



**FACULDADE DE ENFERMAGEM NOVA ESPERANÇA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

EDUARDO RAFAEL DANTAS SANTIAGO DE SOUZA RANGEL

**INFLUÊNCIA DOS EVENTOS *EL NIÑO* E *LA NIÑA* SOBRE O DESEMPENHO
DA CULTURA DA CANA DE AÇÚCAR NA MESORREGIÃO DA MATA
PARAIBANA**

**JOÃO PESSOA-PB
2023**

EDUARDO RAFAEL DANTAS SANTIAGO DE SOUZA RANGEL

**INFLUÊNCIA DOS EVENTOS *EL NIÑO* E *LA NIÑA* SOBRE O DESEMPENHO
DA CULTURA DA CANA DE AÇÚCAR NA MESORREGIÃO DA MATA
PARAIBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Enfermagem
Nova Esperança como exigência parcial
para obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Renato Lima Dantas

JOÃO PESSOA-PB
2023

R154i

Rangel, Eduardo Rafael Dantas Santiago de Souza

Influência dos eventos El Nino e La Nina sobre a cultura da cana de açúcar na mata paraibana / Eduardo Rafael Dantas Santiago de Souza Rangel. – João Pessoa, 2023.

32f.; il.

Orientadora: Prof^a. D^a. Renato Lima Dantas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)
– Faculdade Nova Esperança - FACENE

1. Saccharum spp. 2. Fenômenos Climáticos. 3. Histórico Pluviométrico. 4. Fenômeno Atmosférico Oceânico. I. Título.

CDU: 631:551.58

**FACULDADE DE ENFERMAGEM NOVA ESPERANÇA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**INFLUÊNCIA DOS EVENTOS *EL NIÑO* E *LA NIÑA* SOBRE O DESEMPENHO
DA CULTURA DA CANA DE AÇÚCAR NA MESORREGIÃO DA MATA
PARAIBANA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado pelo graduando **Eduardo Rafael Dantas Santiago de Souza Rangel**, do Curso de Bacharelado em Agronomia, tendo obtido o conceito APROVADO conforme a apreciação da banca examinadora.

Aprovado em 01 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Débora Teresa da R. G. F. de Almeida – Agronomia/ FACENE
Examinador

Prof. Dr. Júlio Cesar Rodrigues Martins – Agronomia/ FACENE
Examinador

Prof. Dr. Renato Lima Dantas – Agronomia/ FACENE
Orientador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que tornaram esta jornada acadêmica possível e significativa. Hoje, ao concluir meu TCC na Faculdade Nova Esperança (FACENE), é o momento certo para refletir sobre os anos de estudo, aprendizado e crescimento que compartilhamos juntos.

Primeiramente, quero expressar minha profunda gratidão aos meus colegas de sala, que estiveram ao meu lado desde o início deste curso desafiador. Agradeço a Israel, Henrique, Magno, Gardenia, Vitória, Samuel e Vinícius por sua amizade, apoio e por compartilharem comigo os altos e baixos desta jornada acadêmica. Nossas experiências, risos e desafios moldaram nossa trajetória, e estou grato por cada momento compartilhado.

Também quero agradecer aos professores queridos que fizeram parte dessa jornada. Meu orientador, Professor Doutor Renato Dantas, desempenhou um papel fundamental em minha formação acadêmica, orientando-me com sabedoria e paciência. Além disso, agradeço aos professores Júlio, Débora, Thyago e Kennedy, cujo comprometimento e paixão pelo ensino enriqueceram minha educação.

Não posso deixar de mencionar as outras professoras que, embora tenham deixado a instituição ao longo de nossa jornada, também contribuíram para o meu crescimento acadêmico: Professora Gilmara, Mileny e Nayana, suas aulas e insights tiveram um impacto duradouro em minha formação.

Minha mãe, Ana Lúcia, e minha namorada, Jordana, merecem um agradecimento especial. Seu apoio inabalável e amor foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Suas palavras de incentivo e compreensão nos momentos de desafio foram a âncora que me manteve firme em meio às tempestades acadêmicas.

Este conhecimento adquirido ao longo dos anos é uma missão que compartilho com todos vocês. Acredito que, ao aplicarmos nossas habilidades e sabedoria, podemos contribuir para um mundo melhor, mais justo, consciente, filantrópico, estável e próspero. Juntos, somos capazes de impactar positivamente o setor agrônômico e a sociedade como um todo.

Mais uma vez, meus sinceros agradecimentos a todos os que estiveram ao meu lado durante esta jornada. Aprendemos, crescemos e construímos memórias que levo comigo para o próximo capítulo da minha vida.

Muito obrigado a todos.

Eduardo Rangel.

RESUMO

Este estudo investigou a relação entre os fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña* e a produção de cana-de-açúcar na Mesorregião da Mata Paraibana, uma área significativa para a produção dessa cultura no Nordeste do Brasil. Foram analisados dados que abrangeram o período de 1994 a 2022, os quais incluíram informações sobre a área colhida, produção, rendimento médio da cana-de-açúcar e regime pluviométrico, juntamente com o Índice de Oscilação Sul (IOS), que reflete os fenômenos *El Niño* e *La Niña*. Os resultados revelaram uma correlação fraca entre os fenômenos ENOS e as variáveis de produção de cana-de-açúcar. A área colhida demonstrou variações ao longo do período, com picos de produção entre 2014 e 2018, mas sem correlação substancial com os eventos climáticos. Houve uma forte correlação positiva entre a produção e a área colhida, ao sugerir que o aumento da área de cultivo está relacionado ao aumento da produção. No entanto, o rendimento médio não apresentou uma correlação significativa com a área colhida. A análise do regime pluviométrico ao longo do período indicou variações anuais, com anos de *El Niño* e *La Niña* impactando o volume de precipitação. No entanto, a correlação entre a precipitação e a produção de cana-de-açúcar foi fraca, sugeriram que outros fatores podem desempenhar um papel relevante na produtividade, como tecnologia agrícola e práticas de manejo. Além disso, o estudo destacou a concentração da produção em alguns municípios da região, com Pedras de Fogo e Santa Rita que contribuiu para a produção total de cana-de-açúcar. Esses municípios representaram uma parte significativa da quantidade produzida na Mesorregião da Mata Paraibana. Este estudo configura-se como pioneiro na região e oferece insights sobre a interação complexa entre os fenômenos e a produção de cana-de-açúcar. Ele enfatiza a necessidade de considerar não apenas os eventos climáticos, mas também outros fatores, como: tecnologia agrícola, práticas de manejo e investimentos em infraestrutura, que influenciam a produtividade da cultura. Além disso, ressalta a importância de políticas públicas abrangentes e medidas de adaptação para enfrentar os desafios da variabilidade climática na agricultura. Este estudo contribui para a compreensão dos fatores que moldam a sustentabilidade da indústria sucroalcooleira na região e aponta para a necessidade de pesquisas futuras que considerem cenários de mudanças climáticas e estratégias de manejo sustentável.

Palavras-chaves: Fenômenos climáticos, *Saccharum* spp., Histórico pluviométrico, Fenômeno Atmosférico Oceânico.

ABSTRACT

This study explores the relationship between *El Niño* and *La Niña* events and sugarcane production in the Mesoregion of Mata Paraibana, Brazil. It considers the complex interactions among climatic factors, production variables, and socio-economic aspects within the sugarcane industry. The research covers a 30-year period from 1994 to 2022, examining key production metrics, precipitation patterns, and the Oceanic Niño Index (ONI) as an indicator of *El Niño* and *La Niña* events. Sugarcane production dynamics, including harvested area, total production, and average yield, reveal fluctuations over the study period. The study found a strong positive correlation between harvested area and production, signifying that an increase in cultivation area results in higher production. However, the correlation between harvested area and average yield is weak and non-significant, indicating that the area expansion does not substantially impact the yield. Furthermore, the study highlighted the concentration of production in some municipalities in the region, with Pedras de Fogo and Santa Rita contributing to the total production of sugarcane. These municipalities represented a significant part of the quantity produced in the Mata Paraibana Mesoregion. This study is a pioneer in the region and offers insights into a complex interaction between climate phenomenon and sugarcane production. It brings the need to consider not only climate events, but also other factors, such as agricultural technology, management practices and infrastructure investments, that influence crop productivity. Furthermore, it highlights the importance of comprehensive public policies and adaptation measures to face the challenges of climate variability in agriculture. This study contributes to the understanding of the factors that shape the sustainability of the sugar and alcohol industry in the region and points to the need for future research that considers climate change plans and sustainable management strategies.

Keywords: Climatic phenomena, *Saccharum* spp., Rainfall history, Oceanic Atmospheric Phenomenon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Delimitação da Mesorregião da Mata Paraibana.	13
Figura 2 Fluxograma de obtenção e processamento dos dados.....	15
Figura 3 - Quantidade Produzida (ton), Área Colida (ha) e Rendimento (kg/ha) de Cana-de-açúcar na mesorregião da Mata Paraibana com base nos registros de 30 municípios no período de 1994 a 2022.....	17
Figura 4 - Rendimento (kg/ha) de Cana-de-açúcar na mesorregião da Mata Paraibana com base nos registros de 30 municípios no período de 1994 a 2022.	18
Figura 5 - Dados totais de precipitação pluviométrica medida da mesorregião da Mata Paraibana com base nos registros de 30 municípios no período de 1994 a 2022.....	19
Figura 6 - Dados de variação de temperatura referentes ao <i>Oceanic Niño Index</i> (ONI) [Niño 3.4 region (5oN-5oS, 120o-170oW)] no período de 1990 a 2022.....	19
Figura 7 Participação Percentual de Municípios na Média da Quantidade Produzida ao Longo da Série Histórica na Mesorregião da Mata Paraibana.	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Correlação de Spearman para os dados de produção de Cana de açúcar na mesorregião da mata Paraibana, precipitação e dados de Oscilação ONI para os fenômenos El Niño e La Niña.	22
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Análise da Média Histórica de Variáveis Produtivas em 18 Principais Municípios Produtores de Cana-de-Açúcar na Mesorregião da Mata Paraibana.	20
--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
MATERIAL E MÉTODOS.....	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS.....	26

INFLUÊNCIA DOS EVENTOS *EL NIÑO* E *LA NIÑA* SOBRE A PRODUÇÃO DA CULTURA DA CANA DE AÇÚCAR NA MESORREGIÃO DA MATA PARAIBANA

INFLUENCE OF *EL NIÑO* AND *LA NIÑA* EVENTS ON SUGARCANE CROP PRODUCTION IN MATA PARAIBANA MESOREGION

RESUMO

Neste estudo, investigou-se a relação entre os fenômenos El Niño e La Niña (ENOS) e a produção de cana-de-açúcar na Mesorregião da Mata Paraibana. A análise abrangeu um período de quase 30 anos, concentrando-se nas variáveis de área colhida, quantidade produzida e rendimento médio da cana-de-açúcar, bem como na precipitação pluviométrica e no Índice de Oscilação do Pacífico (ONI) associados aos fenômenos ENOS. Observou-se que a área colhida e a produção de cana-de-açúcar, na região, apresentaram variações ao longo do período, com um aumento notável na produção entre 2014 e 2018. Além disso, municípios com usinas sucroalcooleiras, como Pedras de Fogo e Santa Rita, desempenharam um papel significativo na produção total. A análise estatística revelou correlações fracas entre as variáveis de produção e as variáveis climáticas, ao indicar que outros fatores, como: tecnologia agrícola e investimentos em infraestrutura, também influenciam a produtividade. A influência direta dos fenômenos ENOS nas variáveis de produção foi limitada e sugerem que outros elementos desempenham um papel mais preponderante. Esses resultados ressaltam a complexidade da interação entre os fenômenos climáticos, a produção de cana-de-açúcar e as implicações econômicas, sociais, ambientais e políticas dessa dinâmica. Portanto, este estudo não apenas preenche uma lacuna acadêmica, mas também destaca a necessidade de uma abordagem holística para entender e enfrentar os desafios e oportunidades associados à produção de cana-de-açúcar na região. Desse modo, ao considerar a crescente frequência de eventos climáticos extremos, é fundamental refletir não apenas suas implicações diretas, mas também seu papel dentro de um sistema mais amplo de fatores que moldam a agricultura e o bem-estar das comunidades locais. Assim, estudos futuros podem aprofundar as questões de adaptação e considerar cenários de mudanças climáticas e políticas de manejo sustentável para garantir uma indústria sucroalcooleira resiliente e equitativa.

PALAVRAS CHAVES: Fenômenos climáticos, *Saccharum* spp., Histórico pluviométrico, Fenômeno Atmosférico Oceânico.

ABSTRACT

In this study, we investigated the relationship between the *El Niño* and *La Niña* phenomena (ENSO) and sugarcane production in the Mesoregion of Mata Paraibana. The analysis covered a period of nearly 30 years, focusing on variables such as harvested area, production quantity, and average sugarcane yield, as well as the associated rainfall and the Oceanic Niño Index (ONI) related to ENSO events. It was observed that the harvested area and sugarcane production in the region exhibited variations over the period, with a notable increase in production between 2014 and 2018. Furthermore, municipalities with sugarcane mills, such as Pedras de Fogo and Santa Rita, played a significant role in the total production. Statistical analysis revealed weak correlations between production variables and climatic variables, indicating that other factors, such as agricultural technology and infrastructure investments, also influence productivity. The direct influence of ENSO events on production variables was limited, suggesting that other elements play a more predominant role. These results underscore the complexity of the interaction between climatic phenomena, sugarcane production, and the economic, social, environmental, and political implications of this dynamic. Therefore, this study not only fills an academic gap but also highlights the need for a holistic approach to understand and address the challenges and opportunities associated with sugarcane production in the region. Considering the

increasing frequency of extreme weather events, it is crucial to consider not only their direct implications but also their role within a broader system of factors that shape agriculture and the well-being of local communities. Future studies can delve into adaptation issues and consider scenarios of climate change and sustainable management policies to ensure a resilient and equitable sugarcane industry.

KEYWORDS: Climatic phenomena, *Saccharum* spp., Rainfall history, Oceanic Atmospheric Phenomenon.

INTRODUÇÃO

Classificada como uma planta semiperene, a cana-de-açúcar pertencente à família da Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Andropogoneae, subtribo Saccharinae e ao gênero *Saccharum* L.¹ Sua capacidade de realizar fotossíntese do tipo C4 a torna altamente eficiente na conversão de energia solar em biomassa, o que é favorável para a obtenção de energia térmica e elétrica, devido ao seu alto potencial energético significativo.² Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento³, o Brasil desempenha um papel de destaque na produção global de cana-de-açúcar e seus principais produtos derivados. O açúcar, por exemplo, representa mais da metade do volume comercializado mundialmente, enquanto o etanol continua a crescer em importância, impulsionado pelo seu uso como biocombustível em veículos automotores e como alternativa energética^{4,5}.

A história da produção de cana-de-açúcar e o desenvolvimento socioeconômico no estado da Paraíba estão intimamente ligados, devido à como essa cultura auxiliou para o avanço e estruturação da sociedade paraibana em si, uma vez que contribuiu de forma direta e indireta, quando criou-se uma rede de colaboradores que auxiliam em toda cadeia produtiva, a fim de gerar renda e sustento para todos funcionários e produtores de diferentes portes que, com auxílio das unidades produtoras de etanol e açúcar impulsionam o setor local e criam uma expectativa de como explorar o potencial produtivo, que o Estado apresenta com suas características edafoclimáticas favoráveis para o cultivo⁶. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma cultura agrícola de significativa importância econômica e social, especialmente no estado da Paraíba, inserido como a terceira maior extensão de área plantada de cana-de-açúcar do nordeste do Brasil, porém, com a segunda menor produtividade da região brasileira⁷.

Diante desse contexto, o planejamento agrícola é de suma importância para atingir altas produtividades. Conforme Margarido e Santos⁸, este processo envolve toda cadeia produtiva como: a produção agrícola, conservação e preparação do solo, plantio, tratamentos culturais, colheita e abastecimento da usina com matéria-prima durante o período de safra.

O conhecimento do potencial produtivo da região está associado ao domínio dos fatores de produção determinantes para a produtividade eficiente. Por conseguinte, os fatores de produção atuam entre si de forma sinérgica e, podem interferir na produtividade e na qualidade da cana-de-açúcar, ao sujeitar na cultura impactos diferentes. Segundo Marin⁹, os fatores climáticos influenciam em 43% da eficiência produtiva da cana-de-açúcar, pela radiação solar, deficiência hídrica, temperatura máxima e mínima e precipitação. O solo é responsável por 15% e os fatores socioeconômicos, biológicos e de manejo representam em conjunto 42% na produtividade de cana-de-açúcar.

Como aponta Gouvêa¹⁰, a disponibilidade de água para a cana-de-açúcar é o principal fator climático causador de variabilidade da produtividade. Tal problemática reforça a necessidade de conhecer as interferências dos fenômenos climáticos a fim de dominar como impactam no ciclo produtivo da cultura, no intuito de visar e maximizar os usos dos recursos naturais. Nesse sentido, Marengo¹¹ reportou que o Nordeste do Brasil está entre as regiões que mais sofrem com a variabilidade pluviométrica, devido as suas características climáticas, a qual interfere na esfera socioeconômica e política. Os eventos climáticos extremos, como: secas prolongadas ou chuvas intensas, podem afetar significativamente a produtividade da cultura.

A região Nordeste do Brasil, especificamente o Estado da Paraíba, é conhecida pela variabilidade pluviométrica, e essa variabilidade está diretamente relacionada às anomalias de temperatura de Superfície do Mar (TSM) do Pacífico equatorial, ou seja, ao fenômeno ENOS, pode resultar em secas durante a fase positiva (*El Niño*) e em chuvas acima da média durante a fase negativa (*La Niña*), o que impacta diretamente a produção de cana-de-açúcar na região¹². Segundo Silva et al.¹³, a mesorregião da Mata Paraibana apresenta características diferenciadas em relação ao seu quadro físico, natural e climático, atrelado com grande pressão de atividades antrópicas sobre os recursos naturais, fenômenos causados pelas mudanças climáticas, cujo podem ocasionar inúmeros desafios para a população local, que podem afetar todo ecossistema da região e afetar as atividades econômicas dependente direta e indireta da água.

Embora haja estudos os quais abordem a relação entre o ENOS e as condições climáticas, na Paraíba, a compreensão de como esses fenômenos atmosféricos afetam a produtividade da cana-de-açúcar ainda requer investigação mais detalhada¹⁴. Portanto, este estudo se justifica pela necessidade de prever e gerenciar os impactos desses eventos climáticos na produção de cana-de-açúcar, bem como, pela importância de desenvolver

estratégias adaptativas para o setor sucroalcooleiro. Conforme apontado pela Associação dos Plantadores de Cana da Paraíba¹⁵, trata-se de uma cultura que exerce um papel fundamental na geração de empregos e na movimentação econômica dessa região, o que resulta em 38 mil empregos diretos e 12 mil indiretos distribuídos em 36 municípios paraibanos, os quais foram mobilizados, apenas na safra de 2013 e 2014 expressivos R\$ 386 milhões (US\$ 110 milhões) em insumos e mão de obra no estado.

Isso apresenta caráter substancial, uma vez que a maioria dos estudos existentes sobre essa cultura aborda o assunto em um contexto nacional, ao dar pouca atenção às condições específicas de desenvolvimento local^{16,17}. Compreender como o ENOS afetam a produção de cana-de-açúcar é fundamental para tomar decisões informadas e mitigar os riscos associados a eventos climáticos extremos. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a relação entre os eventos ENOS e a produtividade da cana-de-açúcar na mesorregião da Mata Paraibana, com o objetivo de fornecer informações valiosas para os agricultores, gestores de usinas e autoridades locais.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo é documental descritivo retrospectivo com abordagem quantitativa. Para tanto, a área que abrange a mesorregião da Mata Paraibana, que engloba 30 municípios, localizados na região litorânea do estado foi considerada (Figura 1). Os dados para compor a pesquisa compreenderam o período de 1994 a 2022.

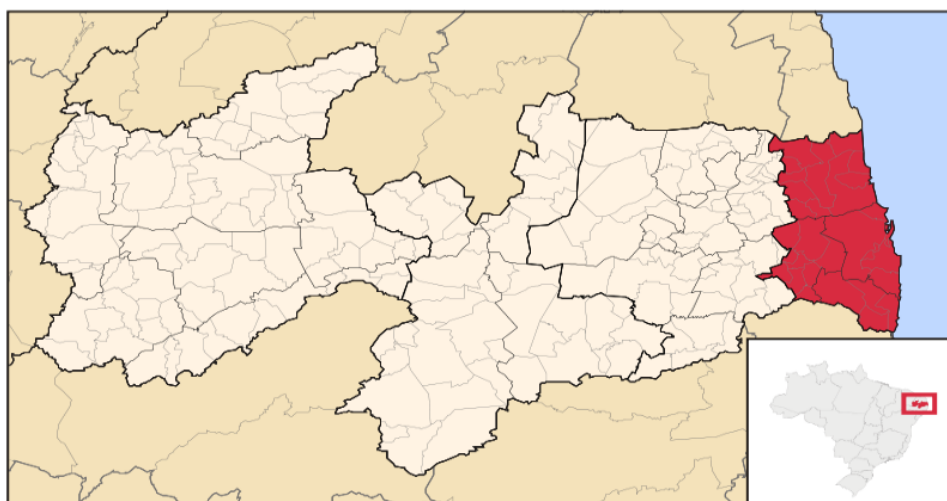


Figura 1 Delimitação da Mesorregião da Mata Paraibana. Fonte: Raphael Lorenzeto de Abreu. (2006).

Os dados de produção de cana-de-açúcar foram obtidos do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) e incluíram informações sobre a área colhida (em hectares), quantidade produzida (em toneladas) e rendimento médio da produção (em quilogramas por hectare) na mesorregião da Mata Paraibana (Figura 2).

Os dados são disponibilizados para serem baixados e processados no formato XLSX, que é compatível com o software Excel, o que possibilita a elaboração de quadros, tabelas e gráficos com recursos e elementos gráfico-visuais consideráveis para entendermos melhor o comportamento das variáveis e relações entre elas. Foram selecionadas para elaboração do quadro e figura que contêm as variáveis produtivas e os 18 principais municípios durante o período analisado. Foi levado em consideração para escolha: o grau de representatividade de cada um, na quantidade produzida total, ao longo da série histórica na Mata Paraibana, onde os 18 municípios apresentam maior ou igual a 2%.

Os dados de precipitação pluviométrica (média mensal) foram coletados a partir do boletim mensal agro meteorológico da Paraíba, fornecido pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA. Esses dados foram selecionados devido à sua extrema confiabilidade e procedência. Os dados históricos do Índice de Oscilação Sul (IOS) foram acessados no site do *National Center for Environmental Prediction* (NOAA), disponível em https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. O IOS é calculado com base em uma média contínua de 3 meses de anomalias de temperatura no Pacífico Sul

Fluxograma de obtenção e processamento de dados

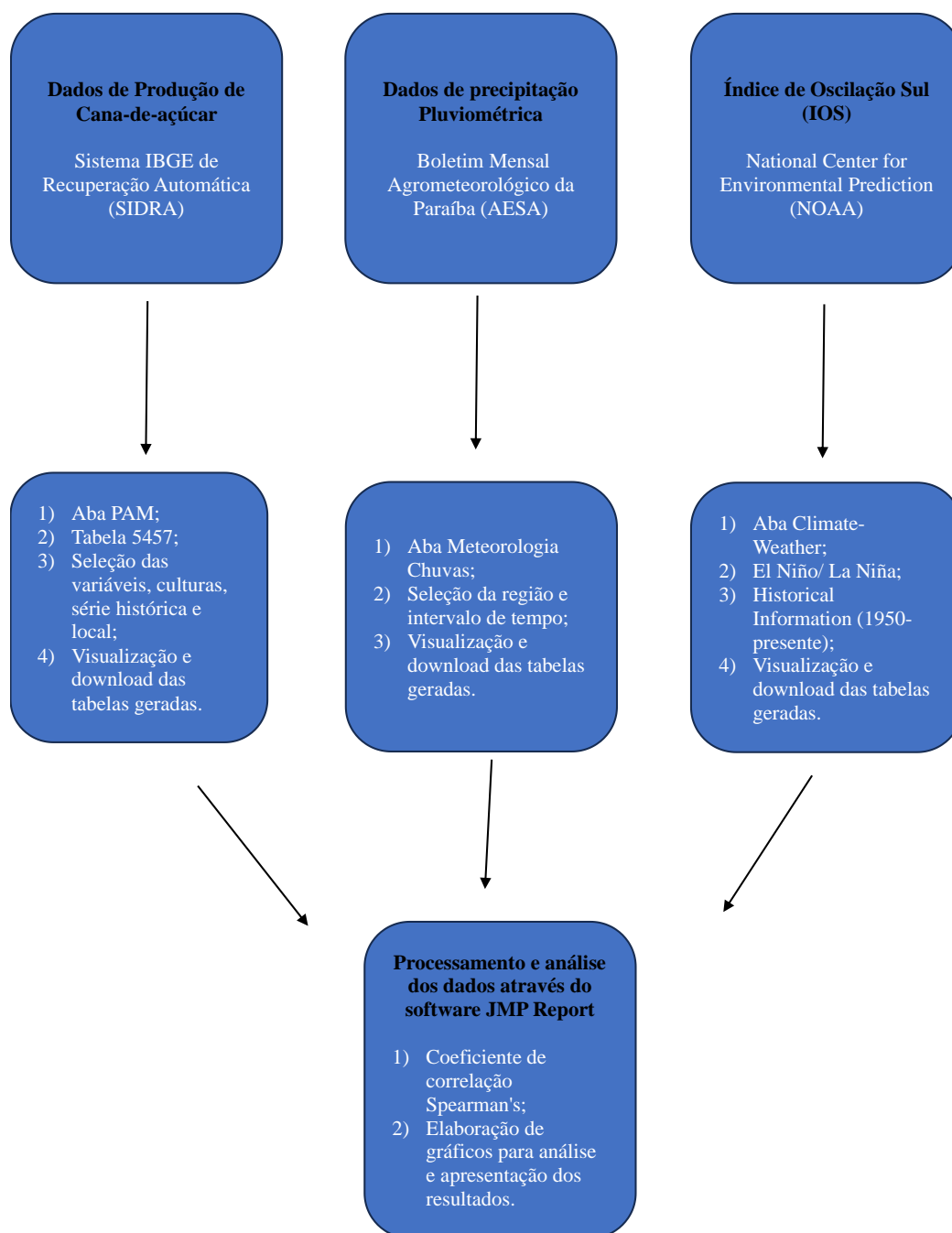


Figura 2 Fluxograma de obtenção e processamento dos dados. Fonte: autor do estudo.

Além disso, foi investigado a precipitação pluviométrica média mensal, na região, ao longo desse mesmo período, cujo avaliou seu impacto na produção de cana-de-açúcar. Também foi essencial considerar o histórico de predominância dos fenômenos meteorológicos, onde utilizamos o Índice de Oscilação Sul (IOS) para classificar os anos em

relação às fases do fenômeno ENOS, ao incluir *El Niño*, *La Niña* e anos neutros. Essa classificação foi realizada com base em critérios específicos relacionados ao IOS, onde valores menores ou iguais a -0,5 indicaram a presença de *El Niño*, enquanto valores iguais ou maiores a 0,5 sinalizaram a ocorrência de *La Niña*. Essa análise abrangeu um amplo espectro temporal, a qual se deu desde 1994 até 2022, a fim de compreender a relação entre esses fenômenos climáticos e a produtividade da cana-de-açúcar na região estudada.

A análise dos dados de precipitação pluviométrica e de produção de cana-de-açúcar, na Mesorregião da Mata Paraibana, foi conduzida pela utilização estatística descritiva no software Excel. Além disso, foi aplicado o coeficiente de correlação de Spearman's para avaliar a existência de correlações entre o IOS, a produção de cana-de-açúcar e a precipitação pluviométrica.

O tratamento estatístico dos dados foi realizado no software *JMP Reports for Windows*, e foram elaborados gráficos para análise e apresentação dos resultados. Este conjunto de procedimentos metodológicos permitiu uma análise detalhada, da variabilidade da produção de cana-de-açúcar, em relação às condições climáticas, associadas ao fenômeno ENOS, na mesorregião da Mata Paraibana, durante o período de estudo.

RESULTADOS

A análise da série histórica das variáveis produtivas e do regime pluviométrico revelou de que maneira se configurou o desempenho da cultura da cana de açúcar durante o período de estudo na mesorregião da Mata Paraibana, composta por um total de 30 municípios. Inicialmente, os dados referentes à área colhida, produção, rendimento e regime pluviométrico, relativos ao intervalo de 1994 a 2023, foram coletados para todos os municípios produtores pertencentes a esta mesorregião. Subsequentemente, os dados de variação de temperatura, relacionados ao *Oceanic Niño Index* (ONI), foram compilados para o mesmo período da primeira abordagem.

O comportamento agrícola da área colhida e da produção de cana de açúcar em toda a mesorregião da Mata Paraibana está representado na Figura 3, ao longo do período analisado, aproximadamente 30 anos. Durante esse período, a área colhida demonstrou uma variação mínima, registrando aproximadamente 80.000 (1999) hectares como mínimo e ultrapassando os 120.000 (1995) hectares como máximo. No que se refere à produção, ocorreu um pico de produção entre 2014 e 2018, atingindo cerca de 7.000.000 de toneladas,

enquanto o valor mais baixo registrado durante o período de estudo foi de 3.000.000 toneladas, ocorrendo entre 1998 e 2002.

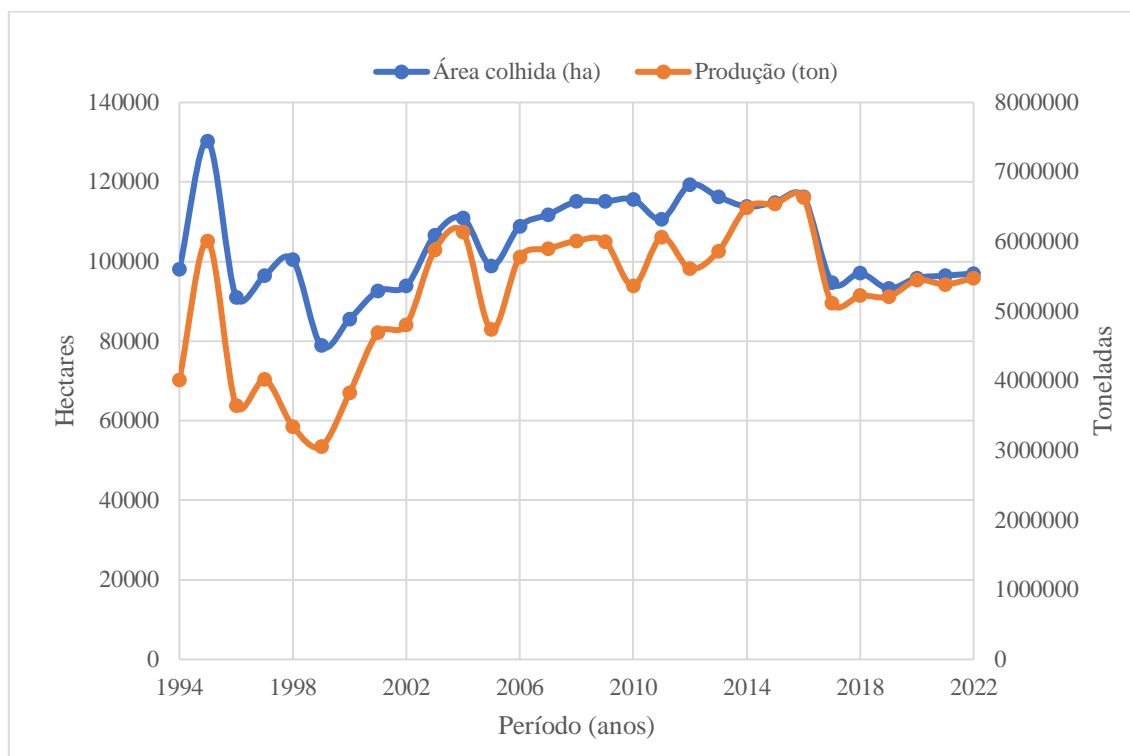


Figura 3 - Quantidade Produzida (ton), Área Colida (ha) e Rendimento (kg/ha) de Cana-de-açúcar na mesorregião da Mata Paraibana com base nos registros de 30 municípios no período de 1994 a 2022. Fonte: SIDRA/IBGE: Produção Agrícola Municipal.

A Figura 4 ilustra a relação entre as duas variáveis anteriormente mencionadas. O rendimento médio da cultura da cana de açúcar, na mesorregião da Mata Paraibana, atingiu o ponto mais alto entre 2014 e 2018, pois chegou próximo a 60.000 Kg/ha, enquanto o ponto mais baixo ocorreu em 1998, com um valor ligeiramente superior a 30.000 Kg/ha. Além disso, durante o período analisado, a linha de tendência aponta um crescimento no rendimento da cultura.

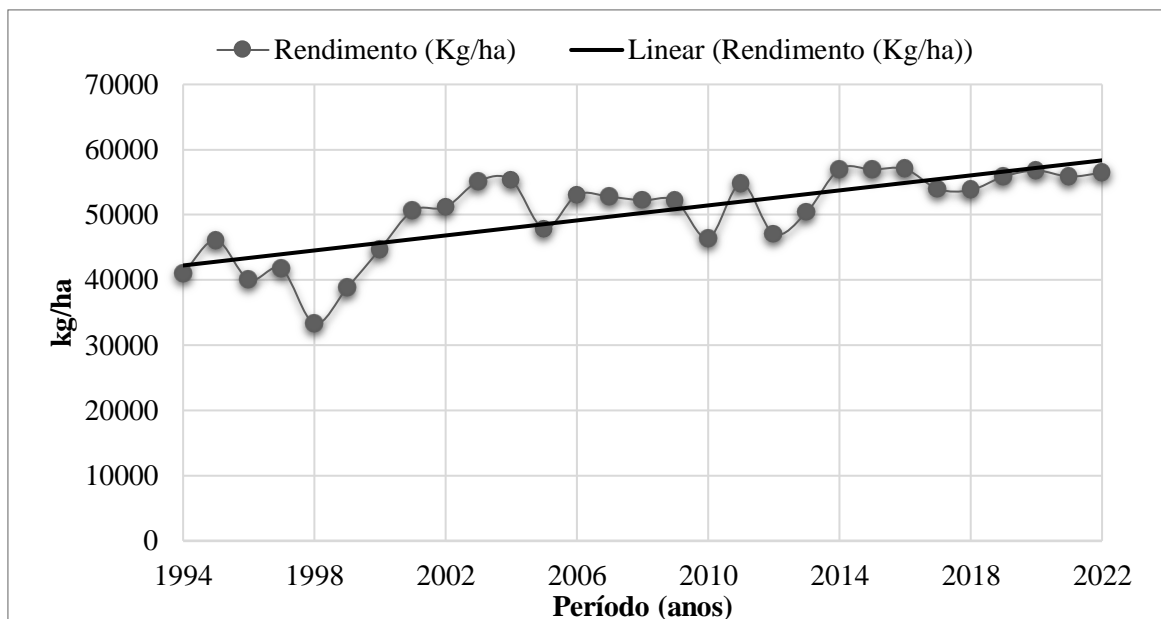


Figura 4 - Rendimento (kg/ha) de Cana-de-açúcar na mesorregião da Mata Paraibana com base nos registros de 30 municípios no período de 1994 a 2022. Fonte: SIDRA/IBGE: Produção Agrícola Municipal.

A Figura 5 exibe a variação do regime pluviométrico, na região da Mata Paraibana, ao longo do período de análise. Observa-se um pico de precipitação de 2.000 mm e um mínimo abaixo de 1.000 mm, com uma média de 1.250 mm. Durante esse período, ocorreram alternâncias frequentes na predominância dos eventos ENOS (Figura 06), o que teve um impacto direto no regime pluviométrico da região, que resultou em índices pluviométricos inferiores ou superiores à média histórica, a depender da natureza do evento. A variação dessa métrica tem um potencial impacto significativo nas variáveis produtivas, uma vez que a água é um fator crucial para o desenvolvimento pleno da cultura, especialmente nas fases iniciais de instalação do canavial, podendo afetar as colheitas subsequentes⁸.

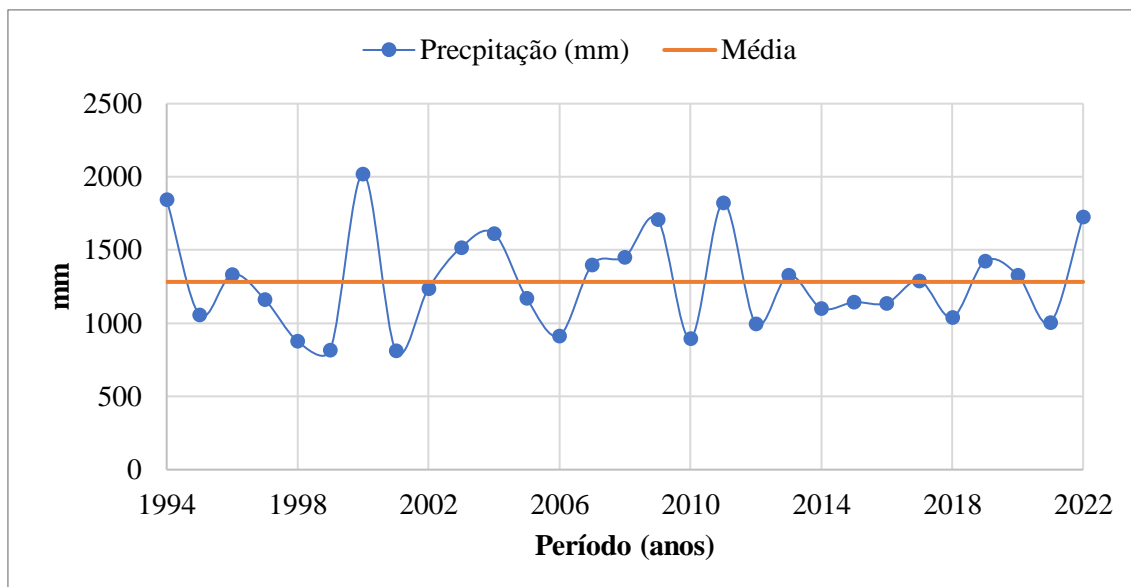


Figura 5 - Dados totais de precipitação pluviométrica medida da mesorregião da Mata Paraibana com base nos registros de 30 municípios no período de 1994 a 2022. Fonte: AESA/PB.

A Figura 6 descreve o comportamento da variação de temperatura em relação ao Índice Oceânico *Niño* (ION), expresso em graus Celsius. A máxima registrada foi de 2,5 °C e a mínima de -1,5 °C. As variações de temperatura dessas águas desencadeiam uma série de fenômenos meteorológicos globais que podem resultar em eventos *El Niño* ou *La Niña*¹⁸.

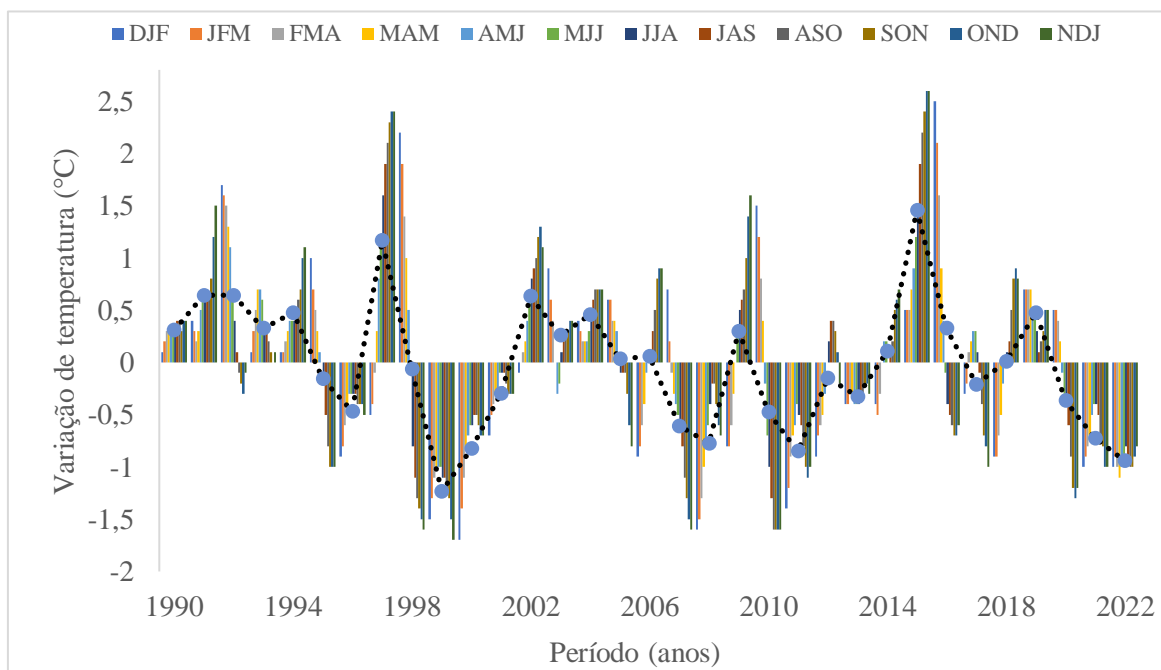


Figura 6 - Dados de variação de temperatura referentes ao *Oceanic Niño Index* (ONI) [Niño 3.4 region (5oN-5oS, 120o-170oW)] no período de 1990 a 2022. Fonte: CPC/USA.

O Quadro 1 apresenta a tabulação da média histórica das variáveis de produção, incluindo área colhida, quantidade produzida e rendimento médio, cujo contemplou os principais municípios produtores de cana-de-açúcar. Essa abordagem foi adotada devido à concentração substancial de áreas plantadas nesses municípios, que somam um total de 18, os quais estão predominantemente situados em regiões que abrigam usinas sucroalcooleiras, a exemplo de: Pedras de Fogo, Santa Rita e Mamanguape, que abrigam as usinas Giasa, Miriri e Agroval, e Monte Alegre, respectivamente. Além de atenderem à demanda dos municípios, onde estão instaladas, essas usinas também suprem as necessidades dos municípios vizinhos, como os demais apresentados no Quadro 1.

Mesorregião Geográfica e Municípios	Área colhida (Ha)	Quantidade produzida (Ton)	Rendimento médio da produção (Kg/Ha)
MÉDIA HISTÓRICA (1994 - 2022)			
Alhandra (PB)	3.150	174.500	50.000
Baía da Traição	1.200	60.000	50.000
Caaporã	4.400	198.000	45.000
Capim	1.800	80.000	50.000
Cruz do Espírito Santo	6.475	377.100	60.000
Itapororoca	2.025	101.250	40.000
Jacaráú	2.200	102.500	50.000
Juripiranga	4.550	270.000	60.000
Lucena	1.900	99.000	55.000
Mamanguape	9.000	450.000	50.000
Marcação	3.000	135.000	45.000
Mari	2.000	100.000	50.000
Mataraca	3.000	150.000	50.000
Pedras de Fogo	23.888	1.176.500	57.500
Pitimbu	2.400	120.000	50.000
Rio Tinto	9.500	517.990	50.000
Santa Rita	13.938	731.875	50.000
Sapé	10.000	427.500	45.000
Mata Paraibana	103.532	5.460.913	52.915

Quadro 1 Análise da Média Histórica de Variáveis Produtivas em 18 Principais Municípios Produtores de Cana-de-Açúcar na Mesorregião da Mata Paraibana. Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal.

Observa-se que os municípios que abrigam as indústrias sucroenergéticas exercem uma representatividade significativa nas variáveis de área colhida e quantidade produzida. O destaque especial é destinado ao município de Pedras de Fogo, que exhibe a maior média de área colhida e quantidade produzida, além de apresentar um rendimento médio superior ao da média de toda a mesorregião durante o período de análise (Quadro 1). É evidente,

também, que grande parte dos municípios tabulados apresenta um rendimento médio superior ao da mesorregião como um todo, quando indicou sinais de eficiência agrícola na utilização de suas áreas destinadas à cultura da cana-de-açúcar.

Na figura 7, é apresentada a porcentagem de representatividade dos principais municípios produtores em relação à quantidade produzida durante o período analisado. Destaca-se que os municípios de Pedras de Fogo e Santa Rita são os únicos que apresentam valores percentuais de dois dígitos, atingindo 22% e 13%, respectivamente, em relação à quantidade produzida média durante o período de estudo, que contribuem significativamente para o total da quantidade produzida na mesorregião da Mata Paraibana. Os demais municípios, não alcançam sequer a marca dos 10%. Ressalta-se ainda, que a soma dos 12 principais municípios representa um total de 95% de toda a quantidade produzida, que evidencia uma concentração expressiva da produção na mesorregião. Enquanto isso, os outros 18 municípios representam apenas um percentual de 15% da quantidade produzida.

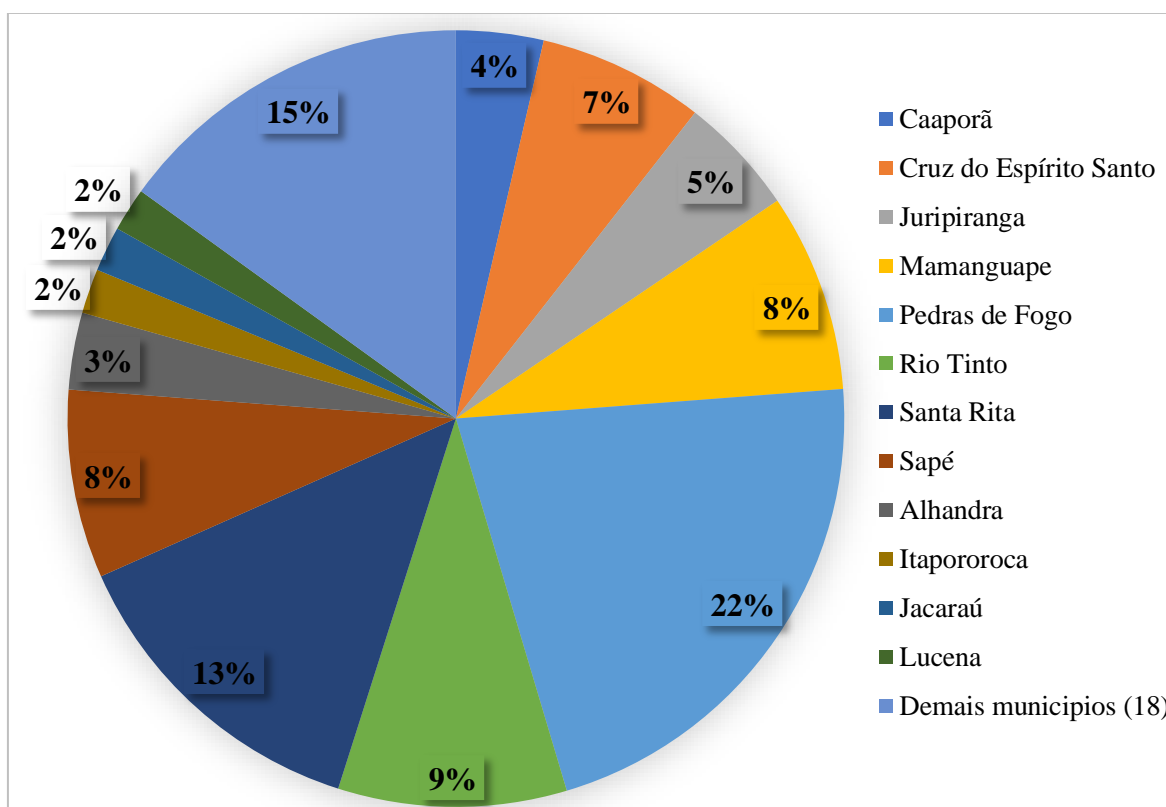
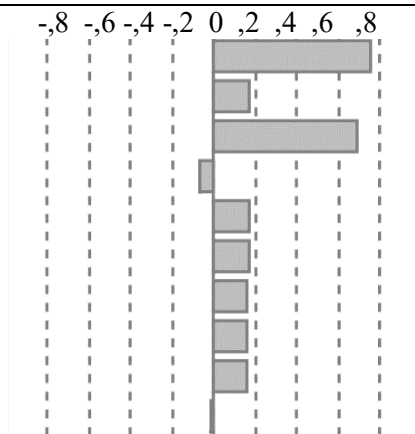


Figura 7 Participação Percentual de Municípios na Média da Quantidade Produzida ao Longo da Série Histórica na Mesorregião da Mata Paraibana. Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal.

Tabela 1 Correlação de Spearman para os dados de produção de Cana de açúcar na mesorregião da mata Paraibana, precipitação e dados de Oscilação ONI para os fenômenos *El Niño* e *La Niña*.

Variáveis		Spearman ρ	Prob> ρ
Produção	Área	0,7548	<,0001*
Rendimento	Área	0,1747	0,3649
Rendimento	Produção	0,6946	<,0001*
Precipitação	Área	-0,0648	0,7385
Precipitação	Produção	0,1749	0,3642
Precipitação	Rendimento	0,1719	0,3725
Oscilação ONI	Área	0,1663	0,3886
Oscilação ONI	Produção	0,1572	0,4155
Oscilação ONI	Rendimento	0,1623	0,4002
Oscilação ONI	Precipitação	-0,0081	0,9666



Fonte: Autor do estudo.

A Tabela 1 retrata os resultados da análise de correlação de Spearman entre as variáveis relacionadas à produção de cana-de-açúcar, na Mesorregião da Mata Paraibana, juntamente com as variáveis de precipitação e o índice de Oscilação ONI, associado aos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, revelam importantes aspectos sobre a dinâmica produtiva na região.

Primeiramente, uma forte correlação positiva e altamente significativa ($\rho = 0,7548$, $p < 0,0001$) foi observada entre a produção de cana-de-açúcar e a área colhida. Isso sugere que, à medida que a área destinada ao cultivo da cana-de-açúcar aumenta, a produção também tende a aumentar, refletindo a importância da expansão da área de cultivo para o aumento da produção na região.

Por outro lado, a correlação entre o rendimento médio e a área colhida é fraca e não significativa ($\rho = 0,1747$, $p = 0,3649$), o que sugere que o aumento da área não influencia substancialmente o rendimento médio da cultura. Isso pode indicar que outros fatores, como: práticas de manejo ou investimentos tecnológicos, desempenham um papel mais relevante na determinação do rendimento.

No entanto, destaca-se a correlação positiva e significativa ($\rho = 0,6946$, $p < 0,0001$) entre o rendimento médio e a produção. Isso indica que, à medida que a produção aumenta, o rendimento médio tende a crescer, o que pode ser atribuído à otimização dos processos produtivos em larga escala.

No que se refere à influência das variáveis climáticas, a correlação entre a precipitação e a área colhida revelou-se extremamente fraca e não significativa ($\rho = -0,0648$, $p = 0,7385$). Por sua vez, a relação entre a precipitação e a produção também foi fraca e não significativa ($\rho = 0,1749$, $p = 0,3642$). Da mesma forma, a correlação entre a precipitação e o rendimento médio da cana-de-açúcar é fraca e não significativa ($\rho = 0,1719$, $p = 0,3725$)

Em relação à influência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, representados pelo índice de Oscilação ONI, observou-se uma correlação fraca e não significativa entre o ONI e todas as variáveis de produção e clima analisadas. Esses resultados sugerem que, pelo menos dentro do período e da região estudados, a Oscilação ONI não exerceu um impacto direto nas variáveis relacionadas à produção de cana-de-açúcar.

DISCUSSÃO

Na perspectiva de compreender a complexa interação entre os fenômenos *El Niño* e *La Niña* e a produção de cana-de-açúcar, na Mesorregião da Mata Paraibana, é essencial considerar o que a literatura científica reportou até então. Estudos anteriores, como o de Oliveira et al.¹⁹, que empregaram um modelo de *downscaling* estatístico baseado na metodologia de análogos para projetar padrões futuros de precipitação e temperatura. Apesar da previsão de uma redução das chuvas, combinada com um aumento da evapotranspiração, a produtividade da cana-de-açúcar não foi diminuída, mas sim prevista para aumentar. Esse resultado inesperado sugere a presença de outros fatores que desempenham um papel crucial na produtividade e contrariam as expectativas iniciais.

Ao analisar o cenário atual da cana-de-açúcar no Brasil, Marin e Nassif²⁰ foi conduzida uma revisão de literatura, que explorou o futuro da cultura em face das tendências de expansão observadas. Eles associaram os avanços na fisiologia da cana-de-açúcar, em especial sua resposta ao aumento de dióxido de carbono atmosférico e eficiência de uso da água, com as perspectivas socioeconômicas do setor. A pesquisa apontou para uma resposta positiva da cultura às mudanças climáticas, contudo, também enfatizou a necessidade de adaptações no manejo da cultura, pois considerou possíveis impactos em plantas daninhas, pragas e doenças.

O estudo de avaliação dos efeitos dos eventos *El Niño* e *La Niña* sobre a produtividade de cana-de-açúcar, na Zona Canavieira de Alagoas,²¹ evidenciou a existência de uma correlação negativa entre precipitação e produção de cana-de-açúcar, com os anos

de La Niña que resultou em menor produção. Por outro lado, anos neutros mostraram-se mais favoráveis à produção. Esses resultados sublinham a sensibilidade da cultura aos eventos climáticos e indicam a necessidade de estratégias de manejo adaptativas.

O estudo sobre a influência do *El Niño* e *La Niña* na produtividade de plantios de Eucalipto em distintas regiões do Brasil²² amplia a compreensão ao analisar a influência desses fenômenos em diferentes estados. A pesquisa evidenciou que variações na produtividade estavam diretamente relacionadas às condições climáticas associadas aos eventos *El Niño* e *La Niña*, ao destacar a importância de considerar esses fatores na gestão dos plantios de Eucalipto.

A cana-de-açúcar é caracterizada pela fisiologia fotossintética do tipo C4, uma adaptação que confere maior eficiência na fixação de dióxido de carbono (CO₂) em comparação com plantas do tipo C3.²³ Este mecanismo bioquímico peculiar possibilita a otimização da produção de açúcares, particularmente em condições adversas, tal como: estresse hídrico.²³

Almeida²⁴ investigou a influência do Fenômeno *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS) na produtividade da cana-de-açúcar. Notavelmente, observou-se um aumento significativo de 10% na produtividade durante períodos de ocorrência do ENOS. Almeida²⁴ postulou que, esse incremento poderia ser atribuído à maior eficiência fotossintética inerente às plantas C4, um fenômeno potencializado pelas elevações de temperatura e incrementos pluviométricos associados ao ENOS.

No contexto do ENOS, as plantas de cana-de-açúcar demonstraram uma capacidade aprimorada de assimilar CO₂ em concentrações mais elevadas, que indicaram uma resposta adaptativa a qual culmina em maior produção de açúcar sob condições de estresse hídrico.²³ Este fenômeno sugere uma otimização no aproveitamento da água disponível pelas plantas, resultando em benefícios significativos para a produtividade da cultura.

É crucial ressaltar, no entanto, que a relação intrínseca entre o Fenômeno *El Niño*-Oscilação Sul e o metabolismo C4 da cana-de-açúcar é complexa e ainda não foi totalmente compreendida. Novas investigações e análises são necessárias para elucidar de maneira abrangente os mecanismos biofísicos e bioquímicos subjacentes a essa interação, contribuindo assim para um entendimento mais aprofundado dos impactos do ENOS na fisiologia desta importante cultura agrícola.

A análise estatística, realizada através do teste de correlação de Spearman, evidenciou uma correlação fraca entre as variáveis analisadas. Os resultados indicam que,

embora exista alguma relação entre essas variáveis, essa relação não é substancial o bastante para estabelecer correlações robustas. Essa observação levanta questões fundamentais sobre os fatores subjacentes a essa correlação fraca e instiga uma análise mais aprofundada das implicações econômicas, sociais, ambientais e políticas desse resultado.

Ao considerar o quadro apresentado pela literatura científica, torna-se claro que a correlação entre os fenômenos ENOS e a produção de cana-de-açúcar é multifacetada e sujeita a uma série de nuances. Fatores a exemplo do tempo de resposta da cultura, tecnologia agrícola, variedades resistentes, influências locais e escalas de dados podem atenuar ou amplificar os efeitos diretos dos fenômenos climáticos. Além disso, é crucial destacar as implicações econômicas, sociais, ambientais e políticas dessa dinâmica.

Do ponto de vista econômico, os baixos valores das correlações sugerem que outros fatores, como tecnologia agrícola e investimentos em infraestrutura, desempenham papéis igualmente significativos na produtividade. Essa observação levanta questões cruciais sobre o impacto real dos fenômenos ENOS, na economia regional e na estabilidade dos agricultores e trabalhadores da indústria sucroalcooleira.

No contexto social, a correlação fraca pode ter implicações para a estabilidade econômica das comunidades dependentes da cultura da cana-de-açúcar. Variações na produção podem afetar diretamente o bem-estar dessas comunidades, uma vez que ressaltam a importância de estratégias de adaptação e suporte.

Sob a perspectiva ambiental, as baixas correlações indicam uma complexa interação entre os fenômenos ENOS, o regime pluviométrico e outras variáveis ambientais. Além dos eventos climáticos, práticas de manejo e mudanças climáticas também desempenham papéis relevantes, pois reforçam a necessidade de uma abordagem holística na gestão sustentável da cultura.

No âmbito político, a correlação fraca aponta para a necessidade de políticas públicas abrangentes e medidas de adaptação, para enfrentar a variabilidade climática e seus impactos na agricultura. Isso é especialmente crítico em uma região fortemente dependente da cana-de-açúcar.

Portanto, este estudo não apenas preenche uma lacuna acadêmica, ao explorar a relação entre os fenômenos ENOS e a produção de cana-de-açúcar na Mesorregião da Mata Paraibana, mas também destaca a complexidade dessa dinâmica. À medida que se enfrenta a crescente frequência e intensidade dos fenômenos climáticos extremos, é imperativo que se considere não apenas suas implicações diretas, mas também seu papel dentro de um

sistema mais amplo de fatores que moldam a agricultura e o bem-estar das comunidades locais.

Dessa forma, espera-se que esta análise contribua para a compreensão dos desafios e oportunidades que se apresentam na interseção da produção de cana-de-açúcar, eventos ENOS e a sustentabilidade da região. Para um entendimento mais completo, seria relevante que estudos futuros se aprofundassem nas questões de adaptação, os quais considerassem cenários futuros de mudanças climáticas e políticas de manejo sustentável, a fim de garantir uma indústria sucroalcooleira resiliente e equitativa

CONCLUSÕES

- A concentração da produção de cana-de-açúcar em alguns municípios da região é notável, com destaque para municípios como Pedras de Fogo e Santa Rita, que desempenham um papel crucial na produção total.
- Houve uma correlação fraca entre as variáveis de produção de cana-de-açúcar e os fenômenos ENOS na Mesorregião da Mata Paraibana, haja vista que indicam que outros fatores desempenham papéis significativos na produtividade da cultura.
- A compreensão das complexas interações que moldam a agricultura na região requer uma abordagem mais ampla que considere variáveis biológicas, tecnológicas, sociais e econômicas.

REFERÊNCIAS

1. Lucchesi AAS. Sugarcane. In: Castro PRC, Kluge RA, Ecophysiology of extractive crops: sugarcane, rubber, coconut, oil palm and olive. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil; 2001. p. 13-45.
2. Santos F, Diola V. Chapter 2 - Physiology. In: Santos F, Borém A, Caldas C, Sugarcane. Academic Press; 2015. p. 13-33.
3. BRASIL, Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v. 1. Brasília: MAPA. 2015, 38 p.
4. Bortoletto AM, Alcarde AR. Assessment of chemical quality of Brazil sugar cane spirits and cachaças. Food Control. 2015;54(1):1-6.

5. Rezende ML, Richardson JW. Economic feasibility of sugar and ethanol production in Brazil under alternative future prices outlook. *Agricultural Systems*. 2015;138(1):77-87.
6. Costa TS, Santos LAL, Mielezski F. Capítulo 1 - Importância Econômica da Cana de Açúcar. In: Mielezski F, Lopes GN, Cultivo de cana-de-açúcar na Paraíba. João Pessoa: Editora UFPB; 2020. p. 11-17.
7. Coutinho J da S, Guimarães Júnior FRF, Guimarães LG de A, Nodari CH. Barreiras na produção de cana-de-açúcar no estado da Paraíba (PB). *Exacta* [Internet]. 26º de agosto de 2016 [citado 27º de outubro de 2023];14(2):319-36. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/6410>
8. Margarido FB, Santos F. Capítulo 1 - Planejamento da Lavoura. In: Santos F, Borém A, Cana-de-açúcar do Plantio à Colheita. Minas Gerais. Editora UFV; 2016. p. 9-28.
9. Marin FR, Lopes-Assad ML, Assad ED, Vian CE, Santos MC. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. *Pesq agropec bras* [Internet]. 2008Nov;43(11):1449–55. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008001100002>
10. GOUVÊA JRF. Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP [dissertação]. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo; 2008. 98 p.
11. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Jose A. Marengo, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Centro de Ciências do Sistema Terrestre. São Paulo, 2008.
12. Andreoli RV, Kayano MT. A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Rev bras meteorol* [Internet]. 2007Apr;22(1):63–74. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000100007>
13. Silva L, Leite S, Silva W, Abrahão R. TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NA MESORREGIÃO DA MATA PARAIBANA E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA. *EnciBio* [Internet]. 20º de junho de 2018 [citado 27º de outubro de 2023];15(27). Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/648>
14. AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2023.
15. ASPLAN - Associação dos Plantadores de Cana da Paraíba. DETEC - agosto de 2018.

- Departamento Técnico, Relatório Técnico, Safra 2017/2018.
16. Drabik D, et al. The economics of Brazil's ethanol–sugar markets, mandates, and tax exemptions. *Am J Agric Econ*. 2014 Dec 18;1-18. doi: 10.1093/ajae/aau109.
 17. Agostinho F, Siche R. Hidden costs of a typical embodied energy analysis: Brazilian sugar cane ethanol as a case study. *Biomass Bioenergy*. 2014;61(4):82-92.
 18. El Niño e La Niña - CPTEC/INPE [Internet]. enos.cptec.inpe.br. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>
 19. Oliveira LPM de, Silva FD dos S, Costa RL, Rocha RL da, Gomes HB, Pereira MPS, et al. Impacto das Mudanças Climáticas na Produtividade da Cana de Açúcar em Maceió. *Rev bras meteorol* [Internet]. 2020Oct;35(spe):969–80. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-77863550107>
 20. Marin, F., & Nassif, D. S. P. (2013). Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 17(2), 232–239. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200015>
 21. ERICKA V, TOLEDO FILHO AS. Avaliação dos efeitos dos eventos El Niño e La Niña sobre a produtividade de cana-de-açúcar na Zona Canavieira de Alagoas. *Agron J*. 1963;5:31-35.
 22. Duarte ML, Ribeiro A. Influência do El Niño e La Niña na produtividade de plantios de Eucalipto em distintas regiões no Brasil. *Ciênc Florest* [Internet]. 2023;33(1):e61334. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509861334>
 23. Kaltbach P, Kaltbach SB de A, Domingues F, Farias PC de M, Herter FG, Costa VB. El Niño-Southern Oscillation impacts on grape yields in Santana do Livramento, Brazil: understanding and early warning of crop failure conditions. *Rev Ceres* [Internet]. 2023Jan;70(1):51–60. Available from: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370010006>
 24. Almeida AT. Efeito do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) na produtividade da cana-de-açúcar em São Paulo. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil; 2015.