

CLÁUDIO JOSÉ SORIANO CORDEIRO

**AVALIAÇÃO CLIMÁTICA E ECONÔMICA PARA A CULTURA DA CANA-DE-
AÇÚCAR NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Hewlley Maria Acioli Imbuzeiro

Coorientador: José Francisco de Oliveira Júnior

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C794a
2021

Cordeiro, Cláudio José Soriano, 1995-

Avaliação climática e econômica para a cultura da
cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas / Cláudio
José Soriano Cordeiro. – Viçosa, MG, 2021.

1 dissertação eletrônica (44 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Hemlley Maria Acioli Imbuzeiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2021.

Referências bibliográficas: f. 36-44.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.756>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Climatologia agrícola. 2. Cana-de-açúcar - Cultivo -
Alagoas. I. Imbuzeiro, Hemlley Maria Acioli, 1980-
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Aplicada. III. Título.

CDD 22. ed. 630.2516

CLÁUDIO JOSÉ SORIANO CORDEIRO

**AVALIAÇÃO CLIMÁTICA E ECONÔMICA PARA A CULTURA DA CANA-DE-
AÇÚCAR NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de setembro de 2021.

Assentimento:

Cláudio José Soriano Cordeiro
Autor

Hewlley Maria Acioli Imbuzeiro
Orientador

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Cristina Soriano, pelo apoio, carinho, educação e compreensão ao longo de toda a minha vida, me mostrando que com honestidade e carisma, a gente consegue quebrar diversas barreiras.

À minha esposa, Júlia Guimarães, pelo companheirismo, amor, auxílio, discussões, paciência, compreensão e que muito me ajudaram durante toda a realização do mestrado.

À minha família que sempre esteve ao meu lado apoiando as minhas conquistas e dando todo o suporte.

Aos meus amigos e colegas do Grupo de Pesquisa MICROMET que me tiveram ao longo desses 2 anos e que muito me ajudaram a chegar ao final do mestrado: Gabriel Peterle, Ícaro Ramiro, Gisele Almeida, Victor Benezoli, um grande abraço para todos vocês.

Aos colegas de departamento, que estiveram comigo dentro e fora do trabalho: Pousa, Luiz, Livinha, Aninha, Ricardo e Emily.

A Graça, que sempre ajudou a todos os alunos, sendo uma segunda mãe para todos nós. A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada da UFV, pelos ensinamentos e ajuda no decorrer do mestrado.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”.

(Albert Einstein)

RESUMO

CORDEIRO, Cláudio José Soriano, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2021. **Avaliação climática e econômica para a cultura da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.** Orientadora: Hewlley Maria Acioli Imbuzeiro. Coorientador: José Francisco de Oliveira Júnior

O Brasil é detentor de 40% do cultivo mundial com 720 milhões de toneladas produzidas em 2019, representando 2% do produto interno bruto, gerando um valor aproximado de R\$ 40 bilhões ao ano. Dessa forma, o conhecimento dos elementos do clima, que afetam a produção e o gerenciamento adequado dos recursos envolvidos no sistema de corte, carregamento e transporte tem grande impacto na indústria canavieira. Assim sendo, o presente estudo teve como objetivo quantificar a influência dos elementos climáticos e fatores econômicos na produção da cana-de-açúcar, para o estado de Alagoas no período de 1991 a 2016. Os dados de precipitação, temperatura, área plantada e quantidade produzida, foram submetidos ao teste de tendência de Mann-Kendall e, posteriormente, pôde ser quantificado o estimador de declive proposto por Sen. E com o intuito de identificar a relação entre a quantidade produzida e as variáveis independentes foi realizado uma regressão linear múltipla. No decorrer do trabalho concluímos que: (1) as análises de tendências de precipitação apresentaram resultados significativos, com 5 municípios apresentando diminuição nos índices pluviométricos; (2) as análises de tendências para os dados de temperatura média, demonstraram que houve tendência significativamente positiva, no aumento da temperatura para 16 municípios; (3) para os dados de área plantada e quantidade produzida, os testes de tendências demonstraram que para a área plantada, 8 municípios apresentaram uma diminuição estatisticamente negativa; (4) a regressão linear múltipla, demonstrou que as variáveis de temperatura, área plantada e o preço pago ao produtor, foram estatisticamente significativas. Essas condições, associadas também a diminuição da área plantada do estado, podem afetar diretamente o PIB de Alagoas, afetando toda uma cadeia produtiva. Com isso, há necessidade de adoção de políticas públicas junto das iniciativas privadas para mitigar um cenário futuro.

Palavras-chave: NEB. Tabuleiros Costeiros. *Saccharum spp.*

ABSTRACT

CORDEIRO, Cláudio José Soriano, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2021 **Ecological and economic evaluation for sugarcane cultivation in the Coastal Tablelands of Alagoas**. Advisor: Hewlley Maria Acioli Imbuzeiro. Co-advisor: José Francisco de Oliveira Júnior

Brazil holds 40% of the world crop with 720 million tons produced in 2019, representing 2% of the gross domestic product (GDP), generating an approximate value of R\$ 40 billion. Thereby, reducing the production costs of sugarcane derivatives is essential. Thus, knowledge of the elements of climate that affect production and the proper management of the resources involved in the cutting, transport, and transport (CCT) system has a great impact on the sugarcane industry. Therefore, this study aimed to quantify the influence of climatic elements and economic value in the production of sugarcane, for the state of Alagoas in the period from 1991 to 2016. Data on exclusion, temperature, planted area, and total amount were found using the Mann-Kendall trend test and, subsequently, the decline estimator proposed by Sen could be quantified. Relationship between the amount needed and the independent variables, a multiple linear regression was performed. Based on the results obtained in the course of the work, we conclude that: (1) the analysis of rainfall trends showed significant results, with 5 counties showing a decrease; (2) trend analysis for mean temperature data showed that there was a significantly positive trend in temperature increase in 16 counties; (3) for the planted area and produced quantity data, the trend tests showed that for the planted area, 8 municipalities presented a statistically negative decrease; (4) the multiple linear regression showed that the variables of temperature, planted area and the price paid to the producer were statistically significant. These conditions, also associated with the reduction of the planted area in the state, can directly affect the GDP of Alagoas, affecting an entire production chain. With this, there is a need to adopt public policies along with private initiatives to mitigate a future scenario.

Keywords: NEB. Coastal Tablelands. *Saccharum ssp.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Caracterização da área de estudo dos Tabuleiros Costeiros (TC) no estado de Alagoas..... | 18 |
| Figura 2 - Municípios estudados dentro da área dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. | 18 |
| Figura 3 – Análise gráfica da relação entre os dados de precipitação e da quantidade produzida de cana-de-açúcar para a região dos TC, no período de 1991 a 2016..... | 27 |
| Figura 4 – Análise gráfica da relação entre a temperatura e da quantidade produzida de cana-de-açúcar para a região dos TC, no período de 1991 a 2016..... | 28 |
| Figura 5. Análise gráfica da relação entre o valor pago ao produtor (USD/ton) e da quantidade produzida (toneladas) de cana-de-açúcar para a região dos TC, no período de 1991 a 2016..... | 29 |
| Figura 6 – Análise gráfica da relação entre a área plantada e da quantidade produzida de cana-de-açúcar para a região dos TC, no período de 1991 a 2016..... | 30 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Testes não paramétricos para dos dados de precipitação no período de 1991 a 2016..... | 24 |
| Tabela 2 – Testes não paramétricos para os dados de temperatura no período de 1991 a 2016..... | 25 |
| Tabela 3 – Testes não paramétricos para os dados agrícolas no período de 1991 a 2016..... | 26 |
| Tabela 4 – Resultados estatísticos da regressão linear múltipla para o período de 1991 a 2016..... | 31 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional das Águas

ArA'a' - Superúmido

B1sA'a' - Úmido

C1sA'a' - Subúmido-seco

C2sA'a' - Subúmido

DdA'A' - Semiárido

EdA'a' - Árido

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agropecuária

ha - hectare

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NEB - Nordeste Brasileiro

PIB – Produto Interno Bruto

Proálcool - Programa do Alcool

TC - Tabuleiros Costeiros

TCNEB - Tabuleiros Costeiros no Nordeste

ton - toneladas

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

USD/ton - dólar por tonelada

VBP - Valor Bruto da Produção

VPP - Valor Pago ao Produtor

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DOS TABULEIROS COSTEIROS DO NORDESTE BRASILEIRO..... | 13 |
| 2.1. Caracterização climática NEB..... | 13 |
| 2.2. Caracterização climática Alagoas..... | 13 |
| 2.3. Expansão e estimativas para o setor sucroalcooleiro..... | 14 |
| 2.4. Influência climática sobre fatores produtivos na cana-de-açúcar..... | 15 |
| 2.5. Influência de fatores econômicos sobre a produção..... | 16 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 17 |
| 3.1. Área de estudo..... | 17 |
| 3.2. Dados climáticos..... | 19 |
| 3.2.1. Precipitação e Temperatura..... | 19 |
| 3.3. Dados agrícolas e econômico..... | 20 |
| 3.4. Análises estatísticas..... | 20 |
| 3.4.1. Análises de tendência de séries temporais de dados climáticos, agrícolas e econômico..... | 20 |
| 3.4.2. Regressão linear múltipla..... | 22 |
| 4. RESULTADOS | 24 |
| 4.1. Tendências nas séries temporais de precipitação..... | 24 |
| 4.2. Tendências nas séries temporais de temperatura média..... | 25 |
| 4.3. Tendências nas séries temporais de área plantada e na quantidade produzida..... | 26 |
| 4.4. Análise gráfica entre as variáveis climáticas, agrícolas e econômica..... | 27 |
| 4.5. Regressão linear múltipla entre variáveis..... | 30 |
| 5. DISCUSSÕES..... | 31 |
| 5.1. Precipitação e Temperatura..... | 31 |
| 5.2. Análise gráfica e modelo de regressão múltipla..... | 33 |
| 6. CONCLUSÕES..... | 35 |
| REFERÊNCIAS..... | 37 |

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma *commodity* que possui importância mundial, com diversas utilizações na indústria de alimentos, na produção de etanol de segunda geração, na construção civil e na produção de energia elétrica (SILVA et al., 2021). Sendo o Brasil o detentor de 40% do cultivo mundial com 720 milhões de toneladas produzidas anualmente, com a produtividade média no ano de 2019 de 79,1 t/ha (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2020). O setor sucroenergético representa 2% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, gerando um valor anual aproximado de R\$ 40 bilhões (Associação das Indústrias Sucroenergética de MG, 2019).

Do ponto de vista de geração de renda e empregos, a cadeia sucroenergética tem uma importante contribuição em relação a outras atividades agrícolas no Brasil. A atividade emprega 80% das pessoas com carteira assinada, enquanto outras atividades agrícolas essa taxa é apenas de 17% (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada ESALQ, 2018).

Em relação aos produtos gerados na atividade canavieira brasileira, 50% são destinados para produção de açúcar e 50% para a produção de etanol, já nos demais países produtores de cana (Austrália, Índia e outros), a totalidade da produção é direcionada para a fabricação do açúcar (Carvalho; Oliveira, 2008; Pereira, 2018;). Isso, sem levarmos em consideração a o uso do bagaço da cana para adubo e a produção de cachaça.

No Brasil o plantio de cana-de-açúcar é feito principalmente nas regiões Nordeste (estados de Pernambuco e Alagoas); Centro-Sul tradicional (São Paulo - exceto oeste, Paraná e Rio de Janeiro) e Centro-sul expansão (Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e oeste paulista). Destas regiões, a principal produtora é a Centro-Sul tradicional, com 63% da produção, seguida da Centro-sul expansão, com 27% e seguida da região Nordeste, com representação de 10% da produção. (Marques, 2009; Chaddad, 2010; Pereira, 2018).

Nos últimos anos, vem sendo observada uma forte expansão da área cultivada com cana-de-açúcar, fato que se relaciona com o incentivo a produção do etanol (Aguiar et al., 2014). Essa expansão está ocorrendo, entre outros fatores, devido às condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento da cana-de-açúcar e à facilidade de mecanização, na região Centro-Sul, que possibilitam a obtenção de elevadas produtividades e custos mais baixos (Nocelli et al., 2017; Ronquim et al., 2018, Martins et al., 2020).

No estado de São Paulo, no período de 2000 a 2015, a área cultivada de cana-de-açúcar aumentou 125% (aproximadamente 3,1 milhões de hectares), em detrimento das áreas de pastagens e das culturas arroz, feijão, milho, batata, mandioca e frutas (Caldarelli e Gillio, 2018).

Em Alagoas, houve uma redução da área plantada de cana-de-açúcar, saindo de 410 mil ha em 2013 para, aproximadamente, 275 mil ha em 2018 (IBGE, 2020). Com isso, a quantidade produzida no ano de 2013 que era de 27 milhões de toneladas reduziu significativamente para 17 milhões de toneladas em 2018 (IBGE, 2020). Essa redução pode estar relacionada com fatores climáticos e econômicos que o setor sucroalcooleiro está sujeito.

A cultura da cana, possui uma necessidade hídrica, se bem distribuída, em torno de 1.100 mm a 1.500 mm, entretanto, é necessário um período relativamente mais seco nos meses em que há crescimento vegetativo (Barros et al., 2012). Já com relação a temperatura, a faixa ótima para o crescimento da planta está entre 20°C e 35°C (Casagrande, 1991).

Na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, onde a precipitação média anual fica em torno de 1800 mm, o cultivo de cana-de-açúcar em regime de sequeiro está exposto ao risco climático médio, visto que boa parte da chuva (70%) se concentra no período de abril a agosto, enquanto os outros 30% se distribuem de outubro a fevereiro (Souza et al., 2004; Carvalho et al., 2013; Silva et al., 2015).

Entretanto, os fatores climáticos não são os únicos responsáveis pela redução na produtividade da cana-de-açúcar, outros fatores, por exemplo, os fatores econômicos influenciam diretamente na produção (Tomazela et al., 2017).

O aumento do dólar, a adoção de tecnologias, variação no preço dos insumos e utilização de ferramentas para ajudar no controle de praga e doenças implicam em um aumento nos custos por área (Tomazela et al., 2017).

Como a cultura da cana-de-açúcar nacional é uma commodity, a redução dos custos de produção é imprescindível para obter melhores produtividades. Assim, o gerenciamento adequado dos recursos envolvidos no sistema de corte, carregamento e transporte (CCT) tem grande impacto na produtividade da cana (Tomazela et al., 2017).

Visto que esses problemas podem afetar a produção na área dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, o presente estudo teve como objetivo quantificar a influência dos elementos climáticos (Precipitação e Temperatura) e os fatores econômicos (Área plantada, Quantidade

produzida e o Valor pago ao produtor) na produção da cana-de-açúcar para o estado de Alagoas no período de 1991 a 2016.

2. Caracterização da área dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro (NEB)

2.1. Caracterização climática do Nordeste brasileiro (NEB)

De forma geral a região do NEB tem como característica a ocorrência de elevadas temperaturas do ar e altas taxas de evaporação da água, fato que se relaciona com a alta incidência de radiação solar a maior parte do ano na região (Marengo, 2008). No entanto, com uma área em torno de 1.558.000 km², essa região apresenta uma alta variedade climática.

O clima predominante é o semiárido, com precipitações acumuladas que podem ser inferiores à 500mm por ano, mas em algumas regiões, como na região dos Tabuleiros Costeiros, o volume acumulado de precipitação pode atingir mais de 1500mm anual (Marengo, 2008; Morais et al., 2017; Souza et al., 2004).

O clima do NEB tem a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos Oceanos Pacífico e Atlântico como uma das principais forçantes. Essa TSM impulsiona a variação espacial e flutuações nos acumulados de precipitação, principalmente no Leste do Nordeste ou Zona da Mata (Martins et al., 2017; Marengo, 2008).

Outros dois mecanismos climáticos que influenciam na dinâmica atmosférica dessa região são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que influenciam o Norte da região Nordeste, e é onde se ocorrem as maiores secas; outro mecanismo é a passagem de frentes frias que vêm do sul do país, influenciando a região sul-sudoeste do Nordeste (Marengo, 2008; Marengo et al., 2017).

2.2. Caracterização climática Alagoas e da região dos Tabuleiros Costeiros.

Segundo a classificação de Thronthwaite, seis tipos climáticos predominam em Alagoas: o superúmido (ArA'a'), megatérmico, com temperaturas de todos os meses superior a 18°C, pequena ou nenhuma deficiência hídrica e índice de umidade em torno de 100%, encontrado apenas nas áreas mais elevadas do estado.

O climático úmido (B1sA'a') que tem em sua característica uma deficiência hídrica moderada no verão, megatérmico, com índice hídrico entre 40mm e 20mm, ocorrendo em

uma pequena parte da zona da mata norte e do litoral.

O tipo subúmido (C2sA'a') que durante todo o ano, mostra uma maior umidade do solo, mas apresenta moderada deficiência hídrica no verão, com índice de umidade entre 20 e 0, predominando na zona da mata e no litoral do estado. Já o tipo subúmido-seco (C1sA'a'), megatérmico, é um pouco mais seco e apresenta moderada deficiência hídrica no verão, com índice de umidade entre 0 a -20, se encontra na divisa com o tipo climático semiárido.

O tipo climático semiárido (DdA'A') apresenta um índice de umidade entre -20 e -40, com pequeno ou nenhum excesso de água, localizado na região do agreste e sertão. E o sexto tipo climático é o clima árido (EdA'a'), megatérmico, com índice de umidade mais acentuado, entre -40 e -60 e nenhum excesso de água, durante todo o ano (EMBRAPA, 2012).

A região dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas tem suas atividades, principalmente na agricultura, muito dependente da precipitação pluvial e temperatura do ar. Essa região apresenta clima quente e úmido, totais pluviométricos anuais elevados (1500-2000 mm anuais) com o período chuvoso concentrado no outono - inverno e o período seco na primavera – verão (LIMA, 1991; SOUZA & LIMA, 1995). A precipitação pluvial nessa região recebe influência da massa de ar tropical marítima e da penetração do ar frio polar.

A variabilidade mensal da precipitação está diretamente relacionada à intensidade da brisa terrestre. O período chuvoso (maio – julho) está possivelmente associado à máxima convergência dos alísios com a brisa terrestre, que deve ser mais forte durante as estações de outono e inverno quando o contraste de temperatura entre a terra e o mar é maior (KOUSKY, 1980).

2.3. Expansão e estimativas para o setor sucroalcooleiro

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) há uma valorização do etanol no mercado interno o que implica numa queda nas exportações do açúcar brasileiro, que no acumulado da safra de 2018/2019 teve uma redução de 29,1% em comparação com o mesmo período da safra passada (21,1 milhões de toneladas) (BRASIL, 2018).

O álcool é atualmente um produto de elevado valor em termos de sustentabilidade ambiental e por isso mesmo, possui grande potencial de comercialização. Cada litro de álcool combustível reduz cerca de 2,6 quilos de emissão de CO₂, sendo o mercado interno consumidor de cerca de 14 bilhões de litros de álcool ao ano (Carvalho, 2003).

Essa valorização no mercado interno por etanol pode estar relacionada com a premissa de

uma produção energética mais limpa e economicamente viável.

Motivo pelo qual o Brasil pode ser uma referência na geração de energia limpa e, também, em um período em que estudos relacionados às mudanças climáticas associado com o crescimento populacional e um aumento na produção de biocombustíveis, a procura por alternativas que emitam uma menor quantidade de carbono para a atmosfera é de extrema importância (Dias et al., 2016; Silva et al., 2013; Cuadra 2012).

Quando falamos da produção brasileira, esta está concentrada no Centro-Sul e Nordeste, o que confere a possibilidade de produzir e abastecer o mercado com açúcar e álcool ao longo de todo o ano, pois as safras das suas regiões ocorrem em épocas distintas (Vidal et al., 2006).

No Nordeste, a expansão na produção de cana-de-açúcar teve início no final da década de 1970 com o programa do álcool (Proálcool) introduzindo-a principalmente nos Tabuleiros Costeiros (TC) por ser uma região mais favorecida por chuvas em determinadas épocas do ano (Silva et al., 2013).

Em escala nacional, a produção de cana-de-açúcar tem apresentado rendimentos agrícolas e industriais decrescentes. Fatores macroeconômicos e adequações ambientais afetaram os custos de produção e ampliaram o endividamento dos produtores.

Os cortes nos investimentos limitaram a absorção de novas tecnologias em variedades de cana-de-açúcar, os tratamentos culturais e a renovação dos canaviais pelos produtores, enquanto variações climáticas severas também afetaram a produção no setor sucroenergético (de Carvalho et al., 2018). Afetando assim, toda a cadeia de produção sucroalcooleira.

2.4. Influência climática sobre fatores produtivos na cana-de-açúcar

A atividade canavieira nordestina está localizada principalmente na região dos TC, o que é vantajoso em termos de recursos ambientais. Essa região possui maior quantidade de precipitação, quando comparada com outras regiões do Nordeste. Entretanto, em um intervalo de três a cinco anos, é afetada por estiagens, que resulta na redução da produtividade agrícola e rendimento industrial (Vidal et al., 2006)

Como Santos et al., (2020) demonstraram em estudo feito sobre o impacto das mudanças climáticas no comércio intranacional e de exportação agrícola para o nordeste brasileiro, o aumento de 1% na precipitação de chuvas acarretaria, em média, na elevação de

aproximadamente 0,53% das exportações intranacionais.

E com relação ao efeito da temperatura sobre o comércio por vias internas no Nordeste, têm-se que o aumento de 1% na temperatura média dos estados da região, implicaria na redução das exportações intranacionais em 1,33% e que, nesse mesmo aumento de temperatura média dos estados da região, haveria uma redução das exportações de produtos alimentícios e animais vivos na ordem dos 8,68% (Santos et al., 2020).

Corroborando com esses estudos, Araújo et al., 2014 trabalhando com a região do NEB, demonstraram que os níveis de temperatura e precipitação foram fatores decisivos para explicar os níveis de produtividade de culturas como a cana-de-açúcar, onde em um contexto de mudanças climáticas, os níveis de produtividade serão bastante inferiores àqueles que poderiam ser alcançados.

de Oliveira et al., (2012), trabalhando também com a região do NEB indicaram que as alterações climáticas ocasionadas pelo aumento da temperatura do ar e redução na precipitação pluvial provocam abatimentos relevantes na proporção de áreas agrícolas com baixo risco climático para a cultura da cana-de-açúcar.

Esse resultado evidencia que o impacto das mudanças climáticas no setor agrícola afetará, principalmente, os agricultores familiares e as regiões menos desenvolvidas do país (de Carvalho et al., 2018).

Dada a dependência direta do setor agrícola com o clima da região, demonstrada pelos estudos acima, os efeitos das mudanças climáticas e os prejuízos financeiros e sociais derivados, só poderão ser minimizados através de planos de adaptação, gerando uma estratégia nos âmbitos econômicos, ambiental e energético (de Carvalho et al., 2018).

2.5. Influência de fatores econômicos sobre a produção

As mudanças tecnológicas na cultura da cana-de-açúcar tem como objetivo minimizar o impacto ambiental, aumentar a produtividade, melhorar a qualidade da cana e diminuir os custos de produção (Silva, 2009). Esses custos de produção são afetados por fatores como economia de escala, experiência na produção, aumentos dos preços dos insumos, competitividade do mercado, pesquisa e desenvolvimento que induz mudanças tecnológicas (Nunez, 2013).

Marques (2013) em estudo na região Nordeste, explica que a pequena escala de produção e a intensiva utilização de mão de obra nas etapas de plantio e colheita, podem ser apontadas como os principais gargalos na produção de cana-de-açúcar. Sendo assim, a mão de obra representa um custo bastante elevado nessa região.

Corroborando com Marques (2009), Vidal et al., 2006 estudando a cadeia produtiva de cana-de-açúcar no Nordeste demonstrou que a inexistência de equipamentos para a colheita da cana crua, adequados à topografia acidentada de alguns solos do Nordeste, eleva o custo de produção com a colheita manual e gera impacto ambiental na região.

Com isso, Domingues et al., 2011 analisaram a influência das mudanças climáticas sobre a evolução do PIB estadual, gerando simulações no período de 2010 a 2050 e ficou demonstrado que haveria um acúmulo de perda na ordem de -13,1% no PIB do Nordeste, com o cenário de mudanças climáticas e que afetaria também a relação de empregos que seria -5,95% menor. Essa diminuição representaria o equivalente a 36,75 bilhões de reais em perdas na atividade econômica da região no ano de 2005. No estado de Alagoas, a estimativa chega a ser de -9,1% no PIB.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na região dos Tabuleiros Costeiros (TC) localizados no estado de Alagoas (Figura 1). Essa região abrange, aproximadamente, 43 municípios. Porém, como não existem estações meteorológicas do INMET ou da ANA em todos os municípios, teve-se que escolher com base na disponibilidade de dados os municípios dentro da região do TC que possuíam alguma estação para coleta de dados. Dos 43 municípios inseridos dentro do TC, somente 20 possuíam a quantidade de dados para o período em análise e, ainda assim, foi necessário o preenchimento de dados faltantes. Os municípios estão listados na Figura 2.

Figura 1. Caracterização da área de estudo dos Tabuleiros Costeiros (TC) no estado de Alagoas.

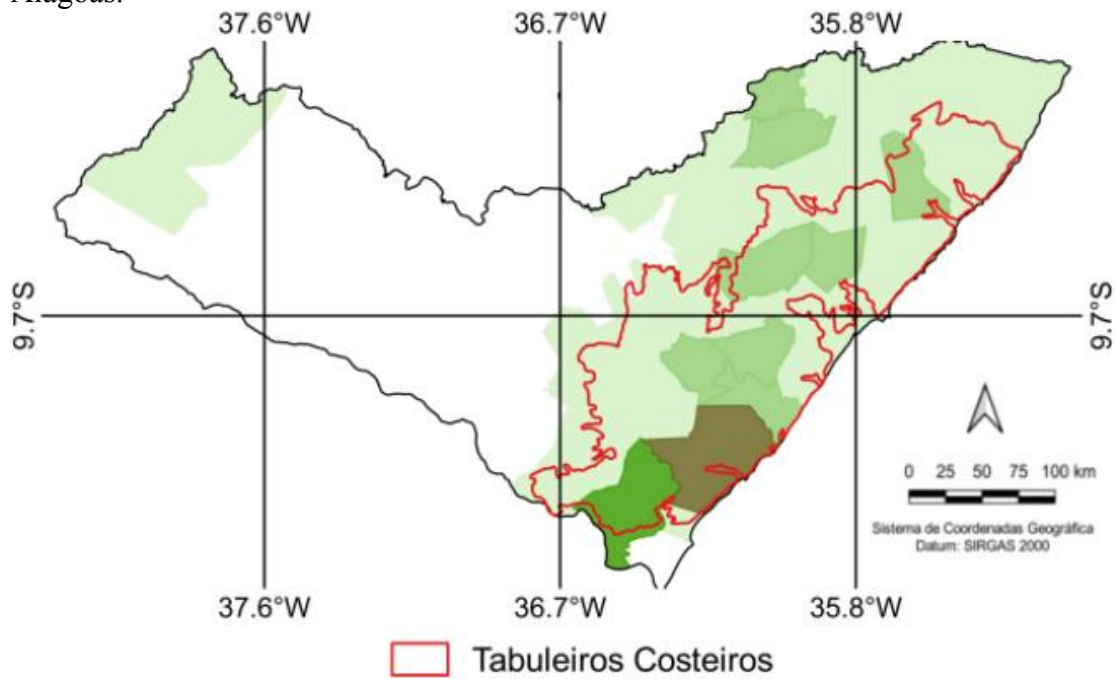
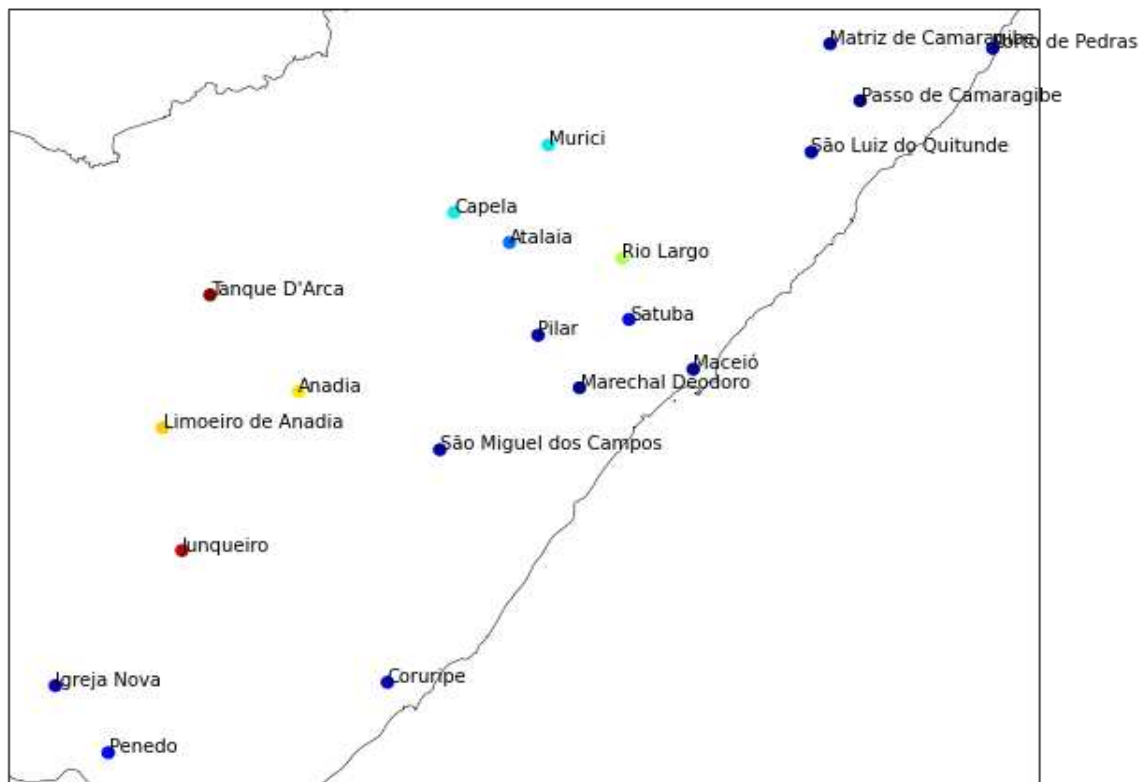


Figura 2. Municípios estudados dentro da área dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.



3.2 Dados climáticos

3.2.1 Precipitação e Temperatura

No estudo foram utilizados dados de chuvas mensais referentes às 20 estações pluviométricas localizadas nos 20 municípios (Quadro 1) na região de TC em Alagoas, todas pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA – Agência Nacional das Águas (ANA, 2020), os quais foram obtidos via plataforma Hidroweb no seguinte endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>. O período estudado compreende os anos entre 1991 a 2016.

Entretanto, a série de dados histórica possuía lacunas e dados faltantes, com isso, foi necessário a aplicação da função “mstats” do pacote “mtsd” versão 0.3-5 (Junger e Ponce De Leon, 2018) para o cálculo dos percentuais (%) de falhas das séries temporal pluviométrica, utilizando o software R para realizar as análises.

A função “mstats” calculou a proporção de dados faltantes, maiores detalhes em Plaia (2006) e Gois et al. (2019). A escolha do método de imputação foi baseada na metodologia de Harrel (2001). Os percentuais (%) de dados faltantes das séries temporais de chuva (mm) mensal devem seguir os seguintes critérios: i) Percentual ≤ 0.05 : A imputação única ou análise somente dos dados completos; ii) Percentual entre 0.05 e 0.15: Uso da imputação múltipla e iii) Percentual ≥ 0.15 : A imputação múltipla é indicada na maior parte dos casos.

Maiores detalhes do procedimento matemático podem ser encontrados em Harrel (2001); Junninen et al. (2004); Buuren e Oudshoorn (2011); Junger (2018).

Os dados de temperatura máxima e mínima, utilizado para o cálculo da temperatura média, foram obtidos através do modelo desenvolvido por Xavier et al., (2016). Foi utilizado o período de 1991 a 2016.

Esse modelo foi gerado a partir da interpolação de dados observados em diversas estações no Brasil, tanto convencionais quanto automáticas, dando origem a um banco de dados gradeados com resolução de 0.25 graus x 0.25 graus.

Após essa interpolação, os dados observados das estações foram interpolados com os dados de relevo de cada região, gerando uma resolução mais precisa de 0.1 graus x 0.1 graus e com isso, pôde-se observar que houve variação na temperatura em pontos próximos com altitudes diferentes na ordem de 0.006 °C de temperatura para cada metro a mais de altitude.

3.3 Dados agrícolas e econômico

Os dados agrícolas utilizados nesse estudo foram: área plantada (ha) e quantidade produzida (ton/ha⁻¹) por município; obtidos pelo Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o período de 1991 a 2016.

Esses dados foram baixados da plataforma SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática). Nessa plataforma os dados são organizados em planilhas. Essas planilhas foram geradas com as principais variáveis em estudo. A partir disso, essas variáveis foram analisadas, a fim de verificar se houve aumento ou redução na área plantada e na quantidade produzida ao longo do período.

O dado econômico utilizado neste trabalho foi o de valor pago ao produtor (VPP), em dólar por tonelada (USD/ton) de cana-de-açúcar, obtido no site da Organização da Nações Unidas para Alimentação e Agropecuária (FAO) para o período de 1991 a 2016.

Como a cana-de-açúcar é uma *commodity*, seu preço é determinado pelo mercado mundial de acordo com a oferta e demanda, por isso de ter sido utilizado o valor em dólar.

3.4 Análises estatísticas

3.4.1. Análises de tendência de séries temporais de dados climáticos, agrícolas e econômico

Antunes et al., 2015 explica que as séries temporais foram definidas como uma “sequência de dados quantitativos relativos a momentos específicos e estudados segundo sua distribuição no tempo”, sendo uma forma de organizar no tempo as informações quantitativas.

No início da análise de uma série de dados temporal, deve-se modelar o fenômeno estudado, para a partir daí, descrever o comportamento da série, estimar os dados e por fim, avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, buscando a existência de relações de causa e efeito entre duas ou mais séries temporais (Latorre & Cardoso, 2001).

Determinar se o valor de uma variável apresentou tendência de aumento ou diminuição ao longo de uma série temporal, se torna interessante para quantificar ou descrever as razões da mudança baseadas em variações em algum valor central de distribuição (Helsel e Hirsch, 2002).

É de importância lembrar que as tendências são baseadas, principalmente, no

comportamento de determinada série histórica, sendo que não se pode afirmar que o comportamento apresentado até então continuará posteriormente (Santos, 2016).

Os dados de precipitação, temperatura, área plantada e quantidade produzida, foram submetidos ao teste de tendência de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), que por ser um teste não paramétrico, não é necessária uma distribuição normal dos dados e, também, pelo fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (Salviano et al., 2016; Zhang et al., 2009; Yue et al., 2002), a estatística do teste é a seguinte (Silva et al., 2010):

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

em que x_j são os dados estimados da sequência de valores, n é o comprimento da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$. O teste de Mann-Kendall é um teste normalmente usado para avaliar tendência de séries temporais de dados ambientais com bastante eficiência.

Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas pelas equações:

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (2)$$

em que (t_p) é número de dados com valores iguais num certo grupo (p th) e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

Esse teste é capaz de nos dizer se a série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa, com isso, queremos testar as hipóteses:

H_0

= As observações das séries são independentes e identicamente distribuídas (Não há tendência)

H_1 = As observações da série possuem tendência monotônica no tempo (Há tendência)

O teste de Mann Kendall consegue apresentar uma grande eficiência, porém, o mesmo não nos dá um valor para essa tendência, ele somente nos diz se naqueles dados estão ocorrendo uma tendência ou não.

Por causa disso, há necessidade do conhecimento da magnitude das tendências detectadas

para cada variável, tornando necessário a aplicação do teste de Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968), em que a estimativa da inclinação (β) é obtida por

$$\beta = \text{mediana} \quad (3)$$

para todos os $i > j$, em que, y é a variável testada para tendência e t é o tempo; e β representa a mediana obtida de todas as possíveis combinações de dois pontos da série temporal (Back et al., 2012).

Este estimador de declive proposto por Sen (1968) pode ser obtido por meio da estatística Q , conforme demonstrado por Portela et al. (2011) e Tao et al. (2014):

$$Q_{ij} = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (4)$$

Entretanto, para utilizar esse método é necessário que os dados sejam independentes e aleatórios (estacionários). Para isso, um teste de autocorrelação foi realizado para verificar a independência da série temporal e para verificar a aleatoriedade dos dados foi realizado o teste de sequência (Run Test) (Salviano et al., 2016).

Esses testes foram calculados utilizando rotinas desenvolvidas no software R e em Python, para cada município dentro da área de estudo, para o período de 1991 a 2016. Visto que, como o ciclo da cana pode durar até 7 anos em campo, a avaliação mensal desses dados poderia não refletir em uma resposta adequada.

Maiores informações sobre os procedimentos matemáticos do teste de Mann-Kendall, podem ser encontradas nas literaturas: Mann (1945); Kendall (1975); Yu Yang; Wu (2002); Wagesho et al., (2012).

3.4.2. Regressão linear múltipla

De acordo com Sassi et al (2012), a regressão linear múltipla é uma técnica multivariada cujo objetivo é obter uma relação matemática entre uma das variáveis estudadas e das demais variáveis que descrevem o sistema. Com isso, a análise de regressão múltipla é um método utilizado quando há uma variável dependente (Y) e uma ou mais variáveis independentes (X_1, X_2, \dots, X_k) (Hair et al., 2009).

A utilização do modelo de regressão linear múltipla é explicada em razão dos modelos de regressão múltipla usarem múltiplas variáveis independentes que podem, por vezes, estar correlacionadas inferindo assim na causalidade nos casos em que a análise de regressão

simples seria enganosa (Ferreira, 2016).

Segundo Landim (2011), embora a regressão múltipla seja multivariada, no sentido de que mais de uma variável é analisada ao mesmo tempo de cada observação, a técnica utilizada é univariada, porque o foco é a dispersão da variável dependente Y . Com isso, a variação em proporção de Y é explicada pela equação de regressão linear múltipla e é representada pelo coeficiente de determinação R-Quadrado.

De modo geral, a regressão linear múltipla tem por objetivo estimar os parâmetros desconhecidos do modelo e estabelecer equações que possam ser utilizadas para prever valores de Y em relação às variáveis independentes (Johnson; Whicern, 2002), o modelo é apresentado pela seguinte equação:

$$Y_{i(\text{quantidade produzida})} = \beta_0 + \beta_{1i} \text{Precipitação}_{1i} + \beta_{2i} \text{Temperatura} + \dots + \beta_{3i} \text{Área Plantada} + \beta_{3i} \text{Preço Pago ao Produtor} + e_i \quad (5)$$

em que Y_i é a observação da variável dependente para o i -ésimo nível; β_0 , coeficiente da regressão, representa o intercepto da reta ao eixo y ; β_i , relação coeficiente de regressão no i -ésimo nível, representa a variação de Y_i em função da variação da variável X_i ; X_i é a variável independente para o i -ésimo nível; e_i , erro associado entre o valor observado Y_i e o correspondente ponto na curva do modelo proposto para o mesmo nível de X_i .

A regressão linear múltipla, foi realizada utilizando a linguagem de programação Python em toda a série temporal dos dados disponíveis.

E com o intuito de padronizar os valores para cada variável, visto que, as variáveis agrícolas de área plantada e quantidade produzida possuem valores muito elevados quando comparado com os dados de temperatura, preço pago ao produtor e precipitação, foi realizada uma regressão log-log, com intuito de corrigir os erros que podem surgir pelo fato da magnitude das variáveis serem muito abruptas.

4. RESULTADOS

4.1. Tendências nas séries temporais de precipitação na área de estudo dos TC de Alagoas.

A partir dos resultados obtidos pelo teste de tendência de Mann-Kendall apresentados na Tabela 2, foi possível observar que em 5 municípios: Anadia, Coruripe, Junqueiro, Marechal Deodoro e Porto de Pedras, apresentaram tendência negativa a 5% de significância, ou seja, tendência de diminuição nos índices pluviométricos, enquanto somente 1 município apresentou tendência positiva, ou seja, de aumento nos índices pluviométricos. Sendo o município de Coruripe, o principal produtor de cana-de-açúcar, apresentando uma diminuição na ordem de 90 mm pelo teste de Theil-Sem, para os 25 anos de período analisado, o que implica dizer que a cada ano, estaria tendo uma redução na ordem de, aproximadamente, 4 mm de redução na precipitação.

Tabela 1. Testes não paramétricos para os dados de precipitação no período de 1991 a 2016.

| Testes não paramétricos para a variável de Precipitação (mm) | | | | | |
|--|---------------|---------|------|-------------------|---------|
| Municípios | Kendall's Tau | p-value | SE** | Sens's Slope (mm) | p-value |
| Anadia | -0,38 | 0,01 | S- | -58,23 | 0,01 |
| Atalaia | -0,15 | 0,29 | NS | -14,00 | 0,29 |
| Capela | 0,18 | 0,22 | NS | 8,61 | 0,22 |
| Coruripe | -0,48 | 0,00 | S- | -90,31 | 0,00 |
| Igreja Nova | -0,22 | 0,11 | NS | -22,04 | 0,11 |
| Junqueiro | -0,31 | 0,03 | S- | -53,79 | 0,03 |
| Limoeiro de Anadia | -0,18 | 0,20 | NS | -24,95 | 0,20 |
| Maceió | -0,22 | 0,12 | NS | -32,96 | 0,12 |
| Marechal Deodoro | -0,29 | 0,04 | S- | -41,56 | 0,04 |
| Matriz de Camaragibe | -0,19 | 0,17 | NS | -4,56 | 0,17 |
| Murici | 0,02 | 0,89 | NS | 3,67 | 0,89 |
| Passo de Camaragibe | 0,06 | 0,69 | NS | 2,45 | 0,69 |
| Penedo | -0,22 | 0,11 | NS | -24,75 | 0,11 |
| Pilar | -0,23 | 0,10 | NS | -40,93 | 0,10 |
| Porto de Pedras | -0,28 | 0,05 | S- | -52,78 | 0,05 |
| Rio Largo | -0,20 | 0,16 | NS | -22,76 | 0,16 |
| Satuba | -0,18 | 0,22 | NS | -15,40 | 0,22 |
| São Luiz do Quitunde | 0,15 | 0,29 | NS | 10,89 | 0,29 |
| São Miguel dos Campos | 1,00 | 0,00 | S+ | 1,09 | 0,00 |
| Tanque D'arca | 0,02 | 0,93 | NS | 1,16 | 0,93 |

Legenda: Itens em vermelho indicam que as séries históricas apresentaram tendência negativa com significância estatística para os testes realizados. Itens em verde indicam que as séries históricas apresentaram tendência positiva com significância estatística para os testes realizados. Intervalo de confiança considerado: 95% ($\alpha = 0,05$). **Para ter significância estatística, os testes devem apresentar $p\text{-value} < \alpha = 0,05$. S+: Tendência significativa positiva. S-: Tendência significativa negativa. NS: Nenhuma significância estatística.

4.2. Tendências nas séries temporais de temperatura média

Já para os resultados obtidos para a variável de temperatura, temos que a partir dos resultados de tendência nos dados de temperatura média ficou demonstrado que somente 6 municípios não apresentaram tendência significativa. Com isso, é possível observar na Tabela 3, que os demais municípios estão apresentando uma tendência positiva, ou seja, uma tendência de aumento na temperatura média, o que pode influenciar nas condições de campo da cultura.

E quando visualizamos a curvatura de Sen para os dados de temperatura, podemos observar que o aumento varia de 0.01°C a 0.04°C para o período analisado. Demonstrando que ao longo do tempo, a temperatura média tem aumentando em torno de 0.04°C ao ano.

Tabela 2. Testes não paramétricos para os dados de temperatura no período de 1991 a 2016.

| Testes não paramétricos para a variável de Temperatura (°C) | | | | | |
|---|---------------|---------|------|-------------------|---------|
| Municípios | Kendall's Tau | p-value | SE** | Sens's Slope (°C) | p-value |
| Anadia | 0,42 | 0,00 | S+ | 0,03 | 0,00 |
| Atalaia | 0,29 | 0,04 | S+ | 0,02 | 0,04 |
| Capela | 0,32 | 0,02 | S+ | 0,02 | 0,02 |
| Coruripe | 0,32 | 0,02 | S+ | 0,01 | 0,02 |
| Igreja Nova | 0,37 | 0,01 | S+ | 0,03 | 0,01 |
| Junqueiro | 0,64 | 0,00 | S+ | 0,06 | 0,00 |
| Limoeiro de Anadia | 0,40 | 0,00 | S+ | 0,03 | 0,00 |
| Maceió | 0,27 | 0,06 | NS | 0,02 | 0,06 |
| Marechal Deodoro | 0,31 | 0,03 | S+ | 0,02 | 0,03 |
| Matriz de Camaragibe | 0,26 | 0,06 | NS | 0,01 | 0,06 |
| Murici | 0,32 | 0,02 | S+ | 0,01 | 0,02 |
| Passo de Camaragibe | 0,25 | 0,08 | NS | 0,01 | 0,08 |
| Penedo | 0,30 | 0,03 | S+ | 0,03 | 0,03 |
| Pilar | 0,27 | 0,05 | NS | 0,02 | 0,05 |
| Porto de Pedras | 0,14 | 0,31 | NS | 0,01 | 0,31 |
| Rio Largo | 0,29 | 0,04 | S+ | 0,02 | 0,04 |
| Satuba | 0,24 | 0,09 | NS | 0,01 | 0,09 |
| São Luiz do Quitunde | 0,29 | 0,04 | S+ | 0,02 | 0,04 |
| São Miguel dos Campos | 0,32 | 0,02 | S+ | 0,02 | 0,02 |
| Tanque D'arca | 0,40 | 0,00 | S+ | 0,04 | 0,00 |

Legenda: Itens em vermelho indicam que as séries históricas apresentaram tendência negativa com significância estatística para os testes realizados. Itens em verde indicam que as séries históricas apresentaram tendência positiva com significância estatística para os testes realizados. Intervalo de confiança considerado: 95% ($\alpha = 0,05$). **Para ter significância estatística, os testes devem apresentar $p\text{-value} < \alpha = 0,05$. S+: Tendência significativa positiva. S-: Tendência significativa negativa. NS: Nenhuma significância estatística.

4.3. Tendências nas séries temporais de Área plantada e na Produção

A partir dos resultados obtidos para a variável independente de área plantada, foi possível observar que houve tendência significativa negativa para os municípios de Capela, Matriz do Camaragibe, Murici, Passo do Camaragibe, Pilar, Porto de Pedras e São Luiz do Quitunde pelo teste de Mann-Kendall. A magnitude dessa mudança foi calculada pela curvatura de Sen, que apresentou valores de 201.00, 44.38, 170.88, 61.75, 155.56 e 431.99 ha ano⁻¹. Entretanto, para os municípios de Atalaia, Igreja Nova e Satuba, o teste de Mann-Kendall acusou uma tendência positiva na área plantada, com um valor de 316.67, 281.81 e 21 ha ano⁻¹, pela curvatura de Sen (Tabela 6).

Para os estados de Limoeiro de Anadia e Matriz de Camaragibe, o teste de Mann-Kendall demonstrou que há uma tendência positiva no aumento da área plantada, que pôde ser quantificado pela curvatura de Theil-sen, determinando um aumento de 54.17 e 201.76 ha ano⁻¹ nesses municípios.

Com relação a Quantidade Produzida foi possível observar que os resultados para os municípios de Atalaia e Coruripe através do teste de Mann-Kendall, houve uma tendência positiva, na ordem de 27.746 e 48.236 ton ano⁻¹ de aumento na produção, medido pela curvatura de Sen.

Tabela 3. Testes não paramétricos para os dados agrícolas no período de 1991 a 2016.

| Municípios | Área plantada | | | | Produção | | | |
|-----------------------|---------------|----------|---------------------|------|---------------|----------|--------------------|------|
| | Kendall's Tau | p-value* | Sen's Slop (ha/ano) | SE** | Kendall's Tau | p-value* | Sen's Slop (t/ano) | SE** |
| Anadia | -0,64 | 0,06 | -182,13 | NS | -0,27 | 0,06 | -4133,33 | NS |
| Atalaia | 0,46 | 0,00 | 316,67 | S+ | 0,49 | 0,00 | 27746,25 | S+ |
| Capela | -0,47 | 0,00 | -201,00 | S- | -0,14 | 0,31 | -5422,88 | NS |
| Coruripe | 0,20 | 0,16 | 128,57 | NS | 0,38 | 0,00 | 48236,00 | S+ |
| Igreja Nova | 0,67 | 0,00 | 281,81 | S+ | 0,75 | 0,12 | 21546,00 | NS |
| Junqueiro | -0,58 | 0,48 | -187,71 | NS | -0,11 | 0,44 | -3094,13 | NS |
| Limoeiro de Anadia | 0,57 | 0,65 | 67,88 | NS | 0,59 | 0,25 | 6507,33 | NS |
| Maceió | -0,15 | 0,30 | -3,13 | NS | 0,22 | 0,12 | 4153,50 | NS |
| Marechal Deodoro | 0,74 | 0,30 | 368,95 | NS | 0,60 | 0,21 | 29660,60 | NS |
| Matriz de Camaragibe | -0,41 | 0,00 | -44,38 | S- | 0,09 | 0,52 | 1860,00 | NS |
| Murici | -0,35 | 0,02 | -170,88 | S- | -0,16 | 0,25 | -2947,38 | NS |
| Passo do Camaragibe | -0,41 | 0,00 | -88,57 | S- | -0,02 | 0,91 | -116,45 | NS |
| Penedo | 0,69 | 0,01 | 404,15 | NS | 0,74 | 0,12 | 37301,63 | NS |
| Pilar | -0,53 | 0,00 | -61,75 | S- | 0,09 | 0,54 | 768,70 | NS |
| Porto de Pedras | -0,83 | 0,00 | -155,56 | S- | -0,55 | 0,79 | -6190,00 | NS |
| Rio Largo | -0,18 | 0,21 | -142,11 | NS | 0,10 | 0,49 | 5649,44 | NS |
| Satuba | 0,56 | 0,00 | 21,00 | S+ | 0,57 | 0,54 | 2429,67 | NS |
| São Luiz do Quitunde | -0,67 | 0,00 | -431,89 | S- | -0,27 | 0,06 | -11210,23 | NS |
| São Miguel dos Campos | -0,59 | 0,36 | -1374,27 | NS | -0,40 | 0,00 | -58114,46 | S- |
| Tanque D'arca | -0,25 | 0,08 | -8,53 | NS | -0,11 | 0,44 | -91,18 | NS |

Legenda: Itens em vermelho indicam que as séries históricas apresentaram tendência negativa

com significância estatística para os testes realizados. Itens em verde indicam que as séries históricas apresentaram tendência positiva com significância estatística para os testes realizados. Intervalo de confiança considerado: 95% ($\alpha = 0,05$). **Para ter significância estatística, os testes devem apresentar $p\text{-value} < \alpha = 0,05$. S+: Tendência significativa positiva. S-: Tendência significativa negativa. NS: Nenhuma significância estatística.

4.4. Análise gráfica entre as variáveis climáticas, agrícolas e econômica.

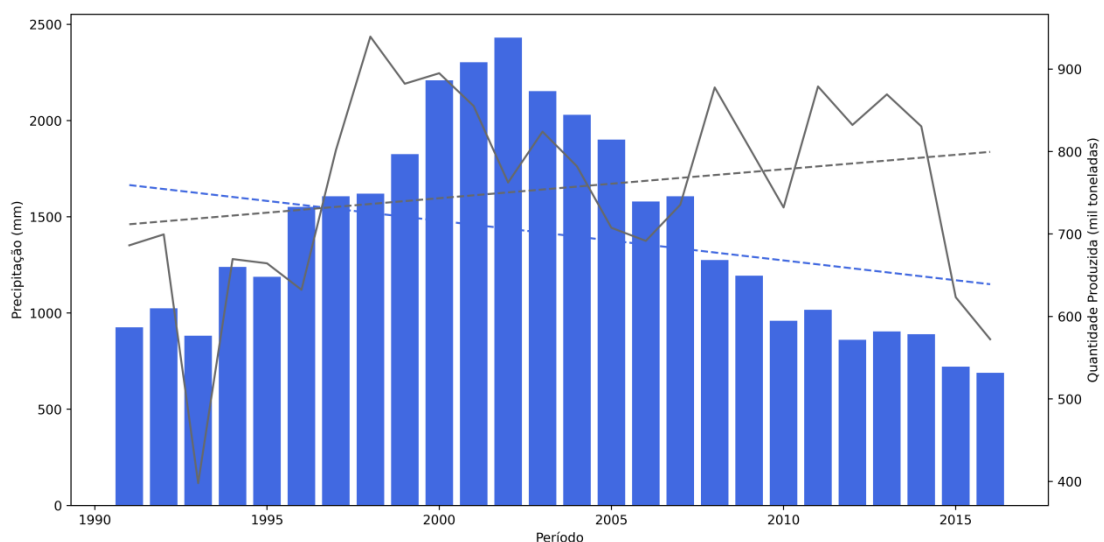
Como complemento à análise de regressão linear múltipla, foram plotadas 4 figuras que demonstram como as variáveis interagem entre si, em relação a quantidade produzida de cana-de-açúcar.

Os resultados para a visualização da mudança nos índices pluviométricos e a quantidade produzida, estão apresentados na Figura 2. Nessa figura, é possível observar, que a partir de 2002, houve uma redução nos níveis de precipitação para a região dos TC de Alagoas, que segue numa tendência de redução de precipitação ao longo da série estudada.

Entretanto, essa redução abrupta nos índices pluviométricos, não foi estatisticamente significativa quando relacionada com a quantidade produzida, resultado obtido pela análise regressão linear múltipla.

Pode-se observar, que a partir de 2003, os volumes de chuvas ficaram abaixo dos 1.300 mm anuais. Em 2016, a precipitação acumulada foi 688mm, o menor índice de toda a série.

Figura 3. Análise gráfica da relação entre os dados de precipitação e da quantidade produzida de cana-de-açúcar para a região dos TC, no período de 1991 a 2016.



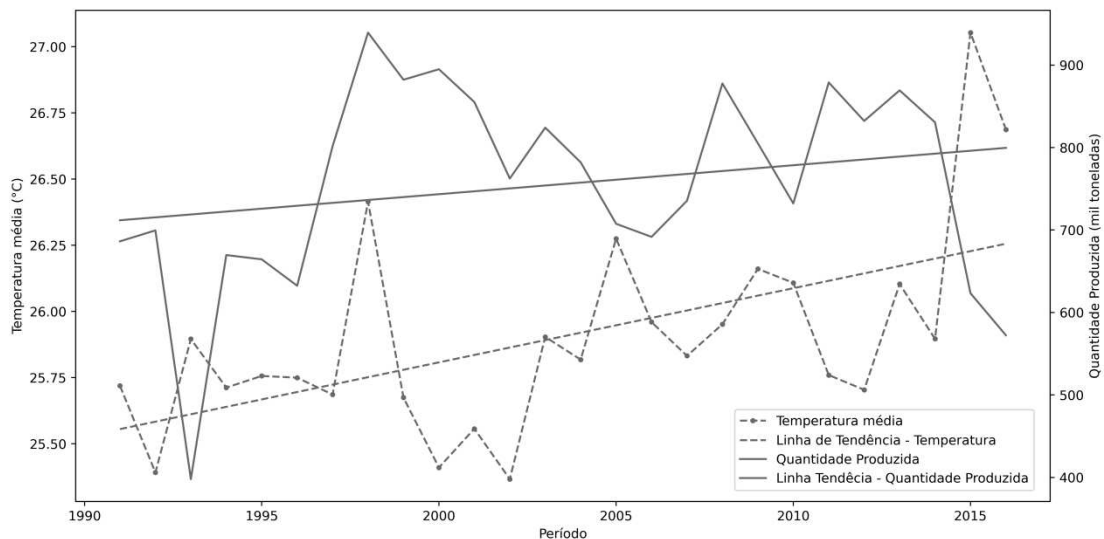
Com os resultados obtidos entre a relação da variável dependente (quantidade produzida) com relação a temperatura média, pode ser observado que a temperatura segue uma linha de tendência de aumento ao longo da série (Figura 3).

Através dos resultados, pode ser visto que em 1998, a temperatura atingiu um dos pontos mais altos, chegando a 26.4 °C, mas a quantidade produzida, seguia em tendência de alta. Entretanto, no ano de 2015, foi observado um pico no aumento da temperatura média, sendo a maior observação que aconteceu ao longo da série, atingindo 27.05 °C. Nesse mesmo período, há também uma redução significativa na quantidade produzida.

Em 2016, a temperatura média diminuiu, porém, continuou acima da maior observação que aconteceu no ano de 1998. Nota-se também que de 1999 a 2004, a temperatura média demonstrou um período de temperaturas mais amenas e em 2005, atingiu o valor de 26.27 °C.

Como pode ser visto nos resultados de tendência, a temperatura média foi a variável com mais significância. Esse resultado indica uma forte tendência positiva, ou seja, a tendência demonstrou que a temperatura média para os TC de Alagoas, vem aumentando ao longo da série, e atingiu o seu valor mais alto em 2015.

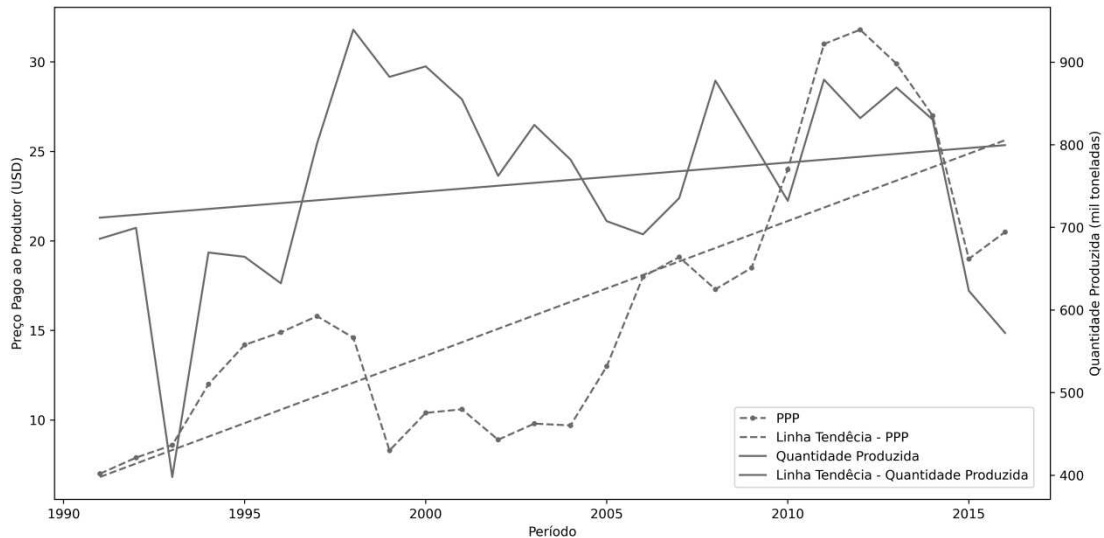
Figura 4. Análise gráfica da relação entre a temperatura e da quantidade produzida de cana-de-açúcar para a região dos TC, no período de 1991 a 2016.



Em relação ao VPP e quantidade produzida (figura 3), pode-se observar que ao longo do tempo, até 2003, o preço pago parecia não ter relação significativa com a quantidade produzida pelo setor sucroalcooleiro. A partir de 2005, há uma tendência de alta no preço da *commodity*, fazendo com o que o preço pago pela tonelada de cana chegue a custar mais de 30

dólares, em 2011. Após o ano de 2013, pode-se notar que há uma queda novamente dos preços da cana-de-açúcar, chegando num valor de 20 dólares por tonelada.

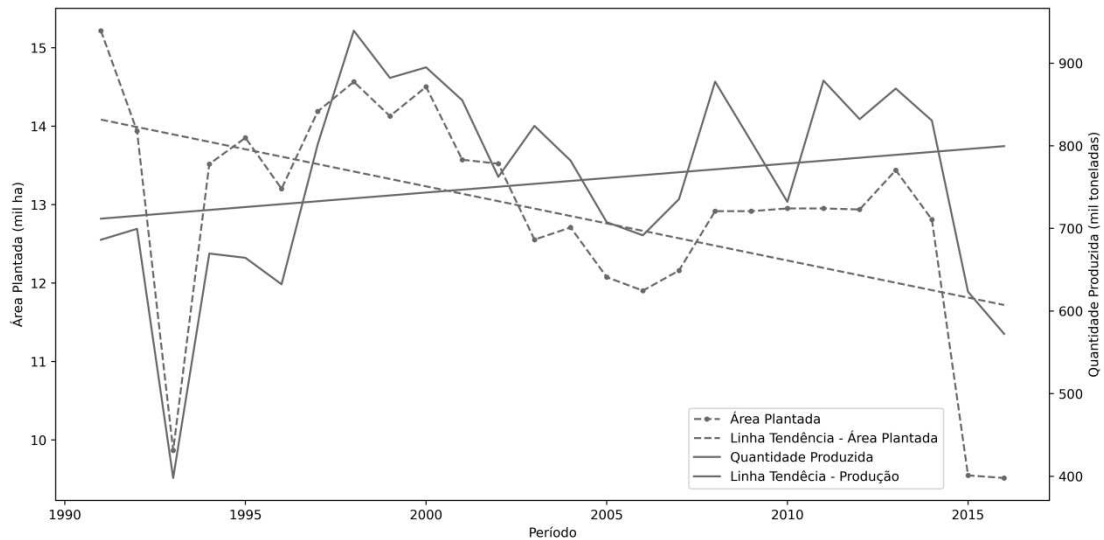
Figura 5. Análise gráfica da relação entre o valor pago ao produtor (USD/ton) e da quantidade produzida (toneladas) de cana-de-açúcar para a região dos TC, no período de 1991 a 2016.



A área plantada, é o principal fator para que haja uma maior quantidade produzida na área dos TC de Alagoas, ou seja, existe uma tendência de extensificação. Os valores da produção, que em 1993, atingiram a sua menor quantidade, demonstram que uma redução de 29% pode estar diretamente relacionada com a área plantada. Essa tendência, de acompanhar a variação da área plantada e na quantidade produzida, é observada durante todo o período de estudo.

Porém, é a partir de 2013, que a área plantada volta aos patamares da década de 1990, quando em 2014, a sua área plantada sai de 256.187 ha para 190.960 ha. Essa redução representou 25% da área total dos TC de Alagoas.

Figura 6. Análise gráfica da relação entre a área plantada e da quantidade produzida de cana-de-açúcar para a região dos TC, no período de 1991 a 2016.



4.5. Regressão Linear Múltipla entre variáveis

Através dos resultados obtidos com a aplicação da regressão linear múltipla ficou evidente que a quantidade produzida de cana-de-açúcar apresentou correlação positiva, significativa ($p < 0,05$) para todas as variáveis independentes (Tabela 4)

Na precipitação, o modelo de regressão linear múltipla demonstrou que a variação de 1 mm ano^{-1} de precipitação, pode aumentar ou diminuir a produção na ordem de $0.06 \text{ ton ano}^{-1}$.

Para temperatura, os resultados da regressão linear múltipla demonstram que ao aumentar 1 °C ano^{-1} na temperatura média, a quantidade produzida para região dos TC deverá aumentar e/ou diminuir na ordem de $1.06 \text{ ton ano}^{-1}$.

Já para a área plantada, um aumento de 1000 ha ano^{-1} , em média, elevaria a quantidade produzida em $10.036 \text{ ton ano}^{-1}$.

E a variação no preço pago ao produtor, pela regressão linear múltipla, demonstrou que um aumento na ordem de 1 dólar/ano , aumentaria a quantidade produzida na ordem de $0.27 \text{ ton ano}^{-1}$.

Tabela 4. Resultados estatísticos da regressão linear múltipla para o período de 1991 a 2016.

| Variáveis | Coefficientes | Erro Padrão | Stat t | p-value | Estatísticas do Modelo | |
|------------------------|---------------|-------------|--------|---------|------------------------|------|
| Precipitação | 0,0668 | 0,011 | 5,98 | 0 | R-quadrado | 0,98 |
| Temperatura | 1,0602 | 0,362 | 2,93 | 0 | R-quadrado ajustado | 0,98 |
| Área Plantada | 1,0361 | 0,006 | 166 | 0 | stat F | 7041 |
| Preço Pago ao Produtor | 0,2065 | 0,018 | 11,7 | 0 | Prob (stat F) | 0 |

5. DISCUSSÕES

5.1. Precipitação e Temperatura

A variável precipitação apresentou tendência negativa a 5% de significância, ou seja, uma tendência de redução nos índices pluviométricos em cinco municípios alagoanos: Anadia, Coruripe, Junqueiro, Marechal Deodoro e Porto de Pedras. O município de Coruripe apresentou a maior redução na precipitação, cerca de 90 mm ao longo dos 25 anos analisados, fato preocupante já que o mesmo ocupa a posição de principal produtor de cana-de-açúcar no estado.

A exceção foi o município de São Miguel dos Campos, que apresentou tendência positiva, ou seja, tendência de aumento nos índices pluviométricos.

Esses resultados, demonstram que no estado de Alagoas, temos um cenário em que o acumulado dos índices pluviométricos associado com o aumento das temperaturas, poderia afetar diretamente a produção no setor sucroalcooleiro, visto que as principais variáveis climáticas que influenciam na produção da cana-de-açúcar são a precipitação e a temperatura.

Em estudo realizado por Junior et al., 2019 para detecção de tendências em séries temporais de precipitação em Recife-PE, área inserida dentro dos TC do NEB, no período de 1961 a 2017, ficou demonstrado que houve tendência negativa e estatisticamente significativa para a variável de precipitação nos meses de março e setembro.

Já em outro estudo, realizado por dos Santos et al (2019) no estado da Bahia na região dos TC do NEB ficou demonstrado que as análises de tendência não apresentaram modificações ao longo do período estudado (1953 a 2017). Entretanto, foi possível verificar que houve uma tendência de decréscimo no volume da série histórica.

Esse resultado no decréscimo da precipitação ao longo do tempo também pode ser notado neste trabalho, na subsecção 4.5, na Figura 2, onde foi possível analisar que o índice pluviométrico anual vem com uma tendência de redução ao longo da série, chegando ao seu

menor volume em 2015.

Corroborando com os resultados deste trabalho, em estudo feito por Cruz et al (2017), para a análise de tendência na precipitação para toda região dos TC do NEB, utilizando o método conforme orientações do Projeto RCLIMDEX (Alexander et a., 2006). Os resultados obtidos foram que a maioria das regiões contidas dentro da Área de Atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros (AETC) mostraram diferenças significativas nas características das chuvas em toda a região analisada.

Costa et al (2020) em estudo avaliando a análise dos índices extremos climáticos no NEB brasileiro, no período de 1961 a 2014, observaram que na maioria das estações meteorológicas, havia uma redução na precipitação total anual e na frequência de dias chuvosos.

Embora parte do NEB brasileiro tenha como característica a escassez de recursos hídricos, isso pode afetar diretamente o processo produtivo das culturas agrícolas na região, visto que pode impactar ainda mais nos índices.

A variável de temperatura apresentou tendência positiva a 5% de significância, ou seja, uma tendência de aumento na temperatura média em quatorze municípios alagoanos: Anadia, Atalaia, Capela, Coruripe, Igreja Nova, Junqueiro, Limoeiro de Anadia, Marechal Deodoro, Murici, Penedo, Rio Largo, São Luiz do Quitunde, São Miguel dos Campos e Tanque D'arca. O município de Junqueiro e Tanque D'arca apresentou o maior aumento na temperatura, cerca de 0,06°C e 0,04°C ao longo dos 25 anos analisados.

Esses resultados corroboram com a análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura média em Recife-PE, área inserida dentro dos TC do NEB, feita por Junior et al., 2019.

Nesse estudo, os testes de Mann-Kendall e curvatura de Sen, demonstraram que os dados analisados apresentaram tendências positivas significantes, com exceção dos meses de junho e julho com valores semelhantes aos observados neste trabalho, variando 0.01 a 0.03 °C ano⁻¹.

de Carvalho et al (2020) em estudo realizado para 45 municípios distribuídos no NEB brasileiro para um período de 30 anos, demonstraram que as análises de tendência feitas através do teste de Mann-Kendall, curvatura de Sen, apresentaram um aumento na temperatura e uma redução no total anual de precipitação. Essa tendência de aumento na temperatura e diminuição nos índices pluviométricos também pode ser constatado neste

trabalho.

Em estudo realizado por Calado et al (2020) para as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, utilizando o banco de dados CRU (*Climactic Research Unit*) e o CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*) foi possível verificar que há uma tendência de aumento na temperatura média da região Nordeste, no período de 1971 a 2019.

Com isso, para as variáveis de precipitação e temperatura, essas tendências de aumento são bem definidas e seguem em paridade com trabalhos publicados no Brasil e ao redor do mundo, mostrando também, a problemática envolvida dentro do cenário de mudanças climáticas, aumentando assim, a probabilidade de eventos extremos, que venham a causar problemas sociais e econômicos (Karmalkar et al., 2017; Chen et al., 2018; Silva et al., 2019; Zahradník et al., 2020;).

5.2. Análise Gráfica e Modelo de Regressão Múltipla:

O setor sucroenergético brasileiro demonstrou nos últimos anos, uma expansão no cultivo de cana-de-açúcar a partir da década de 2000. A área plantada no país passou de 4.8 milhões de hectares em 2000, para 10.2 milhões de hectares em 2016 (IBGE, 2020).

Entretanto, não é o que vem sendo observado no estado de Alagoas, nos últimos anos, a partir de 2014. As análises de tendências (Mann-Kendall e a curvatura de Sen's) demonstraram que há uma significância estatisticamente negativa em pelo menos 8 municípios, com variações na área plantada que vão de 44 a 430 ha ano⁻¹.

Essa diminuição pode impactar diretamente no PIB do estado, porque o principal produto exportado é a cana-de-açúcar, que movimenta, aproximadamente, US\$ 159 milhões de dólares, valor muito distante do segundo maior produto exportado, o “PVC” com US\$ 4,5 milhões (MDIC, 2019).

No modelo apresentado na sub-seção 4.5, a variável independente que apresentou uma maior variação na produção dos TC de Alagoas, foi a de área plantada, onde pode ser visto uma relação de aumento e/ou diminuição constante ao longo da série estudada. Onde, ficou evidente que uma diminuição ou um aumento de 1000 ha na região dos TC de Alagoas, diminui/aumenta a produção em cerca de 59 mil toneladas, dando uma produtividade média em torno de 59 ton ano⁻¹.

Esses resultados demonstram que a região pode estar passando por alguma mudança

econômica e climática que pode afetar toda a cadeia social. Como Estanislau et al., 2020 demonstrou em estudo feito para todo o Brasil, utilizando o índice de desenvolvimento rural (IDR) os municípios que possuíam uma alta área plantada com cana-de-açúcar, estavam circundados, na média, por municípios com elevados IDRs. Com a região Nordeste obtendo maiores valores quando comparado com outras regiões.

Em outro estudo, utilizando o Valor Pago ao Produtor (VPP), Michelin et al (2013) avaliaram as fontes de crescimento do valor bruto da produção de cana-de-açúcar em São Paulo e Minas Gerais, no período de 1995 a 2011, e verificaram que o contínuo crescimento do valor bruto da produção (VBP) de cana-de-açúcar foi reflexo da expansão da área cultivada, do rendimento do cultivo e em menor grau, pelo preço médio pago aos produtores.

E que esse crescimento estava relacionado com a expansão da produção de etanol no Brasil, forte aporte de investimentos estrangeiro no setor, oportunidades abertas pela desregulamentação setorial e expectativas favoráveis de crescimento no mercado açucareiro.

Entretanto, Tomasetto (2010) explica que no que se refere aos preços pagos aos produtores de cana-de-açúcar, quando houve a extinção do Instituto do Açúcar e Alcool (IAA) houve uma diminuição da intervenção estatal, e não havendo uma referência internacional de preço a ser adotada, surgiram conflitos entre os elos da cadeia, desestabilizando o setor.

Porém, em estudo realizado por Tanaca et al (2008), os autores questionam que para que o preço pago pela tonelada de cana-de-açúcar continue a atingir patamares altos, isso depende tanto do crescimento da demanda por automóveis no mercado interno, que está relacionado diretamente ao poder de compra dos consumidores; e no mercado externo, a exportação do álcool que está diretamente relacionada ao acesso a mercados considerados protecionistas (Japão, Estados Unidos e Europa).

Havendo uma necessidade de parcerias a longo prazo com países e investidores, como forma de manter a produção de maneira contínua e em crescimento.

Portanto, estudos que relacionam variáveis meteorológicas e econômicas, como o preço pago ao produtor, devem ser estudadas mais afincado para que possamos entender como a cadeia de produção está relacionada de estado para estado, dentro do Brasil.

6. CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados neste trabalho, vimos que há uma tendência de diminuição no acumulado da precipitação no período analisado e aumento na temperatura média para a região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, principal produtor de cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro (NEB). Essas condições, associadas também a diminuição da área plantada do estado, podem impactar diretamente o PIB de Alagoas, afetando a cadeia produtiva como um todo.

Entretanto, a ausência de dados econômicos e a lacuna de conhecimento no âmbito social podem interferir nos resultados, sendo capaz de ocultar aspectos relevantes da atual condição do local. Por isso, há necessidade de unir esforços dos agentes público e privado para estabelecer um banco de dados econômicos mais robusto para permitir um ajuste mais rigoroso das variáveis explicativas do modelo.

Com isso, há necessidade de adoção de políticas públicas junto das iniciativas privadas para tentar diminuir os efeitos econômicos e tentar se proteger das condições climáticas que vem se modificando.

7. REFERÊNCIAS

- Aguiar, C.J.; De Souza, P.M. Impactos Do Crescimento Da Produção De Cana-De-Açúcar Na Agricultura Dos Oito Maiores Estados Produtores. *Rev. Ceres, Viçosa*, v.61, n.4, p. 482-493, Jul/Ago, 2014.
- Ana - Agência Nacional De Águas. Hidroweb. 2020. Available In [Http://Hidroweb.Ana.Gov.Br](http://Hidroweb.Ana.Gov.Br)
- Antunes, J.L.F; Cardoso, M.R.A. Uso Da Análise De Séries Temporais Em Estudos Epidemiológicos. *Epidemiol.Serv.Saúde, Brasília*. 24(3): 565-576, Jul-Set, 2015.
- Araújo, P.H.C.; Silva, F. De Figueiredo; Gomes, M.F.M; Féres, J.G; Braga, M.J. Uma Análise Do Impacto Das Mudanças Climáticas Na Produtividade Agrícola Da Região Nordeste Do Brasil. *Rev. Econ. Ne, Fortaleza*, v.45, n.3, p.46-57, Jul-Set., 2014.
- Back, A. J. Aplicação De Análise Estatística Para Identificação De Tendências Climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 5, p. 717-726. 2001.
- Back, A.J; Bruna, E.D; Vieira, H.J. Tendências Climáticas e Produção De Uva Na Região Dos Vales Da Uva Goethe. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília*, v.47, n.4, p.497-504, Abri. 2012.
- Barros, A.H.; Varejão-Silva, M.A.; Tabosa, J.N. Zoneamento agroecológico do estado de Alagoas: aptidão climática do estado de Alagoas para culturas agrícolas: Relatório técnico. Recife: Embrapa Solos-UEP. Recife, 81p. 2012.
- Brasil. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sapcana: Sistema De Acompanhamento De Produção Canavieira. 2018. Disponível Em: [Http://Www.Agricultura.Gov.Br](http://Www.Agricultura.Gov.Br) . Acesso Em 04 Out.2019.
- Calado, B.N.; Valverde, M.C.; Vasconcelos, V.V. Os Desastres No Sudeste e Nordeste Brasileiro e a Sua Relação Com a Precipitação e Temperatura. Associação Brasileira De Recursos Hídricos, Ii Encontro Nacional De Desastres, 2020.
- Caldarelli, C.E.; Gilio, L. Expansion Of The Sugarcane Industry And Its Effects On Land Use In São Paulo: Analyses From 2000 Through 2015. *Land Use Policy*, v.76, p.264-274, 2018.
- Carvalho, A. L.; Souza, J. L.; Lyra, G. B.; Silva, E. C. Estação Chuvosa e De Cultivo Para a Região De Rio Largo, Alagoas Baseada Em Métodos Diretos e Sua Relação Com o El Niño - Oscilação Sul. *Revista Brasileira De Meteorologia*, v.28, p.192-198, 2013. [Http://Dx.Doi.Org/10.1590/S0102-77862013000200008](http://Dx.Doi.Org/10.1590/S0102-77862013000200008)
- Carvalho, F. M.; Fiúza, M. A.; Lopes, M. A. Determinação De Custos Como Ação De

- Competitividade: Estudo De Um Caso Na Avicultura De Corte. Revista Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 3, p. 908-913, Maio/Jun. 2008.
- Cavalcanti, I.F.A., Abreu, M.A., SATYAMURTI, P. Climanálise especial edição comemorativa de 10 Anos. São José dos Campos:INPE, 235p. 1996.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Mercado de Trabalho CEPEA-USP/CNA, jan/dez 2018. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/mercado-de-trabalho-cepea-numero-de-trabalhadores-no-setor-sucro-cai-mas-qualidade-dos-empregos-cresce.aspx>>
- Chaddad, F. R.. Unica: Challenges To Deliver Sustainability In The Brazilian Sugarcane Industry. International Food And Agribusiness Management Review, Washington, v. 13, n.4, p. 173-192, 2010.
- Chen, S.; Zhi-Hong, J.; Wei-Lin, C.; Li, L. Changes In Temperature Extremes Over China Under 1.5 °C And 2 °C Global Warming Targets. Advances In Climate Change Research 9, p. 120-129, 2018.
- Costa, R.L., Mello Baptista, G.M., Gomes, H.B., Santos Silva, F.D., Rocha Júnior, R.L., Araújo Salvador, M., Herdies, D.L. Analysis Of Climate Extremes Indices Over Northeast Brazil From 1961 To 2014. Weather And Climate Extremes 28, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100254>, 2020.
- Crespo, A. A. Estatística Fácil. 18 Ed. São Paulo: Saraiva, 2002. 224 p.
- Cruz, M.A.S.; Silva, A.A.G.; Amorim, J.R.A.; Almeida, A.Q.; Brito, J.I.B. Tendências De Alterações Na Precipitação Na Área De Atuação Da Embrapa Tabuleiros Costeiros. Congresso Brasileiro De Agrometeorologia, 20.; Simpósio De Mudanças Climáticas e Desertificação Do Semiárido Brasileiro, 5., 2017, Juazeiro, Petrolina. A Agrometeorologia Na Solução De Problemas Multiescala: Anais. Petrolina: Embrapa Semiárido: Univasf, 2017. p. 1629-1642.
- Cuadra, S.V.; Costa, M.H.; Da Rocha, H.R.; Tatsch, J.D.; Inman-Bamber, G.; Da Rocha, R.P.; Leite, C.C.; Cabral, O.M.R. A Biophysical Model Of Sugarcane Growth. Gcb Bioenergy, 4, 36-48, 2012, Doi:10.1111/j.1757-1707.2011.01105.x
- De Carvalho, S.A.D; Furtado, A.T. Tecnologia, Produção e Adaptação Da Cana-De-Açúcar No Brasil. Sociedade Brasileira De Economia, Administração e Sociologia Rural. Campinas- Sp, 29 De Julho a 01 De Agosto, 2018.
- De Oliveira, S.D; Da Silva, V.P.R; Dos Santos, C.A.C; Silva, M.T; De Sousa, E.P. Os Impactos Das Alterações Climáticas Na Cana-De-Açúcar Cultivada Em Sistema De

- Sequeiro Na Região Nordeste Do Brasil. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 01, p.170-184, 2012.
- Dias, L.C.P.; Pimenta, F.M.; Santos, A.B.; Costa, M.H.; Ladle, R.J. Patterns Of Land Use, Extersification, And Intensification Of Brazilian Agriculture. *Global Change Biology*, 22, 2887-2903, 2016, Doi:10.1111/Gcb.13314
- Domingues, E.P; Magalhães, A.S; Ruiz, R.M. Cenários De Mudanças Climáticas e Agricultura No Brasil: Impactos Econômicos Na Região Nordeste. Documento Técnico-Científico. v,42, n.2, Abril-Junho, 2011.
- Dos Santos, G.M.R.; Silva, E.H.B.C.; De Araújo, H.A.; Simões, Y.S. Análise De Tendência Pluviométrica No Estado Da Bahia. *Xxiii Seminário De Iniciação Científica Da Uefs, Semana Nacional De Científica e Tecnológica*, 2019.
- Embrapa. *Climatologia Do Estado De Alagoas, Boletim De Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Solos. Uep, Recife*, 2012.
- Embrapa. *Relatório Final Dos Trabalhos Executados Pela Comissão Da O.S. Nº 09/2014 - Delimitação Da Área De Atuação Da Embrapa Tabuleiros Costeiros. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju*, 2014.
- Fatima, F.V.; Santos, J.A.N.; Santos, M.A. Situação Do Setor Sucroalcooleiro No Nordeste: Estruturação Da Cadeia Produtiva, Produção e Mercado. *Xliv Congresso Da Sober – “Questões Agrárias, Educação No Campo e Desenvolvimento”*. *Sociedade Brasileira De Economia e Sociologia Rural*, Jul. 2006.
- Ferrari, A. L. Variabilidade e Tendência Da Temperatura e Pluviosidade Nos Municípios De Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (Sp): Estudo Sobre Mudança Climática De Curto Prazo Em Escala Local. 154 p. Tese (Doutorado Em Ciências Da Engenharia Ambiental). *Escola De Engenharia De São Carlos, Universidade De São Paulo – Usp*, 2012.
- Ferreira, J.F.K. Comportamento Do Frete Rodoviário De Soja: Aplicação De Um Modelo De Regressão Linear Múltipla. 2016. 67f. *Dissertação (Mestrado Em Pesquisa Operacional) – Universidade Estadual De Campinas, Limeira*, 2016.
- Figueira, S.R.F. Impactos dos preços e do crédito rural sobre a produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. *Revista de Economica e Sociologia Rural*, 58(4): e186266, 2020.
- Fontolan, M. R. Et. Al. Comportamento Climático Ao Longo Do Rio Tietê: Aplicações Envolvendo Testes Estatísticos. *Revista Geonorte. Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 466-475*, 2012.

- Food And Agriculture Organization Of The United Nations – Fao. The Statistic Division – Faostat. Disponível Em: < [Http://Faostat.Fao.Org/](http://Faostat.Fao.Org/)>. Acesso Em: 24 Set. 2019.
- Funk, C. El Al. The Climate Hazards Infrared Precipitation With Stations – a New Environmental Record For Monitoring Extremes. *Sci. Data.* 2:150066 Doi: 10.1038/Sdata.2015.66 (2015).
- Gois, G.; Freitas, W. K.; Terassi, P. M. B.; Oliveira Júnior, J. F.; Portz, A. Variabilidade Anual e Mensal Da Chuva e Da Temperatura Do Ar No Município De Resende, Rio De Janeiro. *Revista Brasileira De Climatologia*, v. 24, p.67-88, 2019.
- Gomes, A.W.A.; Saad, J.C.C.; Barros, A.C. Simulação Da Produtividade De Cana-De-Açúcar (*Saccharum Officinarum L.*) Na Região Nordeste Do Brasil, Utilizando o Modelo Dssat. *Irriga, Botucatu*, v.19, n.1, p.160-173, Janeiro-Março, 2014.
- Hair, J.F.Jr.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. *Análise Multivariada De Dados*. 6. Ed. Porto Alegre, Bookman, 2009.
- Harrel, F. *Regression Modeling Strategies: With Applications To Linear Models, Logistic Regression, And Survival Analysis*. Chapter 5: Resampling, Validating, And Simplifying The Model. V.3, p. 88-103, 2001.
- Ibge - Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. Sidra - Sistema Ibge De Recuperação Automática. Rio De Janeiro: Ibge, 2020.
- Johnson, R.A.; Wichern, D.W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 5.Ed. p.767. Upper Saddle River, Nj: Prentice-Hall, 2002.
- Junger, W.; Ponce De Leon, A. Mtsdi: Multivariate Time Series Data Imputation.: R Package Version 0.3.5. [Https://Cran.R-Project.Org](https://Cran.R-Project.Org), 2018.
- Junger, W.; Ponce De Leon, A. Mtsdi: Multivariate Time Series Data Imputation.: R Package Version 0.3.5. [Https://Cran.R-Project.Org](https://Cran.R-Project.Org), 2018.
- Junior, M.A.B.S.; Neto, G.C.F.; Cabral, J.J.S. *Análise Estatística Para Detecção De Tendências Em Séries Temporais De Temperatura e Precipitação No Recife-Pe*. *Revista De Geografia*, v.37, n.1, 2020.
- Junninen, H.; Niska, H.; Tuppurainen, K.; Ruuskanen, J.; Kolehmainen, M. Methods For Imputation Of Missing Values In Air Quality Data Sets. *Atmospheric Environment*, v. 38, n. 18, p. 2895-2907, 2004.
- Karmalkar, A.V.; Bradley, R.S. Consequences Of Global Warming Of 1.5 °C And 2 °C For Regional Temperature And Precipitation Changes In The Contiguous United States. *Plos One*, January 11, 2017.
- Kendall, M.G..*Rank Correlation Methods*. Charles Griffin,London. 1975Mann, H.B.

- Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica* 13, 245-259. 1945.
- Koga-Vicente, A., Zullo-Junior, J., & Aidar, T. Evolução da produção da cana-de-açúcar em regiões canavieiras tradicionais e em expansão do estado de São Paulo. In R. Baeninger, J. Zullo Junior, T. Aidar & R. G. Perez (Orgs.), *Regiões canavieiras* (184 p.). Campinas: Núcleo de Estudos de População – Nepo/Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI/Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação-NEPA/UNICAMP, 2013.
- Kousky, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, Washington, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979.
- Kousky, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, Washington, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979. KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, Washington, v. 108, n. 4, p. 488-498, 1980.
- Latorre, M. R. D. O.; Cardoso, M. R. A. Análise De Séries Temporais Em Epidemiologia: Uma Introdução Sobre Os Aspectos Metodológicos. *Revista Brasileira De Epidemiologia*. v. 4, n. 2, p. 145-152, 2001.
- Lima, M.C. Variabilidade da precipitação no litoralleste da região nordeste do Brasil. São José dos Campos: INPE, 1991. 222 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 1991.
- Magalhães, M. N.; Lima, A. C. P. De. *Noções De Probabilidade e Estatística*. 7th. Ed. [S.l.]: Editora Da Universidade De São Paulo, 2013.
- Mann, H.B. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica* 13, 245-259. 1945.
- Marengo, J.A. Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação à Mudança Do Clima No Semi-Árido Do Brasil. *Parcerias Estratégicas*. Brasília, Df, n.27, Dezembro, 2008.
- Marques, P. V. (Coord.). *Custos De Produção Agrícola e Industrial De Açúcar e Álcool No Brasil Na Safra 2007/2008*. Piracicaba: Esalq/Usp. Relatório Apresentado a Confederação Da Agricultura e Pecuária Do Brasil – Cna, 2009.
- Marques, P. V. (Coord.). *Custos De Produção Agrícola e Industrial De Açúcar e Álcool No Brasil Na Safra 2007/2008*. Piracicaba: Esalq/Usp. Relatório Apresentado a Confederação Da Agricultura e Pecuária Do Brasil – Cna, 2009.
- Martins, E.S.P.R.; Júnior, F.C.V. O Clima Da Região Nordeste Entre 2009 e 2017: Monitoramento e Previsão. *Par.Estrat*, Brasília-Df, v.22, n.44, p 63-80, Jan-Jun, 2017.
- Martins, L.L.; Martins, W.A., De Moraes, J.F.L.; Júnior, M.J.P.; De Maria, I.C. Calibração Hidrológica Do Modelo Swat Em Bacia Hidrográfica Caracterizada Pela Expansão Do Cultivo Da Cana-De-Açúcar. *Revista Brasileira De Geografia Física*, v.13, n.02, p.576-

594, 2020.

- Medeiros, R.M.; Holanda, R.M.; Silva, V.P.; Da Silva, C.J. Tendências Pluviais e Análise Da Média Móvel Para São Bento Do Una-Pe, Brasil. *Revista De Geografia*, v.35, n.5, 2018.
- Meschiatti, M. C. Et. Al. Caracterização Estatística De Tendências Em Séries Anuais De Dados Hidro-Climáticos No Estado De São Paulo. *Revista Geografia Acadêmica*. v. 6, n. 1, p. 52-64, 2012.
- Mme – Ministério De Minas e Energia. Epe – Empresa De Pesquisa Energética. Disponível Em: < [Http://Www.Epe.Gov.Br](http://www.epe.gov.br) >. Acesso Em 20 Set. 2019.
- Morais, R.B.G.; Lyra, G.B.; Santos, L.R.S.; Júnior, C.A.C.; Carvalho, A.L.; Lyra, G.B.; Souza, J.L. Crescimento e Produtividade De Milho Em Diferentes Épocas De Plantio, Nos Tabuleiros Costeiros De Alagoas. *Revista Brasileira De Milho e Sorgo*, v.16, n.1, p.109-119, 2017.
- Nocelli, R. C. F., Zambon, V., Silva, O.G.M., Morini. Histórico Da Cana No Brasil: Contribuições e Importância Econômica, In: Fontanetti, C. S.; Bueno, O. C., *Cana-De-Açúcar e Seus Impactos: Uma Visão Acadêmica*. Editora Canal 6, Bauru, 2017.
- Nunez, H. M. How Relevant Has Been The Learning-By-Doing For Brazilian Sugarcane Ethanol Production? *Centro De Investigação e Docencia Económicas*, Alvaro Obregón, n. 552, 2013.
- Oliveira, A.S. Interações entre Sistemas Frontaisna América do Sul e a Convecção da Amazônia. São José dos Campos: INPE, 1986. 1115 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 1986.
- Oliveira, L.C.; Turci, A.A.S.; Capitani, D.H.D. Expansão Da Cana-De-Açúcar e Os Impactos Sobre Culturas Agroalimentares No Estado De São Paulo. *Nucleus*, v.16,n.1 Abr, 2019.
- Penereiro, J. C;Orlando, D. V. Análises De Tendências Em Séries Temporais De Dados Climáticos e Hidrológicos Na Bacia Do Rio Parnaíba, Entre Os Estados Do Maranhão e Piauí/Brasil. *Revista Geografia Acadêmica*, v.7, n.2, p.5-21, 2013.
- Pereira, N.A. Variáveis De Custos De Produção Da Cana-De-Açúcar e Suas Diferenças Entre As Regiões Produtoras. *Rev.Agro.Amb.*, v.10, p.757-774, Jul./Set. 2017.
- Pinto, P.A.L.A.; Silva, W.K.N.; Junior, L.M.C. Mudanças Climáticas e Impactos Na Produção Da Cana-De-Açúcar Na Paraíba. *Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente Da Fea/Usp*, Dezembro, 2017.
- Plaia, A; Bondi, A. L. Single Imputation Method Of Missing Values In Environmental Pollution Data Sets. *Atmospheric Environment*, v. 40, n.1 p.7316-7330, 2006.

- Portela, M.M.; Quintela, A.C.; Santos, J.F.; Vaz, C; Martins, C. Tendências Em Séries Temporais De Variáveis Hidrológicas. Associação Portuguesa De Recursos Hídricos (Aprh), v. 32, n. 1, p. 43-60, 2011.
- Ragsdale, C. Modelagem e Análise De Decisoã. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- RATISBONA, C.R. The climate of Brazil. In:Schwerdtfeger, W., ed. Climates of Central and SouthAmerica. Amsterdam p. 219-293. (World Surveyof Climatology, 12), 1976.
- Ribeiro, A.R.B.; Silva, F.F.; Meireles, Y.S.; De Melo, F.L.; Rodrigues, R.P. Gestão Da Sustentabilidade No Cultivo Da Cana-De-Açúcar: Um Estudo De Caso No Nordeste Do Brasil. Rev. Agro. Amb., v.11, n.3, p. 843-861, Jul./Set. 2018.
- Ribeiro, A.R.B.; Silva, F.F.; Meireles, Y.S.; Melo, F.L.; Rodrigues, R.P.; Gestão Da Sustentabilidade Do Cultivo De Cana-De-Açúcar: Um Estudo De Caso No Nordeste Do Brasil. Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá (Pr), v.11, n.3, p.843-861, Jul/Set, 2018.
- Rocha, F. de M.; Conte, H.; Dutra, R. de L.; Shikida, P.F.A. Fontes de crescimento do valor bruto da produção de cana-de-açúcar: um estudo comparativo entre São Paulo e Paraná. Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (RBERU), v.04, n.2, p.37-50, 2010.
- Ronquim, C. C., Fonseca, M. F. Avanço Das Áreas De Cana-De-Açúcar e Alterações Em Áreas De Agropecuária No Interior Paulista. Documentos 123, Embrapa Territorial, Campinas, 2018.
- Salviano, M.F; Groppo, J.D; Pellegrino, G.Q. Análise De Tendências Em Dados De Precipitação e Temperatura No Brasil. Revista Brasileira De Meteorologia, v.31, n.1, 64-73, 2016.
- Sanches, F. O. Et. Al. Análise Das Chuvas Mensais Em Alegrete (Rs) No Período De 1928-2009: Um Estudo De Tendência. Revista Geonorte. Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 844-854, 2012.
- Santos, J.O; Alves, J. Da Silva. Mudanças Climáticas, Comércio Intranacional e Exportações Agrícolas à Luz Do Modelo Gravitacional: Estimativas Para o Nordeste Brasileiro. Drd - Desenvolvimento Regional Em Debate (Issne 2237-9029), v.10, p.324-347, 2020.
- Santos, V. De Oliveira. Identificação e Análise De Tendências Das Variáveis Hidrológicas e Mudanças No Uso e Ocupação Das Terras No Alto Curso Da Bacia Hidrográfica Do Rio Uberaba, Em Minas Gerais. 130 p. Dissertação (Mestrado Em Geografia). Universidade Federal De Uberlândia – Mg, 2016.
- Schabenberger, O; Pierce, F.J. Contemporary Statistical Models For The Plant And Soil

- Sciences. Boca Raton: Crc Press, 2002. 738p. Isbn: 1584881119.
- Sen, 1968 P.K. Sen. Estimates Of The Regression Coefficient Based On Kendall's Tau J. Amer. Statist. Assoc., 63 (1968), Pp. 1379-1389
- SIAMIG, Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais. Setor sucroenergético representa 2% do PIB brasileiro, afirma diretor do ITC. 2019. <<http://www.siamig.com.br/noticias/setor-sucroenergetico-representa-2-do-pib-brasileiro-afirma-diretor-do-itc>>. Acesso em 17 jul. 2021.
- Silva, C. B. Inovação Na Indústria Sucroalcooleira Paulista: Os Determinantes Da Adoção Das Tecnologias De Agricultura De Precisão. 2009. 89f. Tese (Doutorado Em Ciências) – Universidade De São Paulo, Piracicaba, 2009.
- Silva, S.; Neto, J.D.; Teodoro, I.; Souza, J.L.; Lyra, G.B.; Santos, M.A.L. Demanda Hídrica Da Cana-De-Açúcar Irrigada Por Gotejamento Nos Tabuleiros Costeiros De Alagoas. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.9, p.849-856, 2015.
- Silva. P.S.; Bastos, A.; Libonati, R.; Rodrigues, J.A.; Dacamara, C.C. Impacts Of The 1.5 °C Global Warming Target On Future Burnged Area In The Brazilian Cerrado. Forest Ecology And Management 446, p.193-203, 2019.
- Souza, J. L.; Moura Filho, G.; Lyra, R. F. F.; Teodoro, I.; Santos, E. A.; Silva, J. L.; Silva, P. R. T.; Cardim, A. H.; Amorim, E. C. Análise Da Precipitação Pluvial e Temperatura Do Ar Na Região Do Tabuleiro Costeiro De Maceió, Al, Período 1972-2001. Revista Brasileira De Agrometeorologia, v.12, p.131-141, 2004.
- Souza, J.L.; Lima, F.Z. Clima - estudo de impactos ambiental, levantamento ambiental e relatório, no meioambiente de área de proteção ambiental de Piaçabuçu -AL. In: Relatório técnico, Maceió: UFAL: 180-238p, 1995.
- Spiegel, M. R. Probabilidade e Estatística. 2 Ed. New York: Mc Graw- Hill, 1985. Sugar-Canecrops. <[Http://Www.Sugarcane.com/p/Growth/Morphology/](http://www.sugarcane.com/p/growth/morphology/)>.
- Tanaca, E.K.T.; Pereira, J.A.Z.; Pigato, G. Substituição da pecuária de corte e expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo: O impacto nas regiões oeste e noroeste do estado. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Rio Branco - Acre, 20 a 23 de julho de 2008.
- Tao, H.; Fraederich, K.; Menz, C.; Zhai, J. Trends In Extreme Temperature Indices In The Poyang Lake Basin, China. Stoch. Environ. Res. Risk Asses., v. 28, p. 1543-1553, 2014.
- Theil, 1950 H. Theil. A Rank-Invariant Method Of Linear And Polynomial Regression Analysis, Iii Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch. A, 53 (1950), Pp. 1397-1412.
- Tomasetto, M. Z. C. Transmissão de preços no mercado de cana-de-açúcar entre os Estados

- de São Paulo e Paraná. 81 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2010.
- Tomazela, M.G.J.M.; Leandro, C.R.; Oliveira, M.C.; Campos, F.C. Simulação De Eventos Discretos Na Avaliação De Um Processo De Corte, Carregamento e Transporte De Cana-De-Açúcar. *Revista Espacios*, v.38, n.21, p41-53, 2017.
- Trevisan, D.P.; Moschini, L.E. Evolução Do Mercado De Cana-De-Açúcar. *Revista De Ciências Agroambientais*, v.16, n.2, 2018.
- Van Buuren, S.; Groothuis-Oudshoorn, K. Mice: Multivariate Imputation By Chained Equations In R. *Journal Of Statistical Software*, [S.l.], v. 45, n. 3, p. 1 - 67, 2011.
- Vidal, M, De F; Dos Santos, J.A.N; Dos Santos, M.A. Setor Sucroalcooleiro No Nordeste Brasileiro: Estruturação Da Cadeia Produtiva, Produção e Mercado. *Sociedade Brasileira De Economia e Sociologia Rural*. Fortaleza-Ce, p.18, 23 a 27 De Julho, 2006.
- Wagesho, N.; Goel, N.K.; Jain, M.K. Investigation Of Nonstationarity In Hydro-Climatic Variables At Rift Valley Lakes Basin Of Ethiopia. *Journal Of Hydrology*, v. 444-445, p. 113-133, 2012.
- Xavier, A.C; King, C.W; Scanlon, B.R. Daily Gridded Meteorological Variable In Brazil (1980-2013). *International Journal Of Climatology*. Doi: 10.1002/Joc.4518 36:2644-2659 (2016).
- Yu, P. S.; Yang, T. C.; Wu, C. K. Impact Of Climate Change On Water Resources In Southern Taiwan. *Journal Of Hydrology*, v. 260, n. 1-4, p. 161-175, 2002.
- Yue, S; Pilon, P; Cavadias, G. Power Of The Mann-Kendall And Spearman's Rho Tests For Detecting Monotonic Trends In Hydrological Series. *Journal Of Hydrology* 259:254-271.2002.
- Zahradník, P.; Brázdil, R.; Štěpánek, P.; Trnka, Miroslav. Reflections On Global Warming In Trends Of Temperature Characteristics In The Czech Republic, 1961-2019. *Int J Climatol*, p.1-19, 2020.
- Zhang, W; Yan, Y; Zheng, J; Li, L; Dong, X; Cai, H. Temporal And Spatial Variability Of Annual Extreme Waterlevel In The Pearl River Delta Region, China. *Global And Planetary Change* 69:35-47. 2009.