



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Júlio da Silva Corrêa de Oliveira Andrade

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DE ELEMENTOS
AGROMETEOROLÓGICOS, PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA E
DETERMINAÇÃO DA REFLECTÂNCIA DA PALMA FORRAGEIRA NO
AGRESTE PERNAMBUCANO**

RECIFE
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DE ELEMENTOS
AGROMETEOROLÓGICOS, PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA E
DETERMINAÇÃO DA REFLECTÂNCIA DA PALMA FORRAGEIRA NO
AGRESTE PERNAMBUCANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida

Coorientador: Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva

RECIFE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A110v Andrade, Júlio da Silva Corrêa de Oliveira
VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DE ELEMENTOS AGROMETEOROLÓGICOS, PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA E DETERMINAÇÃO DA REFLECTÂNCIA DA PALMA FORRAGEIRA NO AGRESTE
PERNAMBUCANO / Júlio da Silva Corrêa de Oliveira Andrade. - 2023.
83 f. : il.

Orientadora: Gledson Luiz Pontes de Almeida.
Coorientadora: Hernande Pereira da Silva.
Inclui referências e apêndice(s).

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, Recife, 2024.

1. análise multivariada. 2. assinatura espectral. 3. NDVI. 4. produção de leite. 5. semiárido. I. Almeida,
Gledson Luiz Pontes de, orient. II. Silva, Hernande Pereira da, coorient. III. Título

DEDICATÓRIA

Se eu fui capaz de chegar até o doutorado foi graças a minha mãe que sempre me incentivou a me dedicar ao estudo, mesmo durante o colégio. Você sempre foi minha base na vida, no estudo e no mundo. Você é exemplo de que eu poderia chegar aonde quisesse e me dediquei especialmente para esse resultado todos os dias da minha vida. Esse doutorado é prova do seu amor e apoio incondicional. Certamente não chegaria até onde estou sem a mãe dedicada e amorosa que tive. A você, meu muito obrigado!

Dedico essa tese e toda minha jornada a você.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus que sempre será minha adoração e reconhecimento desse amor e de todas as conquistas na minha vida.

A minha amada família, por ser a minha estrutura, nunca me deixaram sentir sozinho, sempre estiveram me apoiando a quem eu admiro muito, minha mãe Nilma Maria de Carvalho Pereira, meu pai Frederico Corrêa de Oliveira Andrade (In memoriam), aos meus amados irmãos Juliana Pereira Corrêa de Oliveira Andrade, José Batista do Rego Pereira Neto, Alynne Sibelle Pereira Corrêa de Oliveira Andrade, minha esposa Andrezza Karolina Guilherme e Silva e minha afilhada Maria Luiza Corrêa de Melo pelo apoio incondicional em toda essa caminhada e que estão sempre ao meu lado.

Aos meus tios e primos Orlando José Corrêa de Oliveira Andrade, Nilza Maria, Nilda Maria, Socorro Corrêa, Honorio Valeriano e Luiz José, que estão sempre torcendo pelo meu crescimento profissional e pessoal.

Ao professor orientador Gledson Luiz Pontes de Almeida, que desde o início concedeu o privilégio de me orientar nesta tese. Eu o tenho, por certo, não somente como orientador, mas amigo, parceiro e sempre disposto a ajudar, com o rigor nas orientações que é tão indispensável à formação acadêmica, sempre com muito respeito às nossas produções e nos levando ao amadurecimento dos objetivos da tese, além de compactuar de posicionamentos que permitiram analisar o objeto de estudo. Ao professor coorientador Hernande P. da Silva que se disponibilizou em ajudar e orientar na escrita da tese.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA/UFRPE, com os quais compartilhei momentos de aprendizagens. Aos integrantes da banca examinadora, pelas valiosas contribuições desde a qualificação até o momento da defesa, professores comprometidos em apontar os limites e as possibilidades dos caminhos que escolhemos traçar por meio da pesquisa, Prof. Dr. Alex Souza Moraes (UFRPE), Prof. Dr. Heliton Pandorfi (UFRPE), Prof. Dr. Rafael Pereira de Lima (UFAL) e Prof. Dr. Otavio Pereira dos Santos Júnior (IFPE - Campus Vitória).

Aos amigos e colegas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, que contribuíram de forma direta e indireta, durante esses três anos, agradeço as partilhas, trocas de textos, debates, esclarecimentos, conselhos, apoios, vocês foram imprescindíveis para conclusão desta tese, amigo José Machado Coelho Junior, Valmir Cristiano Marques de Arruda, Rosângela Gomes Tavares, Ana Paula Rodrigues da Luz Neri, Lizandra de Barros de Sousa, Thayná Alice Brito Almeida e Caio Sérgio Pereira Araújo.

Sumário

RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. HIPÓTESE	15
3. OBJETIVOS	15
3.1. GERAL	15
3.2. ESPECÍFICO	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1. BIOMA DO SEMIÁRIDO.	16
4.2. CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICA DAS REGIÕES SEMIÁRIDAS DO NORDESTE BRASILEIRO	17
4.3. AVANÇOS, DIFICULDADES E DESAFIOS DA COMUNIDADE RURAL 	18
4.4. PALMA FORRAGEIRA	19
4.4.1. BOTÂNICA E FISILOGIA DA PALMA.	19
4.4.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA PALMA	21
4.4.3. UTILIZAÇÃO NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES	22
4.5. PALMA FORRAGEIRA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS	24
4.6. PALMA FORRAGEIRA NA REGIÃO DO NORDESTE BRASILEIRO. 24	
4.7. TECNOLOGIAS APLICADA AO MONITORAMENTO AMBIENTAL .. 26	
4.7.1. SENSORIAMENTO REMOTO	26
4.7.2. ASSINATURA ESPECTRAL	27
4.7.3. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX - NDVI)	29
4.8. ANÁLISES MULTIVARIADAS	31

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
6. CAPÍTULO I: DINÂMICA DE ELEMENTOS AGROMETEOROLÓGICOS E PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO MUNICÍPIO DE CAPOEIRAS – PE ..	45
RESUMO.....	46
ABSTRACT	47
6.1. INTRODUÇÃO	48
6.2. MATERIAL E MÉTODOS	50
6.2.1. LOCAL DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA	50
6.2.2. COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	51
6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.4. CONCLUSÃO	59
6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
7. CAPÍTULO II: ASSINATURA ESPECTRAL DA PALMA FORRAGEIRA UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO EM REGIÃO SEMIÁRIDA	64
RESUMO	65
ABSTRACT	66
7.1. INTRODUÇÃO	67
7.2. MATERIAL E MÉTODOS	68
7.2.1. ÁREA DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA	68
7.2.2. COLETA E ANÁLISE DE DADOS	69
7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
7.4. CONCLUSÃO	79
7.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83

Lista de Figuras

Figura 01 – Palma orelha de elefante e Miúda	25
Figura 02 – Assinatura espectral dos alvos	28
Figura 03 – Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. ...	30
Figura 04 – Localização do município de Capoeiras na microrregião do Vale de Ipojuca, no estado de Pernambuco, Brasil.	50
Figura 05 – Dados climatológicos e de produção utilizados nesta pesquisa...	53
Figura 06 – Espacialização das precipitações (A), radiações (B) e NDVI (C), para o município de Capoeiras – PE, no período de 2002 a 2021.	55
Figura 07 - Gráfico da análise multivariada dos componentes principais, A – parâmetros analisados e B – período do estudo.....	57
Figura 08 – Localização do município de Capoeiras na microrregião do Vale de Ipojuca, no estado de Pernambuco, Brasil.....	69
Figura 09. Áreas selecionadas para capturas dos pixels para a determinação da Assinatura Espectral e respectivos anos de idade da palma com imagem do Landsat 8 (mês de outubro de 2022).	70
Figura 10 – precipitação anual para os quatro anos de pesquisa.	72
Figura 11 – Gráfico das assinaturas espectrais da pastagem, vegetação nativa, palmas e água obtida na imagem do satélite Landsat 8.	73
Figura 12 –Gráfico da análise multivariada por componentes principais.	75
Figura 13 –Gráfico da análise multivariada de agrupamento de observação das seis áreas no período de quatro anos.	76
Figura 14 – Assinatura espectral da palma realizado no ano 2019.	77
Figura 15 – Assinatura espectral da palma realizado no ano 2020.	77
Figura 16 – Assinatura espectral da palma realizado no ano 2021.....	78
Figura 17 – Assinatura espectral da palma realizado no ano 2022.	78

Lista de Tabelas

Tabela 01 – composição químico-bromatológica da palma forrageira.	22
Tabela 02 – Comprimentos de onda e suas devidas bandas do satélite Landsat 8.	71

RESUMO

A região do Agreste pernambucano possui economia diversificada no setor agropecuário, no entanto, a seca gera grande prejuízo devido à redução da produção de alimentos atrelada à falta de água e, conseqüentemente, dificuldade em manter o rebanho de gado na região. Neste contexto, a palma forrageira surge como uma alternativa para o suprimento da alimentação do gado de leite, por ser uma planta resistente a seca, torna-se uma forrageira ideal no sistema de sequeiro do semiárido. Objetivou-se com a pesquisa relacionar elementos agrometeorológicos, produção agropecuária e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), numa série histórica de 20 anos, bem como identificar a assinatura espectral da palma forrageira em região semiárida do Agreste pernambucano. A presente pesquisa foi desenvolvida no município de Capoeiras-PE, estado de Pernambuco, Brasil, no qual, os dados de temperatura média do ar, precipitação e umidade do solo foram obtidas na plataforma do aplicativo *Climate Engine* e os dados de NDVI no sistema de análise temporal da vegetação (SATVeg). Para os dados da produção agropecuária (bovino de leite, bovino de corte, feijão, milho, mandioca e fava) foram compilados do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No município de Capoeiras-PE, foram selecionadas 06 (seis) áreas, com diferentes idades de plantios da palma forrageira orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta HAW*), variando de 1 a 6 anos de plantios, para a determinação da assinatura espectral. O NDVI (média de 0,55) aparece relacionado com o aumento da produtividade de todas as culturas (feijão, milho, fava e mandioca), precipitação e umidade do solo. As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, contribuíram para delinear a curva referente à assinatura espectral da palma forrageira, com uma variação de 2 a 19%, nos comprimentos de onda do visível (azul, verde e vermelho) ao infravermelho próximo.

Palavras-chave: análise multivariada, assinatura espectral, NDVI, produção de leite, semiárido.

ABSTRACT

The region of Pernambuco's Agreste has a diverse economy in the agricultural sector. However, drought causes significant losses due to reduced food production linked to water scarcity, leading to difficulties in maintaining the cattle herd in the region. In this context, the forage cactus emerges as an alternative to feed dairy cattle. Being a drought-resistant plant, it becomes an ideal forage in the dryland system of the semi-arid region. The research aimed to relate agrometeorological elements, agricultural production, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) over a 20-year historical series, as well as to identify the spectral signature of the forage cactus in the semi-arid region of Pernambuco's Agreste. This study was conducted in the municipality of Capoeiras, Pernambuco, Brazil. Air temperature, precipitation, and soil moisture data were obtained from the Climate Engine application platform, and NDVI data from the vegetation temporal analysis system (SATVeg). Agricultural production data (dairy cattle, beef cattle, beans, corn, cassava, and fava beans) were compiled from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) website. In the municipality of Capoeiras, six areas with different ages of Mexican elephant ear forage cactus plantations (*Opuntia stricta* HAW), ranging from 1 to 6 years old, were selected to determine the spectral signature. The NDVI (average of 0.55) appears to be related to increased productivity of all crops (beans, corn, fava beans, and cassava), precipitation, and soil moisture. Remote sensing and geoprocessing techniques contributed to delineate the spectral signature curve of the forage cactus, with a variation of 2 to 19% in the visible (blue, green, and red) to near-infrared wavelengths.

Keywords: multivariate analysis, spectral signature, NDVI, milk production, semiarid.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção agrícola é responsável pela geração de inúmeros benefícios para a sociedade, no entanto, pode estar susceptível aos impactos ocasionados pela falta de planejamento agropecuário, com ênfase na disponibilidade hídrica, que influencia diretamente no crescimento das plantas. Além dos aspectos climáticos adversos, a produção agrícola também sofre com pragas e falta de mão-de-obra, que impactam negativamente na produtividade e na qualidade dos seus produtos.

Embora, a seca em si, por ser um fenômeno natural, pode ser entendida como a deficiência de precipitação, tem suas consequências maximizadas pela falta de recursos e apoio técnico aos pequenos produtores. Durante os períodos de seca, observa-se significativa redução na oferta de pastagem para o gado, com efeito negativo na produção de leite. Uma das soluções encontradas pelos pequenos produtores é o plantio de palma forrageira, pois se destaca na mitigação dos efeitos do baixo rendimento da produção agropecuária, principalmente no semiárido brasileiro.

O estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de leite do Nordeste, com produção de 1,179 bilhões de litros de leite, sendo o 8º maior produtor do Brasil. A maior bacia leiteira do estado de Pernambuco se concentra na região Agreste, o equivalente a 72,23% de todo leite produzido no estado, gerando milhares de novos empregos de forma direta e indireta. Em 2022, a produção nacional de leite registrou a marca de 44,455 bilhões de litros. A região Nordeste apresentou-se em terceiro lugar na produção nacional leiteira, ao obter um crescimento de 1,9% em sua produção, totalizando 5,547 bilhões de litros de leite (IBGE, 2022).

Segundo Rodrigues (2023) o Brasil é o quinto país com maior produção de leite de vaca do mundo, sendo uma parcela significativa do agronegócio. A cada ano, tem-se tentado aumentar a produção, tanto para suprir a demanda do mercado como para promover maior lucratividade ao produtor.

O Agreste pernambucano possui economia diversificada no setor agropecuário, com práticas de pecuária de leite e de corte, além de cultivar

lavouras de milho, feijão, fava e mandioca (Firmino, 2019; Monteiro et al., 2007).

As regiões que possuem climas predominantemente semiárido apresentam como características marcantes as temperaturas elevadas e os baixos índices pluviométricos, oferecendo grande variabilidade temporal e espacial de precipitação, que influencia diretamente a vegetação do local, a economia e a alimentação de animais e seres humanos (Araba et al., 2013).

Nessas regiões o bioma predominante é a Caatinga, que apresenta alta vulnerabilidade a degradação do solo, devido aos fatores meteorológicos e antrópicos adversos. A seca tem impactado negativamente nos aspectos edáficos, meteorológicos e hídricos, o que limita as atividades de produção de forragem para alimentação do gado de leite (Borba et al., 2023).

Diante das constantes secas que ocorrem nas regiões Agreste e Sertão do estado de Pernambuco, surge a necessidade de uma fonte alternativa de alimento para os animais, visto que, as forrageiras comuns como a *Brachiaria decumbens*, apresentam baixo potencial produtivo em regiões de extremas secas como a do estado de Pernambuco (Volpe et al., 2018; Mattos, 2005).

Nesse contexto, a palma forrageira surge como uma alternativa eficiente para o suprimento da alimentação do gado de leite, por ser uma planta resistente a seca, torna-se uma forrageira ideal no sistema de sequeiro do semiárido, por possuir capacidade de atingir alta produtividade de biomassa por área, mesmo com baixos índices pluviométricos (Epifânio, 2019).

Devido as adversidades climáticas das regiões semiáridas, constata-se o comprometimento das produções agrícolas, principalmente nas culturas alimentares de sequeiros, em que os agricultores familiares dependem diretamente dos recursos naturais, contudo, a combinação de fatores mostra que a produtividade das lavouras de feijão, mandioca e milho depende da fertilidade natural do solo, que quase sempre é baixa, e da precipitação em quantidade e período adequados. (Lemos e Santiago, 2020).

Estudos recentes na agropecuária, vem utilizando como ferramenta principal o sensoriamento remoto para a investigação de diversas situações no campo. Com o objetivo de identificar, mapear, mensurar e avaliar a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra. Sendo que os resultados obtidos servirão

como estudo prévio para posterior caracterização agrícola e pecuária em distintas escalas de abordagem (Kaiser et al., 2018). O sensoriamento remoto é a tecnologia capaz de acompanhar a expansão tecnológica do campo, auxiliando na delimitação de áreas e por meio dos dados adquiridos melhorando a precisão de mapeamento (Zanotta et al., 2019).

Em virtude dos avanços tecnológicos, já existem algumas ferramentas de identificação para uma determinada planta captada pelo satélite, sendo possível identificá-la pelo seu atributo refletivo (Sette, 2018). A interatividade entre a radiação solar, planta e sensor têm como produto informações biofísicas da vegetação, o que contribui com a identificação da área cultivada (Crusiol et al., 2018). A interação desses recursos contribui para o aparecimento de diversas metodologias dirigidas ao reconhecimento da assinatura espectral, o que permite identificar como uma determinada espécie vegetal é visualizada por imagem de satélite, com o foco de otimizar os trabalhos no campo de maneira remota (Crusiol et al., 2019).

Para os tratamentos e processamento dessas imagens digitais destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que permite identificar a presença da cultura a fim de monitorar e avaliar a cobertura vegetal em diversas escalas (Costa et al., 2020).

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, que podem contribuir para melhoria dos sistemas produtivos locais.

A palma forrageira é uma cultura muito importante para a região semiárida brasileira, por ser resistente à seca e apresenta produção da biomassa que atende a demanda na alimentação animal e humana, na indústria de cosméticos, na medicina e na produção de aditivos naturais. Entretanto, há necessidade de identificação, mapeamento e monitoramento pelos poderes públicos e instituições de pesquisa para auxiliar nos processos de tomadas de decisões e suporte na gestão das propriedades, de modo há contribuir para melhoria dos sistemas produtivos locais.

2. HIPOTESE

- As variáveis precipitação, umidade, produção agrícola, produção pecuária e NDVI apresentam correlação crescente positiva.
- A variabilidade espaço-temporal dos elementos meteorológicos influencia diretamente a produção agrícola.
- As variáveis temperatura média e produção de leite são inversamente proporcionais.
- A assinatura espectral da palma forrageira apresenta menor reflectância na faixa do infravermelho, quando comparado à pastagem.

3. OBJETIVOS

3.1. GERAL

Objetivou-se com a pesquisa relacionar elementos agrometeorológicos, produção agropecuária e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), numa série histórica de 20 anos, bem como identificar a assinatura espectral da palma forrageira em região semiárida do agreste pernambucano.

3.2. ESPECÍFICOS

- Realizar interação das variáveis estudadas por meio da análise multivariada, pela técnica de componentes principais, para correlacionar os elementos meteorológicos, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), produção agrícola e produção pecuária de uma série histórica de 20 anos, no município de Capoeiras-PE.
- Determinar a assinatura espectral da palma forrageira em seis diferentes idades de cultivos, por meio de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando imagens do satélite Landsat 8.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. BIOMA DO SEMIÁRIDO

O bioma do semiárido é uma região de extrema importância ecológica, caracterizada por condições climáticas adversas, como altas temperaturas e baixa precipitação pluviométrica. Segundo Oliveira et al. (2019), este bioma é marcado por uma diversidade biológica única, com adaptações peculiares das espécies vegetais e animais às condições de aridez. Estudos como o de Silva et al. (2020) destacam que a vegetação predominante nessa região é a caatinga, um tipo de vegetação xerófila que desempenha um papel crucial na manutenção dos ecossistemas locais e na preservação da biodiversidade.

A gestão dos recursos naturais no semiárido é um desafio constante, especialmente devido à variabilidade climática e às pressões antropogênicas. De acordo com Araújo et al. (2018), a desertificação é uma ameaça crescente nesse bioma, resultante da combinação de práticas inadequadas de uso da terra e mudanças climáticas. A preservação dos recursos hídricos é uma preocupação central, conforme ressaltado por Lima et al. (2021), dado que a disponibilidade de água é um fator limitante para o desenvolvimento sustentável da região e para a sobrevivência das comunidades locais.

A importância socioeconômica do semiárido também é digna de nota. Conforme mencionado por Souza et al. (2020), a população que habita essa região enfrenta desafios significativos relacionados à pobreza, acesso à educação e saúde, além de estar sujeita a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas. Nesse contexto, políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável e a adaptação às mudanças climáticas são essenciais para promover a resiliência das comunidades e a conservação dos ecossistemas do semiárido.

4.2. CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICA DAS REGIÕES SEMIÁRIDAS DO NORDESTE BRASILEIRO

As condições edafoclimáticas das regiões semiáridas do Nordeste brasileiro apresentam um papel crucial na compreensão dos desafios enfrentados por essa área em termos de desenvolvimento sustentável. O semiárido nordestino é caracterizado por uma combinação única de fatores climáticos e edáficos que impactam diretamente a disponibilidade de recursos hídricos e a produtividade agrícola. Segundo estudos de Silva et al. (2018), a variabilidade climática, com longos períodos de seca, e a natureza dos solos, geralmente de baixa fertilidade, são elementos centrais nesse contexto.

A região semiárida do Nordeste é marcada por altas temperaturas e precipitações irregulares ao longo do ano. De acordo com Lima et al. (2019), o índice pluviométrico muitas vezes não é suficiente para atender às demandas hídricas da população e da agricultura. As altas taxas de evaporação combinadas com a baixa retenção de água nos solos agravam ainda mais a escassez hídrica. Essas condições adversas demandam abordagens inovadoras para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos na região.

A diversidade edáfica do semiárido nordestino apresenta solos com características específicas, como elevada salinidade e baixa capacidade de retenção de água. De acordo com Araújo et al. (2020), essas características dificultam a prática agrícola tradicional e limitam a variedade de culturas que podem ser cultivadas com sucesso na região. A compreensão detalhada da composição do solo é essencial para o desenvolvimento de estratégias agrícolas adaptadas às condições específicas da região.

As condições edafoclimáticas adversas impactam diretamente as comunidades locais, muitas das quais dependem da agricultura como principal meio de subsistência. De acordo com Souza e Santos (2017), a falta de acesso à água potável e a instabilidade nas safras agrícolas têm contribuído para a perpetuação do ciclo de pobreza na região semiárida. Estratégias de desenvolvimento sustentável devem incorporar políticas que abordem as vulnerabilidades específicas dessas comunidades.

Para enfrentar os desafios impostos pelas condições edafoclimáticas das regiões semiáridas do Nordeste, é crucial adotar uma abordagem integrada que combine práticas agrícolas sustentáveis, gestão eficiente dos recursos hídricos e investimentos em pesquisa e inovação. Como destacado por Bezerra et al. (2021), iniciativas como o desenvolvimento de culturas adaptadas e a implementação de técnicas de conservação do solo podem contribuir significativamente para a resiliência das comunidades locais e a sustentabilidade ambiental.

4.3. AVANÇOS, DIFICULDADES E DESAFIOS DA COMUNIDADE RURAL

A estratégia de convivência com o semiárido tem se destacado como uma abordagem fundamental para promover a resiliência de comunidades rurais em regiões áridas e semiáridas. A escassez de recursos hídricos e as condições climáticas adversas desafiam a sustentabilidade agrícola e a subsistência nessas áreas. Nesse contexto, estratégias que visam a adaptação e convivência com o clima semiárido têm se mostrado cruciais para as comunidades locais (Mendonça et al., 2018).

Iniciativas de manejo sustentável dos recursos naturais têm contribuído para avanços significativos na convivência com o semiárido. A implementação de tecnologias de captação e armazenamento de água, como cisternas e barragens subterrâneas, demonstrou sucesso em aumentar a disponibilidade hídrica para atividades agrícolas e domésticas (Silva et al., 2018). Além disso, práticas agrícolas adaptadas, como o cultivo de espécies resistentes à seca, têm fortalecido a segurança alimentar nessas comunidades (Santos et al., 2020).

Apesar dos avanços, a implementação efetiva das estratégias de convivência com o semiárido enfrenta desafios consideráveis. A falta de acesso a recursos financeiros e tecnológicos limita a adoção generalizada dessas práticas, principalmente em comunidades de baixa renda (Souza, 2019). Além disso, a resistência cultural e a falta de conscientização sobre a importância dessas estratégias podem dificultar a aceitação e a implementação pelas comunidades locais.

Os desafios futuros na estratégia de convivência com o semiárido incluem a necessidade de uma abordagem mais integrada, que considere não apenas aspectos técnicos, mas também sociais e econômicos. A promoção da educação ambiental e a sensibilização das comunidades são cruciais para garantir a sustentabilidade a longo prazo (Pereira et al., 2021). Além disso, a pesquisa contínua e a inovação são necessárias para desenvolver estratégias adaptativas às mudanças climáticas em andamento.

4.4. PALMA FORRAGEIRA

A palma forrageira é uma cultura originária do México, sendo hoje encontrada em todo o mundo (Silva et al., 2020; Silva et al., 2006). O histórico da palma forrageira no Brasil, especialmente no Nordeste, apresenta muitas controvérsias entre os autores. Sua introdução no Brasil se deu pelos portugueses na época da colonização, provavelmente trazida das Ilhas Canárias, sendo de origem mexicana e inicialmente utilizada na produção de corante natural (Simões et al., 2005).

Posteriormente, foi tratada como plantas ornamentais e, no início do século XX, devido a diversas secas no Agreste pernambucano, foi utilizada como forragem para o gado (Albuquerque, 2002; Simões et al., 2005).

A palma forrageira nas regiões áridas e semiáridas tem grande importância na base alimentar dos rebanhos bovinos, caprinos e ovinos, por possuir alta palatabilidade, resistência à seca e grande produção de biomassa. Por esses motivos elas são cultivadas em larga escala e usadas ao longo do ano no semiárido brasileiro, sendo um componente fundamental para a sustentabilidade das bacias leiteiras do Nordeste brasileiro (Embrapa, 2015).

4.4.1. BOTÂNICA E FISIOLOGIA DA PALMA

A palma forrageira pertence à divisão *Embryophyta*, subdivisão *Angiospermeae*, classe *Dicotyledoneae*, subclasse *Archiclamideae*, ordem *Opuntiales* e família das Cactáceas (Silva e Santos, 2006). No mundo, já foram descritas cerca de 2.000 espécies dessa cactácea, distribuídas desde o

Canadá até a Argentina (Gomes, 2023). Entre as espécies selvagens e cultivadas mais utilizadas, 12 espécies pertencem a *Opuntia* e uma a *Nopalea* (Scheinvar, 2001). No Nordeste do Brasil predominam duas espécies, conhecidas vulgarmente como Orelha de Elefante, *Opuntia stricta* Howard e miúda, *Nopalea cochenilifera* (Farias et al., 2005).

As variedades de palma do gênero *Opuntia* mostram maior potencial de adaptação às regiões de baixa disponibilidade de água no solo, em virtude da reserva hídrica contida nas suas raquetes em relação ao gênero *Nopalea* (Sales e Andrade, 2006).

A palma forrageira por ser uma cactácea que apresenta características morfofisiológicas de adaptação as condições de semiárido, passou a ser cultivada em larga escala pelos criadores de bovinos de leite na região Nordeste, principalmente de Pernambuco e Alagoas, constituindo-se numa das principais forrageiras para o suporte alimentar dos animais na época seca (Lira et al., 2006). Visto que a planta apresenta mecanismo fisiológico especial no que se refere à absorção, aproveitamento e perda de água, sendo bem adaptada às condições adversas destas regiões (Lopes et al., 2019; Teles et al., 2002).

A fisiologia da palma forrageira é caracterizada pelo processo fotossintético Metabolismo Ácido da Crassulácea (MAC), que assimila CO₂ durante a noite, devido às restrições na disponibilidade de água e pressão ambiental, que resulta em baixa transpiração, fechando os estômatos durante o dia, a fim de manter a hidratação dos tecidos (Chiacchio et al., 2006, Souza et al., 2020). Locais onde as noites são frias e a umidade do ar elevada, com a possível ocorrência de orvalho, representam condições ótimas para o cultivo desta planta. Em localidades cujas noites são quentes e secas, a cultura perde muita água e o seu desenvolvimento é prejudicado (Sampaio, 2005).

Estudos têm constatado que a palma forrageira possui uma eficiência de uso da água de aproximadamente 50:1, ou seja, 50 kg de água para cada 1 kg de matéria seca formada, enquanto as plantas C3 e C4 apresentam eficiências por volta de 1000:1 e 500:1 respectivamente e em relação às plantas C3 essa superioridade atinge até onze vezes (Alves et al., 2007).

4.4.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA PALMA

A palma forrageira é adaptada às condições edafoclimáticas de regiões semiáridas e apresenta altas produções de matéria seca por unidade de área. Em termos de produtividade de massa verde, a palma miúda tem se mostrado inferior às cultivares gigante e redonda. No entanto, quando essa produção é transformada em massa seca, os últimos resultados se equivalem, por ter a palma miúda mais massa seca que as outras (Santos et al., 2006).

Além disso, é um alimento rico em carboidratos, principalmente não-fibrosos, e possui baixa porcentagem de parede celular, o que a caracteriza como um alimento energético (Magalhães et al., 2021; Melo et al., 2003), podendo suprir a escassez nutricional dos animais de criação em certo período do ano, sendo fundamental seu uso com a associação de uma fonte de fibra para o bom funcionamento ruminal, bem como a homeostase, sem que interfira na produtividade.

Em estudo da composição químico-bromatológica da palma forrageira, independente do gênero, Ferreira (2012), verificou baixos teores de Matéria Seca (MS), Proteína Bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos totais (CHT), carboidratos não fibrosos (CNF), carboidratos não estruturais (CNE) e material mineral (MM). Já Torres et al. (2009) verificaram variação na composição química de variedades de palma, na Miúda e Gigante, conforme Tabela 01.

Tabela 01 – Composição químico-bromatológica da palma forrageira.

	Ferreira (2006), palma forrageira.	Torres et al. (2009), palma forrageira Miúda	Torres et al. (2009), palma forrageira Gigante
Matéria Seca (MS)	11,69	10,3%	22,68%
Proteína Bruta (PB)	4,81	5,5%	4,0%
Fibra em Detergente Neutro (FDN)	26,79	37,3%	36,5%
Fibra em Detergente Ácido (FDA)	18,85	20,2%	16,9%
Carboidratos totais (CHT)	81,12	79,7%	83,8%
Carboidratos Não Fibrosos (CNF)	58,55	42,4%	47,3%
Carboidratos Não Estruturais (CNE)	47,9	--	--
Material Mineral (MM)	12,04	12,6%	9,7%
Extrato Etéreo (EE)	--	2,2%	2,5%

4.4.3. UTILIZAÇÃO NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES

A palma forrageira representa uma alternativa de renda para os que habitam as regiões áridas e semiáridas, pois possibilita a obtenção de diversos produtos esubprodutos com destaque para alimentação humana e animal, além da medicina, na indústria de cosméticos e na produção de aditivos naturais (Sáenz, 2000; Sáenz et al., 2004; Ferraz et al., 2019).

A palma forrageira é uma cultura detentora de grande potencial, capaz de contribuir positivamente na viabilidade econômica das pequenas e médias propriedades, notadamente na alimentação dos rebanhos (Galindo et al., 2005; Guimarães et al., 2019; Lima et al., 2004).

Além de fornecer um alimento verde, a palma forrageira supre grande parte das necessidades de água dos animais na época de escassez. A presença de uma reserva de cactáceas durante períodos de seca pode ser considerada como um “banco de água” e pode representar a diferença entre a

vida e os elevados índices de mortalidade com animais, registrados durante a ocorrência de secas (Rangel et al., 2009).

Entretanto, apesar do baixo conteúdo de matéria seca da palma forrageira, a relação FDN:CNF não causa qualquer tipo de distúrbio digestivo nos animais (Bispo et al., 2007). Portanto, existe a necessidade de corrigir o déficit de FDN através de fontes de fibra fisicamente efetiva e proteína (Neves et al., 2020).

Desta forma, faz-se necessária a associação da palma forrageira a alimentos fibrosos, a fim de incrementar os teores de matéria seca e fibra da ração, na tentativa de evitar possíveis distúrbios digestórios, quando fornecida isoladamente (Silva et al., 2006; Paulino, 2019).

Albuquerque et al. (2002) utilizaram três fontes de nitrogênio associadas à palma forrageira na suplementação de vacas leiteiras mantidas em pasto diferido e concluíram que o pasto diferido associado à palma forrageira e farelo de soja é uma alternativa de alimentação para animais mestiços no Agreste de Pernambuco.

Araújo et al. (2004b) pesquisaram a substituição da energia do milho pela da palma forrageira em vacas mestiças em lactação e destacaram que é possível tal substituição, sem reduzir a produção diária e os níveis de gordura do leite.

Cavalcanti (2005) avaliou o desempenho de vacas holandesas em lactação alimentadas com dietas com diferentes níveis de palma e ureia em substituição ao feno do capim-tifton e verificou que as dietas com maior nível de palma forrageira e ureia influenciaram positivamente a digestibilidade aparente da matéria seca, matéria orgânica, carboidratos totais e carboidratos não fibrosos e negativamente a fibra em detergente neutro. Os nutrientes digestíveis totais aumentaram à medida que eram incluídas palma e ureia na dieta.

O potencial da palma forrageira contribui significativamente no desenvolvimento de zonas áridas e semiáridas, sobretudo, nos países em desenvolvimento, onde a exploração racional e econômica de suas espécies ajudará na conservação do meio ambiente e na segurança alimentar dos rebanhos (Chiacchio et al., 2006).

4.5. PALMA FORRAGEIRA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

A instabilidade climática da região semiárida e dos períodos chuvosos em poucos meses do ano, acarretam a estacionaridade da produção de forragens para os animais, limitando as atividades agropecuárias no Nordeste (Gomes, 2023). Neste cenário, a palma forrageira se destaca como planta forrageira capaz de altas produtividades, se bem manejadas, garantindo a suplementação dos animais no balanço nutricional da dieta e oferta de água aos animais. Mas, para o sucesso na criação, ela não pode ser o alimento exclusivo, pois não possui completa composição química recomendada (Rocha, 2012).

As regiões áridas e semiáridas do mundo necessitam de uma seleção adequada de plantas para tornarem seus sistemas agrícolas sustentáveis. Das diversas famílias de plantas que existem nestas áreas, as cactáceas são uma das mais importantes, em virtude dos seus mecanismos de adaptação à escassez de água, o que permite a sua perenidade em ambientes de extrema aridez (Araújo et al., 2004a).

Epifânio, (2019) relata que a palma se adaptou bem ao semiárido, devido às diferentes condições de solo e clima, sendo as dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* as mais utilizadas. Elas se adaptaram bem nessas regiões por possuírem o tipo de metabolismo ácido das Crassuláceas (MAC), que permite fechamento dos estômatos durante o dia e abertura à noite, metabolismo fotossintético diferentes das plantas C3 e C4.

4.6. PALMA FORRAGEIRA NA REGIÃO DO NORDESTE BRASILEIRO

As áreas áridas e semiáridas cobrem cerca de 1/3 do território mundial e conta com uma população de aproximadamente 400 milhões de pessoas (Macêdo, 2020). No Nordeste do Brasil a área do semiárido corresponde a 13,26% do território Nacional. Essas áreas apresentam escassez e irregularidades de chuvas, alta evaporação anual, superior a 2.000 mm e solos rasos com baixa capacidade de retenção de umidade, influenciando a disponibilidade e qualidade de forragem (Marengo, 2006). Ciclicamente,

ocorrem estiagens prolongadas, com reflexos danosos na economia e com custos sociais elevados (Silva et al., 2014).

Inicialmente, o valor forrageiro da palma no Nordeste não foi reconhecido, embora no Norte da África o cultivo de variedades de *Opuntia* para fins forrageiros já fosse difundido no final do século XIX (Macêdo, 2020).

Só despertando interesse como forrageira em Pernambuco e Alagoas em 1902, pois nessas regiões as temperaturas são mais amenas com as amplitudes térmicas mais próximas daquela exigida pelo fenômeno do termo periodismo, que é a variação entre temperaturas noturnas e diurnas, fundamentais ao bom desenvolvimento da palma forrageira (Reis Filho, 2020).

Conforme Lima et al. (2001) a palma foi introduzida no Nordeste brasileiro, no início do século XX, sendo disseminada por ordem do governo, após a seca de 1932, por iniciativa do Ministério da Viação e Obras Públicas. O cultivo foi disseminado do Piauí à Bahia, tratando-se do primeiro trabalho de difusão da cultura.

As espécies mais cultivadas de palma forrageira para o consumo animal no Nordeste brasileiro são a *Opuntia ficus – indica Mill* e a *Nopalea cochenillifera Salm – Dyck* (Gomes, 2023; Santos et al., 1997). A mais rústica é a primeira e a segunda possui maior exigência de umidade (Farias et al., 2005). No gênero *Opuntia* a variedade mais cultivada é a orelha de elefante, já no gênero *Nopalea* é a miúda (figura 01).

Figura 01 – Palma orelha de elefante (A) e miúda (B)



FONTE: autores

4.7. TECNOLOGIAS APLICADA AO MONITORAMENTO AMBIENTAL

4.7.1. SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é uma técnica fundamental no campo da observação da Terra, permitindo a aquisição de informações sobre a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto. Segundo Foody (2019), o sensoriamento remoto envolve a detecção e medição de características da superfície terrestre por meio da análise de dados obtidos por sensores instalados em plataformas aéreas ou espaciais.

Esses sensores capturam dados em diversas faixas espectrais, incluindo o visível, infravermelho e micro-ondas, possibilitando a obtenção de informações sobre diferentes propriedades, como uso do solo, cobertura vegetal e condições atmosféricas (Coppin et al., 2004).

O avanço tecnológico nessa área, especialmente com o uso de satélites de alta resolução espacial, tem proporcionado uma ampla gama de aplicações, desde monitoramento ambiental até gestão de recursos naturais e prevenção de desastres (Kerr et al., 2022). Assim, o sensoriamento remoto desempenha um papel crucial no entendimento e monitoramento da dinâmica terrestre, contribuindo significativamente para diversas disciplinas científicas e aplicações práticas.

Essa tecnologia é capaz de acompanhar a expansão tecnológica do campo, auxiliando na delimitação de áreas por meio dos dados adquiridos, portanto as imagens do Landsat podem ser adquiridas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey - USGS), ou até mesmo no programa QGIS, pelo plugin *Structured Conservation Planning* (SSP), portanto, essa tecnologia serve para possíveis tomadas de decisões (Zanotta et al., 2019).

Os estudos relacionados aos recursos naturais alcançaram um elevado nível de sofisticação com a implementação de técnicas avançadas de sensoriamento remoto, viabilizando a obtenção de informações quantitativas por meio da caracterização espectral de objetos, pois nas disciplinas que se dedicam ao entendimento do espaço geográfico, destaca-se o sensoriamento

remoto como uma ferramenta amplamente empregada nos variados campos de pesquisa relacionados à superfície terrestre. Essa popularidade decorre da versatilidade dos satélites, sua extensa cobertura espacial e a repetição sistemática das observações, conforme destacado por (Gaida et al., 2020).

O sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial para a coleta e análise dos dados, o que permite o planejamento agropecuário e de ações futuras de uso do solo (Otanásio, 2014).

Outra possibilidade do emprego das técnicas de sensoriamento remoto é o monitoramento dos elementos meteorológicos, Rampazo et al. (2019) trabalharam com dados meteorológicos obtidos por sensoriamento remoto como uma alternativa para suprir a escassez de informações provindas de estações meteorológicas convencionais e automáticas. Os autores observaram que as estimativas fornecidas pelos produtos ou dados de modelos diários de temperatura do ar e velocidade do vento com algoritmo do *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS) e precipitação, Radiação e umidade relativa do ar com o *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN) são alternativas adequadas para aplicação em estudos climáticos, já que suprem a falta de informação convencional e, assim, permitem a análise da variabilidade temporal e espacial de elementos meteorológicos.

4.7.2. ASSINATURA ESPECTRAL

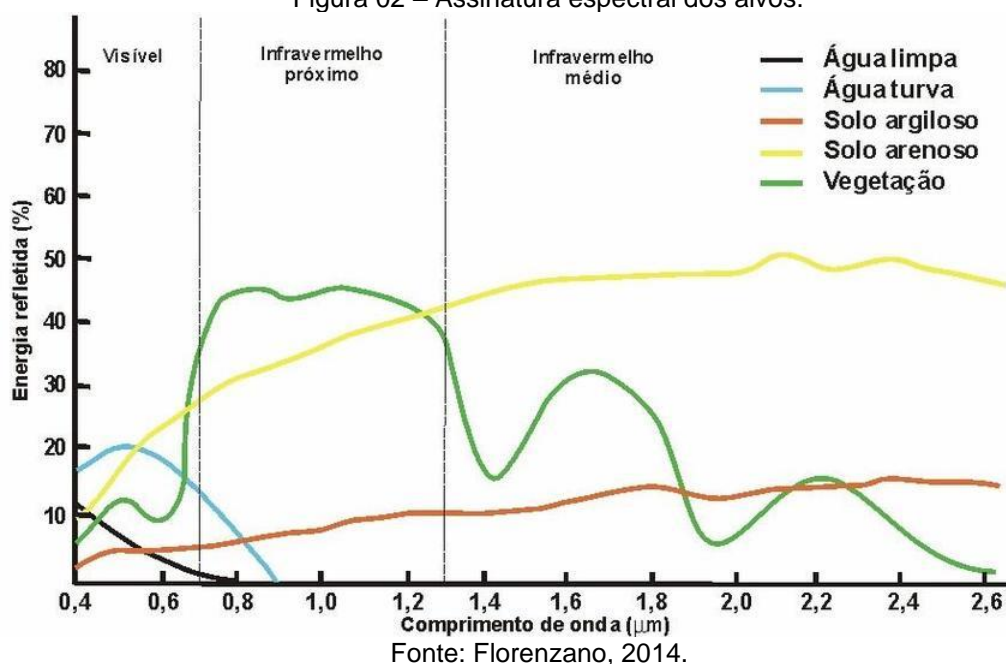
As técnicas utilizadas em estudos ambientais que possuem a interação de energia eletromagnética com os alvos são de grande relevância, com a obtenção de diversos tipos de informações a partir desses dados gerados, tais como distribuição dos diferentes tipos de vegetação, estrutura do dossel, estado fenológico, condições de estresse, carência de nutrientes, entre outros (Trentin, 2011).

Esses alvos que se encontram na superfície terrestre interagem com a radiação solar, em que parte dessa energia é transformada em calor, parte é devolvida para os sensores localizados remotamente por reflexão. A energia refletida pode ser representada graficamente, evidenciando a curva espectral

ou assinatura espectral, com a identificação de sua variação que depende da época do ano e a forma da coleta dos dados (Martins, 2015).

O sensor recebe sinais diferentes dos alvos, que vai depender das características dos alvos observados (Figura 02). Em se tratando de dosséis florestais, suas propriedades óticas dependem, sobretudo das folhas. Pois sua refletância espectral, em geral, possui as seguintes características: baixa (~10%) na faixa do visível (0,4 - 0,7 μm), relacionada à absorção pelos pigmentos (clorofila); elevada (50%) no infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μm), relacionada à estrutura celular interna das folhas; e diminui progressivamente a partir de 1,3 μm (infravermelho médio) até apresentar valores muito baixos próximos a 2,7 μm , sendo grande a influência da concentração de água nos tecidos (Knipling, 1970; Kumar, 1972).

Figura 02 – Assinatura espectral dos alvos.



Segundo Sampaio (2006), os solos mais utilizados nas culturas de mandioca, milho, feijão, palma forrageira, entre outras, possuem granulometria que condiciona a deficiência de água, pois os objetos com maior quantidade de água em sua estrutura, apresentam assinatura espectral com uma baixa refletância.

4.7.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index- NDVI)

Para os estudos da variabilidade da cobertura vegetal, diversos métodos e técnicas aplicadas aos produtos de sensoriamento remoto tem se desenvolvido e aprimorado para essa abordagem. No tratamento e processamento de imagens digitais destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que permite identificar a presença de culturas agrícolas a fim de monitorar e avaliar a cobertura vegetal em diversas escalas (Costa et al., 2020).

O NDVI é o índice de vegetação mais amplamente usado no processamento de dados de satélite (Myneni et al., 1995). Este explora as propriedades espectrais da vegetação que capta os comprimentos de onda na faixa do visível, utilizando essa energia para a fotossíntese e reflete o infravermelho próximo. Esse índice pode ser um estimador da radiação usada dentro do processo da fotossíntese que ocorre na vegetação, assim como das variações sazonais e interanuais ligadas à mesma (Stockli e Vidale, 2004). Uma de suas características é a resposta às mudanças na quantidade de biomassa verde, conteúdo de clorofila e estresse por água (Liang, 2004), facilitando a estimativa de colheita agrícola e precipitação em áreas semiáridas.

O NDVI é aplicado em estudos regionais e globais para avaliar o estado da vegetação, conforme a equação 01, seu sucesso (apesar dos efeitos atmosféricos e degradação radiométrica nas bandas do vermelho e infravermelho próximo), reside na normalização, a qual reduz os efeitos de degradação da calibração do sensor (Bannari et al., 1995).

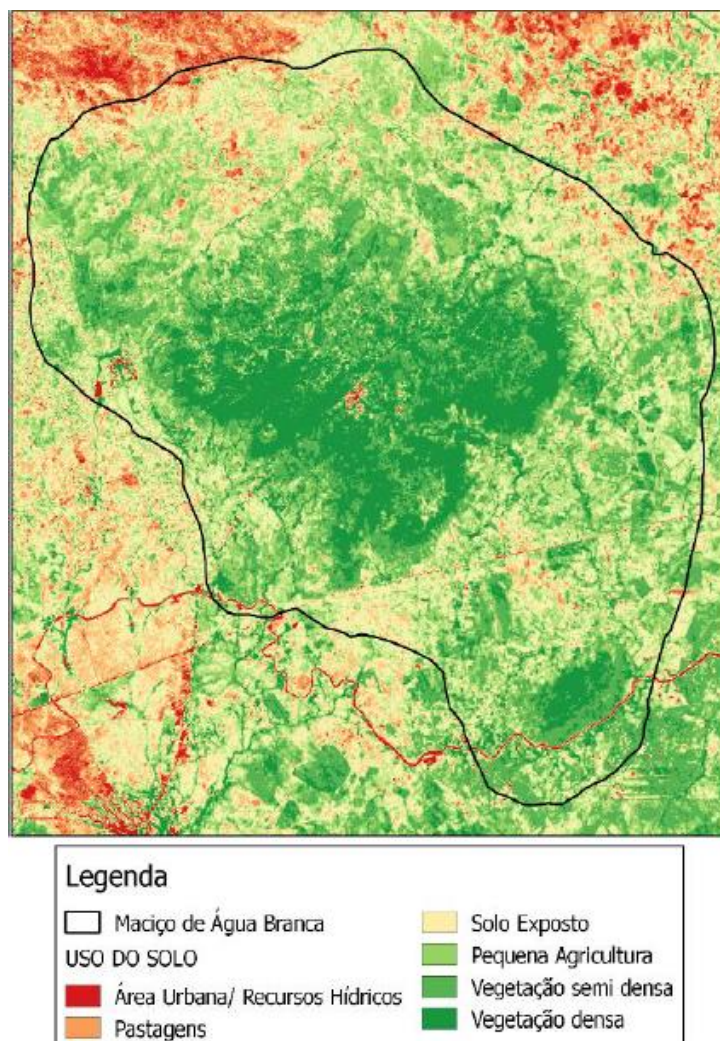
Huete et al. (1997) aplicaram o índice NDVI em conjunto com Índice de Solo e Vegetação Atmosfericamente Resistente (Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index- SARVI) e concluíram que, no monitoramento da vegetação, o NDVI é mais sensível à fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida, enquanto o SARVI é mais sensível ao índice de área foliar e morfologia das folhas.

Onde o NDVI se calcula da seguinte maneira:

$$\text{NDVI} = (\text{Banda do vermelho} - \text{Banda do infravermelho}) / (\text{Banda do vermelho} + \text{Banda do infravermelho}) \quad \text{eq. 01}$$

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) varia de -1,0 a 1,0, figura 03, sendo que valores negativos são comumente associados a nuvens, água e neve. Por outro lado, valores próximos a zero são frequentemente atribuídos a rochas e solo exposto. Regiões com valores muito baixos da função NDVI (0,1 ou menos) indicam áreas desprovidas de cobertura vegetal, como rochas, areia ou neve e quando os valores estão mais próximos de 1, significa que a vegetação está sadia (Barros et al., 2020).

Figura 03 – Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada



Fonte: Santos et al, 2020.

4.8. ANÁLISES MULTIVARIADAS

O uso de ferramentas estatísticas e matemáticas para o planejamento e otimização das condições experimentais tem seu uso bastante difundido na extração de informações científicas e relevante com dados multivariados (Santos Junior, 2019). Entre as técnicas mais utilizadas para o tratamento de dados, destaca-se a análise multivariada, como por exemplo, a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH) e a Análise de Componentes Principais (ACP). A aplicação deste último método estatístico torna possível a identificação de variáveis correlacionadas em amostras de origem ambiental (Moraes, 2013), sendo um método bastante utilizado no meio científico.

O método de ACP propõe a redução de dimensionalidade apresentando as informações mais relevantes selecionadas por variância num conjunto de dados, que busca substituir as múltiplas variáveis originais por um número de variáveis, que é mostrada como funções das originais (Hongyu et al., 2016). Essas variáveis resultantes representam uma carga percentual de confiança na análise dos dados e são denominadas Componentes Principais. A primeira componente principal (PC1) explica a maior variabilidade possível entre os dados e cada componente subsequente, explica a maior variabilidade possível restante, não explicada pelos componentes anteriores (Ziegel, 2001).

As representações gráficas da ACP trazem na abscissa a projeção da primeira componente principal (PC1) e na ordenada encontra-se a segunda componente principal (PC2), suficiente para uma explanação plausível do problema em apenas duas dimensões (Moraes, 2009). A análise de componentes principais é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação. Procura-se redistribuir a variação observada nos eixos originais de forma a se obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados. Esta técnica pode ser utilizada para geração de índices e agrupamento de indivíduos. A análise agrupa os indivíduos segundo suas variâncias dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo (Khattree e Naik, 2000).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, S. S. C.; Lira, M. A.; Santos, M. V.; et al. Utilização de três fontes de nitrogênio associadas à palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cv. Gigante na suplementação de vacas leiteiras mantidas em pasto diferido. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 1315-1324, 2002.

Alves, R. N.; Farias, I.; Menezes, R. S. C.; Lira, M. A.; Santos, D. C. Produção de forragem pela palma após 19 anos sob diferentes intensidades de corte e espaçamentos. *Revista Caatinga*, v.20, n.4, p.38-44, 2007.

Araba, A. Youssoufi, H., Boutouba, A., Anegay, K., Salhi, O. e Mouncif, M. Possibility of using discarded prickly pears cactus fruits as a feed for ruminants. *Acta Horticulture*, v.995, 2013.

Araújo, G. G. L.; Holanda Júnior, E. V.; Dantas, D. B.; Medina, F. T. As forrageiras nativas como base da sustentabilidade da pecuária do semiárido. In: III Congresso Nordestino de Produção Animal, IX Simpósio Nordestino de Alimentação de Ruminantes, IV Simpósio Paraibano de Zootecnia, 2004, Campina Grande-PB. Anais... CD-ROM, Campina Grande, 2004a.

Araújo, J. L.; Alves, J. J.; Lima, A. V. Soil attributes and constraints to agriculture in the Brazilian semiarid region. *Catena*, v. 190, p. 104551, 2020.

Araújo, J. R.; Melo, J. O.; Dantas Neto, J. Desertificação: conceitos e consequências na Caatinga. *Enciclopédia Biosfera*, v. 15, n. 28, p. 2126-2139, 2018.

Bannari, A.; Morin, D.; Bonn, F. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, Taylor & Francis, Sherbrooke, Canadá, v. 13, n. 1, p. 95–120, 1995.

Barros, A. S. Farias, L. M. e Marinho, J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa

de Juazeiro Do Norte – CE. Revista Brasileira de Geografia Física v.13, n.06 2885-2895. 2020.

Bezerra, B. G.; Oliveira, A. G.; Ferreira, E. A. Sustainable agriculture practices for mitigating the impacts of climate change in the Brazilian semiarid region. *Frontiers in Environmental Science*, v. 9, p. 624378, 2021.

Bispo, S. V.; Ferreira, M. A.; Vêras, A. S. C. et al. Palma forrageira em substituição ao feno de capim-elefante. Efeito sobre consumo, digestibilidade e características de fermentação ruminal em ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.36, n.6 p.1902-1909, 2007.

Borba, M. C., Ramos, J. E. S., Barros, J. E. M. e 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.

Cavalcanti, C. V. A. Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) e uréia em substituição ao feno de tifton (*Cynodon* spp) em dietas de vacas Holandesas em lactação. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005.

Chiacchio, F. P. B., Mesquita, A. S., Santos, J. R. Palma forrageira uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o Semiárido baiano. *Bahia Agrícola*, v.7, n.3, P.39-49, 2006.

Costa, G. J. A., Ribeiro, K. V. e 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*, São Cristóvão, n. 2, 2020.

Crusiol, L. G. T., Nanni, M. R., Furlanetto, R. H., Cesar, E.; Sibaldelli, R. N. R., Mertz-Henning, L. M., Nepomuceno, A. L., Neumaier, N., Farias, J. R. B. Assinatura espectral de cultivares de soja submetidas a diferentes níveis de

disponibilidade hídrica. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso. In: Congresso brasileiro de soja, 8., 2018, Goiânia. Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

Crusiol, L. G. T., Nanni, M. R., Furlanetto, R. H., Cesar, E.; Sibaldelli, R. N. R., Mertz-Henning, L. M., Nepomuceno, A. L., Neumaier, N., Farias, J. R. B. Obtenção de assinatura espectral de cultivares de soja. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Reunião de pesquisa de soja, 37., 2019, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Embrapa Soja. Documentos, 413), 2019.

Embrapa - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Palma forrageira resistente à cochonilha do carmim na alimentação de vacas em lactação. 2015. Disponível em < <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/214326/palma-forrageira-resistente-a-cochonilha-do-carmim-na-alimentacao-de-vacas-em-lactacao>>. Acessado em setembro 2023.

Epifânio, N. M. L. S. Descritores morfológicos e indicador de metabolismo fotossintético em clones de Palma forrageira. 2019. 84 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

Farias, I.; Santos, D.C. dos; Dubeux Júnior, J.C.B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: Menezes, R.S.C.; et al. (eds). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005.

Ferraz, R. L. S. Costa, P. S., Dantas Neto, J., Viégas, P. R. A., Melo, A. S., Costa, F. S., Medeiros, A. S., Magalhães, I. D., Lima, A. S., Cavalcante Júnior, C. A. e Lima, V. L. A. Estimation of productivity gain by irrigated and fertilized forage palm plants ('Opuntia fícus indica'(L.) Mill. And Nopalea cochenillifera (L.) Salm Dyck): systematic review and metaanalysis. Australian Journal of Crop Science, v. 13, n. 11, p. 18731882, 2019.

Ferreira, M de A.; Bispo, S. V.; Rocha Filho, R. R.; Urbano, S. A.; COSTA, C. T. F. The use of cactus as forage for dairy cows in semi-arid regions of Brazil. In Organic farming and food production. InTech, 2012.

Firmino, P. C. S. Os alicerces da formação econômica no nordeste brasileiro: uma análise a partir da sub-região agreste. Revista Contexto Geográfico, Maceió - AL v. 4. n.7, 2019.

Florenzano, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. 3ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Disponível em: http://books.google.com.br/books/about/Inicia%C3%A7%C3%A3o_em_Sensoriamento_Remoto.html?hl=pt-BR&id=18GkH5X81XcC. Acesso em: 26 nov. 2023.

Foody, G. M. Earth Observation for Land Cover Mapping: A Review. Remote Sensing of Environment, v. 224, p. 121–134, 2019.

Gaida, W., Breunig, F. M., Galvão, L. S. e Ponzoni F. J. Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão. Revista Brasileira de Geografia Física v.13, n.01, 2020.

Galindo, I. C. L.; Sampaio, E. V. S. B.; Menezes, R. S. C. Uso da palma na conservação dos solos. In: Menezes, R. S. C.; et al. (eds). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Editora Universitária. 2005.

Gomes, L. S. P. Desempenho agrônômico e estimativa de produtividade por análise de imagens aéreas em variedades de palma forrageira com diferentes manejos de colheita. Montes Claros. Universidade Federal de Minas Gerais, Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2023.

Guimarães, B. V. C. et al. Methods for estimating optimum plot size for ‘Gigante’ cactus pear. Journal of Agricultural Science, v. 11, 2019.

Hongyu, K.; Sandanielo, V. L. M.; Oliveira Junior, G. J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *E&S Engineering and Science*, v. 1, p. 83-90. 2016.

Huete, A.; Liu, H.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, Tucson, EUA, v. 59, n. 3, p. 440–451, 1997

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Trimestral do Leite. Captação de Leite Brasileira. 2022. Disponível em <[www. https://cidades .ibge.gov.br](https://cidades.ibge.gov.br)>. Acesso em Fev. 2023.

Kerr, J. T.; Ostrovsky, M.; FROM, T. B. Satellite Remote Sensing for Applied Ecological Questions: An Overview of Trends. *Journal of Applied Ecology*, v. 39, n. 3, p. 463–477, 2022.

Khattree, R., NAIK, D. *Multivariate Data Reduction and Discrimination With SAS1 Software*, NC: SAS Institute New York: Wiley , 558 pp, 2000.

Knipling, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1(3):155- 159, 1970.

Kumar, R. *Radiation from plants: reflection and emission, a review*. Lafayette, Indiana, Purdue University, 1972.

Lemos, J. J. S. e Santiago, D. F. Instabilidade temporal na produção agrícola familiar de sequeiro no semiárido do nordeste brasileiro. *Revista Desenvolvimento em Questão*, Editora Unijuí. n. 50. 2020.

Liang, S. *Quantitative remote sensing of land surfaces*. Hoboken, EUA: Wiley Inter science, 534p. 2004.

Lima, C. D. S.; Gomes, H. de S.; Detoni, C. E. Adição de uréia e da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no enriquecimento protéico da palma forrageira (*Opuntiafícusindica* L) cv. Miúda. *Revista Magistra*, v.16, n. 1, p. 01-08, 2004.

Lima, I. M. M.; Gama, N. S. Registro de plantas hospedeiras (cactaceae) e de nova forma de disseminação de *Diaspisechinocacti* (Bouché) (Hemíptera: Diaspididae), cochonilha da palma forrageira, nos estudos de Pernambuco e Alagoas. *Neotropical Entomology*, v.30, n.3, p479-481, 2001.

Lima, J. B.; Souza, A. D.; Santos, E. B. Disponibilidade e qualidade da água em sistemas hídricos do semiárido: estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 26, n. 5, p. 1-12, 2021.

Lima, L. P.; Vieira, M. M.; Farias, J. R. B. Water scarcity and its impacts on agriculture in the Brazilian semiarid region. *Journal of Arid Environments*, v. 169, p. 1-9, 2019.

Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Dubeux, J. C. B.; Farias, I.; Cunha, M. V.; Santos, D. C. In: Meio século de pesquisa com a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) - ênfase em manejo. Recife. *Anais... Recife: ABZ*, 2006.

Lopes, L. A., Cardoso, D. B., Camargo, K. S., Silva, T. G. P., Souza, J. S. R., Silva, J. R. C., Morais, J. S. e Araújo, T. P. M. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. *PUBVET*, v.13, n.2, 2019.

Macêdo. A. J. S., Cesar Neto, J. M., Oliveira, L. B., Edvan, R. L. e Santos, E. M. A cultura da palma, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras: Revisão de Literatura. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v.6, n.8, p. 62967-62987.2020.

Magalhães, A. L. R., Teodoro, A. L., Oliveira, L. P., Gois, G. C., Campos, F. S., Andrade, A. P., Melo, A. A. S., Nascimento. D. B. e Silva, W. A. Composição

química, fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados, cinética da degradação ruminal e produção de gás in vitro de genótipos de palma forrageira. *Ciência Animal Brasileira*, V22, 2021.

Marengo, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, DF: MMA, 202 p. 2006.

Martins, A. P. Uso de dados do sensor MODIS - Água e do algoritmo Sebal para estimativa da evapotranspiração real na bacia do Rio Paraíba. Tese, Universidade Federal de Uberlândia, programa de pós-Graduação em Geografia. 149p. 2015.

Mattos, Jorge Luiz Schirmer de; Gomide, José Alberto; Martinez Y Huaman, Carlos Alberto. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, p. 746-754, 2005.

Melo, A. A. S.; Ferreira, M. A.; Veras, A. S. C. et al. Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill) em dietas para vacas em lactação: I. Desempenho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.3, p.727-736, 2003.

Mendonça, J. R.; Marques, P. E.; de Castro, L. S. A agricultura familiar na região do Alto Jequitinhonha: avanços e desafios. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 56, n. 1, p. 105-122, 2018.

Monteiro, A. A., Tamanini, R., Silva, L. C. C., Mattos, M. R., Magnani, D. F., Ovidio, L., Nero, L. A., Barros, M. A. F., Pires, E. M. F., Paquereau, B. P. D. e Beloti, V. Características da produção leiteira da região do agreste do estado de Pernambuco, Brasil. *Ciências Agrárias, Londrina*, v. 28, n. 4, p. 665-674, 2007.

Moraes, A. S. Comportamento geoquímico de elementos maiores e traço em solos e sedimentos no Complexo Industrial Portuário de Suape, Brasil. 1. ed. Recife: Editora Universitária UFPE, v. 6. 169p. 2013.

Moraes, A. S. Geoestatística Aplicada a Geoquímica Ambiental no Estudo da Qualidade dos Sedimentos do Rio Tatuoca, Complexo Industrial Portuário de Suape. 1. ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2009. v. 300. 119p.

Myneni, R. B.; Hall, F. G.; Sellers, P. J.; Marshak, A. L. The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Greenbelt, EUA, v. 33, n. 2, p. 481–486, 1995.

Neves, F. L., Spínola, Ad. M., Chagas, M. C. M., Neves, J. D. de C., Küster, I. S., Figueiredo, M. R. P., Oliveira, F. S., Oliveira, E. F. e Pereira, S. L. Palma-forrageira: opção e potencialidades para alimentação animal e humana em propriedades rurais do Estado do Espírito Santo. Vitória, ES: Incaper, 2020.

Oliveira, T. S.; Silva, J. M. C.; Tabarelli, M. The cactus xerophytic shrubland biome: An overview of its diversity, ecological role, threats, and conservation challenges. In: *Cacti: Biology and Uses*. Cham: Springer, 2019.

Otanásio, P. N. Utilização de dados orbitais para avaliação da integridade das Áreas de Preservação Permanentes (APP) da região administrativa de Planaltina (DF). 2014. 45 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) — Universidade de Brasília, Planaltina, 2014.

Paulino, R. S. Manejo de utilização da palma forrageira sobre a qualidade microbiológica, desempenho e distúrbios nutricionais em ovinos. Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias – Areia-PB, Dissertação (mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, 2019.

Pereira, A. M. Silva, C. C. e Silva, F. P. Educação ambiental e sustentabilidade no semiárido brasileiro: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, 16(2), 57-72. 2021.

Rangel, A. H. N.; Lima Junior, D. M.; Braga, A. P. et al. Suprimento e demanda de nutrientes em sistemas em não equilíbrio. *Revista Verde*, v.4, n.1, p.14-30. 2009.

Rampazo, N. A. M., Araujo, M. C. P. e 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.

Reis Filho, R. J. C. Produtividade da palma forrageira cv. orelha de elefante mexicana sob diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte. 2020. 113 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

Rocha, J. E. S. Palma forrageira no Nordeste do Brasil: o estado da arte. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012.

Rodrigues, L.R.F.P., Alves, A.O., Oliveira, G.B.G., Gomes, I.M.C., Silva, M.K., Santos, S.J.C., Ribeiro, W.S., Praia, D.S. e Neves, M.L.M.W. Manejo de vacas leiteiras para produção de leite cru refrigerado. *Revista Universitária Brasileira*, v.1, n.1. 2023.

Sáenz, C. Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments*, v. 46, n. 3, p. 209-225, 2000.

Sáenz, C.; Sepúlveda, E.; Matsuhira, B. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, v. 57, n. 3, p. 275-290, 2004.

Sales, A. T.; Andrade, A. P. de. Potencial de adaptação de variedades de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) no cariri paraibano. In: IV Congresso Nordestino de Produção Animal. Petrolina-PE, 2006 Anais... Petrolina – PE: SNPA, p. 434-438, 2006.

Salgado, C. B., Júnior Carvalho Osmar, 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.

Sampaio, C. B. V. Estudo de diagnóstico da agricultura irrigada na região do alto da bacia hidrográfica do rio Itapicuru –Bahia. 2006. 191 f., il. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.

Sampaio, E. V. S. B. Fisiologia da palma. In; Menezes, R.S.C.et al. (eds). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005.

Santos, D. C., Wanderley, W. L., Ferreira, M. A. e Andrade, D. K. B. A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) em Pernambuco: cultivo e utilização. Recife: IPA, 1997.

Santos, D. C.; Farias, I.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Arruda, G. P; Coelho, R. S. B; Dias, F. M.; Melo, J. N. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Napolea*) em Pernambuco. Recife: IAP, 2006.

Santos Júnior, O. P. Avaliação do potencial radiométrico em solos da região da zona da mata de Pernambuco. 2019. 99 f. il. Tese (Doutorado em m Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

Santos, M. F., Silva, A. S., Sousa, J. X. S e Neri, V. S.. Agricultura de base agroecológica: estratégia de convivência com o semiárido. Cadernos de Agroecologia, 2020.

Scheinvar, I. Taxonomia das opuntias utilizadas. Barbera, G.; Inglese, P. (Eds). Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001.

Sette, Gabriel; Ximenes, Leandro Ronchini. Técnicas de processamento de imagens multiespectrais de satélite para a discriminação e monitoramento de crescimento de plantas. Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP, n. 26, 2018.

Silva, C. C. F. e Santos, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. Revista Eletrônica de Veterinária, v. 7, n. 10, p. 1- 13, 2006.

Silva, F. J. M.; Oliveira, A. R. G.; Araújo, F. F. Diversidade florística em áreas de Caatinga no semiárido paraibano. Scientia Plena, v. 16, n. 3, p. 1-8, 2020.

Silva, J. M.; Oliveira, A. G.; Souza, E. B. Climate change impact son water availability in the Brazilian semiarid: A review of projections, uncertainties and impacts. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 81, part 1, p. 326-337, 2018.

Silva, L. M. Fagundes, J. L., Viegas, P. A. A., Muniz, E. N., Rangel, J. H. A., Moreira, A. L. e Backes, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. Ciência Rural, v.44, n.11, 2014.

Simões, D. A.; Santos, D. C. dos; Dias, F. M. Introdução da palma forrageira no Brasil. IN: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E. V. S. B. (Ed.). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005.

Souza, E. B.; Santos, C. A. G. Drought and poverty in the Brazilian semiarid: socio-economic impacts and responses. *Sustainability*, v. 9, n. 9, p. 1603, 2017.

Souza, J. T. A.; Ribeiro, J. E.S.; Nascimento, J. P.; Ramos, J. P. F.; Araújo, J. S.; Medeiros, L. T. V. Trocas gasosas e eficiência no uso da água de *Nopalea cochenillifera* consorciada sob manejos edáficos. *Comunicata Scientia*, v.11, n.1, 2020.

Souza, R. A. Desafios e perspectivas para a convivência com o semiárido brasileiro. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 14, 102-119. 2019.

Stockli, R.; Vidale, P. L. Europe an plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter data set. *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, Zurique, Suíça, v. 25, n. 17, p. 3303–3330, 2004.

Teles, M. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Junior, J. C. B; Bezerra Neto, E.; Ferreira, R. L. C.; Lucena, J. E. C; Lira, M. A. Efeito da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill) cv. Gigante. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.52-60, 2002.

Torres, L. C. L.; Ferreira, M. A.; Guim, A. et al. Substituição da palma-gigante por palma-miúda em dietas para bovinos em crescimento e avaliação de indicadores internos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.11, p.2264-2269, 2009.

Trentin, C. B. Análise da resposta espectral da vegetação da área de proteção ambiental (APA) do Ibirapuitã em imagens do sensor EOS/MODIS associadas ao solo e aos elementos do clima. 2011. 73 f., il. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Meteorologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Volpe, M.; Goldfarb, J. L.; Fiori, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus - indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. *Bioresource Technol.* v. 247, n. 1, 2018.

Zanotta, D.C.; Ferreira, M.P. e Zortea, M. *Processamento de imagens de satélite*. Editora Oficina de Textos. São Paulo. 2019.

Ziegel, E. R. Multivariate Data Reduction and Discrimination With SAS [R] Software, *Technometrics*, v. 43, n. 2, p. 248-248. 2001.

**6. CAPÍTULO I: DINÂMICA DE ELEMENTOS AGROMETEOROLÓGICOS
E PRODUÇÃO AGROPECUARIA DO MUNICÍPIO DE CAPOEIRAS - PE**

RESUMO

O estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de leite do Nordeste e o oitavo no cenário nacional, a bacia leiteira do estado se encontra na região do Agreste, região que sofre com altas temperaturas e baixas índices pluviométricos, apresenta grande variabilidade temporal e espacial de precipitação, com influência direta na agricultura e pecuária. Diante do exposto, a pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de realizar a interação dos elementos meteorológicos, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), produção agrícola e produção pecuária por meio da análise multivariada por componentes principais de uma série histórica de 20 anos, no município de Capoeiras-PE, estado de Pernambuco, Brasil. Os dados de temperatura do ar, precipitação e umidade do ar foram adquiridos no banco de dados da plataforma *Climate Engine*, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi obtido no Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg). Já os dados da produção agropecuária (bovino de leite, bovino de corte, feijão, milho, mandioca e fava) foram extraídos do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os anos com maiores produção leiteira no município de Capoeiras foram de 2017 a 2021. O NDVI aparece relacionado com o aumento da produtividade de todas as culturas, precipitação e umidade relativa do ar. No período de aumento da produção leiteira, ocorreu forte correlação com a temperatura média anual, provavelmente, devido a novas técnicas de manejo empregadas, que se preocupam com bem-estar desses animais, compensando esse aumento de temperatura no mesmo período. De forma antagônica ao aumento da temperatura, os resultados também apresentaram forte correlação com NDVI e precipitação nessa série histórica de 20 anos, uma vez que esse índice foi eficiente para quantificar as melhores safras para as culturas consideradas nesta pesquisa.

Palavras-Chave: análise multivariada de agrupamento, análise multivariada de componentes principais, produção de leite, semiárido.

Abstract

The state of Pernambuco is the second-largest milk producer in the Northeast and the eighth nationally. The state's dairy basin is located in the Agreste region, which experiences high temperatures and low rainfall, showing significant temporal and spatial variability in precipitation, directly influencing agriculture and livestock. In light of this, the research was conducted with the aim of analyzing the interaction between meteorological elements, normalized difference vegetation index (NDVI), agricultural production and livestock production through a multivariate analysis of principal components in a 20-year historical series in the municipality of Capoeiras-PE, state of Pernambuco, Brazil. Air temperature, precipitation, and air humidity data were obtained from the Climate Engine platform database, while the normalized difference vegetation index (NDVI) was acquired from the Vegetation Temporal Analysis System (SATVeg). Agricultural production data (milkcattle, beefcattle, beans, corn, cassava, and broadbeans) were extracted from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) database. The year with the highest milk production in the municipality of Capoeiras were from 2017 to 2021. NDVI is related to increased productivity in allcrops, precipitation, and relative air humidity. During the período fincreased milk production, therewas a Strong correlation with the annual average temperature, likely due to new management techniques that prioritize the well-being of these animals, compensating for the temperature rise during the same period. In contrast to the temperature increase, the results also showed a Strong correlation with NDVI and precipitation in this 20-year historical series, as this index was efficient in quantifying the best crops for the cultures considered in this research.

Keywords: multivariate cluster analysis, multivariate principal component analysis, milk production, semiarid.

6.1. 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 (Araba et al, 2013).

O bioma Caatinga abrange a maior área da região Nordeste brasileira, apresentando alta vulnerabilidade a degradação do solo, devido aos fatores meteorológicos e antrópicos adversos (Esteves, 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, em que a 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 as adversidades climáticas das regiões semiáridas, essas condições contribuem para sazonalidade das produções agrícolas, principalmente as culturas alimentares de sequeiros que depende da fertilidade natural do solo, que quase sempre é baixa e da precipitação em quantidade e período adequados (Lemos e 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 et al., 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 et al, 2020).

Pesquisa desenvolvida por Rampazo et al. (2019) a partir de dados agrometeorológicos obtidos por meio de sensoriamento remoto, como uma alternativa para suprir a escassez de informações provindas 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.

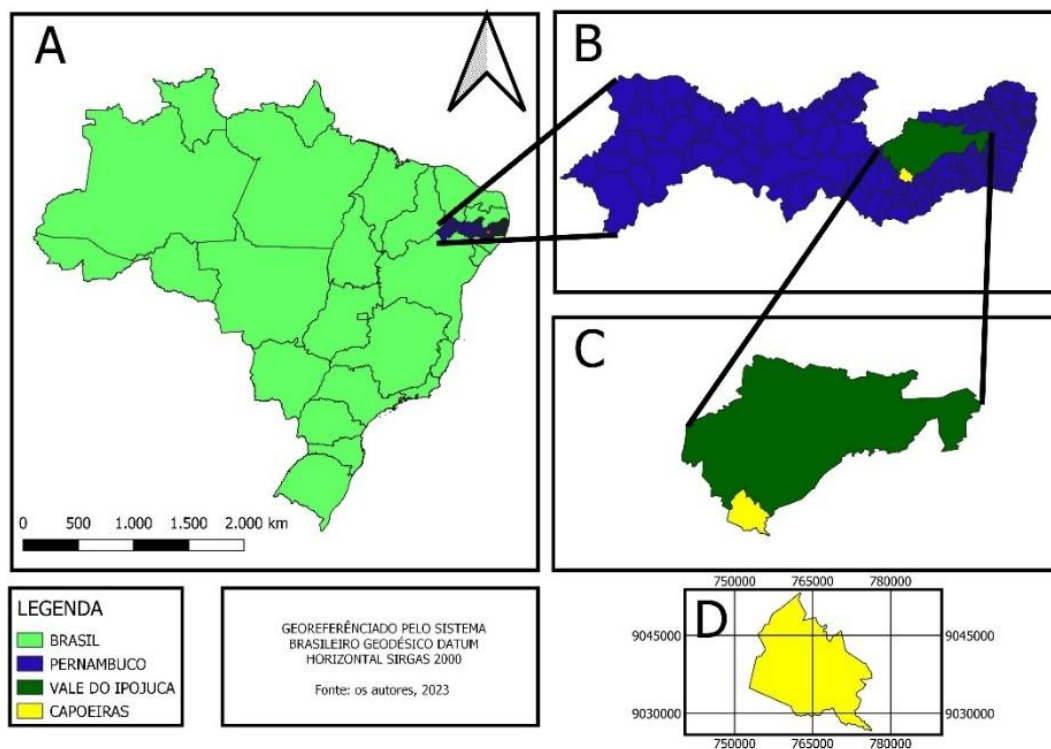
Diante do exposto, a pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de realizar a interação dos elementos meteorológicos, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), produção agrícola e produção pecuária por meio da análise multivariada por componentes principais de uma série histórica de 20 anos, no município de Capoeiras-PE.

6.2. MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1. LOCAL DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

Essa pesquisa foi realizada no município de Capoeiras localizado no estado de Pernambuco. Com uma área de 337,130 km² e densidade demográfica de 54,40 habitantes por km². Situada a 888 metros de altitude, Capoeiras possui as seguintes coordenadas UTM: Norte: 9.033.291,83 m, Leste: 761186.30 m (Figura 04).

Figura 04 – 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.

Segundo o IBGE, (2022) o município de Capoeiras possui população de 18.341 pessoas, apresenta clima do tipo BSh (clima quente e seco) segundo a classificação de Köppen. Este município está incluso na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro, com índice pluviométrico inferior a 800 mm e risco de seca superior a 60%.

6.2.2. COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Os elementos agrometeorológicos: radiação, velocidade do vento, temperatura média do ar, precipitação e umidade do solo foram obtidos da plataforma *Climate Engine*, 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.

Os dados do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foram coletados no Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg), ferramenta desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e destinada ao acesso e visualização de perfis temporais dos índices vegetativos NDVI do sensor MODIS em qualquer local da América do Sul. Já os dados do número de bovinos (gado de corte e gado de leite), produção pecuária 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).

A partir da obtenção dos dados precipitação, radiação e NDVI foram realizadas espacializações dos perfis destas variáveis, por meio de imagens do satélite Landsat, para os anos que não apresentaram cobertura de nuvem.

Foi realizada análise estatística multivariada por componentes principais e agrupamentos hierárquicos, para inferência da interação das variáveis meteorológicas, produção agropecuárias e NDVI.

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade do vento (Figura 05B) 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 (Pereira, 2012). 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.

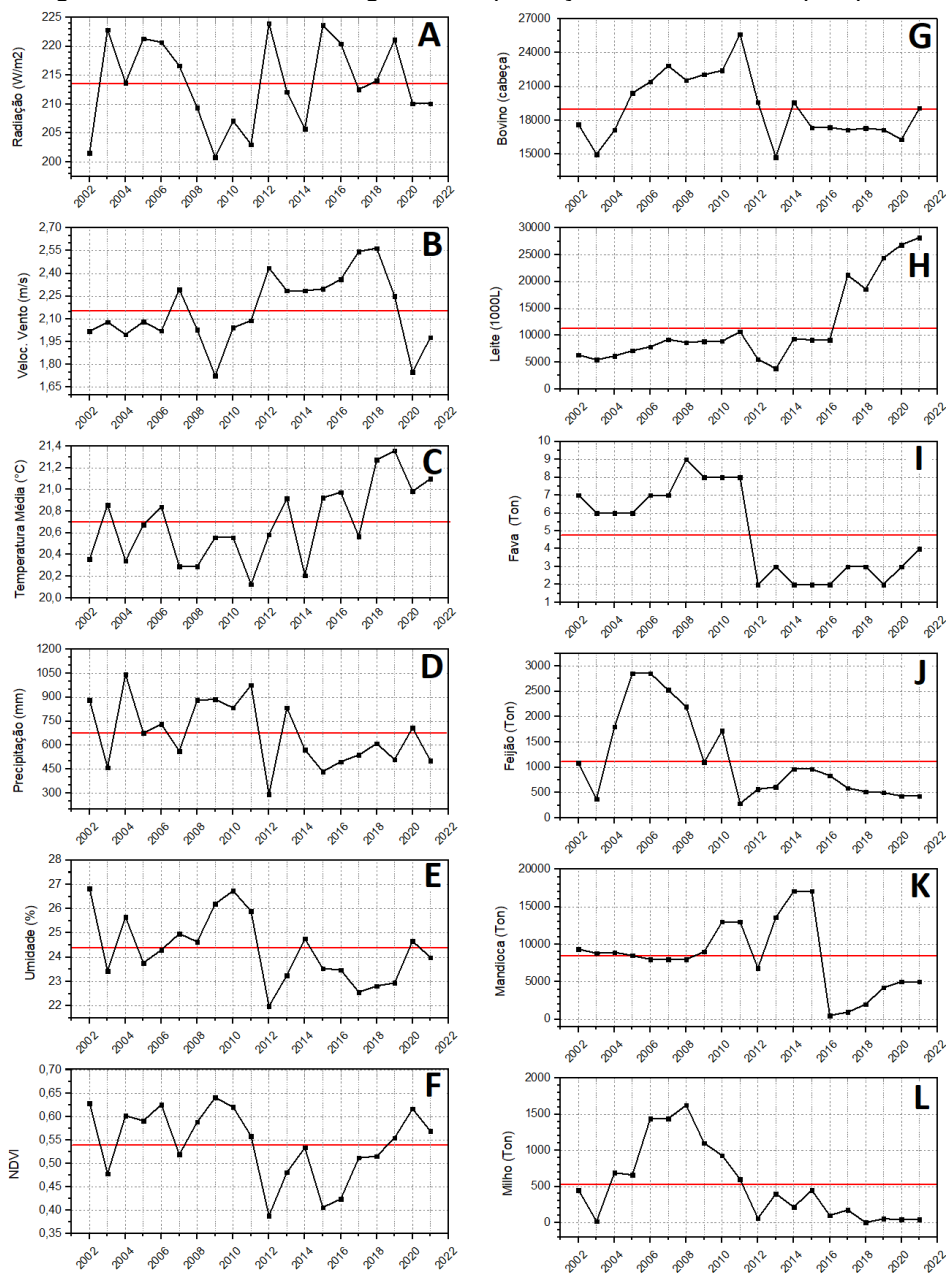
Na Figura 05A, observa-se variação da radiação solar (2002-2021) e valor médio de 213,56 W/m², significando que nos anos de maior disponibilidade de radiação, pode ocorrer maior influência no desenvolvimento da palma forrageira e conseqüentemente em maiores índices de produtividade da palma forrageira.

A variação da temperatura do ar (Figura 05C) 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 05D) 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 05E) 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.

Figura 05 – Dados climatológicos e de produção utilizados nesta pesquisa.



*Fonte: autores, 2023.

Em relação ao parâmetro NDVI, Figura 05F, 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. (2022) pesquisaram sobre o uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido baiano e notaram que o período chuvoso apresentou maiores valores para o NDVI.

Para o parâmetro bovino, Figura 05G, 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 os 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).

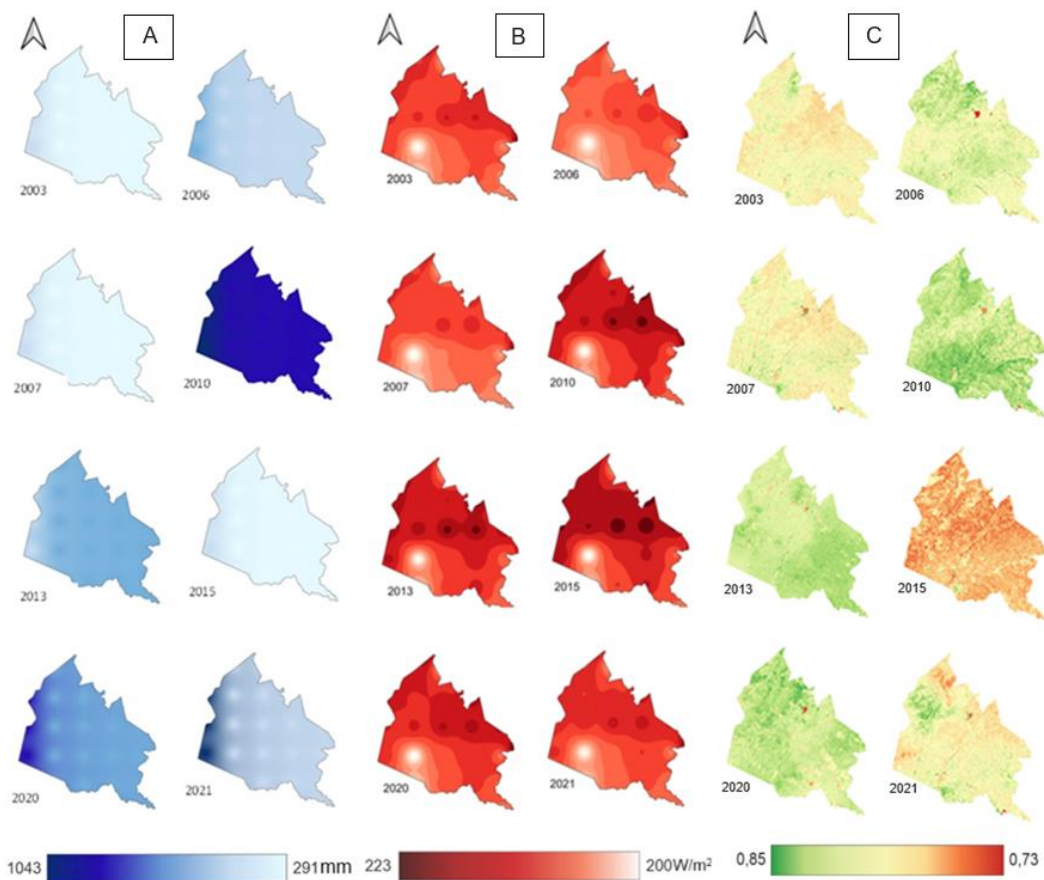
Para o parâmetro Leite, descrito na Figura 05H, observa-se que existem dois períodos que merecem destaque, sendo o primeiro até 2016 com menores valores de sua produção (3.800.000 de litros), que estão subordinados às condições climáticas evidentemente. Embora, esteja destacado que, a partir de 2017 (o segundo período em questão), ocorre 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 a cochonilha (IPA, 2008).

Nota-se que a produção das culturas de fava, feijão, mandioca e milho, Figuras 05I, 05J, 05K e 05L, 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, 2022).

Na Figura 06 observa-se os perfis espacializados e temporais das variáveis precipitação (Figura 6A), radiação (Figura 6B) e NDVI (Figura 6C) 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 06 – Espacialização das precipitações (A), radiações (B) e NDVI (C), para o município de Capoeiras – PE, no período de 2002 à 2021.



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

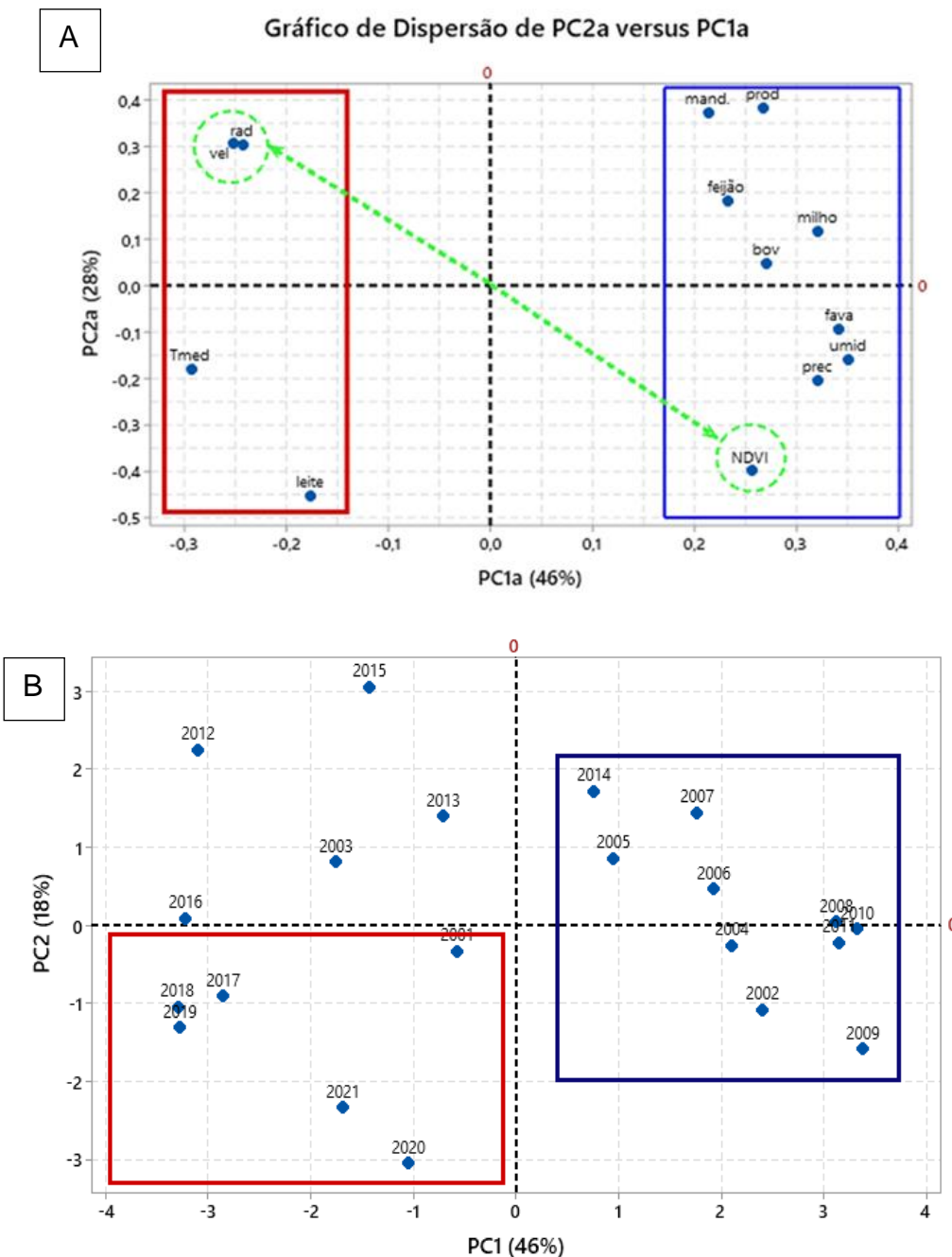
Na Figura 07A, que mostra PC1 versus PC2 com uma interação de 74% da variação total dos dados analisados, sabe-se que o parâmetro “bov” é representado por gado de corte e gado de leite, e, por tanto, apresenta variação distintos parâmetros entre a produção de leite (grupo em vermelho), e os bovinos (grupo 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* 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).

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 07A no mesmo grupo da variável temperatura do ar, descorrelacionando a condição antagônica dessas duas variáveis em relação a todo período de estudo (2002 a 2021).

Na Figura 07B, observa-se que os períodos de maior umidade do solo 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.

Figura 07 - 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.

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 06A, 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 Palácios et al. (2015) observaram em seu estudo, que o saldo da radiação obteve concordância com os valores do NDVI no cultivo do milho no cerrado. Entretanto, eles realizaram esse estudo em duas datas, não havendo relação entre os períodos secos e chuvosos. Segundo Rodrigues (2013), 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 et al. (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.

6.4. CONCLUSÃO

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.

6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araba, A. Youssoufi, H., Boutouba, A., Anegay, K., Salhi, O. e Mouncif, M. Possibility of using discarded prickly pears cactus fruits as a feed for ruminants. *Acta Horticulture*, v.995, 2013.

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. e 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.

Caetano, R., Silva, T. B., Benfica, N. S. e 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.

Costa, G. J. A., Ribeiro, K. V. e 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*, São Cristóvão, n. 2, 2020.

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>>. Acessado em setembro 2023.

Esteves, P. M. S. V. e 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.

Fausto, M. A., Angelini, L. P., Marques, H. O., Filho, A. S., 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, vol. 11, n. 2, 2016. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/noticia/46763771/bem-estar-animal-impacta-na-produtividade-de-carne-e-leite>>. Acesso em: 05, de setembro de 2023.

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 fevereiro 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_detalle.php?idnoticia=239&secao=1>. Acesso em novembro de 2023.

Lemos, J. J. S. e Santiago, D.F. Instabilidade Temporal na Produção Agrícola Familiar de Sequeiro no Semiárido do Nordeste Brasileiro. Desenvolvimento em Questão, Editora Unijuí, n. 50, 2020.

Lima, C. A., Montenegro, A. A. A., Lima, J. L. M. P., Almeida, T. A. B e 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.

Lopes, J. R. F., Dantas, M. P. e 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.

Palácios, R. S., Prado, M. J., Biudes, M. S. Carrilho, S. B. P. e Tocantins, I. Determinação do saldo de radiação em plantação de milho com imagens landsat-5 tm. Boletim de Geografia, Maringá, v. 33, n. 1, 2015.

Pereira, R. G. Resumo Avaliação Do Conteúdo De Carotenóides Totais Da Palma Forrageira (*Opuntia Ficus Indica* Mill) Após A Secagem Convectivo Universidade Federal da Paraíba, Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba. Campus I /UFPB- João Pessoa- PB, 2012.

Rampazo, N. A. M., Araujo, M. C. P. e 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.

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.

Rodrigues, C. P., Fontana, D. C., Moraes O. L. L., Roberti, D. R. NDVI e fluxo de CO₂ em lavoura de soja no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, v.28, n.1, 2013.

Saldanha, D. D., Moraes, J. G. L., Silva, E. M., Sousa, G. G. e 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.

Salgado, C. B., Júnior Carvalho Osmar, 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.

Silva, A. P. e Souza, P. A. Zoneamento agroclimatológico para produção da Palma Forrageira no semiárido. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n.4, 2020.

Tibúrcio, I. M., Silveira, N. T., Santos, T. O. dos, Miranda, R. de Q. e Galvíncio, J. D. Revista Brasileira de Geografia Física v.16, n.03, 2023.

Zanotta, D.C.; Ferreira, M.P. e Zortea, M. Processamento de imagens de satélite. Editora Oficina de Textos. São Paulo.2019.

**7. CAPÍTULO II: ASSINATURA ESPECTRAL DA PALMA FORRAGEIRA
UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E
GEOPROCESSAMENTO EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

RESUMO

O Agreste pernambucano possui uma economia diversificada no setor agropecuário, no entanto, a seca gera grande prejuízo a atividade agrícola, devido à redução de alimentos atrelada à escassez d'água e, conseqüentemente, ao rebanho de gado na região. Neste contexto, a palma forrageira, surge como uma alternativa para o suprimento da alimentação do gado leiteiro. Dessa forma, objetivou-se com esta pesquisa, determinar a assinatura espectral da palma forrageira em seis diferentes idades de cultivos, por meio de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando imagens do satélite Landsat 8. Foram selecionadas 06 (seis) áreas no município de Capoeiras, PE, com diferentes idades de plantios da palma forrageira orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta HAW*), variando de 1 a 6 anos de plantios, para a determinação da assinatura espectral. Constatou-se que a pastagem apresentou reflectância superior à palma, na ordem de 15%, no comprimento de onda do infravermelho próximo, já a vegetação nativa, apresentou variação espectral bem próximo da palma forrageira. As ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento contribuíram para determinar a assinatura espectral da palma. Ao realizar a análise multivariada verificou-se que nos anos com precipitação acima da média (666,42 mm) formou um grupo que está em oposição ao agrupamento que contém os menores valores das reflectâncias (nas bandas do visível e do infravermelho próximo), que indicam os períodos de maior cobertura da superfície do solo pela palma forrageira em relação a vegetação nativa. As ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto (determinação da assinatura espectral), associadas às análises de multivariadas foram técnicas que possibilitaram o monitoramento da palma forrageira com diferentes graus de crescimento e desenvolvimento, de modo a auxiliar os gestores públicos e produtores rurais nas possíveis tomadas de decisões, no que concerne ao manejo das áreas utilizadas para essa cultura no semiárido.

Palavras-Chave: análise multivariada de componentes principais, infravermelho próximo, Landsat, reflectância.

ABSTRACT

The pernambuco Backlands has a diverse economy in agriculture and livestock sectors, but drought causes significant damage to agricultural activities due to reduced food production linked to water scarcity and, consequently, to the cattle herd in the region. In this context, the forage cactus emerges as an alternative for supplying feed to dairy cattle. The aim of this research was to determine the spectral signature of the forage cactus at six different growth stages using remote sensing and geoprocessing tools, using Landsat 8 satellite images. Six areas were selected in the municipality of Capoeiras, PE, with different ages of forage cactus planting Mexican elephant ear (*Opuntia stricta* HAW), ranging from 1 to 6 years, to determine the spectral signature. It was found that the pasture showed higher reflectance than the cactus, by about 15%, in the near-infrared wavelength, while the native vegetation showed spectral variation very close to the forage cactus. Remote sensing and geoprocessing tools contributed to determining the spectral signature of the cactus. Multivariate analysis revealed that in years with above-average precipitation (666.42 mm), a group formed that is in opposition to the group containing the lowest reflectance values (in the visible and near-infrared bands), indicating periods of greater ground surface coverage by the forage cactus compared to native vegetation. Geoprocessing and remote sensing tools (determination of spectral signature), combined with multivariate analyses, were techniques that enabled monitoring of the forage cactus at different stages of growth and development, in order to assist public officials and rural producers in possible decision-making regarding the management of areas used for this crop in the semi-arid region.

Keywords: multivariate analysis of principal components, near-infrared, Landsat, reflectance.

7.1. INTRODUÇÃO

O Agreste pernambucano possui uma economia diversificada no setor agropecuário, com práticas de pecuária de leite e de corte, além do cultivo de lavouras de milho, feijão, fava e mandioca (Monteiro et al., 2007). Nesta região, a seca gera grande prejuízo, devido à redução de alimentos, provocando uma grande dificuldade de fixar o rebanho de gado (Reis Filho, 2014). Dessa forma, ocorre uma drástica redução na captação de leite nessas regiões de seca (IBGE, 2022).

Diante das constantes secas que ocorrem nas regiões Agreste e Sertão do estado de Pernambuco, surge a necessidade de uma fonte alternativa de alimento para os animais, visto que, as forrageiras comuns apresentam baixo potencial produtivo em regiões de secas extremas (Mattos, 2005). Portanto, a palma forrageira, surge como uma alternativa eficiente para o suprimento da alimentação do gado leiteiro (Epifânio, 2019).

A palma forrageira por ser uma cactácea que apresenta características morfofisiológicas de adaptação às condições de semiárido, passou a ser cultivada em larga escala pelos criadores das bacias leiteiras do Nordeste, principalmente de Pernambuco e Alagoas e recentemente no estado de Minas Gerais, constituindo-se numa das principais forrageiras para o gado de leite na época seca (Lira et al., 2006; Castro et al., 2020). Visto que a planta apresenta mecanismo fisiológico especial no que se refere à absorção, aproveitamento e perda de água, sendo bem adaptada às condições adversas destas regiões (Teles et al., 2002).

Dessa forma, o sensoriamento remoto é a tecnologia capaz de acompanhar a expansão tecnológica do campo, auxiliando na delimitação de áreas e por meio dos dados adquiridos melhorando precisão de mapeamento (Zanotta et al., 2019). As imagens do projeto Landsat podem ser captadas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), ou até mesmo no programa QGIS, pelo plugin *Structured Conservation Planning* (SCP), onde também serão geoprocessadas (Sette, 2018). Com isso, essas tecnologias vêm atuando em conjunto para auxiliar nas possíveis tomadas de decisões (Zanotta et al., 2019). A constante evolução dos *softwares*, torna possível a representação cartográfica mais próxima do real e otimiza o tempo de produção tornando mais precisa (Teixeira, 2018).

Em virtude dos avanços tecnológicos, já existem algumas ferramentas que contribuem para o aparecimento de diversas metodologias tendo como prioridade reconhecer a assinatura espectral como um tipo de vegetal é visualizado por imagem de satélite, com o foco de otimizar os trabalhos no campo de maneira remota (Crusiol et al., 2019; Sette, 2018). A interatividade entre a radiação solar, planta e sensor têm como produto informações biofísicas da vegetação, o que contribui com a identificação da área cultivada (Crusiol et al., 2018).

A medida em que ocorre o acúmulo de água, aumento da clorofila ou qualquer outra variação na planta, a assinatura espectral no infravermelho próximo é passível de ser visível (Formaggio, 2017). A palma forrageira possui característica de abundância em água, a maior parte de umidade das cactáceas estão presentes nos cladódios (Bezerra et al., 2015).

Nesse contexto, objetivou-se com esta pesquisa, determinar a assinatura espectral da palma forrageira em seis diferentes idades de cultivos, por meio de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando imagens do satélite Landsat 8.

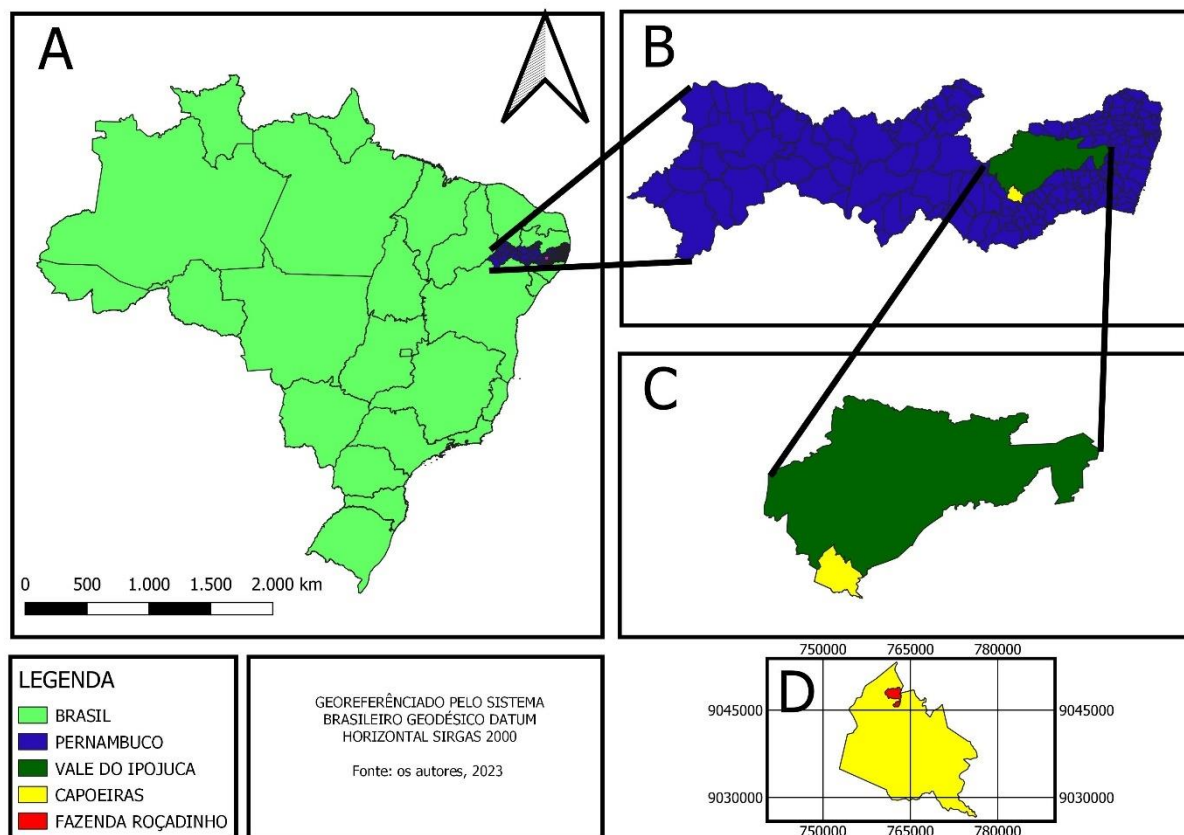
7.2. MATERIAL E MÉTODOS

7.2.1. Área de abrangência da pesquisa

A presente pesquisa foi desenvolvida em propriedade comercial de produção de leite, no município de Capoeiras-PE, localizada na microrregião do Vale do Ipojuca, da mesorregião do Agreste pernambucano, sob coordenadas UTM: Norte: 9.033.291,83 m, Leste: 761186.30 m, e altitude de 790 m.

Este município está inserido na bacia leiteira do estado de Pernambuco, ocupando a terceira posição do Agreste pernambucano, como produtor de leite (IBGE, 2022) (Figura 08). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como BSh (clima quente e seco). Com precipitação anual variando de 291 mm a 1043,04 mm, com uma precipitação média anual da ordem de com um índice pluviométrico inferior a 800 mm e risco de seca superior a 60%, com períodos chuvosos compreendido de março a junho (APAC, 2023).

Figura 08 – Localização do município de Capoeiras, na microrregião do Vale de Ipojuca, no estado de Pernambuco, Brasil.



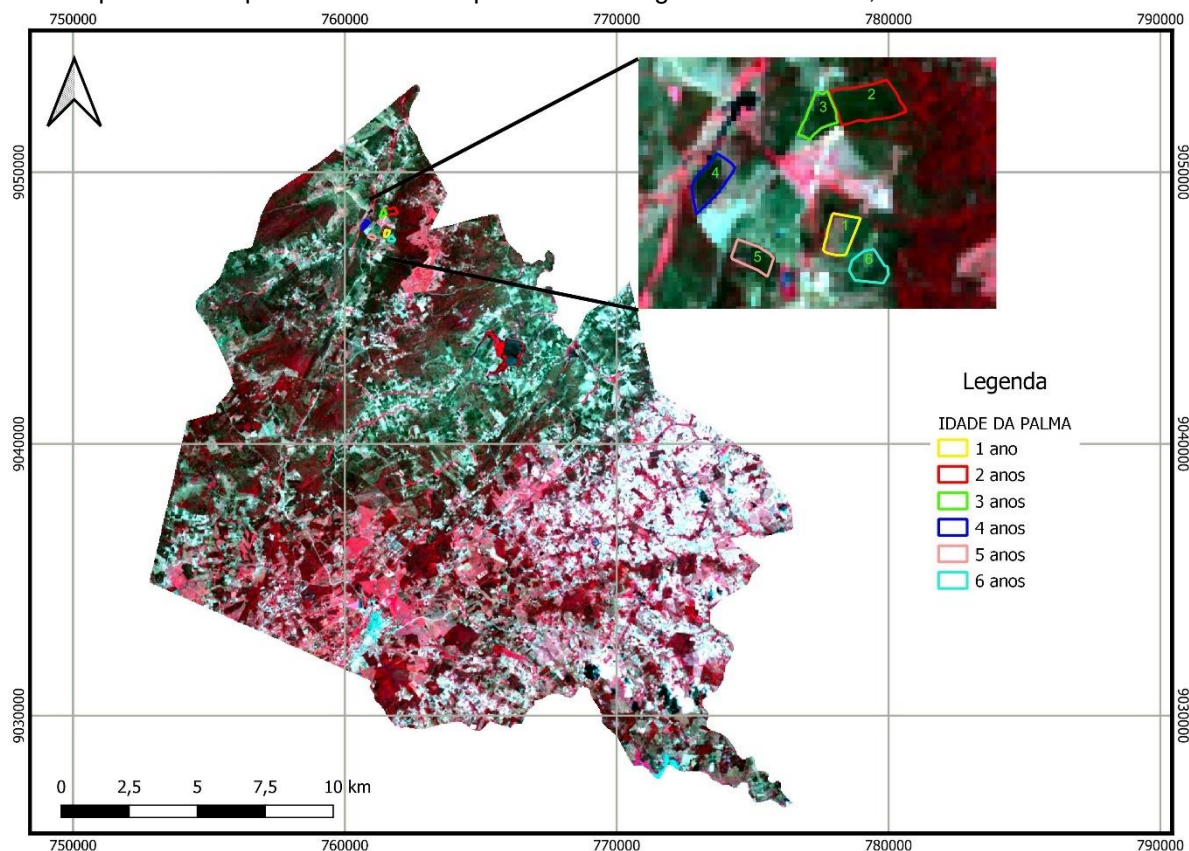
*(A) Pernambuco no Brasil, (B) Microrregião Vale do Ipojuca em Pernambuco, (C) Município de Capoeiras na Microrregião Vale do Ipojuca e (D) Propriedade comercial do município de Capoeiras.

7.2.2. COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Foi feito um levantamento topográfico planimétrico de seis áreas: Área 1 (3,8 ha); Área 2 (8,3 ha); Área 3 (3,8 ha); Área 4 (4,8 ha); Área 5 (3,2 ha) e 6 Área (3,5 ha), pois foram utilizadas como áreas de estudos da palma forrageira, na propriedade comercial do município de Capoeiras-PE, Figura 09.

Utilizou-se as imagens do dia 24 de outubro de 2019, 26 de outubro de 2020, 09 de novembro de 2021 e 08 de outubro de 2022 para determinar a assinatura espectral da palma forrageira, sabendo que essas áreas possuem diferentes idades da palma, Figura 09.

Figura 09. – Áreas selecionadas para capturas dos pixels para a determinação da assinatura espectral e respectivas idades da palma com imagem do Landsat 8, em outubro de 2022.



Essas áreas foram utilizadas para a determinação da assinatura espectral da palma forrageira orelha de elefante (Figura 09). O levantamento topográfico foi realizado com Sistema Global de Posicionamento (Global Positioning System- GPS). As coordenadas foram pós processadas, para identificação das áreas das palmas, no programa de pós processamento GTR-processor.

As imagens do satélite *Landsat 8* pelo sensor OLI/TIRS foram disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS), em novembro de 2022, e em seguida tratadas no programa QGIS versão 3.22.5.

No geoprocessamento das imagens foi feito inicialmente a correção da refletância no topo da atmosfera (reflectância TOA) utilizando o plug-in *Semi-Automatic Classification* – (SCP), conforme a Equação 02, de acordo com USGS (2022).

$$R = (\text{Add.ref.} + \text{Mult.ref.} \times \text{IB}) / \text{sen}(\theta_{SE}) \quad \text{eq. 02}$$

em que:

R - Reflectância TOA;

Add. ref - Fator de redimensionamento multiplicativo da reflectância ($2,0000 \cdot 10^{-5}$);

Mult. ref - fator de redimensionamento aditivo da reflectância (-0,10);

IB – Imagem da banda de interesse (B02, B03, B04, B05, B06 e B07);

sen (θ SE) - Seno do ângulo de elevação solar local (0,907047055).

Em seguida fez-se a reprojeção das imagens corrigidas a reflectância TOA cujas bandas: azul, verdes, vermelhas, infravermelhos próximo e pancromática, para o DATUM SIRGAS 2000, na Zona 24 Sul. Posteriormente, realizou-se o recorte das imagens pela poligonal do município de Capoeiras. Nos sensores do Landsat 8, as bandas do visíveis e infravermelho próximo foram apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 – Comprimentos de onda e suas devidas bandas do satélite Landsat 8.

Banda	Faixa	Comprimento de Onda (μm)
02	Azul	0,45 a 0,51
03	Verde	0,53 a 0,59
04	Vermelho	0,64 a 0,67
05	Infra vermelho próximo	0,85 a 0,88

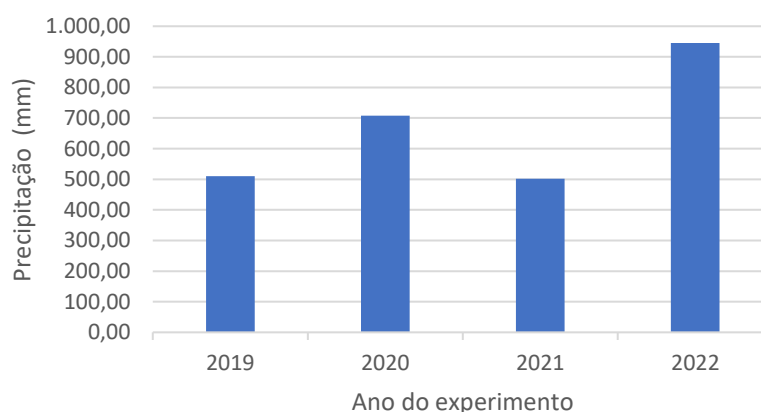
Para a identificação da assinatura espectral foi utilizada a captura de vários pixels de cultivo da palma forrageira, vegetação nativa, pastagem e água pelo plugin *Semi Automatic Classification* – (SCP) do QGIS, a palma foi identificada nos pixels das seis áreas que foram selecionadas no presente estudo e que estão em destaque na Figura 09. Já a pastagem, vegetação nativa e água foram identificados nos pixels contidos na poligonal do município de Capoeiras-PE, que também se encontra na Figura 09.

Foi realizado uma análise estatística multivariada de componentes principais para inferência da integração das variáveis precipitação, palma forrageira, vegetação nativa e as reflectâncias.

7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação na precipitação entre os anos de 2019 e 2022 foi empregada como elemento de análise nesta pesquisa para avaliar sua associação com as reflectâncias por meio das técnicas de análise multivariada de componentes principais e de agrupamento. A média de precipitação durante esse período foi registrada em 666,42 mm, conforme demonstrado na Figura 10.

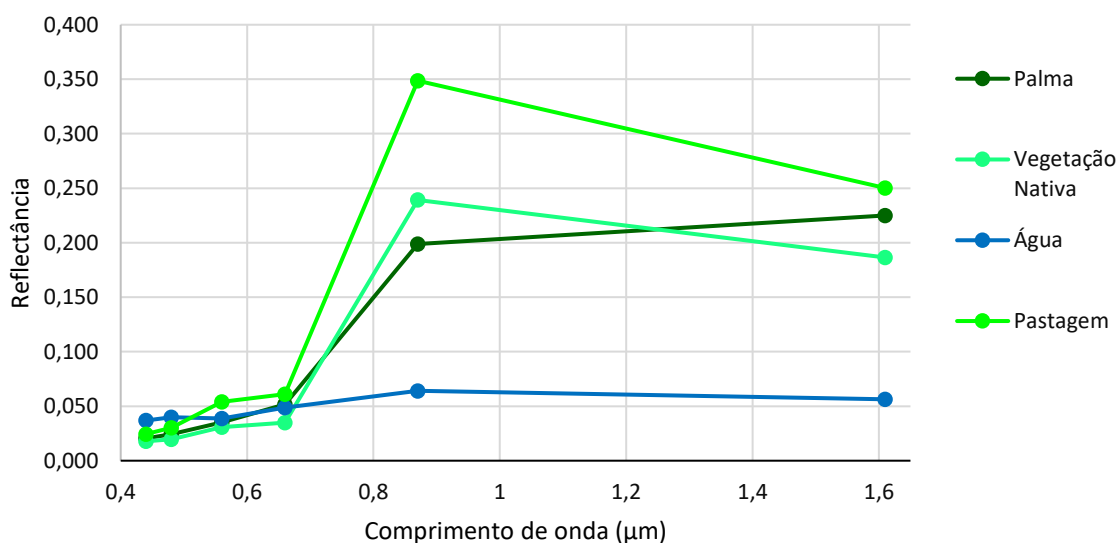
Figura 10 – precipitação anual para os quatro anos de pesquisa.



A Figura 11 se refere a assinatura espectral da palma, em que se observa curva ascendente, variando de 0,02 a 0,19 de reflectância, compreendendo as bandas do visível e do infravermelho próximo, com os comprimentos de onda variando de 0,48 μm banda 02 (azul); 0,56 μm banda 03 (verde); 0,66 μm banda 04 (vermelho) e 0,87 μm banda 05 (infravermelho próximo).

Ao realizar a comparação da curva espectral da palma forrageira com outras vegetações como a pastagem e a vegetação nativa, observou-se que a palma apresenta refletância menor do que a pastagem, no comprimento de onda do infravermelho próxima, com variação de 15%, provavelmente, porque a palma armazena água em suas estruturas celulares (Lima et al., 2003). A vegetação nativa, por sua vez, exibe um comportamento espectral que se assemelha mais à palma forrageira. Essa semelhança pode ser atribuída possivelmente à presença de reservas de água nas células vegetais, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11: - Gráfico das assinaturas espectrais da pastagem, vegetação nativa, palma e água obtida na imagem do satélite Landsat 8.



Em concordância com os mesmos parâmetros de reflectância, Batista et al. (2018) utilizando imagens do SENTINEL-2A, verificaram que as plantas de Paricá (*S. Parahyba*) possui valores baixos de reflectância na região do visível: azul (Banda 02), verde (Banda 03) e vermelho (Banda 04) abaixo de 5%; e altos valores, acima de 20% na região do infravermelho próximo (Banda 08). Em comparação com satélite desse trabalho (Landsat) as bandas azul, verde e vermelho, também, estão abaixo de 5%, porém, a do infravermelho próximo apresentou valor em torno de 19%, provavelmente devido ao acúmulo de água nas células da palma ser maior do que na cultura de Paricá.

Pedrali et al. (2016) estudando o comportamento espectral de seis espécies arbóreas presentes na Universidade Federal de Santa Maria/RS, por meio do espectro radiômetro FieldSpec 3, eles notaram que no comprimento de onda do infravermelho próximo as reflectâncias dessas seis espécies foram altas, variando de 47 a 58%, valores esses superiores ao dessa pesquisa, provavelmente, devido a uma menor quantidade de água em suas estruturas celulares.

Na análise estatística multivariada por componentes principais (Figura 12), verifica-se a influência da precipitação na reflectância, estabelecendo assim uma relação clara entre essas variáveis. Nos anos de 2022 e 2020, em que as precipitações foram superiores (945 e 708 mm, respectivamente) em relação à

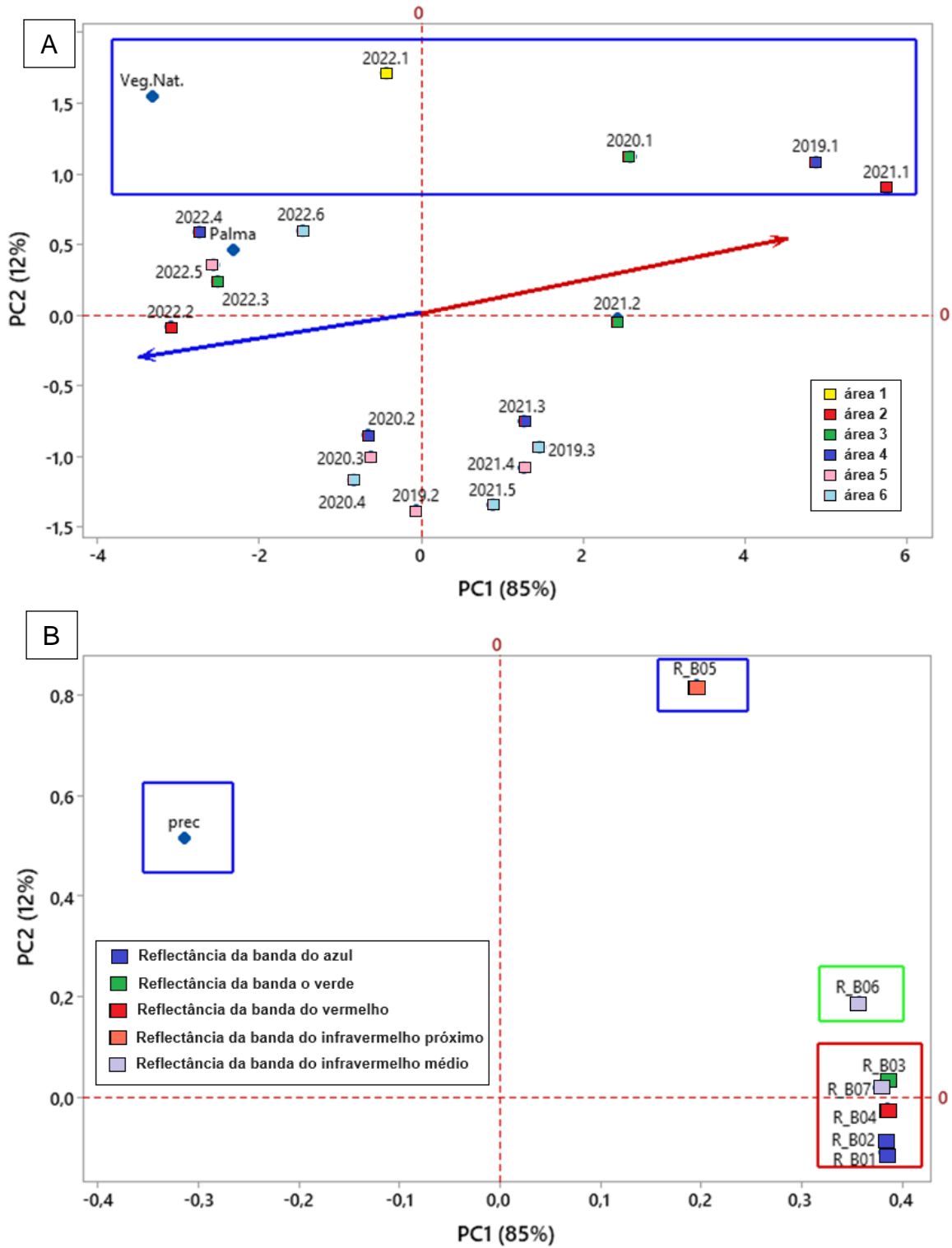
média (666,42 mm), observou-se uma correlação positiva com a palma forrageira e a vegetação nativa. Em contrapartida, nos anos de 2019 e 2021, com precipitações mais reduzidas (510,36 e 501,89 mm, respectivamente), a relação foi negativa com a palma forrageira e a vegetação nativa.

Na componente principal (PC1) da porção esquerda, tem-se que os parâmetros: palma, vegetação nativa e as reflectâncias dos anos mais chuvosos (2020 e 2022) juntamente com o parâmetro precipitação. Em contrapartida, no lado direito no mesmo eixo, encontram-se os parâmetros de todas as bandas desta pesquisa: reflectância da banda do azul (R_B01 e R_B02), reflectância da banda o verde (R_B03), reflectância da banda do vermelho (R_B04), reflectância da banda do infravermelho próximo (R_B05) e reflectância da banda do infravermelho médio (R_B06 e R_B07) juntamente com os anos menos chuvosos (2019 e 2021). Isso mostra a variação da reflectância em função da precipitação, evidenciando que nos anos menos chuvosos as reflectâncias são maiores (Figura 12B).

Ainda na Figura 12A, tem-se que a reflectância medida no ano de 2020 para a área 3 com um ano de plantio (correspondente ao 2020.1) que deveria estar agrupado com os anos mais chuvosos, no entanto, encontra-se em lado oposto, podendo ter recebido alguma influência da área 3 (tipo de solo, declividade, profundidade de solo, etc).

Na componente principal (PC2) da porção superior ou positiva, encontra-se o agrupamento do primeiro ano de plantio de todas as áreas (2019.1, 2020.1, 2021.1 e 2022.1), também se observa que a reflectância da vegetação nativa e o comprimento de onda do infravermelho próximo (R_B05) estão agrupados nesse componente principal. Isso sugere que as áreas com apenas um ano de plantio e, conseqüentemente, ainda num estágio de desenvolvimento inicial, é predominantemente influenciada pela vegetação nativa e solo exposto em relação à palma (Figura 12B).

Figura 12 – Gráfico da análise multivariada por componentes principais.



* Veg. Nat. – Vegetação Nativa, prec. – precipitação.

Fonte: Autores, 2023

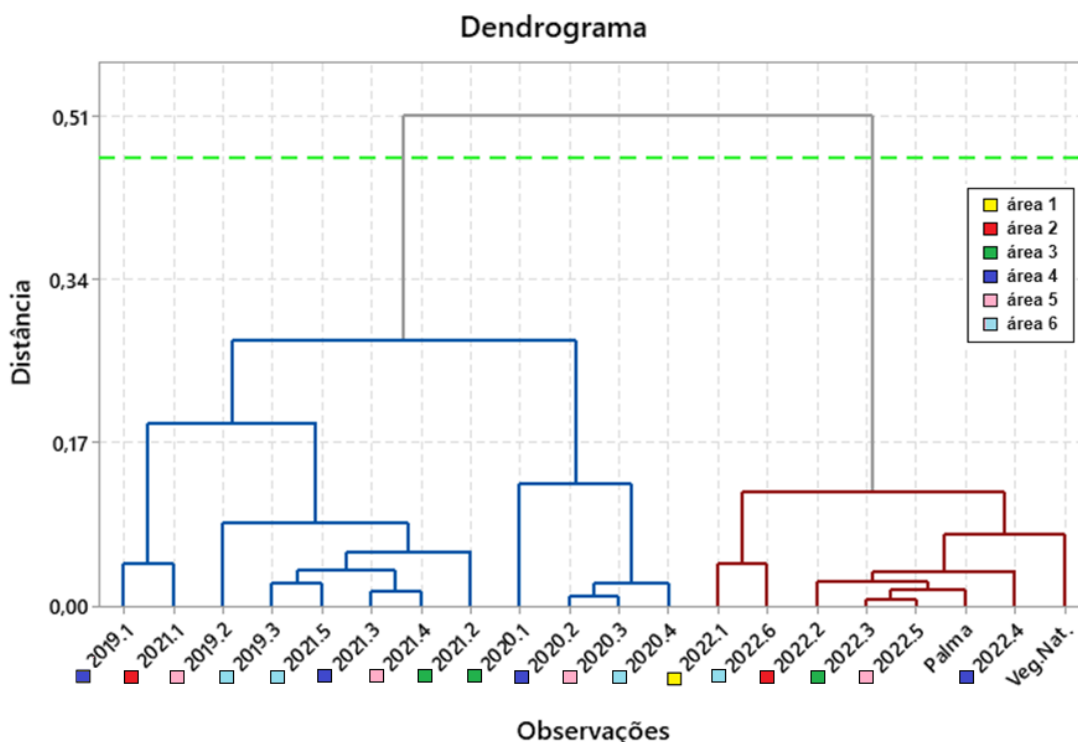
Ribeiro et al. (2019) ao analisarem a influência das estações do ano na vegetação do cerrado, observaram que o comportamento espectral é melhor de ser avaliado por meio dos comprimentos de onda das regiões espectrais do vermelho e

do infravermelho próximo, corroborando a presente pesquisa, em que os autores notaram que no período chuvoso a vegetação se apresenta fotossinteticamente ativa, pelo fato da vegetação se encontrar mais verde.

Damasceno et al. (2020) analisaram a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Arcoverde (Pernambuco), concluindo que a precipitação influenciou positivamente no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), em que este índice é a subtração da banda do infravermelho próximo (NIR) e banda do vermelho dividido pela soma dessas duas bandas, ou seja, maior precipitação maior reflectância da banda do NIR.

Na figura 13 temos o dendrograma, corroborando com a figura 12, na evidencia dos grupos destacados, pois o agrupamento dos anos 2019, 2020 e 2021, abrangendo as áreas 2, 3, 4, 5 e 6 plantadas. Por outro lado, o ano de 2022, juntamente com a palma forrageira e a vegetação nativa, forma outro agrupamento distinto.

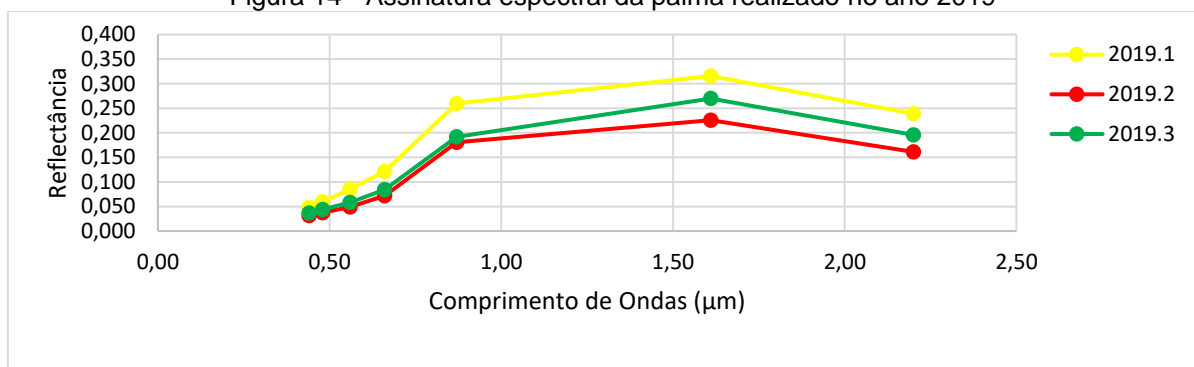
Figura 13 – Gráfico da análise multivariada de agrupamento de observação das seis áreas no período de quatro anos.



* 2019.1 (área 4, um ano de plantio), 2019.2 (área 5, dois anos de plantio) e 2019.3 (área 6, três anos de plantio). 2020.1 (área 3, um ano de plantio), 2020.2 (área 4, dois anos de plantio), 2020.3 (área 5, três anos de plantio) e 2020.4 (área 6, quatro anos de plantio). 2021.1 (área 2, um ano de plantio), 2021.2 (área 3, dois anos de plantio), 2021.3 (área 4, três anos de plantio), 2021.4 (área 5, quatro anos de plantio) e 2021.5 (área 6, cinco anos de plantio). 2021.1 (área 1, um ano de plantio), 2021.2 (área 2, dois anos de plantio), 2021.3 (área 3, três anos de plantio), 2021.4 (área 4, quatro anos de plantio), 2021.5 (área 5, cinco anos de plantio) e 2021.6 (área 6, seis anos de plantio).

No gráfico da Figura 14, pode-se observar que a área 4 exibiu uma reflectância de aproximadamente 25,9% na banda do infravermelho próximo, enquanto as áreas 5 e 6 registraram reflectâncias de 18% e 19%, respectivamente.

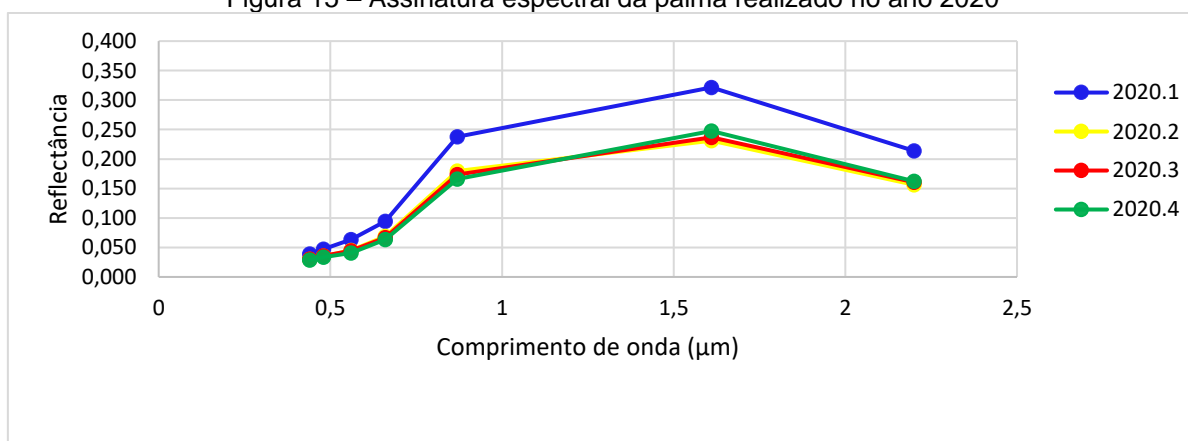
Figura 14 - Assinatura espectral da palma realizado no ano 2019



* 2019.1 (área 4, um ano de plantio), 2019.2 (área 5, dois anos de plantio) e 2019.3 (área 6, três anos de plantio).

Na Figura 15, constata-se que na área 3, a reflectância foi de cerca de 23,8%, enquanto nas áreas 4, 5 e 6, as reflectâncias foram de 18%, 17,4% e 16,6%, respectivamente, na banda do infravermelho próximo.

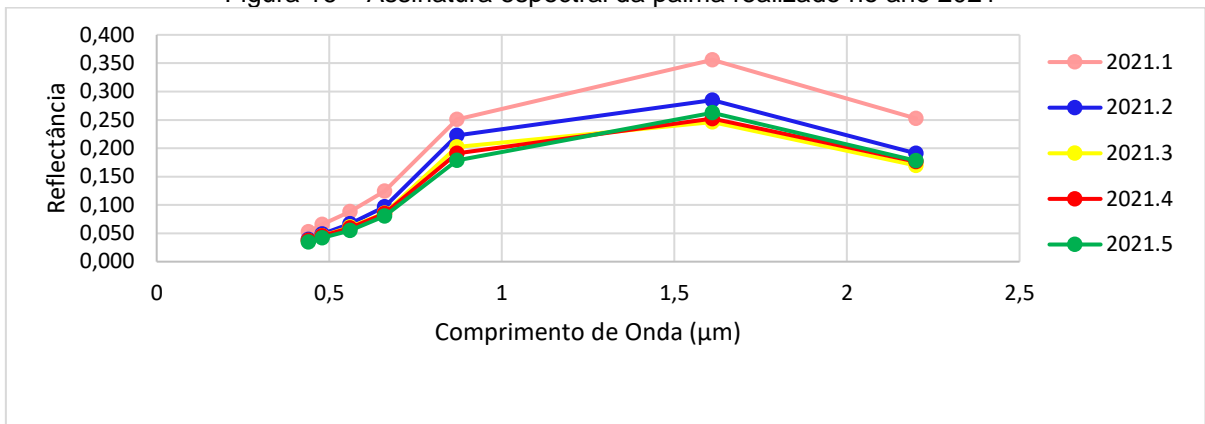
Figura 15 – Assinatura espectral da palma realizado no ano 2020



*2020.1 (área 3, um ano de plantio), 2020.2 (área 4, dois anos de plantio), 2020.3 (área 5, três anos de plantio) e 2020.4 (área 6, quatro anos de plantio).

No que diz respeito ao gráfico da Figura 16, as reflectâncias para as áreas 2, 3, 4, 5 e 6 foram, respectivamente, 25,1%, 22,3%, 20,3%, 19,1% e 17,9% na banda do infravermelho próximo.

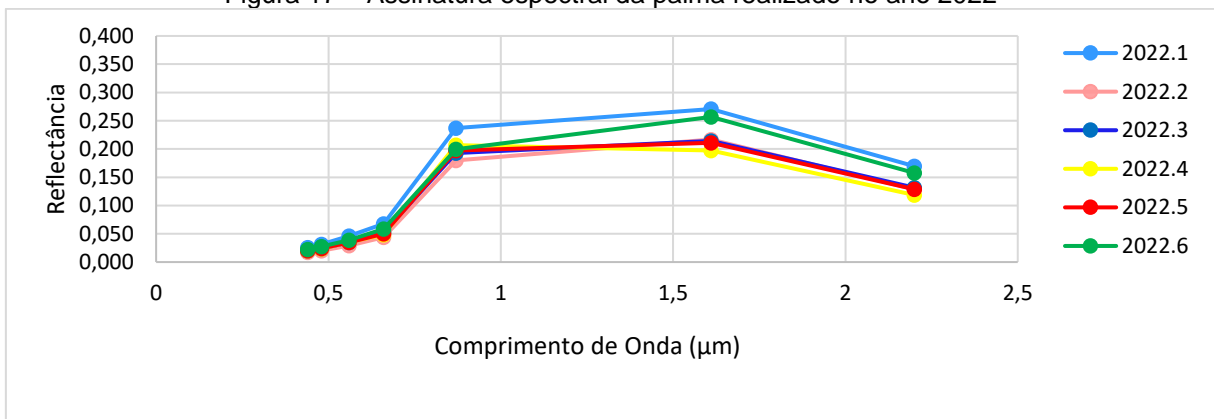
Figura 16 – Assinatura espectral da palma realizado no ano 2021



*2021.1 (área 2, um ano de plantio), 2021.2 (área 3, dois anos de plantio), 2021.3 (área 4, três anos de plantio), 2021.4 (área 5, quatro anos de plantio) e 2021.5 (área 6, cinco anos de plantio).

Por fim, no Gráfico 17, observam-se porcentagens de reflectância na banda do infravermelho próximo de 23,7%, 18%, 19,3%, 20,7%, 19,7% e 20% para as áreas 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

Figura 17 – Assinatura espectral da palma realizado no ano 2022



* 2021.1 (área 1, um ano de plantio), 2021.2 (área 2, dois anos de plantio), 2021.3 (área 3, três anos de plantio), 2021.4 (área 4, quatro anos de plantio), 2021.5 (área 5, cinco anos de plantio) e 2021.6 (área 6, seis anos de plantio).

Observando às assinaturas espectrais das quatro imagens adquiridas para as diferentes áreas de plantio (figuras 14, 15, 16 e 17), percebe-se que os valores das reflectâncias, no comprimento de onda que comporta a banda do infravermelho próximo, praticamente não apresenta diferença entre si, no segundo ano de plantio em diante. Apenas no primeiro ano de plantio as áreas apresentam curva da reflectância se distanciando dos demais anos de plantio, variando de 2 a 8% deste afastamento, pois essa dispersão pode estar relacionada com a precipitação,

aumentado a quantidade de vegetação nativa, ou com as características da área em que foi realizado o plantio (tipo de solo, declividade da área, altitude).

Pesquisando a assinatura espectral de alvos agrícolas (cana-de-açúcar) detectados em imagens do satélite WorldView-2, constatou-se uma pequena diferença entre as curvas espectrais da cana-de-açúcar sadia e com manchas na lavoura, esse comportamento pode ser resultado da mínima alteração estrutural da planta em consequência da infestação dessa doença (Ferreira Sobrinho e Alves, 2013). Esse resultado é importante na interpretação da assinatura espectral, uma vez que a mudança da coloração da cultura influenciará na curva da assinatura espectral.

7.4. CONCLUSÃO

As técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento contribuíram para determinar a assinatura espectral da palma nos seis anos de plantio e associar essas informações ao tipo de cultura, quantidade de água na célula e a idade da cultura. Em que a assinatura espectral da palma forrageira, devido a grande quantidade de água na estrutura celular, apresentou a curva de reflectância abaixo da curva de reflectância da pastagem e uma curva de reflectância bem próxima da vegetação nativa. Já analisando as assinaturas espectrais nos seis anos de plantio, foi possível identificar que o primeiro ano de plantio apresenta um intervalo maior de reflectância comparado com os demais anos.

Nas análises estatísticas multivariadas houve diferença nos anos com maior precipitação, apresentando valores de reflectância menores do que os anos de menor precipitação, indicando os períodos de menor adensamento da palma em relação a vegetação nativa. Tal dinâmica pode sugerir aos gestores públicos, que o uso dessas ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto podem subsidiar tomadas de decisão no que concerne às áreas utilizadas para monitoramento da palma com diferentes graus de crescimento e técnicas de plantio.

7.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APAC, Agência Pernambucana de Água E Clima – Histórico de chuvas. Disponível em <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>> Acesso em janeiro de 2023.

Batista, F. J. et al. Comportamento Espectral de Paricá (*Schizolobium Parahyba* var. *amazonicum*, Huber ex Ducke, Barneby) em Plantios com Diferentes Idades. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 82 – 95p. Vol. 4. 2018.

Bezerra, S.A.F., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Moura, M.S.B., Morais, J.E.F., Diniz, W.J.S., Queiroz, M.G. Demanda hídrica bruta da Palma Forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Geografia Física, 8, 2015.

Crusiol, L. G. T.; Nanni, M. R.; Furlanetto, R. H.; Cezar, E.; Sibaldelli, R. N. R.; Mertz-Henning, L. M.; Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N.; Farias, J. R. B. Assinatura espectral de cultivares de soja submetidas a diferentes níveis de disponibilidade hídrica. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso. In: Congresso brasileiro de soja, 8., 2018, Goiânia. Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

Crusiol, L. G. T.; Nanni, M. R.; Furlanetto, R. H.; Cezar, E.; Sibaldelli, R. N. R.; Mertz-Henning, L. M.; Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N.; Farias, J. R. B. Obtenção de assinatura espectral de cultivares de soja. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Reunião de pesquisa de soja, 37., 2019, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Embrapa Soja. Documentos, 413). 2019.

Damasceno, M. L., Pereira, J. A. S. e Schuler, C. A. B. Análise espaço temporal da cobertura vegetal do município de Arcoverde (Pernambuco). Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto, v.1, n.1, 2020.

Epifânio, N. M. L. S. Descritores morfológicos e indicador de metabolismo fotossintético em clones de Palma forrageira. 2019. 84 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

Ferreira Sobrinho, J. A. e Alves, M. C. Assinatura espectral de alvos agrícolas detectados em imagens do satélite WorldView-2. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013.

Formaggio, A. R.; Sanches, Ieda Del'Arco. Sensoriamento remoto em agricultura. Oficina de Textos, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Trimestral do Leite. Captação de Leite Brasileira. 2022. Disponível em <www.https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em Fev. 2023.

Lima, R.M. B., Ferreira, M. A, Brasil, L. H. A., Araújo, P. R. B., Verás, A. S. C., Santos, D. C., Cruz, M. A. O. M., Melo, A. A. S., Oliveira, T. N. e Souza, I. S. Substituição do milho por palma forrageira: comportamento ingestivo de vacas mestiças em lactação. Acta Scientiarum. Animal Sciences, Maringá, v. 25,p.347-353, 2003.

Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Dubeux, J. C. B.; Farias, I.; Cunha, M. V.; SANTOS, D. C. In: Meio século de pesquisa com a palma forrageira (Opuntia e Nopalea) - ênfase em manejo. In: Guim, A.; Verás, A. S. C.; Santos, M. V. F. Zootec, 4., 2006, Recife. Anais... Recife: ABZ, 2006. CD Rom.

Mattos, Jorge Luiz Schirmer de; Gomide, José Alberto; Martinez Y Huaman, Carlos Alberto. Crescimento de espécies do gênero Brachiaria, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 34, p. 746-754, 2005.

Monteiro, A. A., Tamanini, R., Silva, L. C. C., Mattos, M. R., Magnani, D. F., Ovidio, L., Nero, L. A., Barros, M. A. F., Pires, E. M. F., Paquereau, B. P. D. e Beloti, V.

Características da produção leiteira da região do agreste do estado de Pernambuco, Brasil. Ciências Agrárias, Londrina, v. 28, n. 4, p. 665-674, 2007.

Pedrali, L. D., Marchesan, J., Queiroz, T. B., Baldin, T., Sousa, R. S., Batista, F. J. e Pereira, R. S. Comportamento espectral de espécies utilizadas em arborização urbana. Ecologia e Nutrição Florestal, Santa Maria-RS, v.4, n.1, p.19-32, 2016.

Reis Filho, Raimundo José Couto; Oliveira, Francisco Zuza. Opções de produção de alimentos para a pecuária de Pernambuco- Uso das áreas irrigadas. 2014.

Ribeiro, R. C., Oliveira, F. e Anjos, C. S. Análise da resposta espectral da vegetação nativa do bioma cerrado nas diferentes estações do ano. In: INPE, 2019, Santos. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2019.

Sette, Gabriel; Ximenes, Leandro Ronchini. Técnicas de processamento de imagens multiespectrais de satélite para a discriminação e monitoramento de crescimento de plantas. Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP, n. 26, 2018.

Teixeira, C. A., Oliveira, E. M e Silva, J.P. Software QGIS na produção de mapas temáticos para análise da microrregião de Boquira-BA. Geopauta, v. 2, n. 3, p. 35-44, 2018.

Teles, M. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Junior, J. C. B; Bezerra Neto, E.; Ferreira, R. L. C.; Lucena, J. E. C; Lira, M. A. Efeito da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill) cv. Gigante. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.1, p.52-60, 2002.

Zanotta, D.C.; Ferreira, M.P. e Zortea, M. Processamento de imagens de satélite. Editora Oficina de Textos. São Paulo. 2019.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa mostraram a importância do estudo dos elementos agrometeorológicos e a assinatura espectral com foco na palma forrageira, cultura importante para base alimentar dos bovinos nas regiões áridas e semiáridas do Brasil. Mesmo com limitação de dados sobre a palma forrageira, sites oficiais e dos produtores locais, foi possível verificar as relações diretas e inversas, que interferem na produção agropecuária, no município de Capoeiras – PE.

A confecção de mapas espaço-temporais de precipitação, radiação e NDVI contribuíram para a visualização dos resultados obtidos para a região da pesquisa, a qual é carente de informações técnicas no que concerne ao sensoriamento remoto e geoprocessamento. Tais resultados mostraram a possibilidade, para a sociedade, produtores locais e órgãos governamentais na divulgação científica, tomadas de decisões, planejamento estratégico subsidiando assim o desenvolvimento local.

Esta pesquisa poderá servir de modelo para políticas públicas de desenvolvimento econômico e social, com intuito dos produtores e governantes, periodicamente fazerem o monitoramento do cultivo da palma forrageira, diminuindo os problemas agropecuários existentes, para elevar o potencial da palma forrageira e do gado leiteiro da região semiárida, beneficiando os produtores, sociedades e maximizando o potencial da terra, com diminuição de impactos ambientais.