vertebrados: aves, mamíferos e répteis, que apontou as aves liderando a lista (Hannibal; Vidica, 2019).

Barbosa e Leal (2021) abordam a ocorrência de incêndios na Reserva Biológica (REBIO) Guaribas, uma unidade de conservação de proteção integral, gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que se localiza em uma área de forte cultivo de cana-de-açúcar no estado da Paraíba, dividindo-se entre os municípios de Mamanguape e Rio Tinto. Este estudo une informações presentes nos Registros de Ocorrência de Incêndios

(ROI) entre os anos de 2007 a 2018 e apresenta o quantitativo de ocorrências, identificando a distribuição geográfica dos incêndios, o tipo de vegetação atingida, as causas do fogo, e sugere propostas para prevenir e combater esses eventos.

Durante o período de tempo analisado, aproximadamente 102 ha de área queimada encontram-se na parte interna da UC, além da intensa ocorrência destas queimadas na zona de amortecimento; vale ressaltar que entre as causas comuns conhecidas dos incêndios, a queima da cana-de-açúcar lidera os registros (Barbosa e Leal, 2021).

Diante do exposto, ressalta-se a importância de que a colheita da cana-de-açúcar ser realizada sem a utilização do fogo, medida que já vem sendo tomada por determinações legislativas em alguns estados.

2.4. Legislação ambiental

De acordo com a Resolução nº 237 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, de 19 de dezembro de 1997:

Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

O licenciamento ambiental tem como objetivo fornecer o ato administrativo chamado Licença Ambiental, sendo estabelecido através do órgão competente condições, restrições e medidas de controle que deverão ser obedecidas pelo realizador da atividade para impedir ou reduzir eventuais danos causados ao meio ambiente. É considerado um dos principais instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e está diretamente relacionado ao artigo 225, §1º, V da Constituição Federal.

O Estado de São Paulo apresentou através da Lei 997/1976, um pioneirismo na legislação ambiental, instituindo este sistema de prevenção e controle da poluição do meio ambiente, regulamentando a instalação, construção ou ampliação, bem como a operação ou o funcionamento das fontes

de poluição, através das licenças ambientais. Esta metodologia alcançou efetivamente as usinas sucroalcooleiras, induzindo-as a funcionar de forma regular, porém, segundo Andrade e Diniz (2007) a validade das licenças emitidas, prolongou-se até a aprovação do Decreto 47.397/2002, que passou a exigir sua renovação.

Durante a década de 1980, o estabelecimento da Política Nacional de Meio Ambiente, inicia de forma concreta os ideais do desenvolvimento sustentável, instituindo como alguns de seus instrumentos, o zoneamento ambiental, a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) e o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental. Ainda neste período, através da resolução CONAMA nº 01, tem-se a definição de impacto ambiental sendo

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais” (CONAMA nº 01/86, art.1)

Estabelecendo que as atividades potencialmente poluidoras, entre elas as indústrias sucroalcooleiras, necessitam elaborar e apresentar EIA-RIMA durante o licenciamento ambiental, sendo submetidos à aprovação do órgão estadual competente.

As questões legislativas que envolvem a queima da palha da cana-de-açúcar tiveram início através de fundamentações baseada no código florestal (Lei Federal nº 4.771/1965), que com base no artigo 27 proibia o uso do fogo nas florestas e demais formas de vegetação. Assim como o Decreto estadual nº 28.848/1988, que proíbe o emprego de fogo para fins de limpeza e preparo do solo no Estado de São Paulo, enfatizando o preparo do plantio e para a colheita da cana-de-açúcar, assim como, dispôs que os infratores incidirão nas penalidades previstas vistas na Lei das Contravenções Penais, no Código Penal e na Legislação pertinente, como dispõe o Código Florestal.

Apesar de ser reconhecido que a queima da palha pré-colheita seja danosa ao meio ambiente, o Decreto nº 42.056/1997 identifica que a despalha pré-colheita da cana-de-açúcar através de sua queima é prática tradicional

dessa cultura, apontando a mecanização da colheita como a tecnologia que será adotada para eliminar a despalha por queima sem comprometer a competitividade internacional do setor. Além disso, este decreto enfatiza o quantitativo de mão de obra dependente deste serviço, e aponta que esta transição deve ser gradativa, reduzindo os problemas sociais agregados.

A elaboração do Decreto 42.056/1997 traz em seu escopo que as áreas de colheita mecanizável são aquelas que os canaviais estejam instalados em terras com declividade menor que 12%, e com o método apresentado, estas áreas eliminariam completamente a utilização do fogo em 8 anos, já as áreas não mecanizáveis, necessitariam de 12 anos para finalizar esta prática. Estas decisões movimentaram as partes envolvidas, as empresas alegavam falta de condições econômicas e técnicas para se adequarem a esses prazos em tempo hábil, enquanto os trabalhadores e os sindicatos, de outro lado, argumentavam que a mecanização da colheita de cana provocaria o aumento do desemprego no campo e a falta de perspectivas para a reinserção dos trabalhadores no mercado de trabalho (Ronquim, 2010).

A partir de 2002, a Lei nº 11.241/2002 e o Decreto 47.700/2003, apontam um novo marco histórico, que busca a eliminação completa da queima da palha da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, através desta lei a redução gradativa resultará na eliminação completa desta prática tanto para áreas mecanizáveis, quanto para as demais áreas, apenas diferenciando o prazo para cada uma delas, prevendo a substituição completa da queima para o ano de 2031.

Atualmente, no estado da Paraíba, o licenciamento ambiental necessário para obtenção da autorização para uso do fogo controlado é realizada através da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), sendo analisada com base no Código Florestal, Política Nacional do Meio Ambiente e na Deliberação COPAM 3679/2015. Além disso, através da Norma Administrativa NA - 101, esta atividade é caracterizada como de grande potencial poluidor/degradador, independente da área do empreendimento.

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição geral da pesquisa

De acordo com Minayo *et al.*, (2003), os dados presentes em uma pesquisa podem ser classificados como de natureza quantitativa ou qualitativa. Desta forma, o presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa, descritiva e comparativa, que aborda séries de dados históricos relacionados à produção e mecanização da colheita na indústria sucroalcooleira, bem como os impactos produtivos, sociais e ambientais relacionados. Nesse sentido, a pesquisa quantitativa opera no nível real e tem como objetivo abordar dados, indicadores e tendências atingíveis (Serapioni, 2000).

Para isto, foram utilizados dados secundários fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), referentes à produção da indústria sucroalcooleira e seus respectivos impactos produtivos, ambientais e socioeconômicos. A obtenção desses dados se deu através do site oficial da empresa, através de relatórios, boletins e planilhas, filtrando o período entre as safras de 2009/2010 a 2023/2024 que representa as últimas 15 safras.

A pesquisa quantitativa foi escolhida devido à necessidade de mensurar os impactos da queima da cana-de-açúcar, utilizando dados numéricos e métricas objetivas. A abordagem descritiva visa caracterizar as práticas de colheita da cana, enquanto a análise comparativa tem o intuito de estabelecer diferenças entre os métodos de colheita manual (com queima) e a colheita mecanizada, tanto do ponto de vista socioambiental quanto econômico.

3.2. Área de estudo

O presente estudo foi realizado considerando as áreas de cultivo de cana-de-açúcar localizadas em sua maioria na Zona da Mata do estado da Paraíba, sendo caracterizada por apresentar um clima tropical úmido, com alta pluviosidade durante o outono e inverno, apresentando temperaturas médias elevadas durante todo o ano, sendo essas condições climáticas favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, que desempenha um papel importante na matriz agrícola da Paraíba. Além disso, os estados Pernambuco e Rio Grande do Norte,

também foram considerados neste estudo, com intuito comparativo de regiões vizinhas; assim como o panorama da região nordeste, em que estão inseridos, e o cenário nacional.

Durante a seleção da área levou-se em consideração a predominância do cultivo de cana-de-açúcar e a transição do método tradicional de colheita com queima para a colheita mecanizada, permitindo uma análise comparativa das emissões de gases poluentes ao longo das safras entre 2009/2010 a 2023/2024.

Para estimar o quantitativo de CH_4 e N_2O emitidos, foram utilizados os parâmetros apresentados na metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) recomendada pela EEA (1997) e USEPA (2006), agregada às diretrizes do IPCC (2006), com isso, foi possível relacionar os dados quantitativos fornecidos pela CONAB e estimar a emissão dos principais poluentes relacionados à queima de cana-de-açúcar, possibilitando analisar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no contexto da colheita de cana-de-açúcar.

Com isso, os fatores de emissão para queima de resíduos agrícolas recomendados pelo IPCC (2006) foram de 2,7 g CH_4/kg e 0,07 g $\text{N}_2\text{O}/\text{kg}$, referindo-se à massa seca (ponteiros e folhas).

Com intuito de transformar os resultados obtidos em relação aos gases CH_4 e N_2O em CO_2 equivalente ($\text{CO}_2 \text{ eq}$), a relação que indicada pelo IPCC (2007) indica que a emissão de 1 kg de CH_4 equivale à emissão de 23 kg de $\text{CO}_2 \text{ eq}$; e a emissão de 1 kg de N_2O equivale à emissão de 296 kg de $\text{CO}_2 \text{ eq}$, ou seja, 82,82 g $\text{CO}_2 \text{ eq}/\text{kg}$ de massa seca queimada.

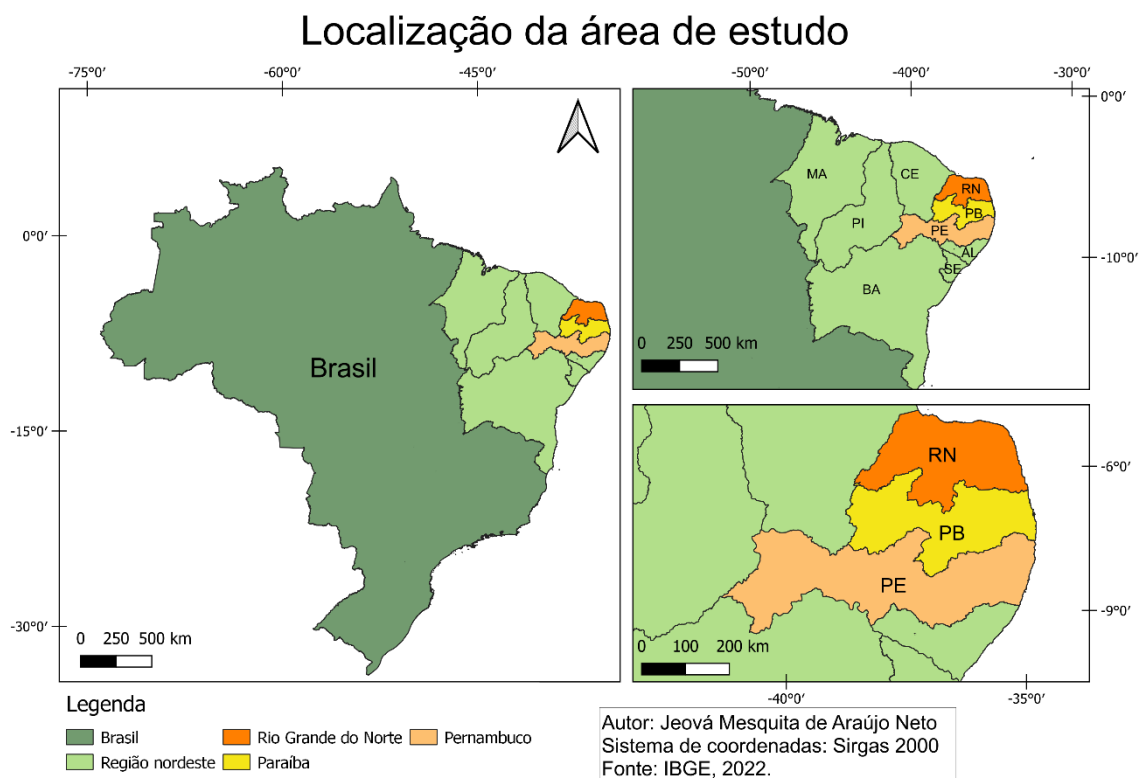
As emissões diretas de CO_2 na queima da cana-de-açúcar não são levadas em consideração, uma vez que o carbono liberado será assimilado durante o próximo cultivo.

Segundo Seabra (2008), uma tonelada de cana contém 140 kg de massa seca (ponteiros e folhas), dessa forma, foi possível calcular o quantitativo desse resíduo por colheita.

A área estudada, apresentada na Figura 1, reflete a dinâmica de expansão da colheita mecanizada, induzida por questões ambientais e pela necessidade

de adequação a um modo de produção cada vez menos impactante, visando a restrição do uso do fogo no manejo agrícola.

Figura 1: Área de estudo.



Fonte: autoria própria, 2024.

3.3. Coleta de dados

Para a realização deste estudo, foram utilizados dados secundários provenientes de fontes oficiais, especificamente relatórios e bancos de dados disponibilizados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

A escolha por essa fonte deve-se à sua credibilidade e abrangência no fornecimento de informações detalhadas sobre a produção e colheita de cana-de-açúcar no Brasil, bem como pela regularidade de suas atualizações, permitindo um acompanhamento histórico preciso.

Os dados utilizados incluíram informações periódicas por estado, região e dados nacionais sobre área colhida, produtividade, produção total, percentual de colheita manual e mecanizada, número de colheitadeiras e boletins descritivos de acompanhamento de cada safra da cana-de-açúcar. Esses elementos são essenciais para a análise da transição do método de colheita com

queima para o método mecanizado, possibilitando identificar as tendências e os impactos dessa mudança na emissão de poluentes.

A coleta dos dados foi realizada por meio de consulta a publicações oficiais da CONAB, incluindo relatórios estatísticos e planilhas de dados disponíveis em seu portal eletrônico e em publicações anuais sobre a produção agropecuária. Adicionalmente, foram consultados boletins específicos, que são lançados em um quantitativo de 4 levantamentos por safra que monitoram a evolução das práticas de colheita ao longo do período. Esse processo de levantamento abrangeu as últimas 15 safras, compreendendo o período de 2009/2010 a 2023/2024, com o objetivo de garantir uma série histórica considerável e representativa das transformações no setor sucroenergético.

Os critérios para seleção dos dados foram baseados na disponibilidade de informações sobre os métodos de colheita e na abrangência temporal, buscando contemplar aspectos como a substituição gradual da colheita manual pela mecanizada e os efeitos dessa substituição na redução das emissões atmosféricas. A análise contemplou tanto dados numéricos quanto descrições qualitativas das práticas de colheita, oferecendo uma visão completa da evolução do setor.

O mapa apresentado utilizou de dados coletados a partir da plataforma oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE, 2022), referentes aos limites municipais, em formato shapefile; com intuito de integrar os dados e elaborar o mapa, utilizou-se o software QGIS versão 3.28.6, aplicativo com finalidade de geoprocessamento, que apresenta acesso livre.

3.4. Tratamento de dados

Após a coleta, os dados foram organizados e estruturados em planilhas eletrônicas no software Microsoft Excel, a fim de facilitar o processo de tratamento e análise. Essa etapa inicial de organização permitiu consolidar as informações provenientes dos relatórios da CONAB em um formato coerente e

adequado para o desenvolvimento de tabelas comparativas e gráficos ilustrativos.

Durante esta etapa, a organização dos dados seguiu uma estrutura lógica e temporal, garantindo que todas as safras fossem analisadas de maneira contínua e comparativa.

O agrupamento dos dados foi realizado com intuito de analisá-los sob diferentes perspectivas, resultando na elaboração de tabelas e gráficos que ilustram as seguintes relações:

- Relação entre área, produtividade e produção da colheita de cana-de-açúcar na Paraíba, em que foram gerados gráficos combinados de linha e coluna para avaliar a evolução da área colhida, produtividade média (quilogramas por hectare) e produção total (milhões de toneladas) ao longo das safras. Com esta análise foi possível identificar variações na produção e no uso de terras conforme a adoção da colheita mecanizada se intensificou.
- Relação entre a série histórica de transição da colheita manual para a colheita mecanizada e o número de colheitadeiras utilizadas, em que a transição do método de colheita foi analisada utilizando tabelas e gráficos de linha, mostrando a porcentagem de área colhida manualmente versus mecanicamente em cada safra. Além disso, foi investigada a relação entre essa transição e o número de colheitadeiras empregadas, indicando como a adoção de maquinário especializado acompanhou a redução das práticas tradicionais.
- Comportamento da produção relacionada à colheita mecanizada, no qual a produção foi comparada com o percentual de colheita mecanizada em cada safra, por meio de gráficos de linha referentes a produção na Paraíba e posteriormente na região nordeste e em cenário nacional. Essa abordagem auxiliou a verificar se o aumento da colheita mecanizada teve impacto positivo ou negativo na produtividade e na produção total de cana-de-açúcar e possibilitou comparar com o comportamento de regiões mais abrangentes.

- Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) associadas à queima da palha, nesta relação foram calculadas estimativas das emissões totais de CH₄, N₂O e CO₂ eq em quilogramas para cada safra, possibilitando a comparação dos resultados anteriores com as reduções observadas conforme a colheita mecanizada se expandiu. Esses dados foram plotados em gráficos de linha e barras para ilustrar a evolução das emissões ao longo do tempo e destacar a contribuição do manejo mecanizado para a mitigação dos impactos ambientais.

Desta forma, foram exploradas correlações entre a expansão da colheita mecanizada e as emissões de GEE, além de associações com produtividade e eficiência operacional.

3.5. Análise e interpretação dos dados

A análise de dados em uma pesquisa científica busca organizar e sintetizar as informações coletadas, de forma a fornecer respostas ao problema investigado. A interpretação dos resultados, por sua vez, visa conferir um significado mais amplo a essas respostas, relacionando-as com outros conhecimentos previamente obtidos e contextualizando os achados dentro do escopo do estudo, de acordo com Gil (2012, p. 156), essa relação está diretamente relacionada durante a pesquisa.

A análise de dados considerou apenas as emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), pois, segundo o IPCC (2006), esses são os principais gases de efeito estufa de origem antropogênica relacionados à agricultura. Ao focar nas emissões desses gases, foi possível obter um panorama mais preciso sobre os impactos ambientais atmosféricos associados às práticas de colheita e manejo agrícola da cana-de-açúcar.

Em síntese, a análise e interpretação dos dados contribuíram para a construção de um panorama claro e fundamentado dos impactos ambientais da colheita de cana-de-açúcar, evidenciando como a mecanização pode ser utilizada como um instrumento eficaz na mitigação de emissões de GEE e no aprimoramento da sustentabilidade do setor agrícola.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa foram obtidos por meio da análise dos dados fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o que permitiu a comparação de uma série histórica abrangendo as últimas 15 safras da indústria sucroalcooleira, com ênfase no estado da Paraíba. A pesquisa levou em consideração os impactos socioambientais e econômicos relacionados a produção de cana-de-açúcar no estado da Paraíba.

4.1. Área, produtividade e produção

A partir desta relação foi possível analisar o avanço do setor sucroalcooleiro na paraíba, como apresentado na Tabela 1:

Tabela 1: Área, produtividade e produção de cada safra na Paraíba.

Safra	Área (mil ha)	Produtividade (Kg /ha)	Produção (mil t)
2009/10	115,5	54.700,0	6.320,0
2010/11	111,8	46.926,0	5.246,3
2011/12	122,6	54.842,0	6.723,1
2012/13	122,0	43.900,0	5.354,9
2013/14	122,4	43.180,0	5.283,1
2014/15	130,6	48.292,0	6.307,9
2015/16	124,8	44.327,0	5.532,5
2016/17	110,3	44.014,0	4.856,1
2017/18	119,6	48.742,0	5.829,5
2018/19	122,1	45.771,0	5.589,1
2019/20	122,8	54.837,0	6.736,2
2020/21	118,3	52.769,0	6.242,1
2021/22	117,2	51.875,0	6.081,3
2022/23	123,0	61.546,3	7.569,9
2023/24	125,6	60.538,9	7.605,7

Fonte: Adaptado de CONAB.

A área cultivada varia ao longo dos anos, apresentando oscilações que podem indicar possíveis mudanças nas políticas agrícolas, condições climáticas ou questões econômicas. O menor valor registrado foi durante a safra 2016/2017,

apresentando apenas 110,3 mil hectares, enquanto o valor máximo ocorreu na safra 2014/2015, em torno de 130,6 mil hectares.

A partir da análise dos boletins de safra da CONAB, é possível constatar que os últimos anos apresentaram uma tendência de expansão e novo crescimento da área cultivada, atingindo 125,6 mil hectares na última safra, o que pode ser indicativo de um esforço para aumentar a produção devido a uma demanda crescente ou de um maior incentivo para o cultivo de safras. Essa ascensão também foi observada por Aguiar(2009), que discutiu a respeito do crescimento da área de produção entre as safras 2003/2004 e 2008/2009, obtendo resultados corroboram com os obtidos nesse trabalho, e indicam que esse cenário vem ocorrendo desde um período anterior ao analisado.

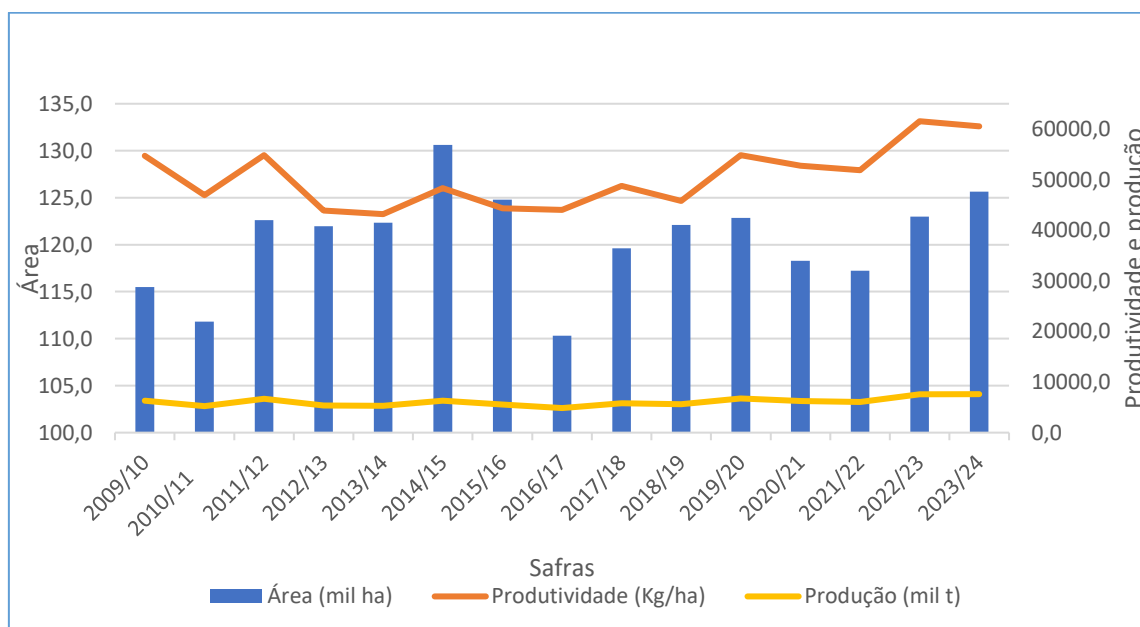
Durante o período analisado, a produtividade apresentou variações consideráveis, no início da série histórica durante a safra 2009/2010, a produtividade foi de 54.700 kg/ha, diminuindo significativamente em algumas safras, como em 2013/2014, quando atingiu o ponto mais baixo, 43.180 kg/ha. Observa-se uma recuperação significativa nos últimos anos, especialmente na safra 2022/2023, destacando-se com o maior valor da série, com a produtividade atingindo 61.546 kg/ha. Essa recuperação pode ser atribuída à melhoria nas práticas de manejo, adoção de técnicas mais eficientes, ou até mesmo condições climáticas favoráveis durante o período, assim como apresentado por Tittoto (2020), que discute sobre os aspectos que influenciam na produtividade, enfatizando o avanço tecnológico.

A produção total acompanhou as oscilações da área cultivada e da produtividade, com isso, a menor produção também foi registrada na safra 2013/2014, com 5.283,1 mil toneladas, o que está diretamente relacionado à baixa produtividade daquele ano. Por outro lado, a produção mais alta ocorreu na safra mais recente, com 7.605,7 mil toneladas produzidas, resultado da combinação de uma maior área cultivada e do aumento na produtividade.

Vale destacar as safras dos anos 2017/18 e 2018/19, em que a área foi reduzida, mas a produtividade se manteve em bons níveis, ressaltando a importância de um manejo eficiente para garantir bons resultados, mesmo com menos terras disponíveis.

É apresentado no Gráfico 1 a relação entre a área cultivada, a produtividade e a produção, observa-se que enquanto a área cultivada teve baixa oscilação, pois devido ser uma cultura consolidada a muitos anos, se manteve relativamente estável, a produtividade teve modificações mais acentuadas, impactando diretamente na produção, isso retrata o avanço na eficiência dos métodos utilizados.

Gráfico 1: relação entre área, produtividade e produção no estado da Paraíba.



Fonte: Adaptado de CONAB.

O amplo crescimento da produtividade a partir da safra 2020/2021 reflete um avanço nas práticas de cultivo, podendo estar relacionado a adoção de tecnologias, o avanço da mecanização ou melhores condições climáticas. Somado a isso, o aumento recente da área cultivada, aliado ao crescimento da produtividade, contribuiu para o recorde de produção em 2023/2024. Assim como apresentados nos boletins de safra da CONAB, essa relação envolvendo o avanço tecnológico e produtividade é abordada por Tittoto(2020), indicando a influencia da tecnologia nas safras de cana-de-açúcar e consequentemente o aumento de áreas com essas técnicas sugerem um aumento da produção.

A partir da análise da série histórica dos dados de área, produtividade e produção é possível assimilar que, para aumentar a produção de cana-de-

açúcar, não basta apenas expandir a área cultivada, mas também investir em técnicas de cultivo que aumentem a produtividade por hectare. Além disso, a variação dos indicadores observada ao longo dos anos sugere que fatores como clima, políticas agrícolas e inovação tecnológica desempenham papéis importantes na determinação dos resultados obtidos.

Os anos de baixa produtividade necessitam ser analisados em mais detalhes para identificar possíveis causas, que podem estar relacionadas com as secas, pragas, ou dificuldades relacionadas ao manejo, e, a partir disso, encontrar formas de mitigá-los, já os anos com alta produtividade, podem ser utilizados como referência para replicar as práticas bem-sucedidas.

A partir do entendimento de como se comporta a produção no estado da Paraíba, é possível compreender a importância da necessidade de adoção de práticas agrícolas sustentáveis e eficientes, com o intuito garantir o aumento da produção de forma constante e minimizar os impactos ambientais. Além disso, o crescimento da produtividade observado nos últimos anos pode indicar uma transição para métodos mais eficientes, como a mecanização da colheita, em substituição à queima da cana.

Desta forma, é perceptível que apesar de ser uma cultura consolidada no nosso estado a centenas de anos, há variações expressivas nesta série histórica, podendo destacar que apesar da oscilação entre as safras, os aspectos de produtividade e produção da cana-de-açúcar segue em crescimento, além de que é possível observar uma melhora considerável na eficiência do processo, devido ao aumento da produção estar em conjunto com a redução da área.

4.2. Transição da colheita manual para a colheita mecanizada

A partir da série histórica de dados que retrata o perfil da colheita em cada safra, foi possível analisar como vem ocorrendo a transição entre os métodos de colheita no estado da Paraíba e comparar com outros estados que se destacam na produção da cana-de-açúcar, esses dados que possibilitam analisar o panorama desta transição no estado da Paraíba são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Transição entre a colheita manual e a colheita mecanizada no estado da Paraíba.

UF	Safra	Colheita Manual (%)	Colheita Mecanizada (%)	Nº de colheitadeiras
PB	2009/10	100,0	0,0	0
	2010/11	92,4	7,6	5
	2011/12	88,6	11,4	9
	2012/13	87,8	12,2	11
	2013/14	88,0	12,0	10
	2014/15	88,3	11,7	12
	2015/16	79,7	20,3	14
	2016/17	70,4	29,7	17
	2017/18	75,9	24,1	18
	2018/19	75,3	24,7	18
	2019/20	76,6	23,4	18
	2020/21	74,4	25,6	19
	2021/22	75,9	24,1	22
	2022/23	91,7	8,3	25
	2023/24	65,2	34,8	29

Fonte: Adaptado de CONAB.

No início da série histórica, durante a safra 2009/2010, a colheita era 100% manual, indicando que não havia mecanização para a colheita de cana-de-açúcar no estado, com o passar dos anos, observa-se uma transição gradual para a colheita mecanizada, que começa a ser incorporada na safra seguinte, quando 7,6% da colheita passou a ser realizada de forma mecanizada.

Ao longo dos anos seguintes, a participação da colheita mecanizada continuou a aumentar, atingindo 34,8% na última safra, esse avanço demonstra uma tendência de modernização e mecanização do setor sucroenergético na Paraíba. Porém, embora a colheita manual ainda seja predominante, há uma nítida tentativa de aumentar a eficiência e reduzir os impactos negativos da queima da cana, substituindo o trabalho manual pela mecanização, assim como apresentado por Silva e Garcia (2009), que baseado no crescimento da área colhida por máquinas e a produtividade de colheita, pontua o interesse econômico das indústrias na adaptação tecnológica.

Em alguns períodos, a participação da colheita mecanizada diminuiu consideravelmente, como durante a safra 2022/2023 atingindo 8,3%, este fato necessita de uma análise criteriosa que busque compreender o que afetou colheita, isso pode estar relacionado a fatores como a indisponibilidade de colhedoras, desafios financeiros, condições de terreno que dificultam a mecanização, ou até mesmo problemas técnicos.

A disponibilidade de colhedoras é um fator crucial para o avanço da mecanização, e a evolução desse número demonstra um investimento constante em infraestrutura, nota-se que durante a colheita da safra 2021/2022, foram utilizadas 22 colhedoras, com grandes investimentos, este número aumentou para 29 em 2023/2024, indicando um esforço contínuo de modernização.

A transição da colheita manual para a mecanizada na Paraíba apresenta desafios significativos, especialmente considerando o ritmo relativamente lento da adoção da mecanização. Embora seja perceptível os avanços nesse quesito, a colheita manual ainda é predominante, com 65,2% na última safra, isso sugere que existem barreiras para a mecanização plena, como condições topográficas desfavoráveis, custo elevado das máquinas, ou uma dependência ainda forte da mão de obra manual.

O aumento da mecanização está associado a vários benefícios, como a redução da queima da cana, que contribui para a emissão de gases de efeito estufa, que impacta diretamente na saúde da população local. A mecanização também tende a aumentar a eficiência da colheita, reduzir custos de mão de obra e melhorar a produtividade agrícola, porém, quando esta transição é feita sem o planejamento necessário, impacta negativamente o produtor e os trabalhadores, assim como apresentado por De abreu *et al.* (2009), que descreveu os impactos da mecanização sob o desemprego e a saúde dos trabalhadores, corroborando com os resultados obtidos.

A transição da colheita manual para a mecanizada na Paraíba é um processo gradual, marcado por desafios e avanços, pois embora a colheita mecanizada tenha crescido significativamente desde 2009/2010, a colheita manual ainda domina a produção de cana-de-açúcar no estado. Ressalta-se que aumento do número de colhedoras reflete um esforço contínuo para modernizar o setor, embora alguns fatores estejam atrasando a mecanização plena.

Para desenvolver ainda mais essa transição, é necessário o apoio governamental por meio da implementação de políticas públicas de incentivo à mecanização e investimentos em infraestrutura e capacitação técnica, com isso, é possível não só aumentar a produtividade e eficiência do setor, como também

reduzir os impactos negativos da queima da cana sobre o meio ambiente e a saúde pública.

A partir destes dados é possível compreender como vem ocorrendo essa transição desde o período de total colheita manual, e percebe-se que apesar do crescimento deste método no estado, essa prática ainda representa uma pequena fração do total, podendo relacionar este fato aos aspectos econômicos da região, assim como ao relevo nas áreas de plantio.

Com intuito de verificar se este comportamento transitório seria um padrão do estado da Paraíba, é apresentado na Tabela 3 como ocorreu essa transição nos estados vizinhos, Pernambuco e Rio Grande do Norte, assim como o panorama do Nordeste.

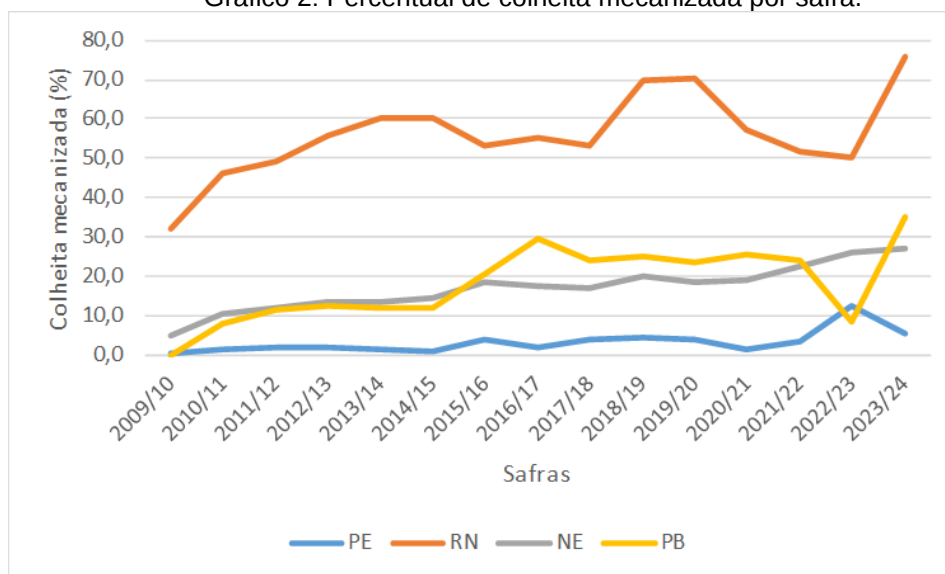
Tabela 3: Transição entre a colheita manual e a colheita mecanizada em Pernambuco, Rio Grande do Norte e no Nordeste.

UF/Região	Parâmetro	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24
PE	Colheita Manual (%)	99,7	98,6	98,4	98,3	98,9	99,3	96,0	98,1	96,3	95,7	96,1	98,8	96,5	87,9	94,5
	Colheita Mecanizada (%)	0,3	1,4	1,6	1,7	1,1	0,7	4,0	1,9	3,7	4,3	3,9	1,2	3,5	12,1	5,5
	Nº de colheitadeiras	3	2	3	3	3	6	11	4	13	9	5	4	5	9	26
RN	Colheita Manual (%)	67,9	54,0	50,9	44,5	39,6	40,0	46,6	44,8	47,1	30,3	29,8	42,9	48,5	49,8	24,4
	Colheita Mecanizada (%)	32,1	46,1	49,1	55,5	60,4	60,1	53,4	55,3	52,9	69,7	70,2	57,1	51,5	50,2	75,6
	Nº de colheitadeiras	15	18	28	27	27	25	25	24	26	25	25	27	27	33	25
NE	Colheita Manual (%)	95,2	89,9	88,3	86,4	86,5	85,6	81,4	82,5	83,3	80,2	81,5	80,9	77,7	74,0	73,0
	Colheita Mecanizada (%)	4,8	10,1	11,7	13,6	13,5	14,4	18,6	17,5	16,7	19,8	18,5	19,1	22,3	26,0	27,0
	Nº de colheitadeiras	44	66	104	115	119	131	148	145	146	143	142	150	139	168	228

Fonte: Adaptado de CONAB.

Já no Gráfico 2, é apresentado o comportamento da porcentagem de colheita mecanizada durante as safras na região Nordeste, e nos estados da Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

Gráfico 2: Percentual de colheita mecanizada por safra.



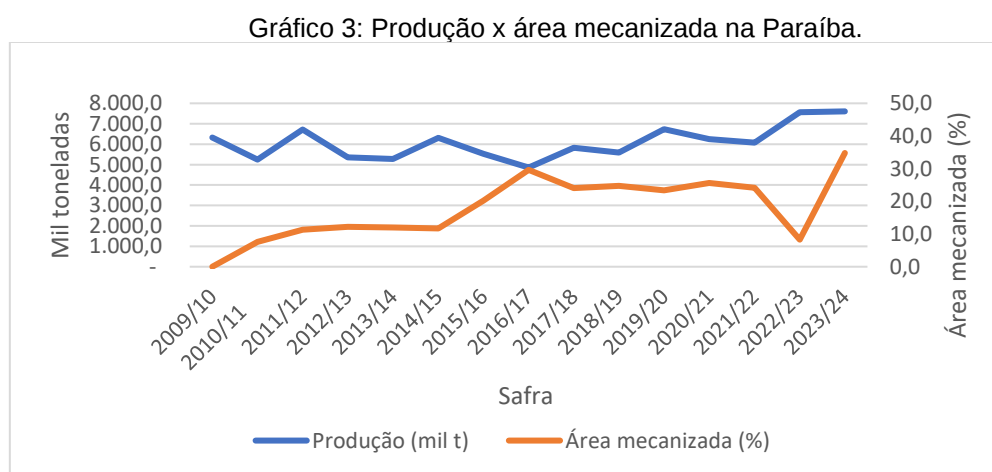
Fonte: Adaptado de CONAB.

A transição da colheita manual para a mecanizada é evidente na série histórica referente ao cenário do Nordeste, com cada estado apresentando diferentes taxas de adoção, com o cenário de progresso da Paraíba sendo comparável à média regional, embora o Rio Grande do Norte tenha se destacado na implantação da mecanização. Os fatores que podem influenciar essas diferenças observadas entre os estados estão relacionados à economia, avanço e adaptação tecnológica, tratos culturais específicos da cana-de-açúcar, topografia e relevo das áreas de plantio.

Desta forma é possível compreender que a Paraíba se desenvolveu de forma semelhante ao padrão dos estados nordestinos, porém o Rio Grande do Norte se sobressai neste quesito.

4.3. Impactos produtivos da transição do sistema de colheita

Com a possibilidade de relacionar dados de produção e área mecanizada, faz-se possível avaliar os impactos econômicos produtivos da transição do sistema de colheita manual com utilização do fogo e o sistema de colheita mecanizado, essa relação no estado da Paraíba é apresentada no Gráfico 3.



Fonte: Adaptado de CONAB.

No cenário paraibano, a expansão desta prática ocorre consideravelmente de forma lenta, o que pode estar relacionado às características topográficas, ao tamanho das plantações e a questões

orçamentárias que podem limitar o uso de máquinas. Silva e Garcia (2009) retratam que características como a topografia das áreas de plantio, o custo para aquisição de máquinas e disponibilidade de mão de obra são fatores influentes na transição entre os métodos de colheita, desta forma relacionando-se ao cenário da Paraíba.

Porém, o recente aumento da mecanização na Paraíba, pode sinalizar um momento de transição e de implantação desse método, podendo apresentar impactos positivos na produção e produtividade nos próximos anos, à medida que a mecanização se consolida, necessitando de análise das futuras safras.

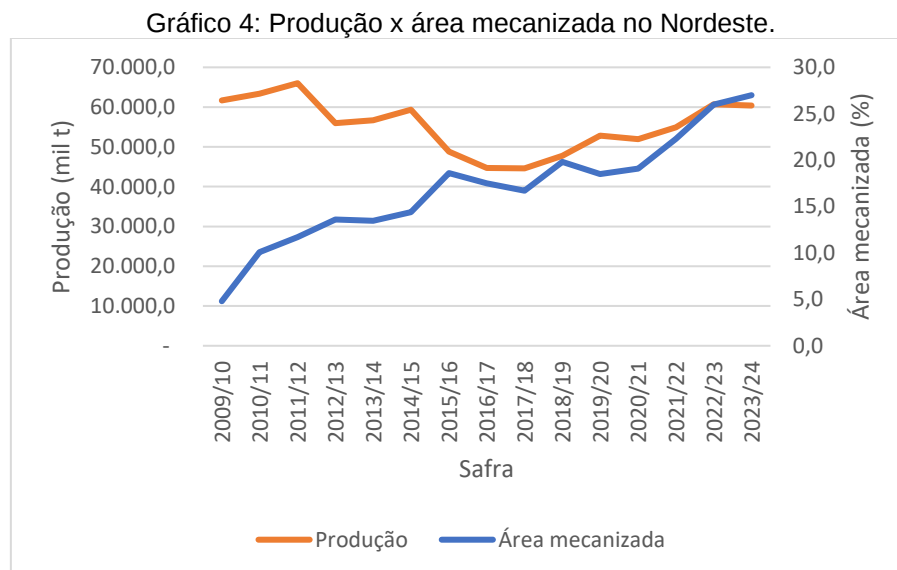
Como apresentado no Gráfico 3, observamos uma relação negativa no cenário paraibano, demonstrando um baixo desempenho entre a produção de cana-de-açúcar e a área mecanizada ao longo de grande parte do período analisado, ou seja, à medida que a mecanização aumenta, a produção tende a cair ou se estabilizar, e quando a mecanização diminui, a produção tende a aumentar.

Essas características evidentes na Paraíba podem ser ocasionadas devido as possíveis ocasiões:

- Topografia e limitação geográfica, pois a Paraíba apresenta uma geografia acidentada, com áreas com altas declividades, que dificultam a utilização de maquinário pesado, necessitando de investimento em maquinário mais tecnológico, que consequentemente torna-se mais oneroso. Isso pode tornar a mecanização menos eficiente, já que os produtores locais podem apresentar limitações para adquirir este tipo de maquinário, e as máquinas tradicionais podem não alcançar o rendimento esperado em comparação com a colheita manual em algumas regiões, assim como apresentado por Euclides (2024) e Silva e Garcia (2009).
- Tamanho e infraestrutura das propriedades, pois muitas propriedades agrícolas na Paraíba apresentam menor extensão quando comparado ao centro-sul, esse fato pode ser observado através da Unica (2022), que retrata a grande divergência na produção de cana-de-açúcar, em que a região centro-sul foi responsável pela maioria da produção canavieira

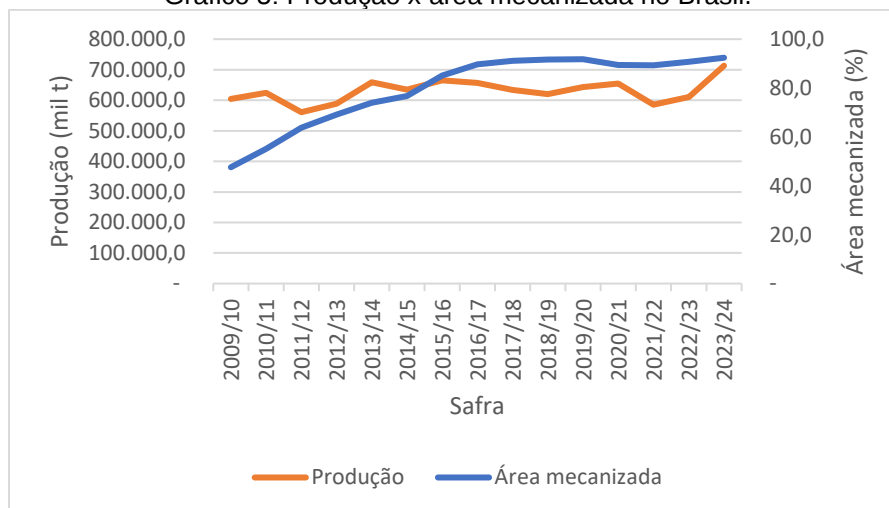
nacional. Esse aspecto pode limitar o uso de máquinas em larga escala, visto que pequenos produtores podem ter dificuldade de custeio da implementação de sistemas mecanizados, o que explica a resistência inicial.

Essa relação curiosamente aponta para relação inversamente proporcional entre a produção e o uso de máquinas no estado da Paraíba, a partir disso, com intuito de buscar entender se este impacto negativo da mecanização está relacionado a esta prática ou seria um uma característica dessa região, essa comparação também foi realizada utilizando os dados da região Nordeste e dados referentes ao Brasil, como apresentado nos Gráficos 4 e 5.



Fonte: Adaptado de CONAB.

Gráfico 5: Produção x área mecanizada no Brasil.



Fonte: Adaptado de CONAB.

Diante das análises realizadas a partir das informações presentes nos Gráficos 4 e 5, é possível constatar que o cenário paraibano ocorre de forma contrária à tendência nordestina e nacional, pois nestas perspectivas, o crescimento do desempenho produtivo segue o avanço da mecanização.

Em relação ao panorama da região Nordeste, o aumento da mecanização segue de maneira gradual, e o crescimento da produção acompanha esse aumento. Essa correlação positiva observada a partir dos boletins de safra da CONAB sugere que a mecanização tem permitido melhorias produtivas na região, mas o ritmo mais lento em comparação com o cenário nacional pode estar ligado a desafios regionais, como a menor disponibilidade de áreas adequadas para mecanização, sendo possível compreender esse fato com base na série histórica de colheiteiras. O cenário observado relaciona-se com a baixa produtividade e os efeitos relacionados apresentados por (De moura, 2010), principalmente ao comparar com o avanço da região centro-sul.

A partir da interpretação do Gráfico 4, referente a área do Nordeste, há uma clara relação positiva entre o aumento da mecanização e a produção ao longo do tempo, significando que à medida que a mecanização avança, a produção também tende a aumentar.

Já no cenário nacional, apresentado no Gráfico 5, a adoção às práticas sustentáveis trouxe um aumento expressivo na área que utiliza colheita

mecanizada, podendo estar associada à melhoria na eficiência de colheita, mesmo que a produção tenha mostrado certa estagnação ou leve declínio em alguns anos.

Os resultados apresentados podem indicar que a mecanização é mais eficiente em áreas maiores, mas pode ter desafios relacionados à produtividade em regiões específicas, neste cenário, é perceptível que a relação entre produção e mecanização é claramente positiva, pois a medida que a mecanização cresce, a produção tende a aumentar ou se manter estável em um patamar elevado.

4.4. Emissões de Gases de Efeito Estufa durante a queima

Para a realização dos cálculos das emissões de GEE durante as queimas no canavial, adotaram-se os fatores de emissão para queima de resíduos agrícolas recomendados pelo IPCC (2006), referindo-se ao quantitativo de massa seca (ponteiros e folhas). Além disso, para as relações de transformação de CH_4 e N_2O em CO_2eq , utilizou-se os parâmetros indicados pelo IPCC (2007).

As emissões diretas de CO_2 na queima da cana-de-açúcar não são levadas em consideração, uma vez que o carbono liberado será assimilado durante o próximo cultivo (Claros Garcia e Von Sperling, 2010).

Segundo Seabra (2008), uma tonelada de cana contém 140 kg de massa seca (ponteiros e folhas), os quais são queimados para realização da colheita manual, com isso, este dado foi utilizado para calcular a massa seca produzida em cada safra no estado da Paraíba e consecutivamente o quantitativo de CH_4 e N_2O , gerando o valor de CO_2 equivalente, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Estimativa de emissão de GEE a partir da queima da massa seca da cana-de-açúcar na Paraíba

Safra	Colheita manual (%)	Produção (mil t)	Massa seca (Kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O(kg)	CO ₂ eq (kg)
2009/10	100,0	6.320,0	884.800.000,0	2.388.960,0	61.936,0	73.279.136,0
2010/11	92,4	5.246,3	734.482.000,0	1.832.385,7	47.506,3	51.935.022,7
2011/12	88,6	6.723,1	941.234.000,0	2.252.382,4	58.395,1	61.234.239,9
2012/13	87,8	5.354,9	749.688.800,0	1.777.212,3	46.075,9	47.863.591,2
2013/14	88,0	5.283,1	739.629.800,0	1.756.961,0	45.550,8	47.415.195,1
2014/15	88,3	6.307,9	883.106.000,0	2.105.889,9	54.597,1	57.051.383,7
2015/16	79,7	5.532,5	774.550.000,0	1.667.590,7	43.233,8	40.788.444,8
2016/17	70,4	4.856,1	679.854.000,0	1.291.348,7	33.479,4	27.866.285,8
2017/18	75,9	5.829,5	816.130.000,0	1.672.495,2	43.361,0	38.938.401,6
2018/19	75,3	5.589,1	782.473.440,0	1.590.001,7	41.222,3	36.705.678,7
2019/20	76,6	6.736,2	943.069.540,0	1.950.201,8	50.560,8	45.816.623,8
2020/21	74,4	6.242,1	873.893.160,0	1.755.476,6	45.512,4	40.062.628,3
2021/22	75,9	6.081,3	851.375.700,0	1.744.034,6	45.215,7	40.587.905,9
2022/23	91,7	7.569,9	1.059.785.004,0	2.623.921,7	68.027,6	73.805.999,8
2023/24	65,2	7.605,7	1.064.792.258,6	1.874.460,3	48.597,1	37.488.261,7

Fonte: Adaptado de CONAB

Vale ressaltar que o cálculo de emissão de GEE levou em consideração o percentual de colheita manual, pois indica o quantitativo de massa seca que realmente houve a queima. É indicado na Tabela 5, a estimativa de redução da emissão destes poluentes quando comparado ao método tradicional de colheita manual com queima.

Tabela 5: Estimativa de redução na emissão de GEE a partir da queima da massa seca da cana-de-açúcar na Paraíba

Redução na emissão				
Safra	CH4 (Kg)	N2O (Kg)	CO2 eq (Kg)	%
2009/10	0,0	0,0	0,0	0,0
2010/11	150.715,7	3.907,4	4.271.711,8	7,6
2011/12	288.949,4	7.491,3	7.855.503,9	11,4
2012/13	246.947,5	6.402,3	6.650.749,6	12,2
2013/14	240.039,5	6.223,2	6.477.956,9	12,0
2014/15	278.496,3	7.220,3	7.544.838,8	11,7
2015/16	423.694,3	10.984,7	10.363.354,6	20,3
2016/17	544.257,1	14.110,4	11.744.639,3	29,7
2017/18	531.055,8	13.768,1	12.363.840,3	24,1
2018/19	522.676,6	13.550,9	12.066.150,6	24,7
2019/20	596.086,0	15.454,1	14.004.010,5	23,4
2020/21	604.035,0	15.660,2	13.784.990,4	25,6
2021/22	554.679,8	14.380,6	12.908.740,9	24,1
2022/23	237.497,8	6.157,4	6.680.368,6	8,3
2023/24	1.000.478,8	25.938,3	20.009.072,2	34,8
Total	6.219.609,6	161.249,1	146.725.928,1	18,0

Fonte: Adaptado de CONAB

A partir da análise das Tabelas 4 e 5, é possível verificar a estimativa de redução na emissão de GEE a partir da queima da massa seca de cana-de-açúcar no estado da Paraíba, ao longo da série histórica abordada, referente à 15 safras, incluindo a introdução progressiva da colheita mecanizada.

Com base na análise da Tabela 5 é perceptível a redução nas emissões de CH₄, N₂O e CO₂ eq em função do aumento da colheita mecanizada entre as safras de 2009/2010 e 2023/2024, os dados fornecidos indicam a quantidade de poluentes que deixaram de ser emitidos a cada safra conforme a porcentagem de colheita mecanizada aumentou.

Observa-se ao longo dos anos uma redução considerável na emissão de CH₄, N₂O e conseqüentemente CO₂ eq relacionada a queima da palha da cana-de-açúcar, isso sugere que o aumento da colheita mecanizada contribuiu significativamente para a diminuição da queima e, conseqüentemente das emissões de GEE, refletindo na porcentagem de redução que também apresenta uma tendência crescente, atingindo 34,8% em 2023/2024 e um total de

aproximadamente 18%, demonstrando o impacto positivo do aumento da colheita mecanizada na mitigação das emissões totais de gases poluentes.

Em relação a colheita manual no estado da Paraíba, foi perceptível a redução gradativa de 100% durante a primeira safra da série histórica, em 2009/2010, para 65,2% na safra 2023/2024, essa regressão está relacionada à substituição progressiva por colheita mecanizada, podendo verificar que essa oscilação também ocorre na produção total de cana longo do período, atingindo um pico máximo em 2023/2024 com 7.605,7 mil toneladas.

Consequentemente, a massa seca (resíduo vegetal) aumenta seguindo esta proporção, devido não serem mais queimadas durante o processo, tendendo à estabilização ou redução de emissões totais de CH₄, N₂O e CO₂ eq, especialmente nas últimas safras, como exemplo, as emissões de CO₂ eq caem de 73.279.136,0 kg em 2009/2010 para 37.488.261,7 kg em 2023/2024, devido à ascensão da colheita mecanizada.

Como apresentado por Ronquim (2010), o aumento da colheita mecanizada leva a uma redução significativa nas emissões de poluentes, devido a redução da queima da palha, que é responsável por grande parte das emissões de GEE, dessa forma, as reduções apresentadas na Tabela 4 estão diretamente relacionadas ao declínio da colheita manual ao longo dos anos.

Apesar da produção de cana-de-açúcar e a massa seca continuarem a aumentar em algumas safras, as emissões totais tendem a diminuir, mostrando que a substituição da queima pelo manejo mecanizado é eficiente na mitigação dos impactos ambientais atmosféricos derivados da utilização do fogo.

Pode-se avaliar estes aspectos quando se leva em consideração, por exemplo a safra de 2023/2024, com a maior participação da colheita mecanizada (34,8% de redução), apresentando a menor emissão de CO₂ eq (37.488.261,7 kg) em comparação com as safras anteriores. A safra de 2016/2017 também se destaca, com uma redução de 29,7%, mostrando um ponto de virada de chave na implementação da colheita mecanizada.

A redução significativa nas emissões de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) ao longo das safras demonstra

um importante impacto ambiental positivo. A partir da substituição gradativa da queima da palha pela colheita mecanizada, houve indícios de contribuição para mitigar os efeitos ambientais adversos associados à prática tradicional de colheita, que estão diretamente relacionado a poluição atmosférica e efeito estufa, preservação do solo, impactos na fauna, flora e nos recursos hídricos, além dos impactos a saúde pública. Esses aspectos foram analisados a partir de estudos realizados por Santos (2011), Ronquim(2010), Alves (2006) e De Moraes Silva (2005), que com suas especificidades discutiram acerca dos impactos positivos, como estes apresentados.

Essa adaptação do método de colheita para práticas mais sustentáveis reflete o potencial do setor agrícola em contribuir com os objetivos de desenvolvimento sustentável, especialmente no que se refere ao combate às mudanças climáticas (ODS 13) e à promoção de práticas agrícolas sustentáveis (ODS 2), ressaltando a importância da inserção de práticas de auditoria e gestão ambiental na agroindústria canavieira.

Assim como apresentado por Ronquim (2010), observa-se que redução da prática de queima e a utilização da colheita mecanizada tem efeitos diretos e indiretos na comunidade local, relacionados principalmente à saúde pública, pois segundo Ramos (2019), a demanda relacionada à DR recebida pelo SUS em regiões que sofrem influência da queima da cana-de-açúcar, estão em maioria relacionadas a essa prática, e a diminuição da emissão de poluentes atmosféricos resultante da eliminação da queima de palha contribui para a redução das DR, poluição do ar por material particulado e acidentes ocasionados pelo fogo.

Além de impactar positivamente a dinâmica do emprego no campo, reduzindo a necessidade de trabalhadores sazonais para a colheita manual e aumentando a demanda por mão de obra qualificada para operar as máquinas, podendo representar um desafio de adaptação para os trabalhadores rurais, mas também uma oportunidade para capacitação e melhorias na qualidade do trabalho. Esses impactos sociais devem ser gerenciados com políticas públicas que promovem a capacitação e adaptação da força de trabalho local às novas exigências

tecnológicas, de forma a assegurar uma transição justa e inclusiva para a mecanização.

A longo prazo, a mecanização reduz a necessidade de mão de obra intensiva, o que pode diminuir os custos operacionais das usinas e aumentar a competitividade do setor sucroenergético, somado a isto, a colheita mecanizada é mais eficiente e rápida, permitindo que a colheita seja realizada em períodos mais curtos e com menos perdas, podendo aumentar a produtividade e, conseqüentemente, a rentabilidade das propriedades agrícolas. Além disso, a preservação da biomassa que seria queimada, pode ser destinada para outros fins, como a geração de energia ou a produção de compostagem, agregando valor econômico e reintegrando este material ao ciclo produtivo, valorizando o subproduto produzido.

O principal empecilho está relacionado ao elevado custo inicial de implementação da colheita mecanizada, o que representa um grande desafio principalmente para os pequenos produtores. Dessa forma, para garantir a adoção dessa tecnologia de maneira ampla e equitativa, é essencial a implantação de políticas públicas de incentivo, como financiamentos e subsídios.

A análise da redução das emissões de GEE associadas à queima da massa seca da cana-de-açúcar na Paraíba evidencia como a transição para a colheita mecanizada traz benefícios ambientais significativos, contribui para a sustentabilidade econômica do setor e melhora a qualidade de vida da população local. Contudo, é necessário abordar os desafios sociais e econômicos que surgem com a mecanização, garantindo que os benefícios sejam compartilhados de forma equitativa e que os impactos negativos sejam minimizados por meio de políticas e iniciativas adequadas.

5. Considerações finais

A partir do estudo realizado, é possível afirmar que a transição da colheita manual para a colheita mecanizada realizada na agroindústria sucroalcooleira apresenta benefícios ambientais significativos, particularmente na redução das emissões de gases de efeito estufa. A análise dos dados ao longo da safra de 2009/2010 a 2023/2024 indica que a mecanização, quando implementada de forma gradual e adequada, pode ser uma ferramenta eficaz para mitigar os efeitos adversos associados à queima da palha da cana-de-açúcar, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e para a preservação dos ecossistemas locais.

O crescimento da mecanização frente a colheita manual na série histórica abordada apresentou impactos negativos sob a produção de cana-de-açúcar na Paraíba, sendo apresentado como uma característica local, pois, os cenários nordestino e nacional apresentaram uma relação benéfica entre esses aspectos.

No entanto, verificou-se que a transição entre os métodos de colheita no estado da Paraíba acompanha o cenário nordestino, porém apresenta um desenvolvimento inferior ao Rio Grande do Norte e superior a Pernambuco.

A emissão dos gases de efeito estufa analisados apresentaram uma redução significativa entre a safra de 2009/2010 para 2023/2024, totalizando uma queda de aproximadamente 18% na série histórica e aproximadamente 34% na safra de 2023/2024.

Este trabalho reforça a importância de integrar as dimensões ambiental, social e econômica no desenvolvimento da agroindústria sucroalcooleira, destacando que a sustentabilidade do setor depende não apenas de avanços tecnológicos, mas também de políticas inclusivas que garantam uma transição justa para todos os envolvidos. Desta forma, a colheita mecanizada mostra-se uma alternativa promissora, desde que acompanhada de ações voltadas à mitigação de seus impactos socioambientais.

Referências

Agricultura lidera geração de empregos em junho – Asplan PB. Disponível em: <<https://asplanpb.com.br/agricultura-lidera-geracao-de-empregos-em-junho/>>. Acesso em: 3 out. 2024.

Aguiar DA, Silva WF, Rudorff BFT, Sugawara LM & Carvalho MA (2009) Expansão da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: safras 2003/2004 a 2008/2009. In: 14º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. Anais, INPE. p.9-16.

ALISSON, E. Proálcool: uma das maiores realizações do Brasil baseadas em ciência e tecnologia| AGÊNCIA FAPESP. 2016.

ALVES, Francisco. Por que morrem os cortadores de cana?. **Saúde e sociedade**, v. 15, p. 90-98, 2006.

BARBOSA, Janderson James; LEAL, Afonso Henrique. Ocorrências de Incêndios Combatidos e Registrados pela Equipe da Reserva Biológica Guaribas. *Biodiversidade Brasileira*, v. 12, n. 1, p. 118-127, 2022.

BRASIL. Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1965.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 237, de 19 de dezembro de 1997.

BRASIL. Decreto Nº 19.717, de 20 de Fevereiro de 1931. Estabelece a aquisição obrigatória de álcool, na proporção de 5% da gasolina importada, e dá outras providências. Rio de Janeiro, RJ: Diário Oficial da União, 1931.

BORGES, L. F. D. S. et al. Impactos ambientais e sociais causados pela queima da cana-de-açúcar. *Monumenta - Revista Científica Multidisciplinar*, v. 1, n. 1, p. 73–83, 25 jun. 2020.

CARVALHO, Leidiane et al. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 16, 2013.

CORDEIRO, Angela. Etanol para alimentar carros ou comida para alimentar gente?. Impactos da indústria canavieira no Brasil : poluição atmosférica, ameaça a recursos hídricos, riscos para a produção de alimentos, relações de trabalho atrasadas e proteção insuficiente à saúde de trabalhadores, p. 9-22, nov, 2008.

CLAROS GARCIA, Juan Carlos; VON SPERLING, Eduardo. Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, p. 217-222, 2010.

DE ABREU, Dirce et al. Impacto social da mecanização da colheita de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, Número Especial**, v. 4, n. 5, p. 3-11, 2009.

DE MORAES SILVA, Maria Aparecida. Trabalho e trabalhadores na região do " Mar de Cana e do Rio de Álcool". **Agrária (São Paulo. Online)**, n. 2, p. 2-39, 2005.

DE MOURA, Romero Marinho. Um sistema integrado de controle de fitonematóides da cana-de-açúcar para o nordeste. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 7, p. 50-61, 2010.

DE SOUZA, Z. M., DE MELLO P., R., PAIXÃO, A. C. S., & CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, 40(3), 271-278. 2005.

DOMINGUES, Renata Cordeiro et al. Queima de biomassa da cana-de-açúcar e hospitalizações de crianças e idosos por agravos respiratórios em Pernambuco, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 39, p. e00238422, 2023.

EUCLIDES, F. Análise das discussões dos tribunais brasileiros referentes às queimadas no cultivo da cana-de-açúcar e doenças respiratórias associadas no município de Escada-Pernambuco. **Fiocruz.br**, 2024.

FERNANDO, E. et al. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavia. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, v. 32, n. 2, p. 789–800, 1 abr. 2008.

FORTES BRAIBANTE, M. et al. A Cana-de-Açúcar no Brasil sob um Olhar Químico e Histórico QUÍMICA NOVA NA ESCOLA A Cana-de-Açúcar no Brasil sob um Olhar Químico e Histórico: Uma Abordagem Interdisciplinar. v. 35, p. 3–10, [s.d.].

FURLANI NETO, V. L.; RIPOLI, T. C.; VILLA NOVA, N. A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhiço remanescente de colheita mecânica. *Stab-Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 15, n. 4, 1997.

GARDA, Eduardo Carlos (Ed.). Atlas do meio ambiente do Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012. 200 p.

GONÇALVES, Cristiane Paulino Gomes. 42 RESPONSABILIDADE SOCIOAMBIENTAL COMO FATOR DE COMPETITIVIDADE: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SETOR SUCROALCOOLEIRO NO BRASIL, Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, junho de 2013.

HANNIBAL, Wellington. Aline Mamede Vidica Sidney Candido Kelly Cristiene de Freitas Borges. Meio Ambiente em Foco Volume 6, p. 119.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Geneva: National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate change 2007: the physical science basis*. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L., eds. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 996.

LANGOWSKI, Eleutério. Queima da cana: uma prática usada e abusada. **Cianorte, maio de, 2007**

LYRA, Marília RCC; ROLIM, Mário M.; SILVA, José A. Topossequência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, p. 525-532, 2003.

MACEDO, N.M.; BOTELHO, P.S.M.; CAMPOS, M.B.S. Controle químico de cigarinha-da-raiz em cana-de-açúcar e impacto sobre a população de artrópodes. *Stab –Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.21, p.30-33, 2003.

MARTINS, Wallison de Oliveira et al. Cana-de-açúcar no estado da Paraíba: contextualização, interdisciplinaridade e experimentação no ensino de química. 2018.

MICHEL JUNIOR, Raul José dos Santos et al. Obtenção do álcool etílico hidratado, com graduação alcoólica para uso automotivo: validação de um processo em batelada. 2010.

MINAYO, Maria Cecília de Souza; et al. Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 22. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2003. 380 p.

PAES, L. A. D. Emissões nas queimadas de cana, controle. In: Macedo, I. C. (org). A energia da cana-de-açúcar. Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. 2ª. ed. São Paulo: Berlendis & Vertecchia: UNICA, 2007. p. 85-89.

Produção Agropecuária | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>>.

RAMOS, D. et al. Impacto da queima da cana-de-açúcar sobre internações hospitalares por doenças respiratórias. Ciência & Saúde Coletiva, v. 24, p. 4133–4140, 28 out. 2019.

RONQUIM, Carlos Cesar. Queimadas na colheita da cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos. 2010.

ROSSETTO, R. Impacto Ambiental: A cultura da cana, da degradação à conservação. Visão Agrícola, Piracicaba, v.1, n.1, p. 80-85, Jan/Jun 2004.

SANTOS, Sérgio Silva dos. O cultivo da cana-de-açúcar no estado de Alagoas: uma análise comparativa dos efeitos da mecanização no estado de São Paulo. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável)—Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SÃO PAULO. Decreto Nº 28.848, de 30 de agosto de 1988. Dispõe sobre a proibição de queimadas na forma que especifica. São Paulo, SP: Secretaria de Estado do Governo, 1988.

SÃO PAULO. Decreto nº 47.397, de 4 de dezembro de 2002. Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, SP: Secretaria de Estado do Governo e Gestão Estratégica, 2002.

SÃO PAULO. Decreto nº 42.056, DE 06 DE AGOSTO DE 1997. Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. São Paulo, SP: Secretaria de Estado do Governo e Gestão Estratégica, 1997.

SÃO PAULO. Decreto nº 47.700, de 11 de março de 2003. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes, 2003.

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, SP: Palácio dos Bandeirantes, 2002.

SCHWARTZ, Stuart B. Segredos internos. **Engenhos e escravos na sociedade colonial**, v. 3, 1988.

SEABRA, J. E. A. Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil. 2008. 214 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Escola de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SERAPIONI, M. Métodos qualitativos e quantitativos na pesquisa social em saúde: algumas estratégias para a integração. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 5, n. 1, p. 187–192, 2000.

SILVA, F. I. C.; GARCIA, A. Colheita mecânica e manual da cana-de-açúcar: histórico e análise. **Nucleus**, v. 6, n. 1, p. 133–247, 20 abr. 2009.

TITTOTO, Lucas Pedreschi. Manejos conservacionistas do solo e sua influência na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar. 2020. Tese de Doutorado. [sn].

UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Histórico de produção e moagem. 2022. Disponível em: <https://observatoriodacana.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2>. Acesso em: 21 ago. 2024.

VIAN, Carlos Eduardo Freitas; GONÇALVES, Daniel Bertoli. Modernização empresarial e tecnológica e seus impactos na organização do trabalho e nas questões ambientais na agroindústria canavieira. **Economia Ensaios**, v. 22, n. 1, p. 79-114, 2007.

ZANCUL, A. O efeito da queimada de cana-de-açúcar na qualidade do ar na região de Araraquara-SP. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, 1998.