

UTILIZAÇÃO DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA PARA ANÁLISE DOS ELEMENTOS AGROMETEOROLÓGICOS E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO MUNICÍPIO DE CAPOEIRAS – PE

Júlio Silva Corrêa de Oliveira Andrade

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, PE, Brasil
julio.andrade@ufrpe.br

Gledson Luiz Pontes Almeida

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, PE, Brasil
gledson.almeida@ufrpe.br

Daniel Pereira Moraes

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, PE, Brasil
daniel.pmorais@ufrpe.br

Alex Souza Moraes

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, PE, Brasil
alex.moraes@ufrpe.br

Heliton Pandorfi

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, PE, Brasil
helinton.pandorfi@ufrpe.br

Fabrynne Mendes Oliveira

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, PE, Brasil
fabrynnemendes@gmail.com

RESUMO

O estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de leite do Nordeste. A região apresenta grande variabilidade temporal e espacial de precipitação, o que influencia diretamente a agricultura e a pecuária. Objetivo foi analisar a relação entre elementos meteorológicos, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a produção agrícola e a leiteira por meio da análise multivariada de componentes principais, considerando uma série histórica de 20 anos no município de Capoeiras-PE. Os anos de maior produção leiteira em Capoeiras ocorreram entre 2017 e 2021. O NDVI demonstrou estar associado ao aumento da produtividade de todas as culturas, além de apresentar correlação com a precipitação e a umidade relativa do ar. Durante o período de crescimento da produção leiteira, observou-se uma forte relação com a temperatura média anual, possivelmente devido à adoção de novas técnicas de manejo focadas no bem-estar animal. De forma contrastante à influência da temperatura, os resultados também indicaram uma forte correlação entre NDVI e precipitação ao longo do período estudado, evidenciando a eficiência desse índice na identificação das melhores safras das culturas analisadas. Conclui-se que o NDVI permite estabelecer relações entre dados geoprocessados e parâmetros meteorológicos, exercendo influência direta ou inversamente proporcional sobre esses fatores.

Palavras-chave: Análise multivariada de agrupamento. Análise multivariada de componentes principais. Produção de leite. Semiárido.

DYNAMICS OF AGROMETEOROLOGICAL ELEMENTS AND AGRICULTURAL PRODUCTION IN THE MUNICIPALITY OF CAPOEIRAS - PE

ABSTRACT

The state of Pernambuco is the second largest milk producer in the Northeast. The region has great temporal and spatial variability in rainfall, which directly influences agriculture and livestock farming. The aim of this study was to analyse the interaction between meteorological elements, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), agricultural production and

milk production using multivariate principal component analysis, considering a 20-year historical series in the municipality of Capoeiras-PE. The years with the highest milk production in Capoeiras occurred between 2017 and 2021. NDVI proved to be associated with increased productivity for all crops, as well as being correlated with rainfall and relative humidity. During the period of growth in dairy production, a strong relationship was observed with the average annual temperature, possibly due to the adoption of new management techniques focused on animal welfare. In contrast to the influence of temperature, the results also indicated a strong correlation between NDVI and rainfall over the period studied, demonstrating the efficiency of this index in identifying the best harvests for the crops analyzed. It can be concluded that NDVI makes it possible to establish relationships between geoprocesed data and meteorological parameters, exerting a direct or inversely proportional influence on these factors.

Keywords: Multivariate cluster analysis. Multivariate principal component analysis. Milk production. Semiárid.

INTRODUÇÃO

As regiões que possuem clima predominantemente semiárido apresentam como características marcantes as temperaturas altas e os baixos índices pluviométricos, com grande variabilidade temporal e espacial de precipitação, que influencia diretamente o desenvolvimento das culturas agrícolas, a economia e a alimentação de animais e seres humanos (Macêdo *et al.*, 2020).

O bioma Caatinga está inserido na maior parcela da região Nordeste brasileira, apresentando alta vulnerabilidade à degradação do solo, devido aos fatores meteorológicos e antrópicos adversos (Esteves; Cruz, 2022). As restrições hídricas na região são apontadas como o principal fator de impacto negativo aos aspectos edáficos, meteorológicos e produtivos, que limitam a produção de forragem para alimentação do gado leiteiro (Borba *et al.*, 2023).

O estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de leite do Nordeste, com aproximadamente 1,179 bilhões de litros de leite, sendo o 8º maior produtor do Brasil, cuja maior bacia leiteira do estado de Pernambuco se concentra na região Agreste, com produção equivalente a 72,23% de todo leite produzido no estado, contribuindo com milhares de empregos de forma direta e indireta (IBGE, 2022).

Devido às adversidades climáticas das regiões semiáridas, essas condições contribuem para sazonalidade das produções agrícolas, principalmente as culturas alimentares de sequeiros que dependem da fertilidade natural do solo, que quase sempre é baixa e da precipitação em quantidade e período adequados (Lemos; Santiago, 2020).

O sensoriamento remoto, com o uso das imagens do satélite Landsat, é a tecnologia capaz de monitorar as atividades agropecuárias, auxiliando na delimitação de áreas, por meio dos dados adquiridos, melhorando a precisão de mapeamento. Portanto, essa tecnologia serve para possíveis tomadas de decisões (Zanotta; Ferreira; Zortea, 2019).

Os estudos da sazonalidade de produção e uso e cobertura do solo, conta com o emprego de diversos métodos e técnicas aplicadas aos produtos de sensoriamento remoto. Para os tratamentos e processamento das imagens digitais destaca-se o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), que permite o monitoramento das culturas em diversas fases vegetativas (Costa; Ribeiro; Albuquerque, 2020).

Pesquisa desenvolvida por Rampazo, Araújo e Cavaliero (2019) a partir de dados agrometeorológicos obtidos por meio de sensoriamento remoto, como uma alternativa para suprir a escassez de informações providas de estações agrometeorológicas convencionais e automáticas, os autores observaram que as estimativas fornecidas pelos produtos ou dados de modelos diários de temperatura do ar, umidade do solo e velocidade do vento com algoritmo do Sistema Global de Assimilação de Dados Terrestres (*Global Land Data Assimilation System* - GLDAS); precipitação e radiação pelo modelo da Estimativa de Precipitação a partir de Informações de Sensoriamento Remoto usando Redes Neurais Artificiais (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural*

Networks - PERSIANN) são alternativas adequadas para aplicação em estudos agrometeorológicos e permitem a análise da variabilidade temporal e espacial desses elementos agrometeorológicos.

A análise multivariada utilizando o NDVI no estudo da produtividade é uma abordagem amplamente utilizada em várias áreas das ciências agrárias (Salgado *et al.*, 2019), dando suporte aos poderes públicos e instituições de pesquisa nas tomadas de decisões em ações que podem contribuir para a melhoria dos sistemas produtivos locais.

Diante do exposto, a pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de expor a relação dos elementos meteorológicos, o NDVI e a produção agropecuária para compreender a associação direta ou indireta dos parâmetros estudados no município de Capoeiras - PE.

METODOLOGIA

Descrição da área da pesquisa

A pesquisa foi conduzida no município de Capoeiras, localizado no estado de Pernambuco, entre as coordenadas geográficas: 8°33' a 8°48' de latitude Sul e entre 36°29' a 36°42' de longitude Oeste (Figura 1). O município está inserido na região do semiárido brasileiro, possuindo uma área territorial de 337,13 km² e situando-se a uma altitude de 888 metros. De acordo com a classificação climática de Köppen, seu clima é do tipo BSh, caracterizado como semiárido quente. A região apresenta um índice pluviométrico anual inferior a 800 mm e um risco de ocorrência de secas superior a 60% (IBGE, 2022).

Com uma população de 18.341 habitantes e uma densidade demográfica de 54,4 habitantes por km², a economia local é predominantemente agropecuária. Destacam-se o cultivo de milho, feijão, mandioca e mamona, além do comércio realizado principalmente por meio da feira livre, que desempenha um papel relevante na transferência econômica do município (IBGE, 2022).

Dados agrometeorológicos

Os elementos agrometeorológicos: radiação, velocidade do vento, temperatura média do ar, precipitação e umidade do solo (*Climate Engine*, 2024), para um período de 20 anos, no intervalo compreendido de 2002 a 2021. Essas informações permitem aos usuários o processamento e visualização das observações terrestres por satélite e dados agrometeorológicos em coordenadas para monitoramento ambiental e para melhorar o alerta precoce de secas, incêndios florestais e riscos de quebra de safra.

Os dados de temperatura média do ar, velocidade do vento e umidade do solo, foram estimados pelo algoritmo GLDAS, já os dados de radiação e precipitação foram obtidos por meio do algoritmo PERSIANN, cujas fórmulas são de acesso exclusivo do aplicativo. Para esses elementos meteorológicos foram determinadas as médias anuais de temperatura média do ar, velocidade do vento, umidade do solo, radiação solar e precipitação.

Aquisição do NDVI

Os dados do NDVI foram coletados no *site* do Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg), ferramenta desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2023) e destinada ao acesso e visualização de perfis temporais dos índices vegetativos NDVI do sensor MODIS em qualquer local da América do Sul, obedecendo a Equação 1. Já os dados do número de bovinos (gado de corte e gado de leite), produção leiteira e produção agrícola (milho, mandioca, feijão e fava), para o mesmo período, foram obtidos no banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2002-2021) (IBGE, 2022).

$$NDVI = \frac{NIR - VERMELHO}{NIR + VERMELHO} \quad (1)$$

Onde:

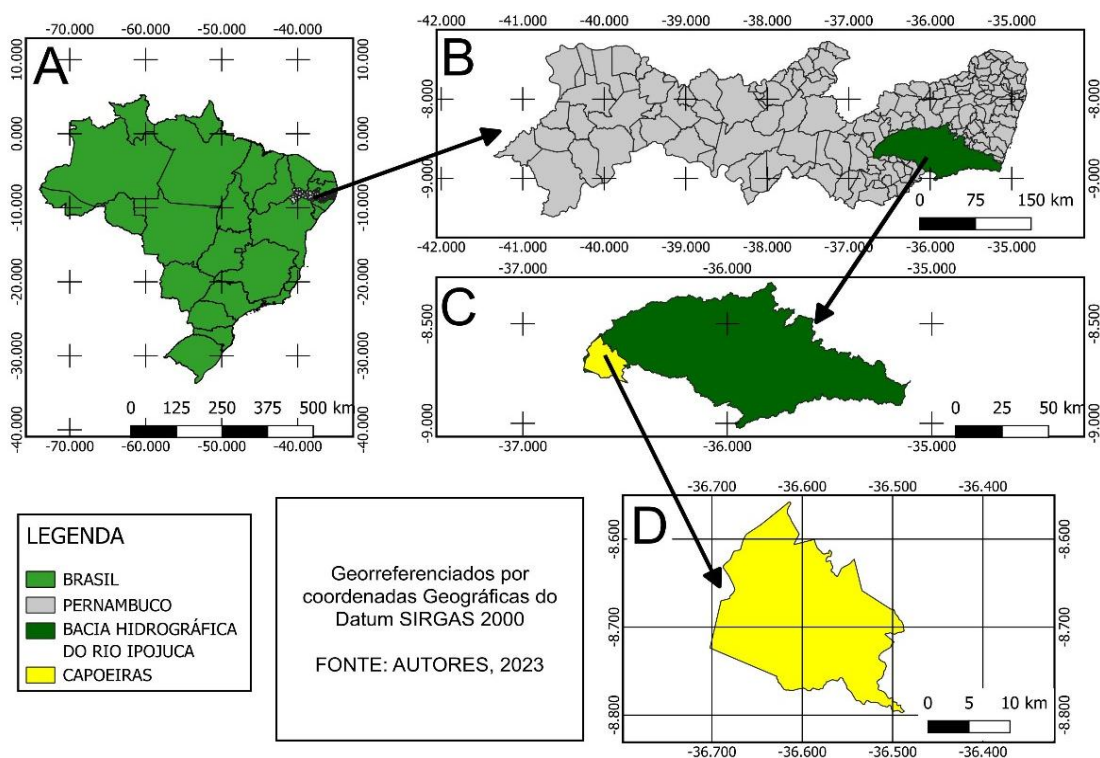
NDVI: índice de vegetação por diferença normalizada

NIR: Banda do satélite correspondente ao infravermelho próximo

VERMELHO: Banda do satélite correspondente ao vermelho

A partir da obtenção dos dados precipitação, radiação e NDVI foram realizadas espacializações (20 anos, 2002 – 2021) dos perfis destas variáveis, ou seja, o intervalo dos anos em que os dados foram avaliados, por meio de imagens do satélite Landsat, para as cenas que não apresentaram cobertura de nuvem.

Figura 1 - Localização do município de Capoeiras, na microrregião do Vale de Ipojuca, no estado de Pernambuco, Brasil



*(A) Pernambuco no Brasil, (B) Microrregião Vale do Ipojuca em Pernambuco, (C) Município de Capoeiras na Microrregião Vale do Ipojuca e (D) Município de Capoeiras. Fonte: autores, 2023.

Fonte: IBGE (2022), elaborado pelos autores.

Estatística Multivariada

O tratamento estatístico foi realizado por análise multivariada pelo método de Análise de Componentes Principais (ACP) para inferência da interação das variáveis meteorológicas, produção agropecuárias e de geoprocessamento. Os cálculos e análises estatísticas foram realizadas com apoio do software computacional de acesso público R-4.42 (R Core Team, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2A observa-se variação da radiação solar (2002-2021) e valor médio de 213,56 W/m², significando que nos anos de maior disponibilidade de radiação, pode ocorrer maior influência no desenvolvimento da palma forrageira e consequentemente em maiores índices de produtividade da palma forrageira.

A velocidade do vento (Figura 2B) apresenta valores entre 1,73 m/s e 2,57 m/s, no decorrer do período de estudo, associado a diminuição da produtividade das culturas agrícolas, pois, o aumento dos ventos indica ausência de elevada precipitação, podendo se relacionar a períodos de baixo desenvolvimento agrícola. A variação da velocidade do ar deve estar entre 1 e 3 m/s, para evitar perdas na produtividade da palma forrageira (Alves; Constant; Teles, 2022). Silva e Souza, (2020) pesquisando o Zoneamento agroclimatológico para produção da palma forrageira no semiárido, encontraram variação na velocidade do vento de 1,82 a 4,56 m/s, o que pode estar relacionado ao decréscimo na produção de biomassa.

A variação da temperatura do ar (Figura 2C) mostra média de 20,7°C, com tendências de aumento nos anos mais recentes, em relação aos anos iniciais do período de estudo. O monitoramento deste parâmetro pode indicar a relação inversa com a produtividade agrícola, normalmente relacionado à desidratação no processo do desenvolvimento das culturas. A temperatura observada no estudo do cultivo de palma forrageira (*Opuntia stricta Haw*) sob biofertilização nas condições climáticas observadas na região Jaguaribana (Região Semiárida do estado do Ceará), apresentou média de 28°C, mostrando altos valores, por ter sido coletado esses valores nos meses mais quentes (Saldanha *et al.*, 2023).

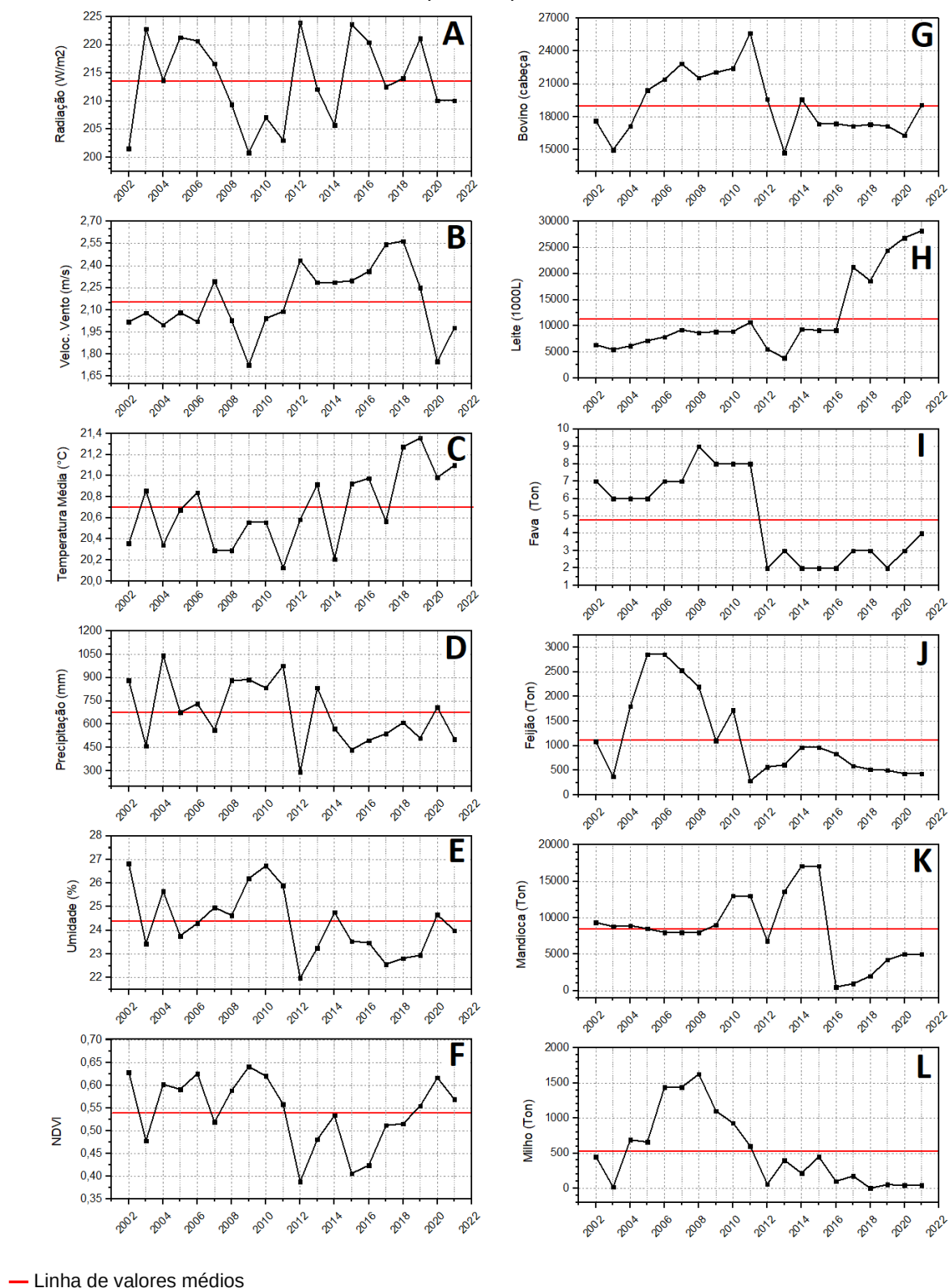
A precipitação (Figura 2D) evidencia-se sua variação em relação à média 639,44 mm, com menor índice pluviométrico nos anos mais recentes, podendo ocasionar redução em outros índices de produtividade no período de 2013 a 2022. Tibúrcio *et al.*, (2023) em estudo realizado na bacia hidrográfica do riacho amolar, situada no semiárido pernambucano, apresentaram precipitação média anual de 691,30 mm.

O parâmetro umidade do solo apresenta média de 24,32% (Figura 2E) e apresenta variação similar a precipitação, com redução de seus valores nos anos mais recentes de 2013 a 2022, tendo o ano de 2012 como o mais crítico, que afetou diretamente a produtividade agrícola. Estudando o efeito da umidade do solo, Lima *et al.*, (2020), observaram que o uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de umidade em regiões semiáridas, os valores maiores de 10% de umidade, apresentam tendência de redução na temperatura do solo, melhorando o desenvolvimento das culturas.

O NDVI, Figura 2F, observa-se que os valores abaixo da média (0,54), nesta pesquisa, encontram-se de forma geral após o ano 2012, sugerindo que os períodos de maior chuva favorecem o aumento do NDVI, pois, pode ser uma medida direta associada ao índice de área foliar, sanidade do vegetal e, por consequência, quanto maior o desenvolvimento das culturas, maior o valor do NDVI. Caetano *et al.*, (2019) pesquisaram sobre o uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal na região de Caatinga do Semiárido baiano e notaram que o período chuvoso apresentou maiores valores para o NDVI.

Para o parâmetro bovino, Figura 2G, aqui neste trabalho definido como a quantidade de cabeças de gado totais, considerando machos, fêmeas, de corte e de leite, possui redução em seus valores nos anos mais recentes, em relação à sua média (19.079,9 cabeças). Essa variação coincide com os maiores valores de temperatura do ar e menor precipitação, sugerindo que nos anos de maior escassez de chuvas, ocorre diminuição da disponibilidade de alimento, com consequente redução dos rebanhos. Em contrapartida, os períodos de maior precipitação, uma vez que promovem maior disponibilidade de alimento, ocasiona aumento na eficiência produtiva do rebanho (Bezerra, 2016).

Figura 2 - Relação dos dados agrometeorológicos e índice de vegetação em função do intervalo de tempo do experimento



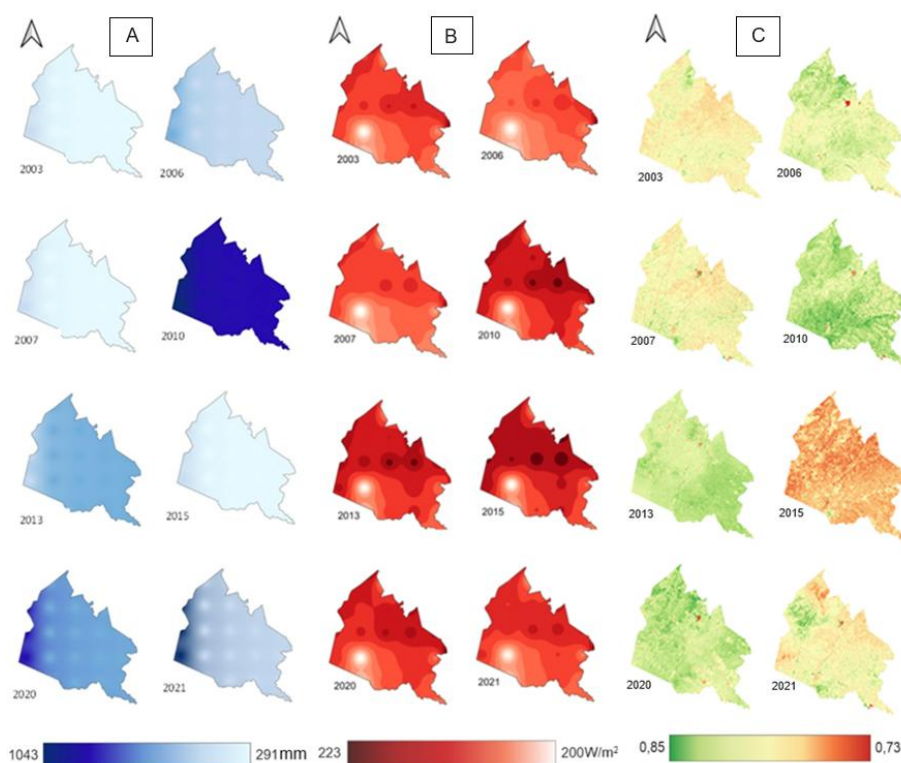
Fonte: autores, 2023.

Para o Leite, descrito na Figura 2H, observa-se que existem dois períodos que merecem destaque, sendo o primeiro até 2016 com menores valores de sua produção (3.800.000 de litros), que estão subordinados às condições climáticas, evidentemente. Embora, esteja destacado que, a partir de 2017 (o segundo período em questão), ocorreu aumento considerável em seus valores, justamente, quando ocorreu aumento da produção de palma forrageira que é um alimento de grande importância para a nutrição do gado de leite na região semiárida de Pernambuco. O Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) também contribuiu com a manutenção da produção de leite na região quando distribuiu variedades de palma forrageira resistente à cochonilha (IPA, 2008).

Nota-se que a produção das culturas de fava, feijão, mandioca e milho, Figuras 2I, 2J, 2K e 2L, respectivamente, possuem variação similar a redução da precipitação, NDVI e umidade do solo, com produção média de 4,9; 1.159,5; 8.342,25 e 524,7 toneladas, respectivamente, nos anos mais recentes. No ano de 2012, evidencia-se as mudanças nos valores de produção agrícola, em decorrência das características climáticas da região de estudo e aumento nos valores de radiação solar, temperatura do ar e velocidade do vento. De acordo com o censo agropecuário, verifica-se que o montante da produtividade dessas culturas é resultado das características do produtor e das limitações climáticas da região (IBGE, 2023).

Na Figura 3 observa-se os perfis espacializados e temporais das variáveis precipitação (Figura 3A), radiação (Figura 3B) e NDVI (Figura 3C) para os anos secos (2003, 2007, 2015, 2021) e chuvosos (2006, 2010, 2013 e 2020), foi considerado período seco os anos com precipitação abaixo da média (639,44 mm) e chuvoso os anos com precipitação acima desta média, representativos do período dessa pesquisa (2002 a 2021).

Figura 3 - Espacialização das precipitações (A), radiações (B) e NDVI (C), de Capoeiras, (2002-2021)



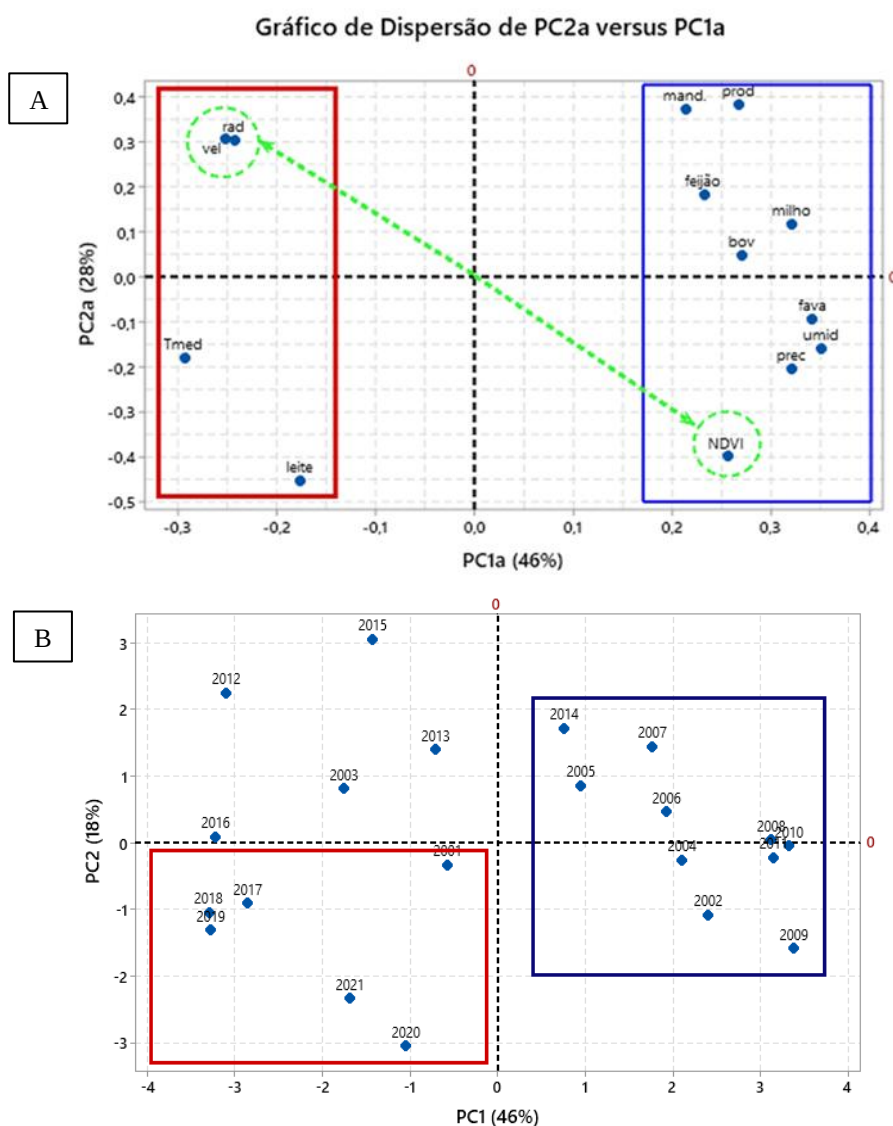
*Anos secos (2003, 2007, 2015, 2021) e anos chuvosos (2006, 2010, 2013 e 2020). Fonte: autores, 2023.

Na Figura 4A, que mostra PC1 versus PC2 com uma interação de 74% da variação total dos dados analisados, sabe-se que o parâmetro “bov” é representado por gado de corte e gado de leite, e, por

tanto, apresenta variação distinta dos parâmetros entre a produção de leite (grupo em vermelho), e os bovinos (grupo em azul), observa-se ainda que a produção de leite está relacionada com a temperatura média do ar, no entanto, encontra-se correlação oposta a precipitação, provavelmente devido à falta da palma forrageira, base alimentar dos gados leiteiros, além dos ataques da cochonilha do carmim (Inacio, 2020)

O período anterior a seca de 2012, ocorreu importante disseminação da cochonilha do carmim (*Planococcus citri*) do carmim no Nordeste do Brasil, praga que foi lentamente se expandindo pelos palmais, encontrando condições favoráveis para dizimar ou comprometer a produtividade de milhares de hectares de palma forrageiras, que curiosamente foi um longo período sem seca, portanto a partir da seca de 2012, por falta da renovação e aumento de áreas plantadas com palma, apresentou um desastre de graves consequências para economia local (Embrapa, 2017).

Figura 4 - Gráfico da análise multivariada dos componentes principais, A – parâmetros analisados e B – período do estudo



*Red – radiação, Vel – velocidade do vento, Tmed – temperatura média, prec – precipitação, Prod – produção agrícola, mand – mandioca, bov – bovino (gado de corte e gado de leite), leite – produção leiteira, Umid – Umidade do solo.

Fonte: autores, 2023

Conforme Reis *et al.* (2021) a queda na produção leiteira é influenciada pelo estresse térmico, recomendando e fornecendo sombra para o conforto térmico de animais em período de lactação. Fato que foi observado nesta pesquisa, porém, com a distribuição de palma forrageira resistente à cochonilha aos pecuaristas, aumentou bastante a produção leiteira a partir de 2017. Tal comportamento ocasionou a observação da variável “leite” no gráfico da Figura 4A no mesmo grupo da variável temperatura do ar, desconcorrelacionando a condição antagônica dessas duas variáveis em relação a todo período de estudo (2002 a 2021).

Na Figura 6B, observa-se que os períodos de maior umidade e precipitação (2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 e 2014), também apresentam as maiores produtividade para os produtos agrícolas (mandioca, feijão, milho e fava), além dos bovinos (de corte e leiteiro). Essas características apresentam correlação negativa com os anos com maior incidência de radiação solar e velocidade do vento.

Essa variação, provavelmente, é devido à forma da interação dos dados, pois nessa pesquisa foram analisados de forma anual, em que a incidência de períodos chuvosos ou de estiagem, não coincide necessariamente com os períodos de maior radiação solar. Desta forma, o agrupamento observado que contém o NDVI também é oposto aos parâmetros radiação e velocidade do vento, em relação aos eixos PC1 e PC2. É importante acrescentar que mesmo que a radiação solar e a precipitação sejam importantes para o desenvolvimento da produção agrícola, nesta pesquisa esses parâmetros se agrupam em lados opostos devido ao fato de que ocorrem em períodos com sazonalidade de precipitação ao longo do ano, que é uma condição característica da região semiárida.

Ainda no agrupamento observado na porção positiva de PC1 da Figura 04A, o NDVI apresenta correlação direta com o aumento da produtividade de todas as culturas, precipitação e umidade do solo. É evidente que este índice que indica a reflectância das folhas, e por consequência, a sua sanidade, mostra que existe maior adensamento de culturas nas áreas estudadas.

Analisando o eixo PC2, o NDVI está em oposição ao parâmetro radiação, indicando que mesmo em anos mais chuvosos, algumas culturas como mandioca, feijão e milho sob influência da radiação apresenta aumento na produtividade. Assim, é possível observar que, de acordo com a análise multivariada, a medida do NDVI é influenciada indiretamente pela radiação que incide na cultura em pesquisa.

Em estudo realizado por Fausto *et al.* (2016) utilizando imagens do Landsat 5 do sensor TM, no período seco em diferentes meses ao longo de um ano, em Mato Grosso, esses autores observaram resultados significativos nos parâmetros NDVI e temperatura da superfície entre as áreas de vegetação nativa e áreas agrícolas, com maiores valores de temperaturas e menores valores de NDVI nessas áreas analisadas.

Já Lucena Netto (2021), observou em seu estudo, que o saldo da radiação obteve concordância com os valores do NDVI no cultivo do milho no cerrado. Entretanto, ele realizou esse estudo em duas datas, não havendo relação entre os períodos secos e chuvosos.

Segundo Borges (2024), o NDVI influencia na evolução temporal da biomassa verde da soja no seu ciclo, ou seja, a soja apresentou valores baixos no início do ciclo, cresce gradualmente até um máximo de biomassa e decresce com o término do ciclo da cultura, ou seja, a disponibilidade da radiação solar determina o quanto o CO₂ está sendo retido pela cultura, maior radiação maior captura de CO₂ da atmosfera, maior processo fotossintético, indicando maior o parâmetro do NDVI.

De modo geral, por meio da análise multivariada utilizada nesta pesquisa observou-se correlação positiva das variáveis precipitação, umidade do solo, produção agrícola, gado de corte e gado de leite, de forma antagônica, a precipitação apresentou correlação negativa com a radiação. No estudo de Lopes, Dantas e Ferreira, (2019) os autores utilizando técnica de estatística multivariada por meio da aplicação da análise de componentes principais, foram eficazes na observação da relação precipitação pluviométrica e de rendimento de culturas agrícolas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O incremento na temperatura média anual influenciou positivamente a produção leiteira, registrando um notável aumento a partir de 2017. Esse aumento expressivo é possivelmente atribuído à maior disponibilidade da palma forrageira resistente à cochonilha, um componente alimentar crucial para o gado leiteiro nas regiões semiáridas. Contrariamente, o aumento da temperatura revelou uma dinâmica distinta para as produções agrícolas, incluindo milho, feijão, mandioca e fava. Estas apresentaram uma forte relação com variáveis como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), precipitação e umidade do solo. Além disso, observou-se uma relação significativa com fatores como radiação solar e velocidade do vento ao longo dos 20 anos abrangidos por esta série histórica. O NDVI, destacado como um indicador eficiente, desempenhou um papel crucial na identificação das melhores safras para as culturas investigadas nesta pesquisa. O conhecimento prévio e domínio dos parâmetros utilizados neste estudo favoreceu a melhor interpretação dos resultados estatísticos, uma vez que revelou que a produção leiteira teve mais influências nos gráficos de ACP, promovidos por fatores externos em relação às variáveis ambientais. De modo prático, a pesquisa possibilita, por meio de gestão pública e privada, utilizar o índice de vegetação para melhorar a quantidade e qualidade das atividades agropecuárias.

REFERÊNCIAS

- ALVES, S.; CONSTANT, P.; TELES, A. Avaliação físico-química e sensorial de pão de forma elaborado com farinha de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*). **Open Science Research I. Editora Científica Digital**, p. 147-159. 2022. <https://doi.org/10.37885/220107200>
- BEZERRA, J. G. **Desempenho produtivo de bovinos Nelore confinados**. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016.
- BORBA, M. C.; RAMOS, J. E. S.; BARROS, J. E. M.; MACHADO, J. A. D. A difusão de tecnologias no meio agrícola na Caatinga – a região de clima semiárido brasileiro. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 24, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.20435/inter.v24i1.3767>
- BORGES, L. C. Avaliação de fluxo de CO₂ a partir da implantação da integração lavoura-pecuária e de sistemas de irrigação em área comercial. 2024. 44 f. **Trabalho de conclusão de curso** (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2024.
- CAETANO, R.; SILVA, T. B.; BENFICA, N. S.; CASTRO, D. R. Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido baiano. **Revista Geociências do Nordeste**, Caicó, v.8, n.2, 2022. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26864>
- CLIMATE ENGINE. **Climate engine** Version 2.1. 2024. Desert Research Institute and University of California Merced. Disponível em: <http://climateengine.org> . Acesso em: 3 ago. 2024.
- COSTA, G. J. A.; RIBEIRO, K. V.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na avaliação da cobertura vegetal do município de regeneração, estado do Piauí, Brasil. **Revista GeoNordeste**, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.602>
- EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Palma forrageira resistente à cochonilha do carmim na alimentação de vacas em lactação**. 2017. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/214326/palma-forrageira-resistente-a-cochonilha-do-carmim-na-alimentacao-de-vacas-em-lactacao>>. Acesso em 21 de setembro de 2023.
- EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. (2015). Embrapa Agricultura Digital. Sistema de Análise Temporal da Vegetação - SATVeg. Acessado em: 15 de agosto de 2024. Disponível em: <http://www.satveg.cnptia.embrapa.br>.

- ESTEVES, P. M. S. V.; CRUZ, F. S. Avaliação dos impactos do processo de desertificação no Seridó Ocidental a partir de indicadores biofísicos e sociais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26082>
- FAUSTO, M. A.; ANGELINI, L. P.; MARQUES, H. O.; S ... FILHO, A.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. **Rev. Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1843>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Trimestral do Leite. Captação de Leite Brasileira**. 2022. Disponível em <www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- INACIO, G. J. Palma forrageira para vacas em lactação: uma abordagem nutricional e meta-analítica. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2020.
- IPA – Instituto agrônomo de Pernambuco. **IPA inicia distribuição de palma resistente à cochonilha**. 2008. Disponível em <http://www.ipa.br/noticias_detalhe.php?idnoticia=239 &secao=1>. Acesso em 14 de novembro de 2023.
- LEMOES, J. J. S.; SANTIAGO, D. F. Instabilidade Temporal na Produção Agrícola Familiar de Sequeiro no Semiárido do Nordeste Brasileiro. **Desenvolvimento em Questão**, Editora Unijuí, n. 50, 2020. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2020.50.186-200>
- LIMA, C. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P.; ALMEIDA, T. A. B.; SANTOS, J. C. N. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.25, n.3, 2020. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020193900>
- LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Variabilidade da precipitação pluvial e produtividade do milho no semiárido brasileiro através da análise multivariada. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 1, p. 77-83, 2019. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i1.6243>
- LUCENA NETTO, A. B. Impactos das mudanças no uso do solo do cerrado baiano em variáveis biofísicas do balanço de radiação por sensoriamento remoto. **Dissertação** (Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande, 2021.
- MACÊDO, A. J. S; CESAR NETO, J. M.; OLIVEIRA, L. B; EDVAN, R. L; SANTOS, E.M; Cultura da palmeira, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras: Revisão da Literatura. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 6, n. 8, pág. 62967-62987, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-652>
- RAMPAZO, N. A. M.; ARAUJO, M. C. P.; CAVALIERO, C. K. N. Comparação entre dados meteorológicos provenientes de sensoriamento remoto (modelados e de satélites) e de estações de superfície. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.02, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p412-426>
- REIS, L. S.; MARQUES, L. R.; SANTOS, S. N.; PAIM, T. P.; GUIMARÃES, T. P. e MARQUES, T. C. Produção de leite em sistema silvipastoril: Revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14043>
- R CORE TEAM (2023). **R: A language and environment for statistical computing**. 2023. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- SALDANHA, D. D.; MORAES, J. G. L.; SILVA, E. M.; SOUSA, G. G.; MORAES, A. E. Cultivo de Palma Forrageira (*Opuntia stricta* Haw) sob Biofertilização nas Condições Climáticas Observadas na Região Jaguaribana (Região Semiárida do Estado do Ceará). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 38, 2023. <https://doi.org/10.1590/0102-77863810023>
- SALGADO, C. B.; JÚNIOR CARVALHO, O. A.; GOMES R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. Análise da interferência de nuvens na classificação de séries temporais MODIS-NDVI na região da Amazônia, município de Capixaba, Acre. **Soc. Nat.** Uberlândia, MG, v.31, 2019. <https://doi.org/10.14393/SN-v31-2019-47062>

SILVA, A. P.; SOUZA, P. A. Zoneamento agroclimatológico para produção da Palma Forrageira no semiárido. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.4, 2020.

<https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-251>

TIBÚRCIO, I. M.; SILVEIRA, N. T.; SANTOS, T. O.; MIRANDA, R. de Q.; GALVÍNCIO, J. D. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.16, n.03, 2023. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1657-1670>

ZANOTTA, D.C.; FERREIRA, M.P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. Editora Oficina de Textos. São Paulo.2019.

Recebido em: 20/09/2024

Aceito para publicação em: 17/03/2025